



Siège social et site de Liège

Rue du Chéra, 200
B-4000 Liège
Tél : +32(0)4 229 83 11
Fax : +32(0)4 252 46 65
Site web : <http://www.issep.be>

Site de Colfontaine

Zoning A. Schweitzer
Rue de la Platinerie
B-7340 Colfontaine
Tél : +32(0)65 61 08 11
Fax : +32(0)65 61 08 08



PROJET AÉRO-SOLS

ARRÊTÉ DE SUBVENTION ISSEP

Surveillance des impacts potentiels sur les sols des retombées atmosphériques générées par les activités des deux principaux aéroports wallons

**Rapport final
n°03520/2024**

Novembre 2024

S. Crèvecoeur & C. Thiry
Attachées,
Cellule Environnement et Santé,
Direction des Risques Chroniques.

P. Jacquemin
Responsable,
Cellule Environnement et Santé,
Direction des Risques Chroniques.

Préambule - Limites de l'étude

Afin d'éviter toute erreur d'interprétation des résultats, il est important de définir les limites de ce projet.

Le projet Aéro-Sols a été mis en place suite à l'observation de taches semblables à des hydrocarbures par quelques riverains. L'objectif de l'étude était de savoir si l'origine de ces taches pourrait être liée aux activités aéroportuaires.

Pour répondre à cette question, la recherche s'est focalisée uniquement sur les retombées atmosphériques soit les poussières émises dans l'atmosphère qui se déposent dans l'environnement (à la surface des sols, végétaux, étangs...) et non les polluants présents dans l'air ambiant. Les polluants présents sous forme gazeuse dans l'air n'ont donc pas été étudiés dans le cadre de ce projet.

Il n'existe pas de valeurs réglementaires des polluants étudiés dans les poussières sédimentables au niveau de l'Union Européenne et en Wallonie. Les résultats obtenus ont été comparés à des normes de pays limitrophes (Allemagne et Suisse) quand celles-ci étaient disponibles (pour le cadmium, le nickel, le plomb et le zinc). Ces normes sont des niveaux fixés sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble. Il a été mis en évidence dans ce projet le manque de valeurs limites réglementaires pour une partie des polluants étudiés dans les retombées atmosphériques. En l'absence de ces valeurs, l'évaluation du risque de ces polluants sur la santé est donc assez limitée dans le cadre de cette étude.

Les conclusions du projet Aéro-Sols sont valables uniquement pour :

- Les polluants étudiés :
 - o 7 métaux (cadmium, chrome, cuivre, zinc, nickel, plomb et manganèse)
 - o Les hydrocarbures fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀
 - o Les 16 HAP (liste de l'US EPA)
- Les retombées atmosphériques
- La période d'étude (juin 2023-juin 2024)
- Le périmètre d'étude défini autour des 2 aéroports
- Le niveau d'activité des aéroports et les conditions climatiques durant la période d'étude.

Voici une liste non-exhaustive des **polluants qui ne sont pas étudiés** dans le projet Aéro-Sols :

- Les particules fines présentes en suspension dans l'air (PM₁₀, PM_{2,5} et particules ultrafines¹)
- Le monoxyde carbone
- Les oxydes d'azote NO et NO₂
- Les BTEX (Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes)
- Les PFAS

A l'exception des PFAS², ces polluants sont analysés dans le réseau de mesure permanent de la qualité de l'air de l'ISSEP.

Les **nuisances suivantes n'ont pas fait l'objet de cette étude** :

- Le bruit
- Les odeurs
- Les vibrations

L'équipe du projet Aéro-Sols tient à remercier chaleureusement les riverains pour leur disponibilité, leur accueil cordial et le soin qu'ils ont mis à héberger les stations de mesure.

¹ Il n'y a actuellement aucune obligation de doser les UFP dans l'air. Cependant, la nouvelle Directive 2024/2881 récemment publiée (20/11/2024) impose de les mesurer sur des « supersites ». En Wallonie, il s'agit de Vielsalm. Les UFP sont mesurées à Aéroport Liège¹ car c'est une imposition du permis de Liège Airport.

² Actuellement, il n'y a aucune obligation de mesurer les PFAS dans l'air. La voie d'exposition prépondérante pour les PFAS est l'ingestion (de sol et d'eau) et non l'inhalation d'air.

RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

L'étude Aéro-Sols a été commandée par la Ministre de l'environnement qui avait reçu plusieurs plaintes de riverains, constatant des taches suspectes, ressemblant à des hydrocarbures, dans leur jardin, à la surface de leur étang ou sur leur terrasse. Les riverains voulaient savoir si ces taches pouvaient provenir des activités de l'aéroport dont ils sont proches.

Cette étude s'est dès lors focalisée sur les retombées de polluants, présents dans l'air sous forme de poussières et retombant au sol. Elle a consisté en la mise en place d'un réseau de mesure de ces retombées atmosphériques. Elle a débuté en décembre 2022 et a été menée par l'ISSEP et l'ASBL Eco-Impact.

Qu'est-ce qui a été mesuré ?

- Des **métaux** (cadmium, chrome, cuivre, manganèse, nickel, plomb, zinc) ;
- Des **hydrocarbures** (chaînes carbonées C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) ;
- Des hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP** : 16 substances³ prioritaires au regard de leur toxicité).

Comment ?

Avec 2 techniques permettant de **collecter ces poussières qui se déposent** (appelées dépôts atmosphériques) :

- Des **jauges** : il s'agit d'un entonnoir surplombant un bidon de collecte de la pluie et des poussières ;
- Des stations de **biosurveillance** : 4 pots de graminées, qui piègent dans leurs feuilles les polluants qui s'y déposent.

Où ?

- Au niveau de **12 jardins de riverains volontaires** entrés dans une démarche de sciences participative, autour des aéroports de Charleroi et de Liège (6 volontaires par aéroport) ;
- Au niveau de **2 points témoins urbains**, l'un à Charleroi et l'autre à Liège.

Pendant combien de temps ?

- Pendant **une année complète** pour les jauges (de juin 2023 à juin 2024) ;
- Lors de **2 campagnes** de biosurveillance, l'une au printemps 2023 et l'autre en automne 2023.

³ Naphtalène, Acénaphthylène, Acénaphthène, Fluorène, Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Benzo(a)anthracène, Chrysène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(k)fluoranthène, Benzo(a)pyrène, Dibenzo(ah)anthracène, Indeno(123-cd)pyrène, Benzo(ghi)pérylène.

Les **résultats de mesure des dépôts en polluants** autour des aéroports de Charleroi et Liège sont **comparés à différentes références**, mesurées avec les mêmes techniques :

- Une référence rurale, c'est-à-dire mesurée à la campagne, loin des pollutions industrielles ou urbaines ;
- Une référence urbaine, mesurée autour d'une grande ville ;
- Des normes, c'est-à-dire des valeurs à ne pas dépasser, fixées dans des législations. Il n'existe pas en Wallonie pour les dépôts de poussières. L'étude Aéro-Sols compare donc ses résultats aux normes allemandes et suisses, qui existent pour le cadmium, le nickel, le plomb et le zinc.

Ces comparaisons aux références ont montré :

- Des valeurs faibles pour le **cadmium**, bien en-dessous des valeurs réglementaires (norme allemande).
- Quelques valeurs plus élevées pour le **chrome**, sans lien avec les activités de l'aéroport. Une moyenne plus élevée à Charleroi qu'à Liège, situation connue comme le reflet du passé sidérurgique.
- Des valeurs inférieures à la référence rurale pour le **cuivre**.
- Une valeur élevée en **manganèse**, probablement influencée par l'activité agricole. Une moyenne plus élevée à Charleroi qu'à Liège, situation connue comme le reflet du passé sidérurgique.
- Des dépôts de **nickel** proches des valeurs rurales ou urbaines selon les cas. Les valeurs supérieures à Charleroi sont à rattacher au passé sidérurgique de la zone. Toutes les valeurs mesurées sont très inférieures à la norme allemande.
- Des valeurs mesurées pour le **plomb** supérieures à la référence rurale, tout en restant inférieures à la référence urbaine et très inférieures à la norme allemande.
- Pour le **zinc**, toutes les valeurs sont inférieures aux références rurales et très inférieures à la norme suisse.
- Dans la mesure des **hydrocarbures**, les concentrations n'étaient pas détectables au laboratoire (inférieures à la limite de quantification de la méthode analytique).
- Les HAP sont, de manière générale, plus détectés et en concentrations plus élevées en période hivernale. Cette observation illustre l'impact connu du chauffage sur cette catégorie de polluants.

De ces comparaisons, appuyées par l'étude des conditions atmosphériques et des mouvements des avions (nombre de vols et sens d'utilisation des pistes), aucun lien n'apparaît entre les dépôts de métaux, d'hydrocarbures et de HAP observés dans l'étude Aéro-Sols et les activités des aéroports voisins des stations de mesure.

Près de 35.000 mouvements d'avions à Liège et 78.000 à Charleroi ont été enregistrés pendant la période d'étude et ont survolé les zones d'études sans que les dépôts observés de polluants ne montrent des valeurs anormales. Quelques valeurs ponctuelles sont supérieures à d'autres, et font partie de la variabilité des apports de polluants dans l'atmosphère. Les métaux et hydrocarbures étudiés ici sont émis par une grande diversité de sources dans nos environnements anthropisés (chauffage, circulation routière, ...).

En conclusion, l'origine des taches ressemblant à des hydrocarbures, observées par certains riverains dans leur jardin, sur leur terrasse ou pièce d'eau, n'a pas pu être attribué aux activités aéroportuaires par le suivi pendant un an des retombées atmosphériques d'hydrocarbures, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de métaux.

Ainsi, aucun impact en provenance des activités aéroportuaires n'a pu être mis en évidence pour les polluants mesurés dans les retombées atmosphériques (métaux, hydrocarbures et HAPs) pendant la période de l'étude (juin 2023 à juin 2024) au niveau des 12 stations de mesure placées chez les riverains des aéroports de Liège et Charleroi. Ces conclusions rejoignent les conclusions d'études antérieures réalisées autour de deux aéroports en Allemagne, Leipzig (Maier, 2009) et Munich (Wäber, 2020b).

TABLE DES MATIÈRES

Préambule - Limites de l'étude	2
RÉSUMÉ NON TECHNIQUE	4
TABLE DES MATIÈRES	7
LISTE DES ANNEXES	10
LISTE DES TABLEAUX	11
LISTE DES FIGURES.....	14
LISTE DES ABRÉVIATIONS	17
1. CONTEXTE ET OBJECTIF DU PROJET	18
2. PARTENAIRES DU PROJET.....	18
3. INTRODUCTION	19
4. GRANDES ÉTAPES ET PROGRAMME DU PROJET	21
5. PARTICIPATION CITOYENNE DÈS LA MISE EN PLACE DU PROJET	22
5.1. Canaux de communication	22
5.2. Réunions citoyennes en vue du recrutement de volontaires.....	25
5.3. Résultats du recrutement des participants	25
6. PROTOCOLE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN PLACE DE L'ÉCHANTILLONNAGE	26
6.1. Choix de la matrice – retombées atmosphériques.....	26
6.2. Polluant recherchés	26
6.3. Dispositifs de prélèvement	27
6.3.1. Dispositifs de collecte des retombées atmosphériques.....	28
6.3.2. Dispositif de biosurveillance.....	29
6.4. Stations de prélèvement existantes	30
6.5. Définition du périmètre d'étude.....	32
6.6. Sélection des points d'échantillonnage (riverains et témoins).....	34
6.7. Démarrage des prélèvements.....	36
6.8. Programme d'échantillonnage	37
7. Déroulement des prélèvements et analyses.....	38
7.1. Jauges.....	38
7.2. Biosurveillance	40
8. Conditions météorologiques des périodes de mesure	40

8.1.	Jauges.....	40
8.1.1.	Evolution des paramètres météorologiques à l'aéroport de Charleroi	41
8.1.2.	Evolution des paramètres météorologiques à l'aéroport de Liège.....	42
8.2.	Biosurveillance	44
9.	Conditions d'exploitation des aéroports pendant les périodes de mesure	47
10.	Résultats	48
10.1.	Principes de présentation des résultats	48
10.1.1.	Jauges	48
10.1.2.	Biosurveillance.....	49
10.1.3.	Limite de quantification	50
10.2.	Métaux.....	50
10.2.1.	Contexte réglementaire, valeurs limites et valeurs de comparaison.....	50
10.2.2.	Cadmium	53
10.2.3.	Chrome	58
10.2.4.	Cuivre.....	63
10.2.5.	Manganèse	67
10.2.6.	Nickel	70
10.2.7.	Plomb.....	75
10.2.8.	Zinc	80
10.2.9.	Matières totales	85
10.3.	Hydrocarbures (fractions C ₅ -C ₁₁ et C ₁₀ -C ₄₀).....	87
10.3.1.	Contexte réglementaire, valeurs limites et valeurs de comparaison.....	88
10.3.2.	Résultats pour les hydrocarbures.....	88
10.4.	HAP (16 EPA).....	90
10.4.1.	Contexte réglementaire, valeurs limites et valeurs de comparaison.....	90
10.4.2.	Résultats pour les 16 HAP	91
10.5.	Communication des résultats	97
10.5.1.	Aux participants de l'étude	97



10.5.2.	Au grand public.....	98
11.	Conclusions.....	100
12.	Perspectives et recommandations.....	100
RÉFÉRENCES		101

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 :** Note méthodologique du 16/03/2023 : participation citoyenne
- Annexes 2 :** Invitations aux réunions citoyennes
- a. Liège
 - b. Charleroi
- Annexes 3 :** Newsletter – étude participative Aéro-Sols
- a. Lettre aux riverains n°1, octobre 2023
 - b. Lettre aux riverains n°2, avril 2024
 - c. Lettre aux riverains n°3, octobre 2024 pour l’aéroport de Charleroi
 - d. Lettre aux riverains n°3, octobre 2024 pour l’aéroport de Liège
- Annexes 4 :** Présentations aux réunions citoyennes
- a. Liège, le 23/05/2023
 - b. Charleroi, le 22/05/2023
- Annexe 5 :** Méthodologie de définition du périmètre d’étude autour des aéroports de Liège et Charleroi
- Annexe 6 :** Sélection des points d’échantillonnage
- Annexe 7 :** Feuille de route période d’échantillonnage
- Annexe 8 :** Lettre d’information et consentement
- Annexe 9 :** Méthodes de prélèvement et d’analyse : jauges et biosurveillance
- Annexes 10 :** Résultats du laboratoire des analyses d’hydrocarbures dans les jauges
- a. Résultats bruts HAP et hydrocarbures à Charleroi
 - b. Résultats bruts HAP et hydrocarbures à Liège
 - c. Résultats compilés HAP et hydrocarbures à Charleroi et Liège et conversion d’unité
- Annexe 11 :** Résultats du laboratoire des analyses de métaux dans les jauges
- Annexes 12 :** Bordereaux d’analyse des HAPs via la biosurveillance
- a. Première campagne
 - b. Deuxième campagne
- Annexes 13 :** Bordereaux d’analyse des métaux via la biosurveillance
- a. Première campagne
 - b. Deuxième campagne
- Annexe 14 :** Exemple de résultats envoyés aux participants
- Annexe 15 :** Présentation des résultats de la réunion citoyenne finale de Charleroi
- Annexe 16 :** Présentation des résultats de la réunion citoyenne finale de Liège

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1.** Planning des différentes étapes du projet.
- Tableau 2.** Programme d'installation des stations de mesure.
- Tableau 3.** Programme d'installation et de relève des jauges pour les aéroports de Liège et de Charleroi.
- Tableau 4.** Dates d'installation, de collecte et de réception des échantillons de biosurveillance pour toutes les stations de mesure de Charleroi et de Liège.
- Tableau 5.** Décalage de relève de certaines jauges suite à des raisons d'accessibilité.
- Tableau 6a.** Correspondance entre les périodes de prélèvement pour l'aéroport de Liège.
- Tableau 6b.** Correspondance entre les périodes de prélèvement pour l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 7.** Résultats des analyses pour les hydrocarbures C10-C40 avec suspicion de contamination.
LOQ = 0.1 mg/L.
- Tableau 8.** Correspondance entre les codes des échantillons donnés par Eco-Impact et par le laboratoire.
- Tableau 9.** Température – Charleroi – 3 valeurs par heure (22/06/2023 au 20/06/2024).
- Tableau 10.** Température – Liège – 3 valeurs par heure (27/06/2023 au 27/06/2024).
- Tableau 11.** Fréquences d'occurrence des vents selon les 3 directions des vents dominants dans les régions de Charleroi et Liège.
- Tableau 12.** Comparaison des sommes de précipitations des campagnes de biosurveillance avec les normales mensuelles dans les régions de Charleroi et Liège.
- Tableau 13.** Valeurs limites pour les retombées atmosphériques de métaux dans les pays limitrophes
- Tableau 14.** Valeurs réglementaires et valeurs guides applicables aux végétaux dans le cas d'une utilisation pour l'alimentation animale.
- Tableau 15.** Valeurs repères rurales dans les graminées.
- Tableau 16.** Résultats annuels des retombées en cadmium au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 17.** Résultats annuels des retombées en cadmium au niveau de l'aéroport de Liège.
- Tableau 18.** Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Tableau 19.** Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Liège.
- Tableau 20.** Résultats annuels des retombées en chrome au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 21.** Résultats annuels des retombées en chrome au niveau de l'aéroport de Liège.
- Tableau 22.** Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Tableau 23.** Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Liège.
- Tableau 24.** Résultats annuels des retombées en cuivre au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 25.** Résultats annuels des retombées en cuivre au niveau de l'aéroport de Liège.

- Tableau 26.** Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Tableau 27.** Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Liège.
- Tableau 28.** Résultats annuels des retombées en manganèse au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 29.** Résultats annuels des retombées en manganèse au niveau de l'aéroport de Liège.
- Tableau 30.** Résultats annuels des retombées en nickel au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 31.** Résultats annuels des retombées en nickel au niveau de l'aéroport de Liège.
- Tableau 32.** Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Tableau 33.** Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Liège.
- Tableau 34.** Résultats annuels des retombées en plomb au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 35.** Résultats annuels des retombées en plomb au niveau de l'aéroport de Liège.
- Tableau 36.** Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Tableau 37.** Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Liège.
- Tableau 38.** Résultats annuels des retombées en zinc au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 39.** Résultats annuels des retombées en zinc au niveau de l'aéroport de Liège.
- Tableau 40.** Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Tableau 41.** Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Liège.
- Tableau 42.** Quantités annuelles de matières totales ($\text{mg}/\text{m}^2\cdot\text{j}$) au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Tableau 43.** Quantités annuelles de matières totales au niveau de l'aéroport de Liège.
- Tableau 44.** Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions $\text{C}_5\text{-C}_{11}$ au niveau de l'aéroport de Charleroi (LOQ = 50 $\mu\text{g}/\text{L}$).
- Tableau 45.** Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions $\text{C}_{10}\text{-C}_{40}$ au niveau de l'aéroport de Charleroi (LOQ = 0,1 mg/L).
- Tableau 46.** Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions $\text{C}_5\text{-C}_{11}$ au niveau de l'aéroport de Liège (LOQ = 50 $\mu\text{g}/\text{L}$).
- Tableau 47.** Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions $\text{C}_{10}\text{-C}_{40}$ au niveau de l'aéroport de Liège (LOQ = 0,1 mg/L).
- Tableau 48.** Retombées d'hydrocarbures (fraction $\text{C}_5\text{-C}_{11}$) – Valeurs mensuelles – (03/01/2023 au 04/01/2024) – Charleroi.
- Tableau 49.** Retombées d'hydrocarbures (fraction $\text{C}_{10}\text{-C}_{40}$) – Valeurs mensuelles – (03/01/2023 au 04/01/2024) – Charleroi.
- Tableau 50.** Retombées d'hydrocarbures (fraction $\text{C}_5\text{-C}_{11}$) – Valeurs mensuelles – (02/02/2023 au 14/01/2024) – Liège.
- Tableau 51.** Retombées d'hydrocarbures (fraction $\text{C}_{10}\text{-C}_{40}$) – Valeurs mensuelles – (02/02/2023 au 14/01/2024) – Liège.
- Tableau 52.** Valeurs de comparaison dans la littérature pour les HAP.

Tableau 53. Résultats annuels des retombées en HAP au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 54. Résultats annuels des retombées en HAP au niveau de l'aéroport de Liège.

Tableau 55. Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en μg par kg de matière sèche, pour les sites de Charleroi.

Tableau 56. Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en μg par kg de matière sèche, pour les sites de Liège.

Tableau 57. Nombre de détection pour chaque HAP en fonction de la méthode de prélèvement (biosurveillance et jauges) au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 58. Nombre de détection pour chaque HAP en fonction de la méthode de prélèvement (biosurveillance et jauges) au niveau de l'aéroport de Liège.

Tableau 59. Evolution des concentrations de juin 2023 à juin 2024 en pyrène au niveau de l'aéroport de Charleroi.

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.** Grandes étapes du projet Aéro-Sols.
- Figure 2.** Formulaire d'inscription en ligne.
- Figure 3.** Avertissement R.G.P.D. du formulaire en ligne.
- Figure 4.** Site internet du projet Aéro-Sols (<https://www.issep.be/aero-sols/>).
- Figure 5.** Dispositifs de prélèvement des retombées atmosphériques utilisés dans le cadre du projet Aéro-Sols (de gauche à droite : dispositif de collecte des métaux lourds, dispositif de biosurveillance et dispositif de collecte des hydrocarbures).
- Figure 6.** Jauge OWEN (à gauche) et jauge en verre (à droite).
- Figure 7.** Dispositifs de récolte des retombées atmosphériques pour analyse de métaux (à gauche) et d'hydrocarbures (à droite).
- Figure 8.** Dispositif de biosurveillance par les graminées (ray-grass d'Italie).
- Figure 9.** Stations de mesure de la qualité de l'air et réseau hydrocarbures ISSeP-SOWAER, aéroport de Charleroi (source : <https://www.sowaer.be/informations-aux-citoyens/>).
- Figure 10.** Stations de mesure de la qualité de l'air et réseau hydrocarbures ISSeP-SOWAER, aéroport de Charleroi (Source : <https://www.sowaer.be/informations-aux-citoyens/>).
- Figure 11.** Périmètre d'étude défini dans le cadre du projet Aéro-Sols avec les parcelles résidentielles pour l'aéroport de Liège (épingles rouges : stations de mesure du réseau de surveillance qualité de l'air de l'ISSeP).
- Figure 12.** Périmètre d'étude défini dans le cadre du projet Aéro-Sols avec les parcelles résidentielles pour l'aéroport de Charleroi (épingles rouges : stations de mesure du réseau de surveillance qualité de l'air de l'ISSeP).
- Figure 13a.** Sélection finale des participants pour l'aéroport de Liège (triangles verts).
- Figure 13b.** Sélection finale des participants pour l'aéroport de Charleroi (triangles verts).
- Figure 14.** Température – Charleroi (du 22/06/2023 au 20/06/2024, une valeur par 20 minutes).
- Figure 15.** Pression atmosphérique – Charleroi (du 22/06/2023 au 20/06/2024, 3 valeurs par heure).
- Figure 16.** Somme des précipitations (mm) par période – Lodelinsart (du 22/06/2023 au 20/06/2024, 1 valeur par jour).
- Figure 17.** Vitesse et direction du vent – Charleroi (du 22/06/2023 au 20/06/2024).
- Figure 18.** Température – Liège (27/06/2023 au 27/06/2024, une valeur par 20 minutes).
- Figure 19.** Pression atmosphérique – Liège (du 27/06/2023 au 27/06/2024, une valeur par 20 minutes).
- Figure 20.** Somme des précipitations (mm) par période – Saint-Nicolas (du 27/06/2023 au 27/06/2024).

Figure 21. Vitesse et direction du vent – Liège (du 27/06/2023 au 27/06/2024).

Figure 22a. Rose des vents lors de la 1ère campagne de mesure par biosurveillance à Charleroi, du 28/06/23 au 26/07/23.

Figure 22b. Rose des vents lors de la 1ère campagne de mesure par biosurveillance à Liège, du 27/06/23 au 27/07/23.

Figure 22c. Rose des vents lors de la 2ème campagne de mesure par biosurveillance à Charleroi, du 13/09/23 au 11/10/23.

Figure 22d. Rose des vents lors de la 2ème campagne de mesure par biosurveillance à Liège, du 12/09/23 au 10/10/23.

Figure 23. Répartition des mouvements d'avions selon leur sens d'utilisation de la piste à l'aéroport de Charleroi, pour toute la durée de l'étude.

Figure 24. Répartition des mouvements d'avions selon leur sens d'utilisation de la piste à l'aéroport de Liège, pour toute la durée de l'étude. La mention R dans la légende, après l'indication de la direction Sud-Ouest ou Nord-Est précise que c'est la piste « right » (piste de droite) qui a été utilisée.

Figure 25. Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air de l'ISSeP - groupe d'Havelange (ISSeP, 2022).

Figure 26. Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air de l'ISSeP - groupe de Liège (ISSeP, 2022).

Figure 27. Teneurs moyennes en cadmium dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Figure 28. Teneurs moyennes en cadmium dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Figure 29. Jauges – comparaison des valeurs médianes en cadmium entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.

Figure 30. Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Figure 31. Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Liège.

Figure 32. Teneurs moyennes en chrome dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Figure 33. Teneurs moyennes en chrome dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Figure 34. Jauges – comparaison des valeurs médianes en chrome entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège) et les stations de référence urbaine et rurale.

Figure 35. Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Figure 36. Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Liège.

Figure 37. Teneurs moyennes en cuivre dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Figure 38. Teneurs moyennes en cuivre dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Figure 39. Jauges – comparaison des valeurs médianes en cuivre entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège) et les stations de référence urbaine et rurale.

- Figure 40.** Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Figure 41.** Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Liège.
- Figure 42.** Teneurs moyennes en manganèse dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Figure 43.** Teneurs moyennes en manganèse dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.
- Figure 44.** Jauges – comparaison des valeurs médianes en manganèse entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège) et les stations de référence urbaine et rurale.
- Figure 45.** Teneurs moyennes en nickel dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Figure 46.** Teneurs moyennes en nickel dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.
- Figure 47.** Jauges – comparaison des valeurs médianes en nickel entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.
- Figure 48.** Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Figure 49.** Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Liège.
- Figure 50.** Teneurs moyennes en plomb dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Figure 51.** Teneurs moyennes en plomb dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.
- Figure 52.** Jauges – comparaison des valeurs médianes en plomb entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.
- Figure 53.** Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Figure 54.** Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Liège.
- Figure 55.** Teneurs moyennes en zinc dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Figure 56.** Teneurs moyennes en zinc dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.
- Figure 57.** Jauges – comparaison des valeurs médianes en zinc entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.
- Figure 58.** Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Charleroi.
- Figure 59.** Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Liège.
- Figure 60.** Quantité moyenne annuelle de matières totales au niveau de l'aéroport de Charleroi.
- Figure 61.** Teneurs moyennes en zinc dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.
- Figure 62.** Jauges – comparaison des quantités médianes annuelles de matières totales entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft (norme allemande).
- Figure 63.** Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en μg par kg de matière sèche, pour les sites de Charleroi.
- Figure 64.** Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en μg par kg de matière sèche, pour les sites de Liège.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

BTEX :	Benzène, Toluène, Éthylbenzène et Xylènes
Cd :	Cadmium
COMAC :	COMité d'ACcompagnement
Cr :	Chrome
Cu :	Cuivre
HAP :	Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
IARC :	International Agency for Research on Cancer
ISSeP :	Institut Scientifique de Service Public
Mn :	Manganèse
Ni :	Nickel
NOx :	Nitrogen Oxides (oxydes d'azote)
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé
Pb :	Plomb
RGPD :	Règlement Général sur la Protection des Données
SOWAER :	SOciété Wallonne des AERoports
UFP :	particules ultrafines
US EPA :	U.S. Environmental Protection Agency
Zn :	Zinc

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DU PROJET

Suite aux plaintes de riverains des aéroports de Liège et Charleroi, ayant observé des dépôts ressemblant à des hydrocarbures sur leurs légumes, dans leur jardin de même qu'au niveau de leur étang et piscine, la Ministre de l'Environnement, Madame Céline Tellier, a sollicité l'ISSEP pour la rédaction d'un protocole d'étude. Une subvention a ainsi été octroyée à l'ISSEP pour la mise en place du projet Aéro-Sols via un arrêté du Gouvernement Wallon, signé le 15 décembre 2022.

L'objectif de l'étude est de surveiller les impacts éventuels sur les sols des retombées atmosphériques générées par les activités des deux principaux aéroports wallons (Liège et Charleroi). Ce projet inclut un volet de sciences participatives de manière à impliquer les riverains dans cette démarche. Cette participation a consisté, pour 6 riverains par aéroport, à héberger pendant un an dans leur jardin des stations de prélèvement et à veiller à ces dispositifs de mesure.

2. PARTENAIRES DU PROJET

L'ISSEP mène ce projet en collaboration avec l'asbl Eco-Impact (via une convention de partenariat). Cette asbl regroupe un réseau d'experts au service de l'environnement et de la santé publique. Désireux de faire le lien entre la santé et l'environnement, Eco-Impact développe une nouvelle approche responsable en matière de surveillance et de monitoring des milieux grâce notamment à l'apport de la biosurveillance végétale, active ou passive.

De nombreux employés de l'ISSEP interviennent dans l'étude et en assurent le bon déroulement :

- La relève des échantillons est assurée par les techniciens de la cellule Prélèvements ;
- Les métaux sont analysés par la cellule Matière Solide de Colfontaine ;
- Les hydrocarbures sont analysés par la cellule Chimie Organique.

Pour assurer les missions couvertes par la subvention, un comité d'accompagnement (COMAC) a été mis en place. Il est composé des personnes suivantes :

- Un représentant du Ministre wallon ayant l'Environnement dans ses attributions ;
- Un représentant du Ministre wallon ayant les Aéroports dans ses attributions ;
- Au moins un représentant de la Cellule Permanente Environnement-Santé (CPES) du SPW-ARNE, Fonctionnaire gestionnaire ;
- Au moins un représentant de l'ISSEP ;
- Au moins un représentant d'Eco-Impact ;
- Un représentant de la Société Wallonne des Aéroports (SOWAER).

Le Comité d'accompagnement est notamment chargé de :

- Approuver les actions, les livrables et les budgets ainsi que le calendrier des actions à mener et les différentes phases du projet ;
- Approuver les comptes-rendus de réunion de COMAC ;
- Veiller au suivi de l'état d'avancement et à la bonne exécution des actions couvertes par la subvention ;
- Réorienter les travaux s'il l'estime nécessaire ;

- Valider les documents et les rapports d'activités ;
- Formuler, si nécessaire, des propositions d'avenant à la subvention.

Le Comité d'accompagnement se réunit au minimum 3 fois. Depuis le début du projet, le COMAC s'est réuni 6 fois (09/02, 19/04, 14/06 & 29/11/2023 ainsi que les 01/10 et 07/11/2024) par visioconférence.

3. INTRODUCTION

De nombreuses études ont été et sont encore consacrées aux impacts environnementaux des polluants atmosphériques générés par les activités aéroportuaires. Elles aboutissent régulièrement à des résultats sensiblement différents. Effectivement, certaines études mettent clairement en évidence les impacts spécifiques des aéroports (augmentation des concentrations en oxydes d'azote (NO_x), en matières particulaires ultrafines (UFP) < 30 nm, en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)) (ACNUSA, 2020a; Aviation Environment Federation (Aef), n.d.; Hu et al., 2009; Masiol and Harrison, 2014; Nunes et al., 2011; Westerdahl et al., 2008). D'autres études suggèrent que les impacts générés ne sont pas différents en nature et en importance de ceux associés aux zones fortement urbanisées (Peters et al., 2016). Le fait que la publication des résultats de certaines d'entre elles reste limitée par des règles de confidentialité ne contribue pas à éclaircir le débat.

Les études s'accordent toutefois sur l'identification des opérations responsables de pollutions chimiques et sur la liste des polluants susceptibles d'être émis.

La pollution chronique est principalement liée au fonctionnement habituel de l'aéroport. Elle est provoquée par :

- Les gaz et particules d'échappement des avions et des véhicules utilitaires qui se dispersent dans l'air et peuvent entraîner des dépôts (Hu et al., 2009) ;
- La maintenance et l'avitaillement (carburant, huiles) qui se font sur les aires de stationnement et les aires d'entretien (Masiol and Harrison, 2014) ;
- Le trafic au sol pour le transport des passagers, des bagages, de la nourriture (Masiol and Harrison, 2014) ;
- Les exercices d'incendie qui produisent des composés organiques volatils (Aviation Environment Federation (Aef), n.d.; Clean Airport Partnership, Inc and Environmental Consulting Group, Inc, 2006) ;
- Les traces de gomme dues à l'usure des pneus des avions (notamment lors de l'atterrissage) (Haile, 2004; Masiol and Harrison, 2014) ;
- Les allées et venues des personnes et des marchandises vers et depuis l'enceinte de l'aéroport (Aviation Environment Federation (Aef), n.d.; Masiol and Harrison, 2014).

Les pollutions saisonnières proviennent quant à elles (ACNUSA, 2020b) :

- Du déverglacage des aires de stationnement, des aires de circulation. Les produits les plus couramment utilisés sont les formiates et les acétates (de potassium, de calcium et de magnésium).
- Du dégivrage des avions : les produits les plus couramment utilisés sont à base de glycol. Il faut en moyenne 750 litres de solution pour traiter un avion. La quasi-totalité du produit tombe au sol lors de l'application ou lors du décollage.
- Du recours aux pesticides/herbicides pour l'entretien des zones enherbées.

Les pollutions accidentelles surviennent à la suite d'accidents ou d'incidents durant lesquels sont déversées des quantités de carburant et autres matières dangereuses (Clewell, 1983). La gravité de ce type de pollution dépend de la nature des produits et des quantités déversées.

Le délestage de fuel à l'approche des aéroports peut être classé dans ces pollutions accidentelles bien qu'il s'agisse en théorie d'une procédure encadrée dictée par des exigences de sécurité. Pour des raisons structurelles, la masse maximale autorisée des avions à l'atterrissage doit être inférieure à leur masse maximale au décollage (Office fédéral de l'aviation civile OFAC, 2009a). Ainsi, lorsqu'un pilote est dans l'obligation, pour des motifs techniques, soit d'effectuer un atterrissage imprévu, soit de se reposer immédiatement après son décollage, il doit alléger son appareil jusqu'à atteindre la masse maximale autorisée à l'atterrissage (Clewell, 1980). Le carburant embarqué étant le seul lest possible, il peut être largué dès lors qu'il n'est pas possible, pour des raisons de sécurité, d'atteindre le même résultat par une attente en vol. En ces circonstances, les services en charge de la circulation aérienne orientent en général les avions vers des zones non urbanisées. Il est ensuite exigé du pilote qu'il ne débute le largage de carburant qu'à une altitude supérieure à 2 000 mètres. L'avion est en outre maintenu à une vitesse de près de 500 km/h. Ces conditions permettent au kérosène de se vaporiser ; seule une très faible quantité est susceptible de parvenir au sol.

Les compartiments environnementaux des zones jouxtant les zones aéroportuaires peuvent être impactés par les polluants émis par les avions pendant les phases d'atterrissage et de décollage (Hsu et al., 2012). Étant émis à une certaine altitude, ils ont toutefois l'occasion de se disperser dans l'air et donc de se diluer avant de se déposer éventuellement au niveau de la surface du sol.

L'importance des transferts de polluants et donc des impacts en dehors des aéroports dépend toutefois beaucoup des conditions locales rencontrées (direction et vitesse du vent, fond de vallée...).

Le fait que la majorité des polluants émis par les activités d'un aéroport ne lui sont pas spécifiques (résidus de combustion thermique (NO_x, hydrocarbures, particules solides), O₃, BTEX, HAP), rend plus difficile l'identification de leur impact réel (Office fédéral de l'aviation civile OFAC, 2009b).

L'analyse des actions réalisées au niveau de différents aéroports européens pour identifier des retombées potentielles montre qu'elles consistent généralement en la mise sur pied d'un réseau de surveillance comprenant des dispositifs classiques de collecte des retombées atmosphériques (jauges Owen ou autres) couplés à des stations de biosurveillance (Lucadamo et al., 2022, 2021 ; Maier, 2009 ; Munich Airport, 2015 ; Van Dijk, n.d. ; Wäber, 2020a, 2020b et 2022 ; Wäber and Pompe, 2018).

La biosurveillance de l'air rassemble des techniques qui permettent d'obtenir des informations sur l'environnement à partir de l'étude de l'impact de cet environnement sur des organismes vivants.

L'estimation de la qualité de l'air se heurte à la présence fréquente de faibles teneurs en polluants rendant les analyses difficiles, et au coût élevé des mesures et analyses physico-chimiques. Or, certains végétaux ont la propriété, soit de réagir très rapidement et de façon très visible aux polluants, soit d'accumuler fortement les polluants présents. Ils peuvent alors devenir des bio-indicateurs ou des bio-accumulateurs (Wäber, 2020a).

Lorsqu'on recherche à identifier l'impact de pollutions de l'air sur des cultures ou des légumes, ces techniques apparaissent particulièrement pertinentes dans la mesure où elles essaient de directement quantifier les processus de transfert responsables des impacts sur les plantes et cultures.

Un des avantages des techniques de biosurveillance est également qu'elles peuvent être mises en œuvre avec une participation active des riverains. Le retour d'expérience montre qu'associer ces derniers dans les démarches météorologiques d'identification et de quantification d'impacts potentiels d'activités anthropiques permet de répondre à leur besoin de mieux connaître la qualité de leur environnement et de mieux comprendre les risques pour leur santé.

Certains riverains ayant fait mention d'épisodes de pollution et suspectent des retombées d'hydrocarbures en provenance de l'aéroport dont ils sont riverains, sans que les sources aient pu être

identifiées. Il est apparu opportun de s’inspirer des expériences réalisées dans d’autres aéroports européens pour tester la mise en place d’un réseau de surveillance de la qualité de l’air autour des aéroports. Ce réseau permettrait de déterminer si ces épisodes de pollution sont possiblement en lien avec les activités aéroportuaires.

4. GRANDES ÉTAPES ET PROGRAMME DU PROJET

Les différentes étapes de mise en place et de lancement du projet sont reprises à la **Figure 1**. Le programme des différentes étapes est repris au **Tableau 1**.

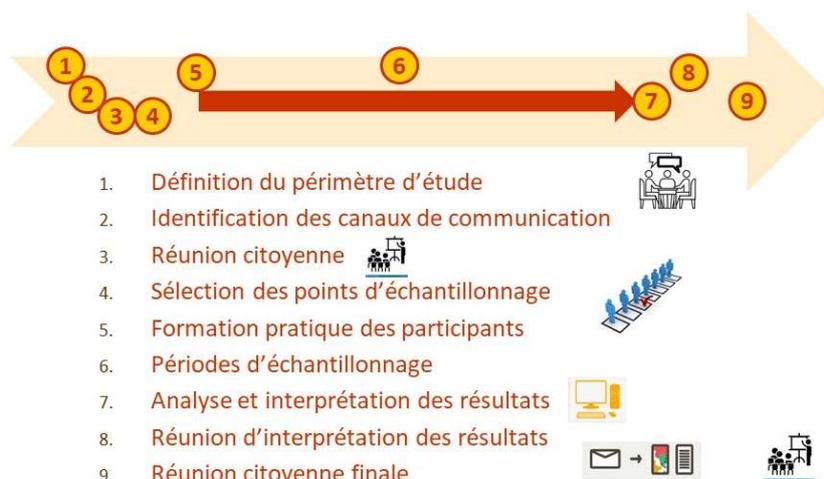


Figure 1. Grandes étapes du projet Aéro-Sols.

Tableau 1. Planning des différentes étapes du projet.

	Nombre de mois																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1 Collecter et analyser les informations disponibles	■																						
2 Définition du périmètre d'étude		■	■	■																			
3 Sélection des participants et visites de terrain					■	■																	
4 Définition de la localisation finale des stations de mesure						■																	
5 Installation des stations de mesures et formation des riverains							■	■															
6 Exploitation des stations de mesure (prélèvements et analyses)									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7 Interprétation des résultats et rapportage																					■	■	■
8 Communication des résultats - réunions citoyennes finales																							■

À la fin du projet, une réunion d’interprétation des résultats a été organisée par l’ISSEP et Eco-Impact pour les participants qui ont hébergé une station de mesure dans leur jardin. Ceux-ci ont reçu de manière privilégiée, avant le grand public, les résultats des analyses réalisées sur les échantillons prélevés dans leur jardin. Les résultats ont été envoyés le 14 novembre 2024.

Lors de cette réunion d’interprétation des résultats, les riverains ont appris à lire des bordereaux d’analyses d’un laboratoire, à comprendre quelles sont les unités utilisées, ce qu’elles signifient et à quelles valeurs les résultats sont comparés pour les interpréter.

Une réunion citoyenne finale par aéroport a été organisée pour le grand public, explicitant tout le processus et la manière dont les conclusions ont été tirées. Un retour sur ces réunions est repris à la section 10.5 de ce rapport.

La durée initiale du projet Aéro-Sols était de 18 mois. La durée de l’échantillonnage étant fixe (1 an) et la mise en place de l’étude ainsi que le recrutement des participants ayant demandé plus de temps que prévu initialement, un avenant de prolongation à budget constant de 5 mois a été demandé auprès

de la CPES (cellule permanente environnement-santé du SPW) le 21/09/2023. Ce laps de temps supplémentaire a été nécessaire pour finaliser l'analyse des derniers échantillons, le traitement et l'analyse des résultats, la rédaction du rapport final du projet ainsi que la restitution des résultats aux riverains (réunions d'interprétation des résultats et réunions citoyennes finales). Le projet s'est clôturé le 30 novembre 2024.

5. PARTICIPATION CITOYENNE DÈS LA MISE EN PLACE DU PROJET

La participation citoyenne était indispensable pour mener à bien ce projet. Ainsi, une collaboration avec les riverains a permis, d'une part, de valoriser la connaissance et l'attention portée à l'environnement local et, d'autre part, d'accueillir et gérer les stations de mesure.

La participation citoyenne a consisté à intégrer les citoyens volontaires à toutes les étapes, de la phase d'information du projet à la restitution des résultats en passant par l'accueil et la gestion des stations de mesure. L'objectif était de rendre accessible et compréhensible l'ensemble du protocole scientifique de l'étude, depuis la collecte des données jusqu'à l'interprétation des résultats.

L'étude a permis de former les citoyens volontaires, en une démarche de sciences citoyennes, sur un sujet qui les intéresse au premier plan, étant riverains d'une activité qui suscite leur inquiétude. Ces moments privilégiés avec les riverains ont permis d'aborder le choix des techniques de mesure, leur principe de fonctionnement, les paramètres d'influence, le type de polluants analysés, de leur faire comprendre comment les données ont été analysées et quelles conclusions ont été tirées.

Les canaux de communication ainsi que le processus mis en place pour faire participer les citoyens sont décrits ci-dessous.

Les différents points abordés dans ce chapitre sont les canaux de communication, le déroulement des réunions citoyennes et enfin les résultats du recrutement.

Le déroulement du processus de participation citoyenne est détaillé dans la note méthodologique intitulée « Participation citoyenne au projet Aéro-Sols » du 16 mars 2023 (**Annexe 1**). Ce document a été présenté et validé lors d'une réunion technique en date du 24/03/19.

5.1. Canaux de communication

Création d'un formulaire en ligne

Dans le but de permettre aux riverains de se porter volontaire pour participer à l'étude, un formulaire en ligne (www.aero-sols.issep.be) a été créé par l'ISSEP (**Figure 2**). Son contenu ainsi que le Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD) du formulaire (**Figure 3**) ont été validés par le COMAC et par le délégué à la protection des données (DPO) de l'ISSEP.

Dans ce formulaire, les volontaires ont renseigné leurs informations de contact (nom, prénom, n° GSM, adresse mail, adresse postale) et précisé quelques caractéristiques de leur jardin. Ces critères (jardin ou cour plat(e) ? et accessible depuis la rue ? Taille minimum de 10 m sur 10 m ? Entouré(e) de haut murs ou bâtiments ?) ont permis une première vérification de l'accessibilité et des conditions d'expositions. Un premier tri a ainsi été réalisé sur cette base. Ensuite, l'adresse postale a été utilisée pour localiser le volontaire par rapport au périmètre d'étude défini.

Les volontaires ont également eu l'occasion de s'inscrire lors des réunions citoyennes. La date limite d'inscription était le 31 mai 2023.

Inscription Aéro-sols

Aéro-Sols

Evaluation des retombées atmosphériques autour des aéroports wallons

J'habite dans le périmètre d'étude défini pour l'aéroport de Liège Charleroi

Nom **Prénom**

GSM **Confirmation GSM**

Adresse mail

Adresse **Numéro maison**

Code postal **Localité**

Mon jardin (ou ma cour)

- **Est plat(e) et accessible depuis la rue** Oui Non
- **A une taille minimum de 10m sur 10m** Oui Non
- **Est entouré(e) de murs ou de hauts bâtiments** Oui Non

J'ai lu l'avertissement RGPD et marque mon accord pour l'enregistrement de ma candidature Avertissement RGPD

OK

Figure 2. Formulaire d'inscription en ligne.

Avertissement R.G.P.D

Les données collectées ici sont utilisées, uniquement, pour enregistrer votre candidature au projet « Aéro-Sols » dont le responsable de traitement est Institut Scientifique de service public (I.S.Se.P.) Rue du chéra 200, 4000 Liège

Le responsable de l'étude est
Crevecœur Sophie
E-mail : aero-sols@issep.be

Nous vous recontacterons pour obtenir votre consentement éclairé quant à la participation au projet « Aéro-Sols ». Les données enregistrées dans ce formulaire pourront, alors, être utilisées dans la gestion du projet.

Nous pourrions également vous recontacter, avec votre autorisation, pour utiliser votre candidature pour un futur projet similaire.

Vous avez donc le droit

- de donner ou de retirer votre consentement pour le traitement vos données.
- de retirer votre consentement à tout moment sans aucune justification.
- de demander quelles informations vous concernant sont enregistrées par le responsable de traitement dans le cadre de l'étude et de demander des corrections si certaines informations sont erronées.
- de demander l'effacement des données vous concernant.
- d'être informé sur les finalités pour lesquelles vos données seront traitées et sur les personnes qui auront accès à vos données.
- de recevoir toutes les informations vous concernant enregistrées sous un format portable et lisible.

Pour toute question concernant vos données personnelles détenues et/ou traitées par le responsable de traitement, vous pouvez adresser vos demandes à dpo@issep.be

Figure 3. Avertissement R.G.P.D. du formulaire en ligne.

Site internet

Une page internet présentant le projet a été mise en ligne sur le site web de l'ISSEP : <https://www.issep.be/aero-sols/> (Figure 4). Les objectifs sont décrits ainsi que la méthodologie, les substances étudiées, les conditions de participation, les cartes des 2 périmètres d'étude, la présentation du partenaire Eco-Impact ainsi que des informations pour contacter les gestionnaires de l'étude. Le site a été actualisé en octobre 2024 avec les informations sur les réunions citoyennes finales.

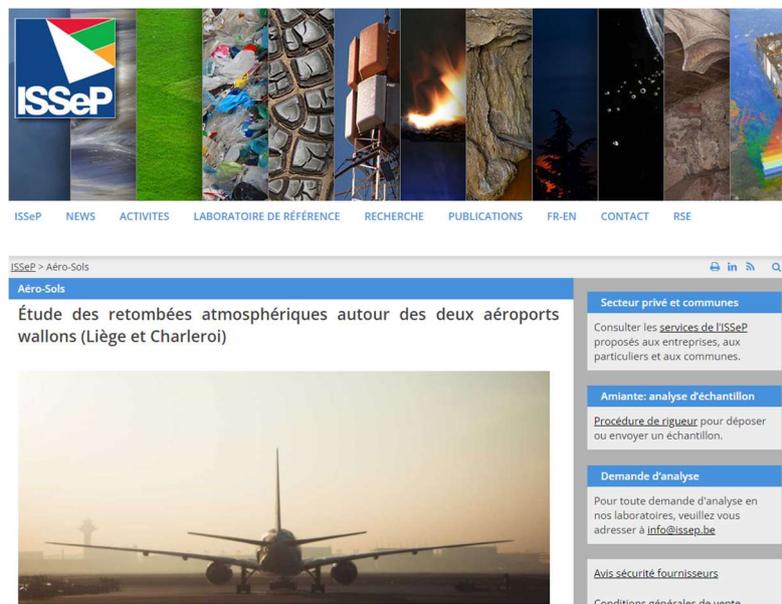


Figure 4. Site internet du projet Aéro-Sols (<https://www.issep.be/aero-sols/>).

Invitation aux réunions citoyennes

L'invitation à destination des riverains pour participer aux réunions citoyennes est reprise à l'**Annexe 2 (a et b)** pour Liège et Charleroi, respectivement). Le but était d'inviter largement tout citoyen concerné à une réunion de présentation des objectifs et méthodes de l'étude afin de trouver des volontaires.

Pour les citoyens souhaitant de plus amples informations ou pour ceux ne pouvant pas être présents aux réunions citoyennes, un QR code a été placé sur les invitations. Celui-ci renvoyait vers site internet de l'étude, leur permettant de s'inscrire.

Les invitations ont été imprimées puis distribuées en toutes boîtes début mai 2023 par Eco-Impact et par la poste. Elles ont également été envoyées par mail aux différentes communes et comités de quartiers présents dans le périmètre de l'étude. Suite à cela, une version papier a été publiée dans le « Ans Info », journal communal d'Ans.

Newsletter

Afin de tenir informés les participants à l'étude, ainsi que toute personne s'étant portée volontaire pour accueillir des stations de mesure, de l'avancement du projet, 3 newsletters leur ont été envoyées par mail. Sur une page A4, elles reprennent l'état d'avancement de l'échantillonnage, le calendrier et quelques chiffres (nombre de points de prélèvements, nombre de relèves...).

Ces newsletters sont reprises dans les **Annexes 3** (**a** - newsletter n°1 datée d'octobre 2023, **b** - newsletter n°2 datée d'avril 2024 et **c et d** - newsletter n°3 datée d'octobre 2024 pour Charleroi et Liège, respectivement). L'invitation aux réunions citoyennes finales figure dans la newsletter n°3.

5.2. Réunions citoyennes en vue du recrutement de volontaires

Les réunions citoyennes ont eu lieu les 22 et 23 mai 2023 en soirée dans l'auditoire du CEME à Dampremy et au Château de Limont pour les aéroports de Charleroi et de Liège, respectivement.

Lors de ces réunions, une attention particulière a été portée à la vulgarisation de l'information communiquée. Les présentations se trouvent en **Annexes 4 a et b** pour Liège et Charleroi, respectivement.

Les points suivants furent abordés :

- L'objectif de l'étude ;
- La sélection des polluants étudiés ;
- Les méthodes de prélèvement retenues ;
- Le calendrier de toutes les étapes ;
- L'appel à volontaires pour héberger et contribuer à la gestion des stations de mesure ;
- La présentation des jauges et de la station de biosurveillance ;
- Le principe de sélection des riverains et leur formation à la prise en charge des stations de biosurveillance (pour les riverains sélectionnés).

L'inscription des volontaires s'est déroulée en fin de réunion, après avoir présenté tous les détails du processus et de l'engagement qu'il représente et répondu à toutes les questions ou remarques. Des cartes plus précises avaient été mises à disposition pour que les riverains puissent vérifier la localisation de leur domicile par rapport au périmètre d'étude avant de se porter volontaire.

Les volontaires se sont inscrits directement via leur téléphone à l'aide d'un QR code permettant d'accéder au formulaire en ligne ou via un ordinateur. Des formulaires papier ont également été mis à leur disposition.

Les coordonnées des citoyens souhaitant être tenus au courant de l'avancée du projet ainsi qu'être invités à la réunion citoyenne finale ont été enregistrées.

Environ 50 et 90 personnes étaient présentes à Charleroi et à Liège, respectivement. Certains riverains ont exprimé leur perte de confiance envers les institutions. L'écoute a cependant été très bonne lors des 2 réunions citoyennes. L'intérêt des riverains pour l'étude s'est traduit par le nombre de volontaires, impatientes de connaître les résultats.

5.3. Résultats du recrutement des participants

Au total, 116 volontaires (29 à Charleroi et 87 à Liège) se sont manifestés avant la date limite d'inscription fixée au 31 mai 2023. Les candidatures reçues après cette date ont été refusées.

Toute personne ayant manifesté un intérêt pour l'étude a été inscrite dans la liste des citoyens à tenir au courant via la newsletter et à inviter à la réunion citoyenne finale de présentation des résultats et des conclusions du projet.

Le processus et les critères de sélection des volontaires sont présentés au point 6.6.

6. PROTOCOLE D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE DE MISE EN PLACE DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Le protocole d'étude ainsi que les différentes étapes de la méthodologie sont détaillés dans ce chapitre.

6.1. Choix de la matrice – retombées atmosphériques

Afin de répondre au mieux aux inquiétudes des riverains des aéroports, ce sont les retombées atmosphériques qui ont été étudiées dans le cadre de ce projet. Selon leur taille et leur densité, les poussières émises dans l'air peuvent rester en suspension ou retomber au sol plus ou moins rapidement. Elles peuvent ainsi se déposer et/ou s'adsorber sur des compartiments environnementaux intégrateurs en contact direct avec l'atmosphère (sols, végétaux, eaux superficielles).

Les résultats des mesures des dépôts atmosphériques ou de la biosurveillance (ray-grass, lichens, mousses) permettent une bonne qualification de la contribution actuelle de la source. Les populations peuvent notamment être exposées aux retombées atmosphériques par ingestion de végétaux, voire de sols (cas particuliers des enfants) impactés (INERIS, 2021).

En revanche, la matrice air ne sera pas étudiée dans ce projet. La mesure des concentrations des polluants en suspension dans l'air permet d'assurer une surveillance dans un compartiment qui contribue directement et au moment des mesures à l'exposition par inhalation. Le choix de cette matrice n'aurait pas permis de répondre aux interrogations des riverains. De telles mesures sont toutefois réalisées, en dehors de cette étude, dans le cadre du réseau de surveillance de la qualité de l'air en Wallonie.

La mesure des concentrations en polluants dans le sol ne permet pas de s'affranchir de toute contamination historique. En effet, les concentrations mesurées dans les sols pourraient être liées à des événements du passé n'ayant aucun lien avec les activités des aéroports.

6.2. Polluant recherchés

La liste des polluants à analyser dans le projet Aéro-Sols a été dressée sur base de l'étude réalisée au niveau de l'aéroport de Munich en 2020 (Wäber, 2020b). Les polluants sélectionnés sont susceptibles de se retrouver dans les retombées atmosphériques et les activités aéroportuaires pourraient être en partie à l'origine de leur émission.

Les polluants émis par les activités aéroportuaires ne sont pas spécifiques à ces activités. Ils sont également émis par de nombreuses autres sources (chauffage, trafic routier, ...). Les substances recherchées sont :

- **Les métaux : cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn)**

A l'exception du mercure, les métaux se présentent sous forme particulaire. Ils peuvent être émis dans l'atmosphère par des processus naturels (volcans, embruns marins, érosion) ou résulter d'activités humaines telles que la combustion de combustibles fossiles (industrie, chauffage, transport), la métallurgie, l'incinération de déchets, etc.

Les activités aéroportuaires peuvent émettre des métaux dans l'environnement. Parmi les éléments étudiés dans le projet Aéro-Sols, le zinc peut provenir des débris/fumées des pneus et se retrouver dans la poussière des pistes et le cuivre peut provenir de la poussière des freins dans les PM₁₀ ambiantes. Ces deux métaux sont également présents dans divers composants des avions.

Les contraintes mécaniques et la corrosion sont donc capables de libérer des particules métalliques dans l'environnement.

De plus, lors de l'atterrissage et du freinage, il est possible de retrouver du manganèse, du nickel et du zinc dans les échantillons de poussière produite. En effet, ces éléments sont fréquemment présents dans le bitume (Masiol and Harrison, 2014).

- **Les hydrocarbures : fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀ et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**

Il existe des sources naturelles de HAP (volcans, feux de forêt) mais les émissions sont majoritairement anthropiques : combustion incomplète (chauffage, trafic, incinération, centrales électriques), raffinage du pétrole, production de coke, fonderies, production d'enrobés, ... En Wallonie, les HAP proviennent principalement du secteur résidentiel et ensuite de la production d'énergie. Ces polluants ont été classés par l'International Agency for Research on Cancer (IARC) comme agents cancérigènes, cancérigènes probables ou cancérigènes possibles.

Les sources probables de HAP et d'hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) liées aux activités des aéroports sont la combustion du carburant des avions et des transports dans l'enceinte et autour des aéroports. Les 16 HAP sélectionnés pour cette étude sont ceux présents sur la liste des polluants prioritaires établie par l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis⁴ (US EPA).

L'analyse des retombées d'hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) est déjà intégrée dans le réseau de surveillance de la qualité de l'air de l'ISSEP.

D'autres polluants également produits par les activités aéroportuaires et fréquemment surveillés dans l'air tels que le CO₂, le CO, le NO_x et les particules fines ne sont pas mesurés dans cette étude car ces substances ne vont pas se retrouver dans les retombées atmosphériques.

6.3. Dispositifs de prélèvement

Partant des retours d'expérience obtenus dans d'autres aéroports européens (Thöni and Kosonen, 2018 ; Van Dijk, n.d. ; Wäber, 2022, 2020b ; Wäber and Pompe, 2018), un réseau de surveillance combinant des dispositifs classiques de collecte des retombées atmosphériques couplés à des stations de biosurveillance a été mis en place au niveau des deux aéroports régionaux wallons.

Chaque point de prélèvement a été équipé de 3 dispositifs (**Figure 5**) :

- Un dispositif de collecte des retombées pour l'analyse des métaux ;
- Un dispositif de collecte des retombées pour l'analyse des hydrocarbures ;
- Un dispositif de biosurveillance active par les graminées (ray-grass d'Italie).

⁴Naphtalène, Acénaphthylène, Acénaphthène, Fluorène, Phénanthrène, Anthracène, Fluoranthène, Pyrène, Benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(k)fluoranthène, benzo(b)fluoranthène, benzo(a)pyrène, indeno(1,2,3,c,d)pyrène, Dibenzo(a,h)anthracène et benzo(g,h,i)pérylène.



Figure 5. Dispositifs de prélèvement des retombées atmosphériques utilisés dans le cadre du projet Aéro-Sols (de gauche à droite : dispositif de collecte des métaux lourds, dispositif de biosurveillance et dispositif de collecte des hydrocarbures).

Ces différents dispositifs de collecte sont détaillés dans les sections suivantes.

6.3.1. Dispositifs de collecte des retombées atmosphériques

Dans le cadre de ce projet, deux types de dispositifs de collecte des retombées atmosphériques ont été utilisés (Norme NBN EN 15980 - **Figure 6**) :

- Une jauge OWEN (flacon de 10 L en polypropylène) surmontée d'un entonnoir d'un diamètre de 30 cm en polypropylène également.

Polluants analysés : cadmium (Cd), chrome (Cr), cuivre (Cu), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn).

- Une jauge (flacon de 10 L en verre) surmontée d'un entonnoir d'un diamètre de 30 cm en verre également.

Polluants analysés : hydrocarbures fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀ ainsi que les 16 HAP.



Figure 6. Jauge OWEN (à gauche) et jauge en verre (à droite).

Les deux jauges ont été placées au sommet d'un piquet et protégées par un support en plastique cylindrique pour maintenir le flacon à l'abri de la lumière et ainsi limiter la prolifération d'algues et de micro-organismes (**Figure 7**). Une hauteur d'environ 150 cm permet d'éviter la contamination de l'échantillon par de polluants présents sur le sol et pouvant se remettre en suspension dans l'air avec le vent ou la chaleur.



Figure 7. Dispositifs de récolte des retombées atmosphériques pour analyse de métaux (à gauche) et d'hydrocarbures (à droite).

Les bouteilles ont été récupérées et remplacées tous les 28 jours (+/- 2 jours). Dans ce projet, l'échantillonnage via ces jauges a duré un an. Il y a donc eu un nombre de 13 collectes par dispositif.

Une exposition d'un an a permis d'obtenir des concentrations en polluants moyennées sur l'année. En effet, les conditions de dispersion des polluants peuvent être très variables en fonction des conditions météorologiques (vitesse et direction des vents, intensité des précipitations...). Ces conditions peuvent influencer l'échantillonnage. Cette durée d'exposition a permis de diminuer l'incertitude sur les résultats notamment par rapport aux conditions météorologiques fluctuantes sur l'année. De même, les conditions d'exploitation des aéroports peuvent connaître des variations (sens du décollage, pics ou creux d'activités, incidents, etc.).

6.3.2. Dispositif de biosurveillance

La méthode de biosurveillance active par les graminées est une méthode normalisée de bioaccumulation (NF X 43-901) qui fait appel à des cultures de graminées (*ray-grass* d'Italie, *Lolium multiflorum*) standardisées. Il s'agit d'une approche active car les graminées sont préalablement cultivées sous serre et exposées ensuite sur le site d'étude. Les plantes peuvent alors témoigner, après analyse, du niveau de pollution pendant la période d'exposition et permettre d'apprécier de facto l'impact de l'activité sur son environnement et l'impact des seules retombées atmosphériques sur l'exposition des populations lors de l'ingestion de légumes de potagers.

Cette méthode permet de détecter des quantités plus faibles de polluants par rapport aux jauges car il y a une accumulation dans la plante. La biosurveillance intègre tous les facteurs environnementaux, et est de ce fait, un très bon indicateur de la santé de l'environnement, tous paramètres confondus. Cette méthode est notamment utilisée depuis plusieurs années à l'aéroport de Munich (Wäber, 2020b), ce qui a permis des comparaisons intéressantes.

Des choux auraient également pu être utilisés au lieu du *ray-grass*. Ce dernier est cependant moins susceptible d'être attaqué par les chenilles de piérides (papillon blanc) et les pucerons, qui peuvent ravager la culture et rendre l'échantillonnage impossible. Comme aucun produit insecticide, même

naturel, ne peut être utilisé pour ne pas influencer la mesure, il est souvent préférable d'utiliser le ray-grass.

Avant la mise en place sur le terrain, les plantes poussent environ 5 à 6 semaines en culture contrôlée sous serre selon le protocole précisé dans la norme. Le substrat utilisé provient d'un seul lot pour éviter toute influence due à la variabilité de composition du substrat. Un échantillon de substrat de culture est conservé pour analyse ultérieure si nécessaire, en cas d'anomalie non expliquée par ailleurs. Le semis est réalisé à une densité de 30 g/m². Un fertilisant est utilisé pour garantir la phase de croissance des plants.

Sur le terrain, les graminées sont exposées pendant 28 +/- 2 jours sur des supports d'exposition identiques pour toutes les stations et placés à environ 1,5 mètres du sol. Pendant la phase d'exposition, les plants sont alimentés en continu par de l'eau stockée dans une réserve d'eau prévue à cet effet. Le transfert de l'eau vers la plante s'effectue par capillarité au travers de mèches (**Figure 8**).



Figure 8. Dispositif de biosurveillance par les graminées (ray-grass d'Italie).

La durée de culture et d'exposition du ray-grass correspond à leur cycle de croissance. Cette durée est cadrée par la norme. Une durée d'exposition standard (28 +/- 2 jours) va permettre de comparer les résultats aux données antérieures et aux valeurs de référence.

Au terme de la phase d'exposition, la biomasse produite est prélevée, pesée et analysée (elle n'est ni dépoussiérée ni lavée avant analyse).

Un témoin serre correspondant à un échantillon non exposé sur le site est aussi analysé. Cet échantillon permet de vérifier l'absence de contamination des plants exposés sur le site lors de leur phase de culture.

Les polluants analysés dans les retombées sont les mêmes que ceux analysés pour les jauges : Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn et HAP (16 EPA). Le manganèse et les hydrocarbures ne sont pas analysés.

6.4. Stations de prélèvement existantes

Depuis 2019, l'ISSEP réalise la surveillance de la qualité de l'air ambiant autour de l'**aéroport de Charleroi** pour le compte de la SOWAER (Société Wallonne des Aéroports).

Ainsi, deux sites de mesure ont été installés à moins d'1 km des deux extrémités de la piste. Sur chacun de ces deux sites a été installée une station de mesure, équipée d'analyseurs spécifiques automatiques permettant de mesurer en continu et en temps réel différents polluants dans l'air ambiant :

- Le monoxyde d'azote (NO) ;
- Le dioxyde d'azote (NO₂) ;
- Le monoxyde de carbone (CO) ;
- Les particules en suspension (PM₁₀ et PM_{2,5}) ;
- Les BTEX : Benzène, Toluène, Ethylbenzène et m+p-xylènes.

Sur ces 2 sites, ont également été installés des préleveurs pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont le naphtalène et pour le formaldéhyde (analysés dans l'air ambiant) ainsi qu'une jauge pour analyser les retombées d'hydrocarbures (ISSEP, 2024).

Dans le cadre de ce réseau de mesure permanent, en plus de ces 2 sites de mesure, 4 points de prélèvement supplémentaires ont été installés pour mesurer les retombées en hydrocarbures afin de pouvoir comparer les résultats à des valeurs de référence (**Figure 9**).

- Un point mesurant la pollution de fond situé à l'écart de toute source potentielle (Dourbes) ;
- Un point en milieu urbain mais plus éloigné de l'aéroport (Charleroi-caserne) ;
- Un point à chaque extrémité de la piste mais à une distance plus grande (Roux et Fleurus).

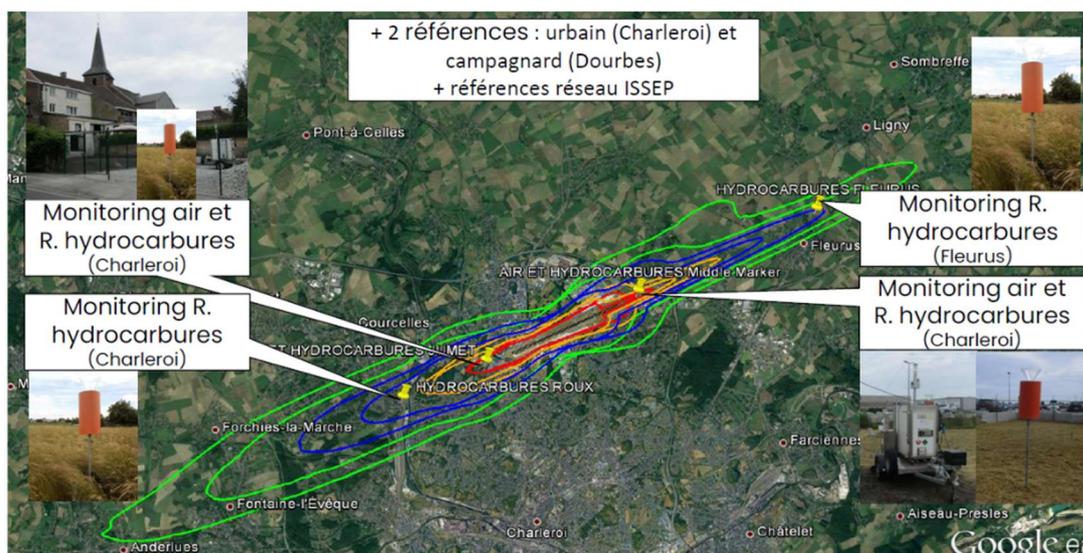


Figure 9. Stations de mesure de la qualité de l'air et réseau hydrocarbures ISSEP-SOWAER, aéroport de Charleroi (source : <https://www.sowaer.be/informations-aux-citoyens/>).

De 2012 à 2023, l'ISSEP a réalisé la surveillance de la qualité de l'air ambiant autour de l'**aéroport de Liège** pour le compte de Liège Airport. La station installée sur le site de l'aéroport mesurait en continu et en temps réel, les oxydes d'azote ainsi que la fraction PM₁₀ des particules en suspension dans l'air ambiant.

Fin 2023 et début 2024, un dispositif semblable à celui mis en place autour de l'aéroport de Liège a été installé autour de l'aéroport de Charleroi. Un site de mesure a été sélectionné à chaque extrémité de la piste et sur chacun de ces deux sites a été installée une station mesurant en continu et en temps réel les mêmes polluants qu'à Charleroi.

Ces 2 sites ont également été complétés par des préleveurs pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dont le naphtalène et pour le formaldéhyde.

Dès février 2023, des jauges pour analyser les retombées d'hydrocarbures avaient déjà été installées sur ces deux sites ainsi qu'au niveau de 4 points supplémentaires (**Figure 10**).

- Un point mesurant la pollution de fond situé à l'écart de toute source potentielle (Vielsalm) ;
- Un point en milieu urbain mais plus éloigné de l'aéroport (Liège -ISSeP) ;
- Un point à chaque extrémité de la piste mais à une distance plus grande (Alleur et Warfusée).

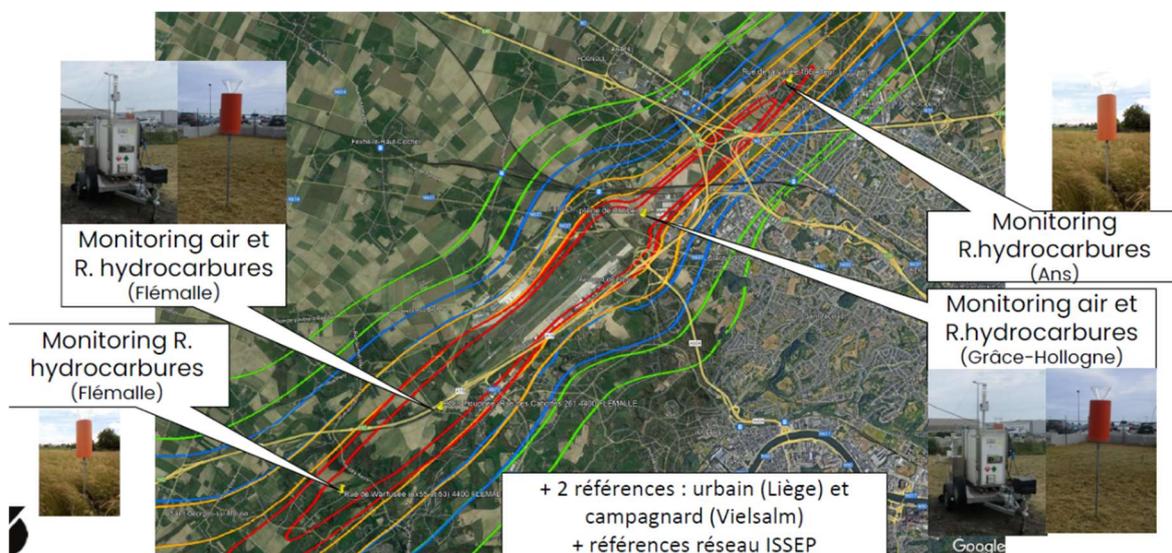


Figure 10. Stations de mesure de la qualité de l'air et réseau hydrocarbures ISSeP-SOWAER, aéroport de Charleroi (Source : <https://www.sowaer.be/informations-aux-citoyens/>).

A l'exception de la station localisée à Roux (aéroport de Charleroi), ces stations existantes ne sont pas localisées dans des jardins de riverains. Les stations du projet Aéro-Sols, installées dans les jardins des riverains étant donné l'objectif du projet, ajoutent donc de la connaissance en complétant spatialement l'échantillonnage existant.

Les principaux paramètres météorologiques (température, humidité, vitesse et direction du vent) sont également mesurés car les conditions météorologiques peuvent avoir une influence importante sur les concentrations mesurées et, par conséquent, sur l'interprétation des résultats.

Les résultats de mesure des hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) de ces différents points de prélèvement ainsi que les données météorologiques obtenues ont été utilisés dans le projet Aéro-Sols pour interpréter les résultats.

6.5. Définition du périmètre d'étude

Afin de définir le périmètre d'étude pour évaluer les retombées atmosphériques autour des aéroports de Liège et de Charleroi, les étapes suivantes ont été réalisées :

1. Etape 1 : Exploitation des couches de données relatives aux Plans d'Exposition au Bruit (PEB) liés à l'exploitation des deux aéroports wallons (données WalOnMap) ;
2. Etape 2 : Estimation du nombre de parcelles résidentielles dans les différentes zones ;
3. Etape 3 : Positionnement sur carte des stations de mesure du réseau de surveillance de la qualité de l'air de la SOWAER, géré par l'ISSeP, autour des aéroports de Liège et Charleroi afin de tenir compte du réseau existant pour compléter spatialement l'information disponible ;
4. Etape 4 : Elargissement des ellipses (zone de bruit C') dans le sens perpendiculaire à la piste pour augmenter le nombre de riverains dans la zone d'étude.

Ces différentes étapes sont détaillées à l'**Annexe 5**.

La carte du périmètre d'étude définitif pour l'aéroport de Liège et de Charleroi se trouve respectivement aux **Figures 11 et 12**.

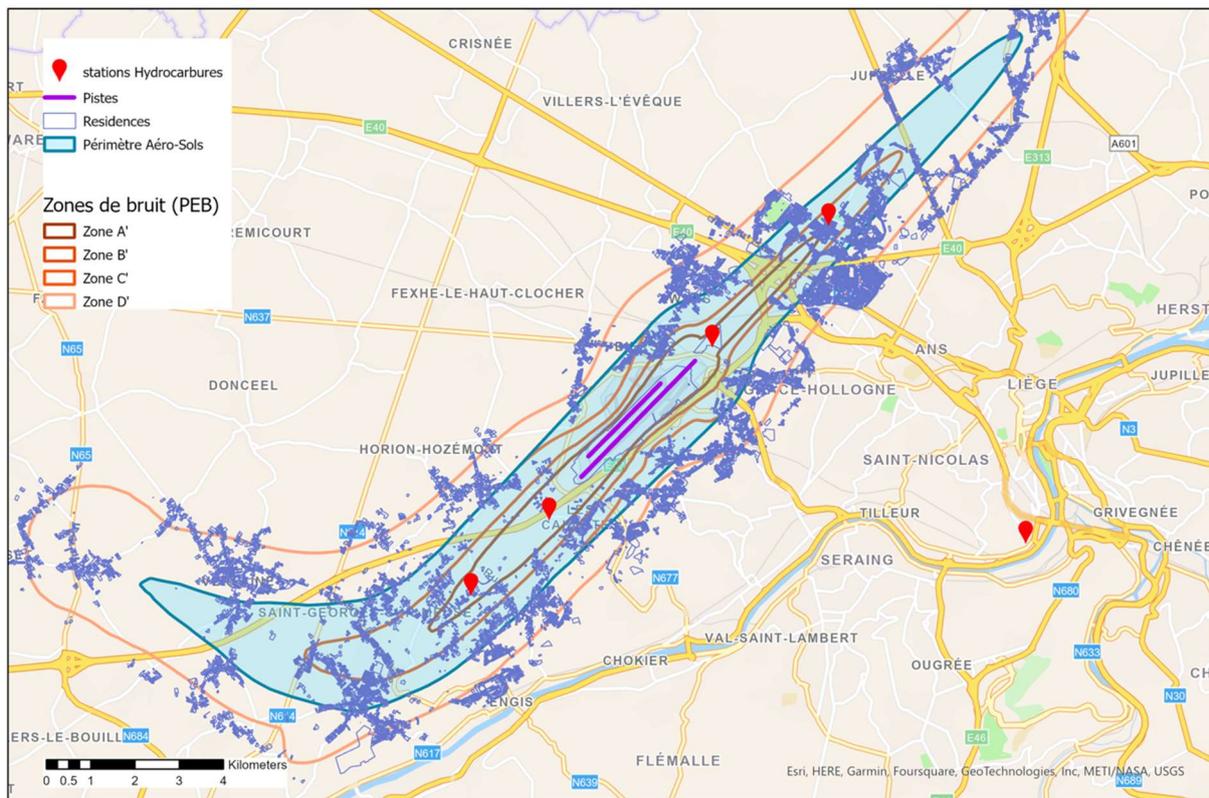


Figure 11. Périmètre d'étude défini dans le cadre du projet Aéro-Sols avec les parcelles résidentielles pour l'aéroport de Liège (épingles rouges : stations de mesure du réseau de surveillance qualité de l'air de l'ISSEP).

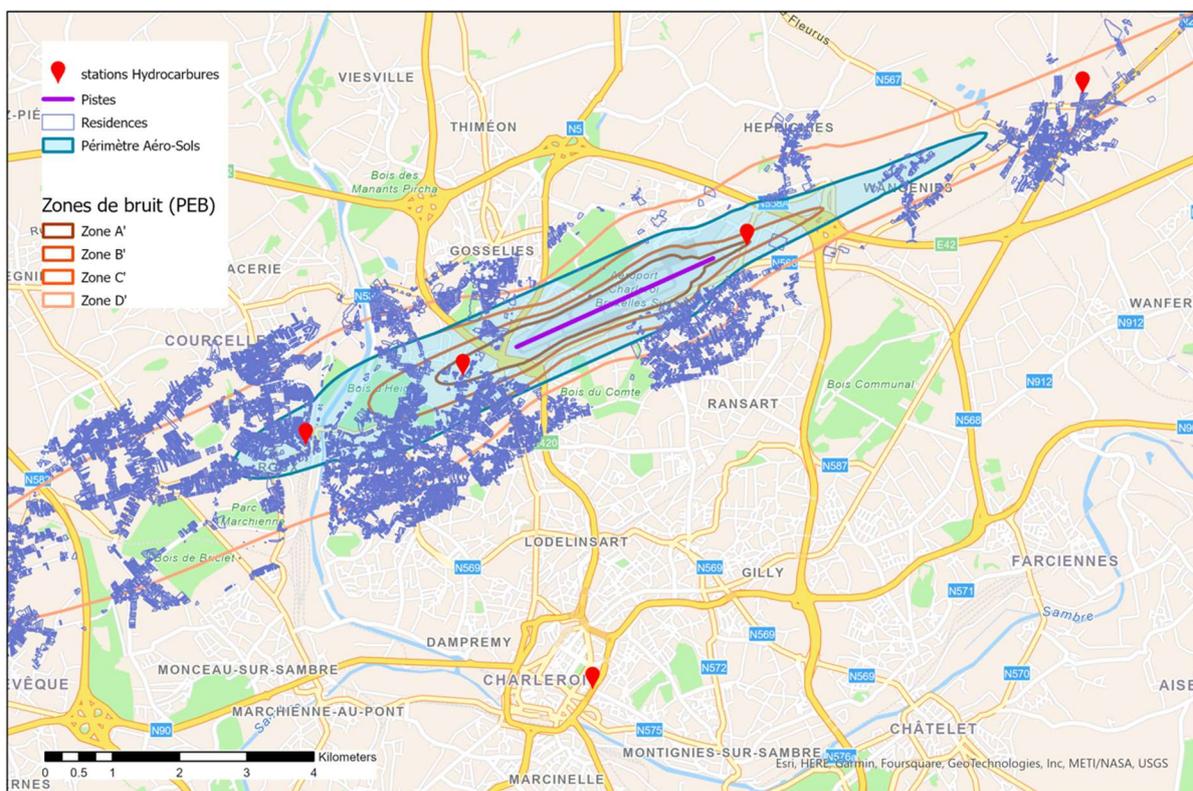


Figure 12. Périmètre d'étude défini dans le cadre du projet Aéro-Sols avec les parcelles résidentielles pour l'aéroport de Charleroi (épingles rouges : stations de mesure du réseau de surveillance qualité de l'air de l'ISSEP).

Le périmètre d'étude a été validé par le COMAC lors de la réunion du 19/04/2023.

6.6. Sélection des points d'échantillonnage (riverains et témoins)

La sélection définitive des 6 participants par aéroport s'est déroulée en plusieurs étapes qui sont détaillées à l'**Annexe 6**.

L'étape de pré-sélection des volontaires s'est déroulée en plusieurs phases. Tout d'abord, les coordonnées géographiques, anonymisées, des 116 riverains volontaires ont été placées sur une carte. Ensuite, une présélection a été menée selon différents critères de localisation des jardins (plat, dégagé, superficie minimale de 10 m sur 10 m, pas d'obstacle, accessible depuis la rue). D'autres critères ont également été pris en compte dans la sélection : répartition théorique des stations définies en début de projet (amont et aval de la piste et dans le sens perpendiculaire), distance suffisante par rapport aux autoroutes, aux stations de mesure existantes, entre les stations sélectionnées. Une attention particulière a été portée sur la densité de volontaires (pour mieux répondre à la demande des riverains) tout en gardant à l'esprit une répartition homogène dans la zone d'étude.

Des visites des lieux ont été réalisées afin de vérifier les différents critères de sélection et de fixer ainsi le choix définitif des participants.

Les stations de référence ont été positionnées dans un environnement urbain hors domaine d'influence théorique des aéroports.

Il n'y a pas besoin, dans le cadre de ce projet, d'avoir une référence en milieu rural. En effet, des données de référence dans ce type de milieu existent dans les bases de données propres à la biosurveillance. De plus, plusieurs stations de référence des retombées en métaux en zone rurale font partie du réseau de surveillance de la qualité de l'air de l'ISSEP et pourront être utilisées comme « référence rurale ».

Les stations de référence ont été installées à l'ISSEP et à la station d'épuration d'IGRETEC de Montignies-sur-Sambre pour les aéroports de Liège et de Charleroi, respectivement. Ces stations sont dénommées dans la suite du rapport : **Témoin Liège** et **Témoin Charleroi**.

La sélection finale des points d'échantillonnage (stations chez les particuliers et stations témoins) a été validée par le COMAC le 14 juin 2023 (**Figures 13a** et **b**, pour les aéroports de Liège et Charleroi, respectivement).

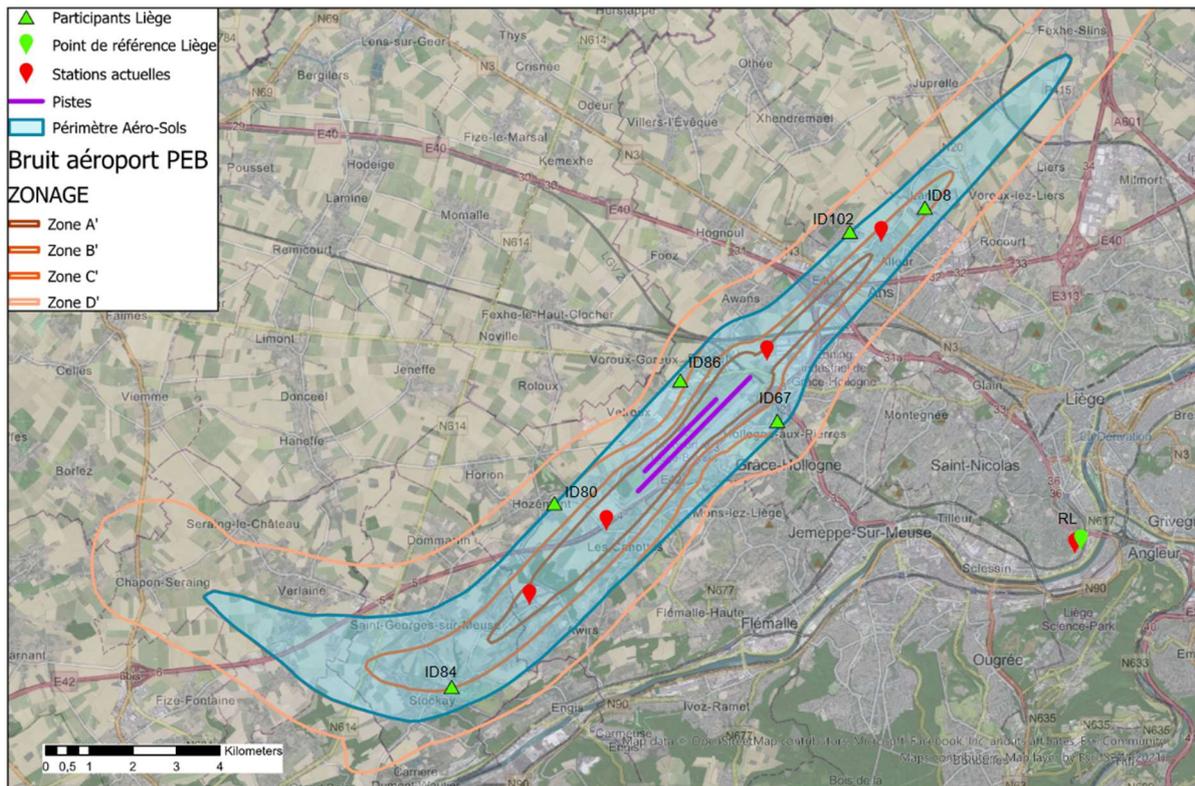


Figure 13a. Sélection finale des participants pour l'aéroport de Liège (triangles verts).

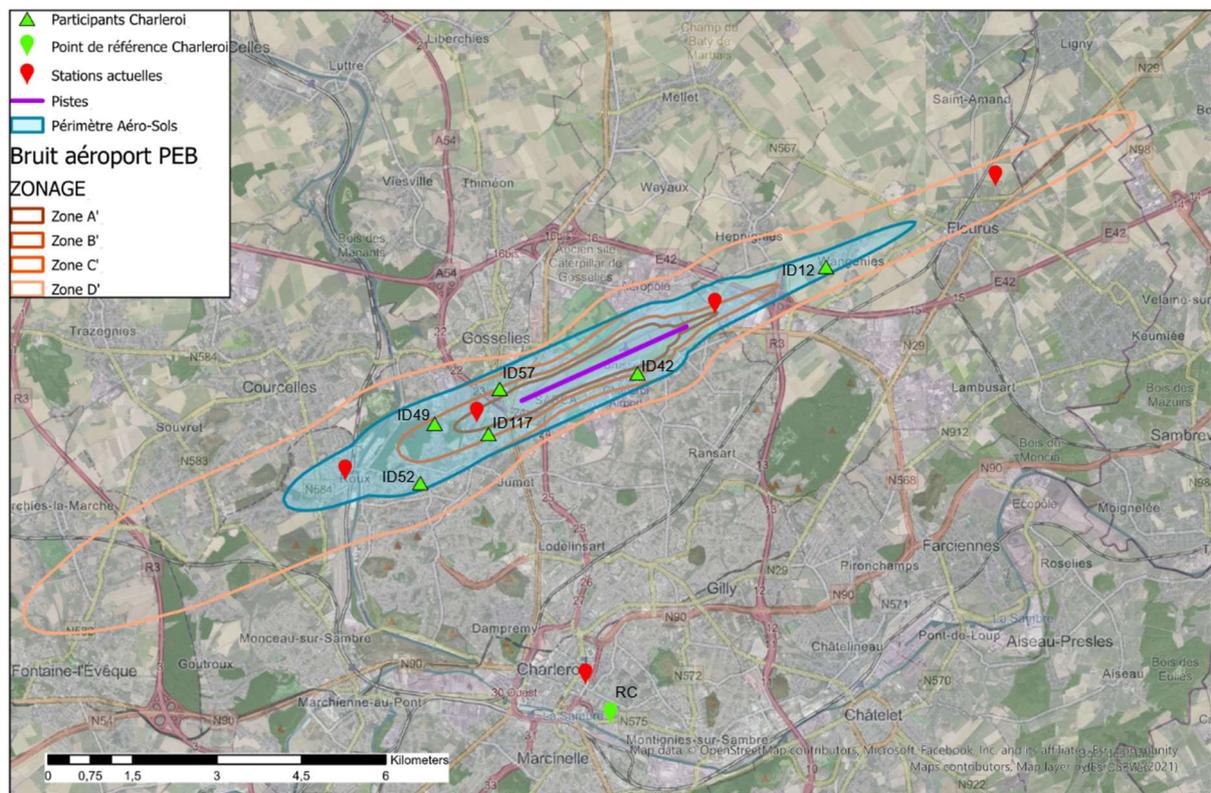


Figure 13b. Sélection finale des participants pour l'aéroport de Charleroi (triangles verts).

6.7. Démarrage des prélèvements

L'installation des stations a été réalisée en 3 phases : la mise en place des supports des jauges, le placement des jauges et enfin l'installation des stations de biosurveillance en même temps que la formation des riverains (**Tableau 2**).

Tableau 2. Programme d'installation des stations de mesure.

Dates	Liège	Charleroi
16/06/2023		Support des jauges
22/06/2023		Jauges
23/06/2023	Supports des jauges	
27/06/2023	Biosurveillance	
28/06/2023		Biosurveillance
29/06/2023	Jauges	

Les participants ont reçu une formation le jour de l'installation des stations de biosurveillance (un rendez-vous à une date ultérieure fut convenu avec les participants absents). Lors de cette formation, les participants ont pu assister à l'installation de la station de biosurveillance et ont appris comment contrôler le niveau d'eau et comment remplir le réservoir. À cette fin, un bidon rempli d'eau de ville a été remis à chaque participant.

Les participants ont reçu une feuille de route à compléter durant l'année d'étude (**Annexe 7**). Ce document leur a permis de préciser les événements des alentours pouvant potentiellement interférer avec les mesures comme par exemple les activités provoquant de la fumée ou de la poussière ou encore le débordement ou la chute d'une jauge.

Le jour de cette entrevue, un consentement a été signé en 2 exemplaires par le participant et par l'ISSEP (**Annexe 8**). Le consentement était précédé d'une lettre d'information ainsi que d'un rappel sur le RGPD. Ce consentement a pour but de présenter les droits et devoirs du participant. Le Data Protection Officer (DPO) de l'ISSEP a validé le consentement avant sa présentation au COMAC le 14 juin 2023.

Pour garantir la confidentialité des données, toutes les données collectées lors du projet ont été rendues anonymes à l'aide d'un code unique constitué de chiffres et de lettres. Seuls les responsables du projet ont connaissance et accès aux informations d'identification, indispensables pour assurer la restitution des résultats.

6.8. Programme d'échantillonnage

La période d'échantillonnage a duré 1 an pour les jauges. Elles ont été relevées tous les 28 ± 2 jours. Il y a donc eu 13 prélèvements par jauge. Le programme de relève des jauges est repris au **Tableau 3**.

Tableau 3. Programme d'installation et de relève des jauges pour les aéroports de Liège et de Charleroi.

	Liège	Charleroi
Installation des supports des jauges	vendredi 23 juin 2023	vendredi 16 juin 2023
Installation des jauges	jeudi 29 juin 2023	jeudi 22 juin 2023
Relève 1	jeudi 27 juillet 2023	jeudi 20 juillet 2023
Relève 2	jeudi 24 août 2023	jeudi 17 août 2023
Relève 3	jeudi 21 septembre 2023	jeudi 14 septembre 2023
Relève 4	mercredi 18 octobre 2023	jeudi 12 octobre 2023
Relève 5	jeudi 16 novembre 2023	jeudi 9 novembre 2023
Relève 6	jeudi 14 décembre 2023	jeudi 7 décembre 2023
Relève 7	jeudi 11 janvier 2024	jeudi 4 janvier 2024
Relève 8	jeudi 8 février 2024	jeudi 1 février 2024
Relève 9	jeudi 7 mars 2024	jeudi 29 février 2024
Relève 10	jeudi 4 avril 2024	jeudi 28 mars 2024
Relève 11	jeudi 2 mai 2024	jeudi 25 avril 2024
Relève 12	jeudi 30 mai 2024	mardi 23 avril 2024
Relève 13	jeudi 27 juin 2024	jeudi 20 juin 2024

Le **Tableau 4** ci-dessous reprend les dates d'installation des stations de biosurveillance, à Charleroi et à Liège, ainsi que les dates de collecte et conditionnement du ray-grass pour l'envoi au laboratoire. La date de réception des échantillons par le laboratoire est également reprise.

Tableau 4. Dates d'installation, de collecte et de réception des échantillons de biosurveillance pour toutes les stations de mesure de Charleroi et de Liège.

Dates	Charleroi	Liège
Première campagne		
Installation de la station de biosurveillance	28-06-23	27-06-23
Récolte du ray-grass (échantillonnage)	26-07-23	27-07-23
Réception des échantillons par le laboratoire	31-07-23	31-07-23
Deuxième campagne		
Installation de la station de biosurveillance	13-09-23	12-09-23
Récolte du ray-grass (échantillonnage)	11-10-23	10-10-23
Réception des échantillons par le laboratoire	12-10-23	12-10-23

7. Déroulement des prélèvements et analyses

7.1. Jauges

En ce qui concerne le respect du programme des prélèvements, la majorité des **prélèvements** se sont effectués sans retard selon les dates reprises au **Tableau 3**. Certaines jauges ont cependant été relevées avec quelques jours de décalage suite à des problèmes d'accès (**Tableau 5**).

Tableau 5. Décalage de relève de certaines jauges suite à des raisons d'accessibilité.

Station	Aéroport	n° de relève	date de relève définitive	Raisons
ID57	Charleroi	7	09/01 au lieu du 04/01	Cadenas changé
ID49	Charleroi	8	6/02 au lieu du 1/02	Grille d'accès fermée
ID102	Liège	9	15/03 au lieu du 07/03	Jardin inaccessible
ID12	Charleroi	10	03/04 au lieu du 28/03	Route barrée à cause de travaux

Il n'y a eu aucun débordement des jauges pendant la période d'échantillonnage, ni à Liège, ni à Charleroi.

Toutes les feuilles de route ont été réceptionnées pour Liège. A l'exception d'un feu de branchages dans le jardin de l'ID80 le 15 ou 16/03/2024, aucune activité émettrice de fumée ou de poussières n'a été signalée pendant la période de prélèvement. Pour la zone de Charleroi, sur l'ensemble des points d'échantillonnage, seulement 3 réponses ont été communiquées à l'ISSEP. Ainsi, rien n'a été signalé au niveau de l'ID49, ID52 et ID117.

Une fois récoltés, les échantillons ont été apportés aux laboratoires de l'ISSEP pour les **analyses** des jauges. Les méthodes de prélèvement et d'analyse sont présentées à l'**Annexe 9**.

Les laboratoires ont fourni les résultats des analyses au fur et à mesure pour les différentes périodes de mesure. Les **Tableaux 6 a et b** présentent la correspondance entre des périodes de prélèvement pour les aéroports de Liège et Charleroi, respectivement.

Tableau 6a. Correspondance entre les périodes de prélèvement pour l'aéroport de Liège.

Périodes	Début prélèvement	Fin prélèvement
Période 1	29/06/2023	27/07/2023
Période 2	27/07/2023	24/08/2023
Période 3	24/08/2023	21/09/2023
Période 4	21/09/2023	19/10/2023
Période 5	19/10/2023	16/11/2023
Période 6	16/11/2023	14/12/2023
Période 7	14/12/2023	11/01/2024
Période 8	11/01/2024	08/02/2024
Période 9	08/02/2024	07/03/2024
Période 10	07/03/2024	04/04/2024
Période 11	04/04/2024	02/05/2024
Période 12	02/05/2024	30/05/2024
Période 13	30/05/2024	27/06/2024

Tableau 6b. Correspondance entre les périodes de prélèvement pour l'aéroport de Charleroi.

Périodes	Début prélèvement	Fin prélèvement
Période 1	22/06/2023	20/07/2023
Période 2	20/07/2023	17/08/2023
Période 3	17/08/2023	14/09/2023
Période 4	14/09/2023	12/10/2023
Période 5	12/10/2023	09/11/2023
Période 6	09/11/2023	07/12/2023
Période 7	07/12/2023	04/01/2024
Période 8	04/01/2024	01/02/2024
Période 9	01/02/2024	29/02/2024
Période 10	29/02/2024	28/03/2024
Période 11	28/03/2024	25/04/2024
Période 12	25/04/2024	24/04/2024
Période 13	24/04/2024	20/06/2024

Quelques prélèvements n'ont pas eu lieu à la station de référence de Liège. En effet, la jauge OWEN pour la mesure des métaux a été installée seulement à partir du 27/07/2023. Il n'y a donc pas de résultat pour les métaux pour la première période. De plus, il n'y a pas eu d'analyse de HAP à cette station pour les 2 premières périodes.

Il manque également les résultats des métaux pour la station ID84 à Liège, pour la période 3, et les résultats des hydrocarbures pour la station ID49 à Charleroi lors de la période 6, car les bouteilles des jauges se sont cassées. Lors de la 8^{ème} période de prélèvement à la station ID12, l'entonnoir s'est envolé et il n'y a donc pas de résultat disponible pour cette période.

Lors du traitement des échantillons après le prélèvement, les jauges ont été pesées afin de connaître le volume de l'échantillon ce qui a permis ensuite de faire la conversion des unités des ng/L aux ng/m².j. Il y a eu un oubli d'enregistrement des pesées pour tous les échantillons de la 2^{ème} période à Liège.

Enfin, il y a une contamination avérée d'un échantillon (ID8) et une suspicion de contamination de 2 échantillons (ID84 et ID86) prélevés le 8/02/2024 lors de la période 8 à Liège. Le problème viendrait de la verrerie qui aurait été mal lavée. Il a été décidé de ne pas prendre en compte ces valeurs et de considérer que tout est < LOQ (**Tableau 7**).

Tableau 7. Résultats des analyses pour les hydrocarbures C10-C40 avec suspicion de contamination. LOQ = 0.1 mg/L.

Dates de prélèvement	Stations	Résultats analyses C10-C40 (mg/l)	Valeurs prises en compte
08-02-24	ID8	1.5	< LOQ
08-02-24	ID67	< LOQ	< LOQ
08-02-24	ID80	< LOQ	< LOQ
08-02-24	ID84	0.1	< LOQ
08-02-24	ID86	0.1	< LOQ
08-02-24	ID102	< LOQ	< LOQ
08-02-24	Témoin Liège	< LOQ	< LOQ

7.2. Biosurveillance

Les durées d'exposition des stations de biosurveillance ont donc été de 28 +/- 2 jours, conformément à la norme NF X43-901.

Les échantillons ont été transportés vers le laboratoire d'analyses *Micropolluants Technologie* (France) en glacière, respectant toutes les conditions de la norme. Les températures de réception des échantillons étaient conformes pour chaque lot.

La correspondance entre l'identification interne des échantillons et celle du laboratoire est reprise dans le **Tableau 8** ci-dessous.

Tableau 8. Correspondance entre les codes des échantillons donnés par Eco-Impact et par le laboratoire.

	1ère campagne	2ème campagne
Code Eco-Impact	Code Laboratoire	Code Laboratoire
ID 08	M7SG001	M7SJ001
ID 12	M7SG002	M7SJ002
ID 42	M7SG003	M7SJ003
ID 49	M7SG004	M7SJ004
ID 52	M7SG005	M7SJ005
ID 57	M7SG006	M7SJ006
ID 67	M7SG007	M7SJ007
ID 80	M7SG008	M7SJ008
ID 84	M7SG009	M7SJ009
ID 86	M7SG010	M7SJ010
ID 102	M7SG011	M7SJ011
ID 117	M7SG012	M7SJ012
IGRETEC (témoin Charleroi)	M7SG013	M7SJ013
ISSEP (témoin Liège)	M7SG014	M7SJ014
Témoin Serre	M7SG015	M7SJ015

L'**Annexe 9** présente en détail la méthodologie de préparation d'échantillon et d'analyse suivie par le laboratoire.

8. Conditions météorologiques des périodes de mesure

8.1. Jauges

Les conditions de dispersion des polluants peuvent être très variables en fonction des conditions météorologiques (vitesse et direction des vents, somme des précipitations...). Ces conditions peuvent influencer le niveau d'intensité des retombées atmosphériques. De plus, des épisodes de chaleur importante influencent l'évaporation du contenu des jauges.

C'est notamment pour ces raisons que la période d'échantillonnage des jauges a duré 1 an afin de diminuer l'incertitude sur les résultats notamment par rapport aux conditions météorologiques fluctuantes sur l'année.

Les résultats de l'étude ont ainsi été examinés conjointement aux données météorologiques.

Les bases de données du NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), de WallonAir et de l'IRM (Institut Royal Météorologique de Belgique) ont été consultées afin de récupérer les données

correspondant à la période de prélèvement du projet Aéro-Sols (de juin 2023 à juin 2024). Les données utilisées ont été mesurées par des stations météorologiques situées dans l’enceinte des aéroports de Charleroi et de Liège.

8.1.1. Evolution des paramètres météorologiques à l’aéroport de Charleroi

Durant l’année d’étude, les températures à **Charleroi** ont oscillé entre -8°C et 31°C avec une moyenne de 11,3°C (**Tableau 9** et **Figure 14**).

Tableau 9. Température – Charleroi – 3 valeurs par heure (22/06/2023 au 20/06/2024).

Site	Nombre de valeurs	Moyenne (°C)	Médiane (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
Charleroi	25505	11,28	11,00	-8,00	31,00

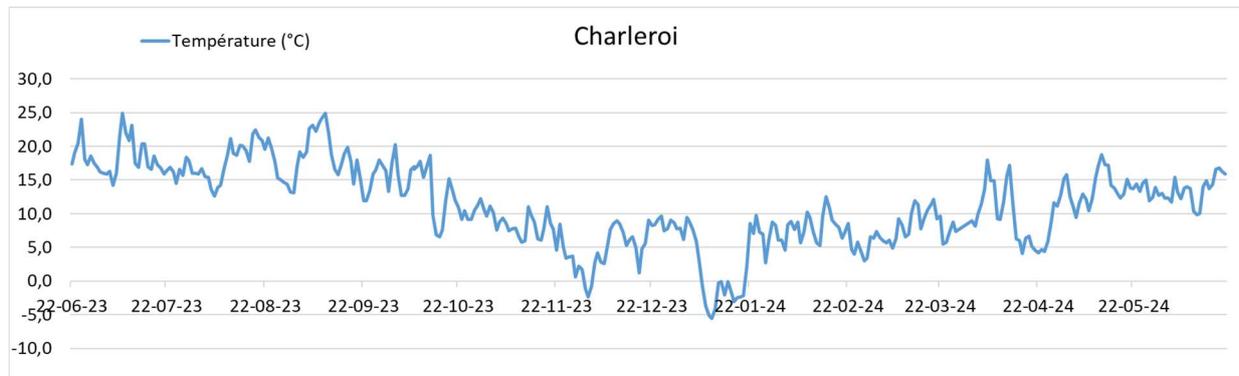


Figure 14. Température – Charleroi (du 22/06/2023 au 20/06/2024, une valeur par 20 minutes).

Les **Figures 15** et **16** montrent l’évolution de la pression atmosphérique et des précipitations, respectivement, au cours du projet, à Charleroi.

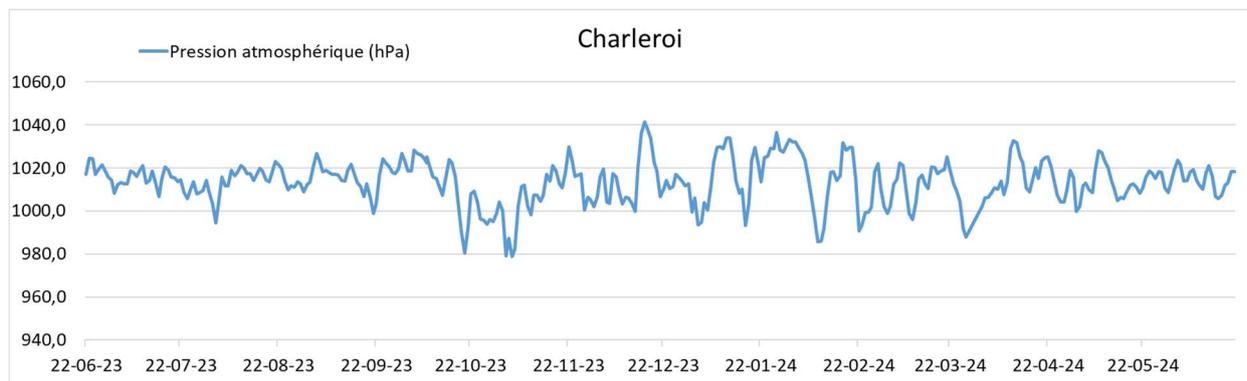


Figure 15. Pression atmosphérique – Charleroi (du 22/06/2023 au 20/06/2024, 3 valeurs par heure).

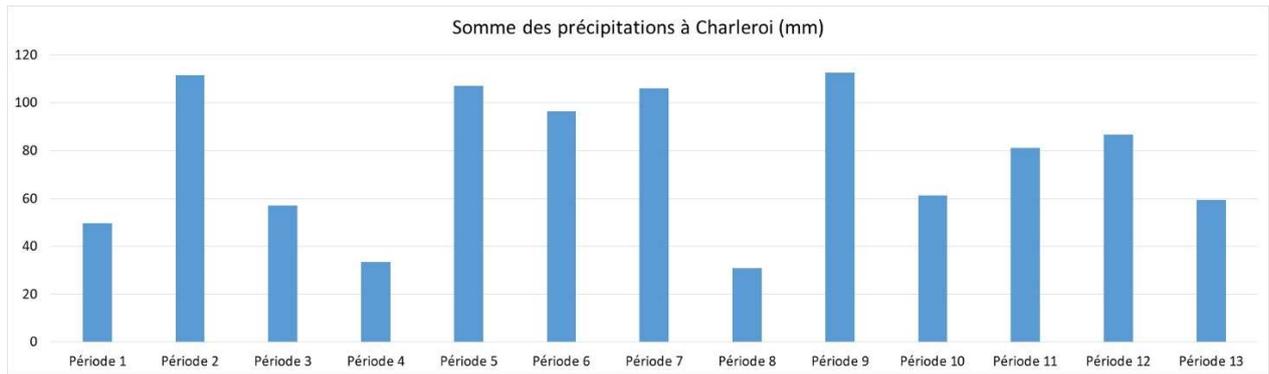


Figure 16. Somme des précipitations (mm) par période – Lodelinsart (du 22/06/2023 au 20/06/2024, 1 valeur par jour).

La **Figure 17** montre la vitesse et la direction des vents à Charleroi sur la période d'étude.

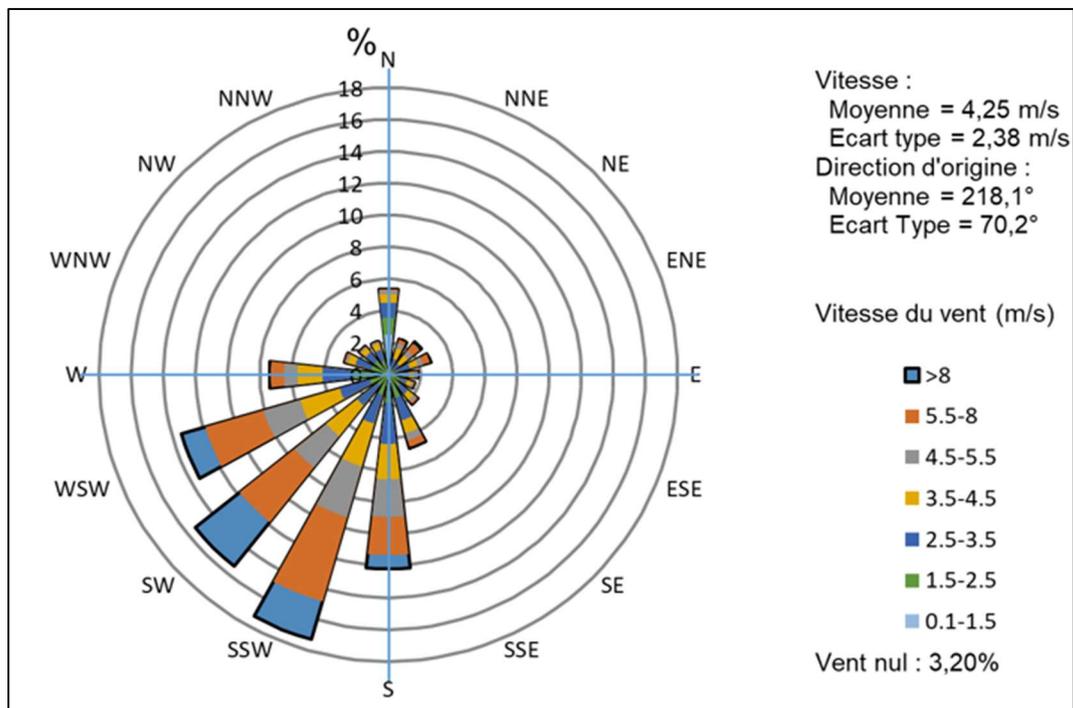


Figure 17. Vitesse et direction du vent – Charleroi (du 22/06/2023 au 20/06/2024).

On observe que, durant l'année de mesure, les vents ont soufflé principalement du secteur sud-ouest, qui correspond à la direction des vents dominants en Belgique.

8.1.2. Evolution des paramètres météorologiques à l'aéroport de Liège

Durant l'année d'étude, les températures à Liège ont oscillé entre -8,2°C et 31,9°C avec une moyenne de 11,8°C (**Tableau 10** et **Figure 18**), ce qui est très semblable aux températures mesurées à Charleroi.

Tableau 10. Température – Liège – 3 valeurs par heure (27/06/2023 au 27/06/2024).

Site	Nombre de valeurs	Moyenne (°C)	Médiane (°C)	Minimum (°C)	Maximum (°C)
Liège	25641	11,76	11,90	-8,20	31,90

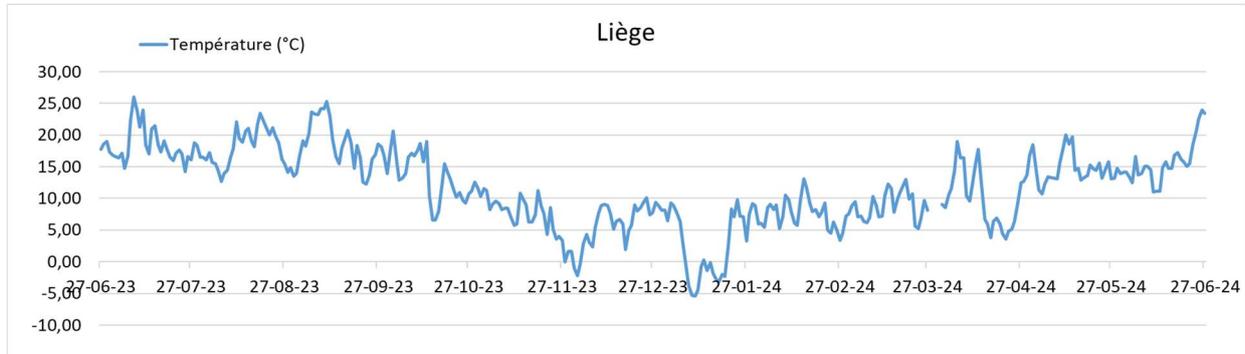


Figure 18. Température – Liège (27/06/2023 au 27/06/2024, une valeur par 20 minutes).

Les **Figures 19** et **20** montrent l'évolution de la pression atmosphérique et des précipitations, respectivement, au cours du projet, à Liège.

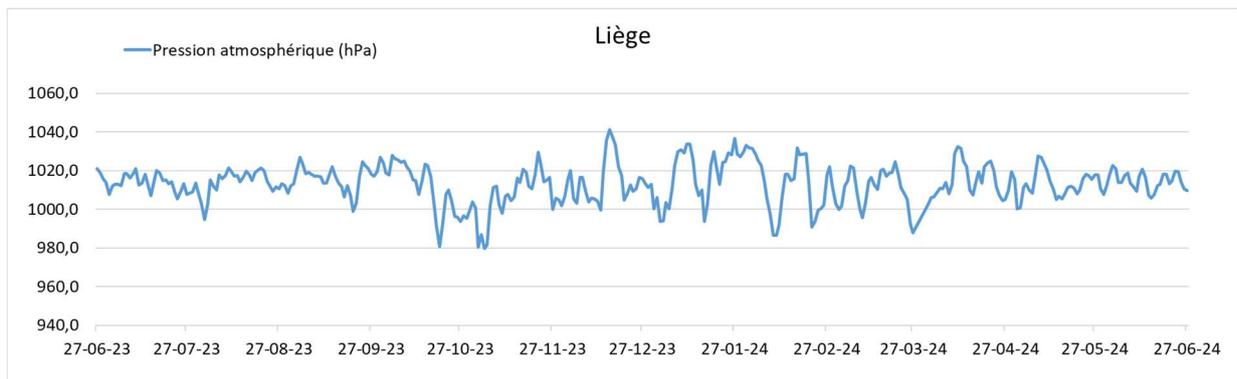


Figure 19. Pression atmosphérique – Liège (du 27/06/2023 au 27/06/2024, une valeur par 20 minutes).

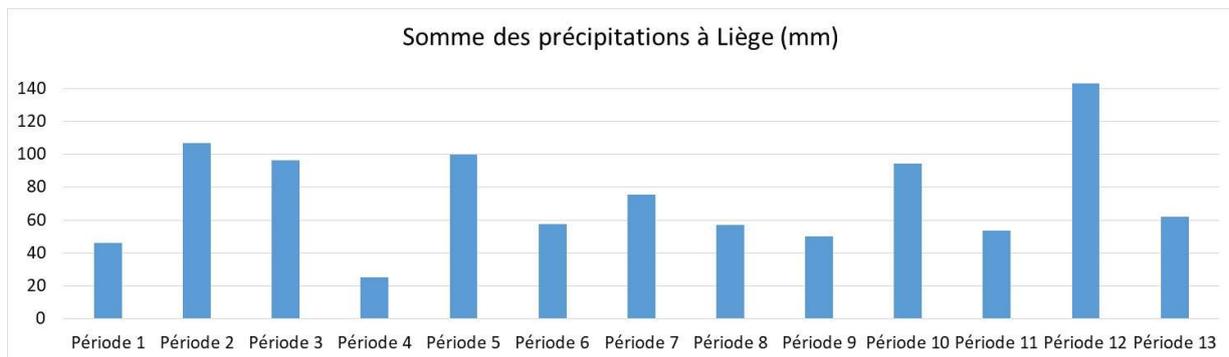


Figure 20. Somme des précipitations (mm) par période – Saint-Nicolas (du 27/06/2023 au 27/06/2024).

La **Figure 21** montre la vitesse et la direction des vents à Liège sur la période d'étude.

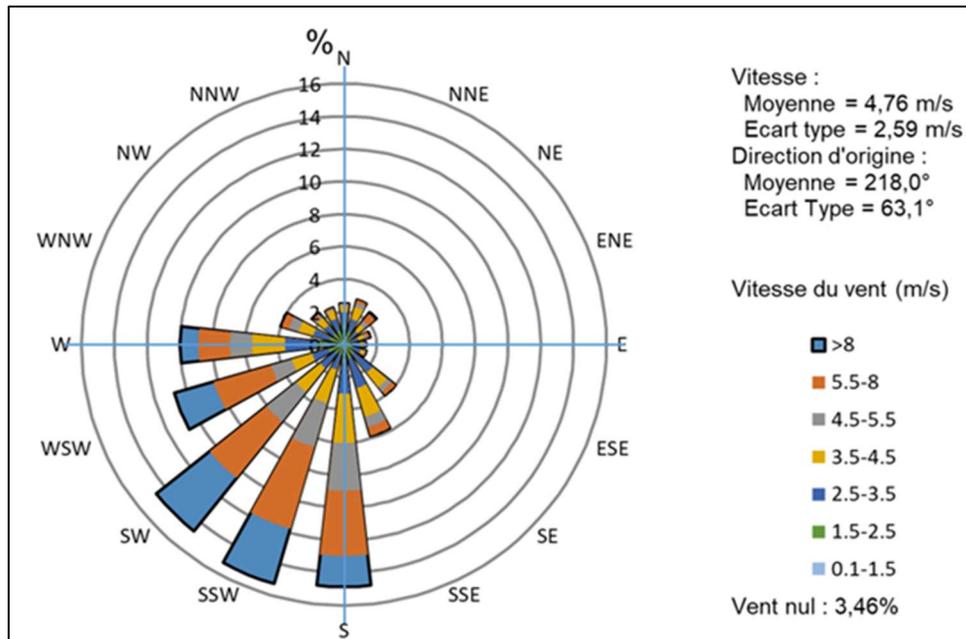


Figure 21. Vitesse et direction du vent – Liège (du 27/06/2023 au 27/06/2024).

Sur base de ces figures, durant l’année de mesure, les vents ont soufflé principalement du secteur sud-ouest (**Figure 21**), qui correspond à la direction des vents dominants en Belgique.

8.2. Biosurveillance

Les données météorologiques des stations des aéroports de Charleroi et de Liège ont été utilisées pour décrire les conditions atmosphériques des périodes d’étude. Nous nous intéressons particulièrement à la vitesse et à la direction du vent, ainsi qu’à la pluviométrie. Ces paramètres sont déterminants quant à la dispersion des polluants dans l’air.

Des roses des vents sont présentées aux **Figures 22a, b, c et d**, une par campagne de mesure et par aéroport.

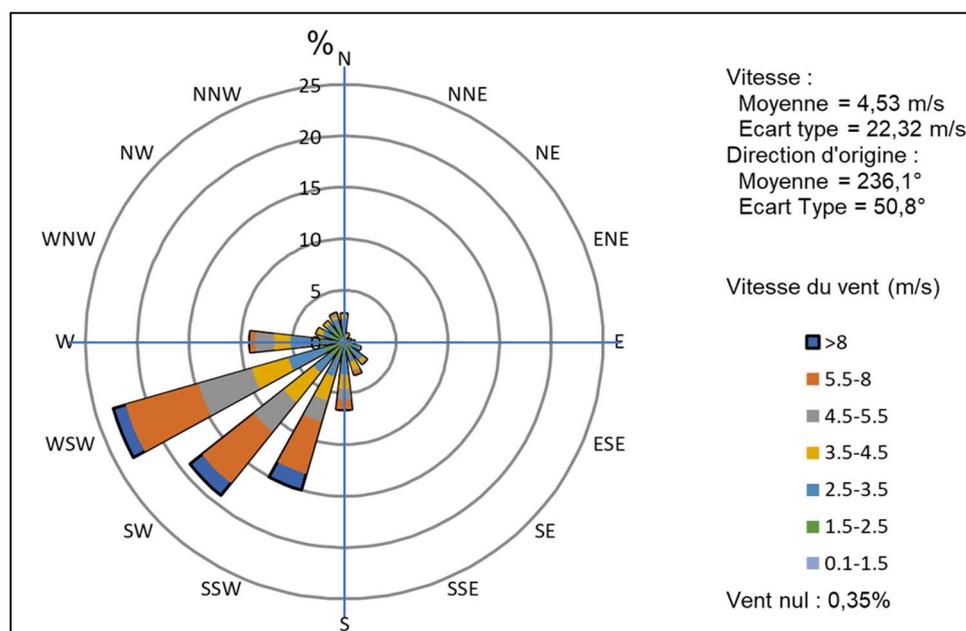


Figure 22a. Rose des vents lors de la 1ère campagne de mesure par biosurveillance à Charleroi, du 28/06/23 au 26/07/23.

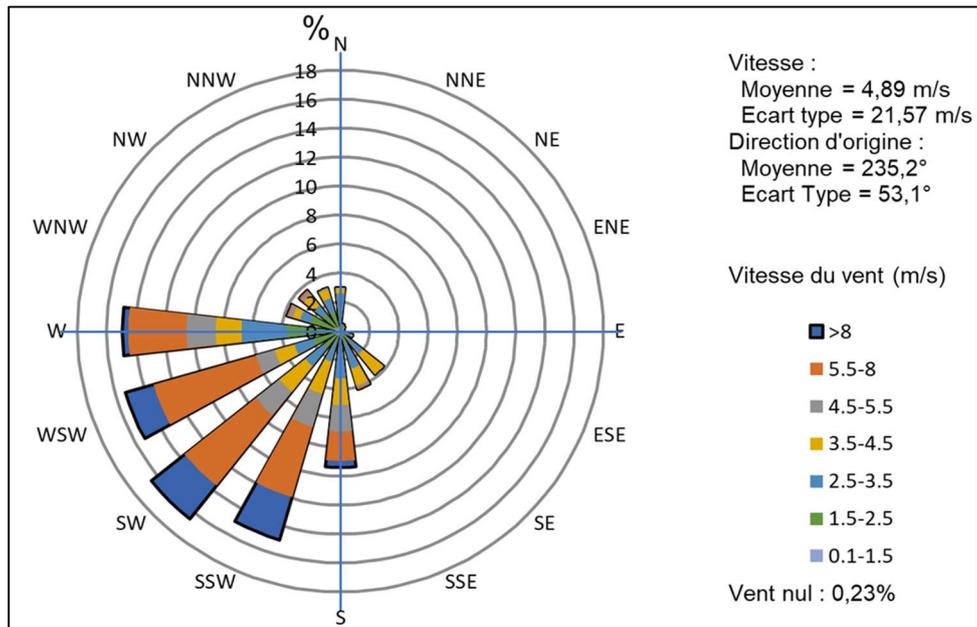


Figure 22b. Rose des vents lors de la 1ère campagne de mesure par biosurveillance à Liège, du 27/06/23 au 27/07/23.

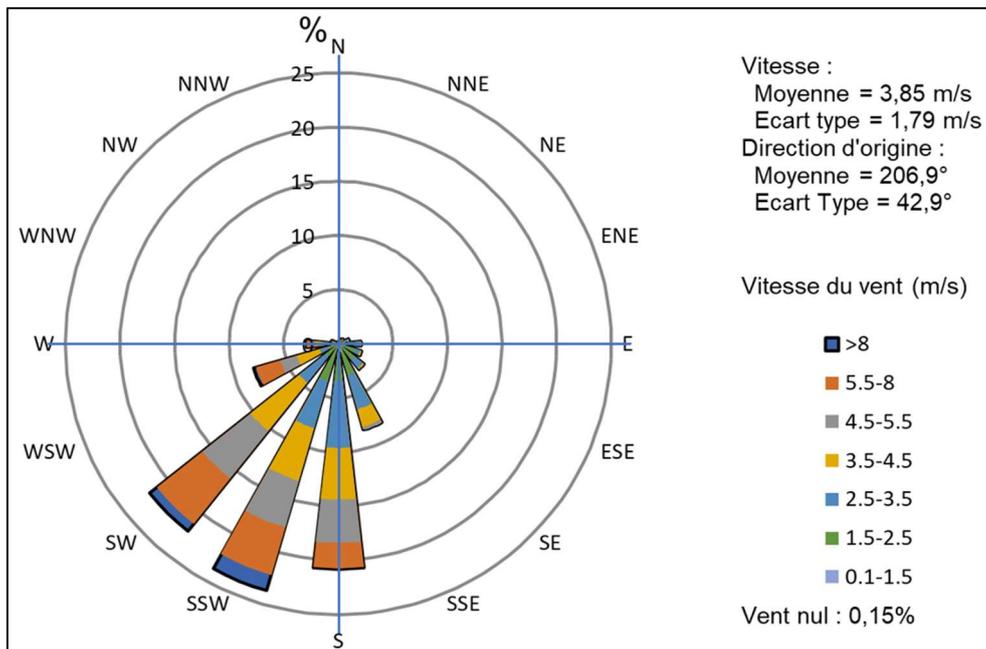


Figure 22c. Rose des vents lors de la 2ème campagne de mesure par biosurveillance à Charleroi, du 13/09/23 au 11/10/23.

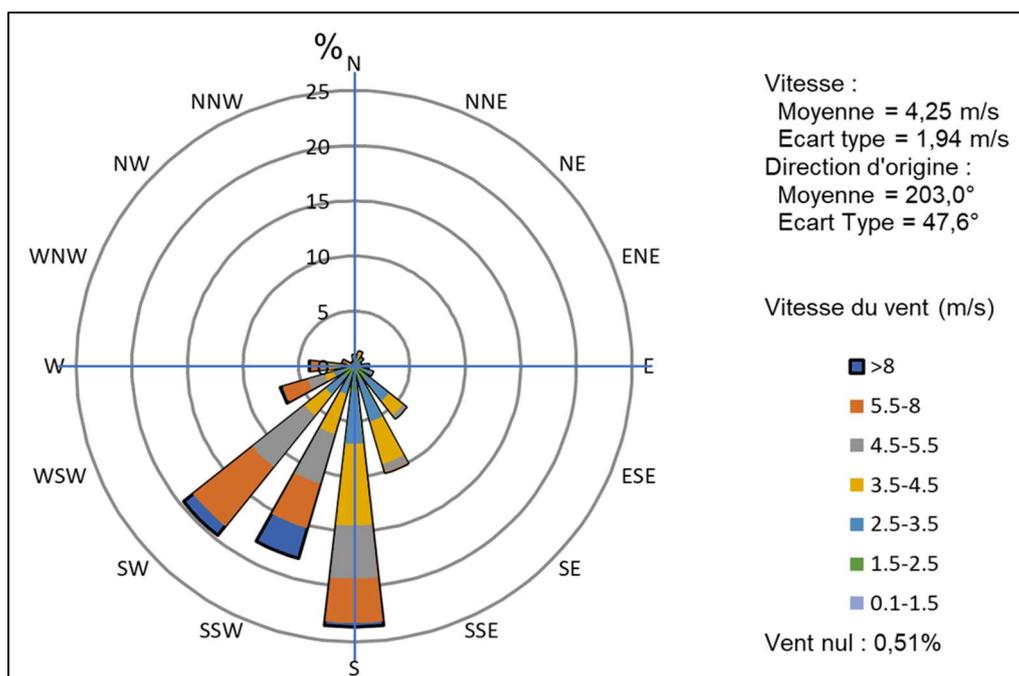


Figure 22d. Rose des vents lors de la 2ème campagne de mesure par biosurveillance à Liège, du 12/09/23 au 10/10/23.

La direction des vents pendant les périodes d'exposition des stations de biosurveillance peut être comparées aux statistiques climatiques des communes belges, établies par l'Institut Royal Météorologique (IRM) pour la période de référence 1991-2020. Le **Tableau 11** présente cette comparaison pour les 3 secteurs de vent dominant, à savoir sud-sud-ouest (SSW), sud-ouest (SW) et ouest-sud-ouest (WSW).

Tableau 11. Fréquences d'occurrence des vents selon les 3 directions des vents dominants dans les régions de Charleroi et Liège.

Fréquences (%)	Charleroi			Liège		
	SSW	SW	WSW	SSW	SW	WSW
Normale climatique (IRM)	14,7	12,5	12,4	12,8	11,5	10,7
1ère campagne	15	19,1	23,3	15	16,6	15,3
2ème campagne	23,7	22,1	8,1	18,2	19,6	6,9

La pluviométrie des périodes d'exposition des stations de biosurveillance est comparée ci-dessous aux normales climatiques pour les 2 aéroports (**Tableau 12**).

Tableau 12. Comparaison des sommes de précipitations des campagnes de biosurveillance avec les normales mensuelles dans les régions de Charleroi et Liège.

Somme des précipitations (mm)	Normale climatique mensuelle pour Charleroi (IRM)	Notre étude – Charleroi	Normale climatique mensuelle pour Liège (IRM)	Notre étude – Liège
1ère campagne	75,6	96,8	78,9	65,9
2ème campagne	65,2	78	67,4	61,93

Les bilans climatologiques, établis par l'IRM, se résument ainsi pour les périodes de cette étude :

Le mois de **juillet 2023** a été plus humide que la normale, battant des records du nombre de jours de précipitations, et de quantités de précipitations tombée lors de la dernière décade (21-31 juillet). Les précipitations les plus importantes sont tombées dans le Borinage (environ 165 % de la normale).

Le mois de **septembre 2023** a été le plus chaud enregistré depuis le début des relevés de l'IRM (1892). Pour les précipitations, le mois de septembre a été proche de la normale.

La première décade du mois d'**octobre 2023** a non seulement été très chaude mais aussi très sèche.

9. Conditions d'exploitation des aéroports pendant les périodes de mesure

Les paramètres les plus pertinents pouvant servir de variables explicatives de différences dans les résultats, du point de vue de l'exploitation des aéroports, sont le nombre de vol (nombre de mouvement d'avions) et le sens d'utilisation de la piste.

Ces données sont présentées ci-dessous, par période d'échantillonnage des jauges, tout au long de l'étude pour chacun des aéroports.

Les 1^{ères} et 2^{èmes} campagnes de mesure par biosurveillance correspondent à peu près aux périodes 1 et 4 de mesure par les jauges.

Comme le chapitre précédent l'a montré, les vents dominants proviennent globalement du Sud-Ouest en Belgique. Les avions décollent, comme les oiseaux, face au vent et utilisent donc majoritairement la piste vers le Sud-Ouest, l'autre sens (Nord-Est) étant toujours minoritaire.

La moyenne annuelle publiée pour l'année 2023 (ACNAW, 2023) est de 20,5 % d'utilisation de la piste dans la direction minoritaire pour Charleroi et de 28,3% pour Liège.

A Charleroi, cette proportion d'utilisation de la piste vers le Nord-Est a fluctué, au fil des périodes de l'étude, de 0 % (période 7, du 07/12/2023 au 04/01/2024) à 18 % (période 3, du 17/08/23 au 14/09/23). Pour l'ensemble de l'étude cette proportion était de 9 % (**Figure 23**).

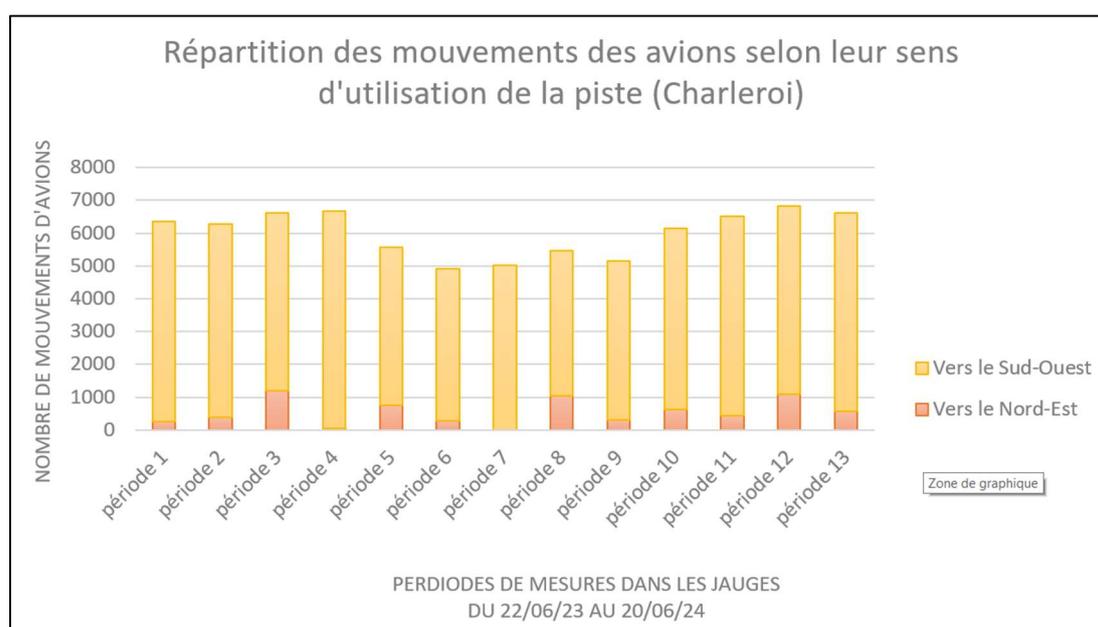


Figure 23. Répartition des mouvements d'avions selon leur sens d'utilisation de la piste à l'aéroport de Charleroi, pour toute la durée de l'étude.

A Liège, la proportion d'utilisation de la piste vers le Nord-Est a varié de 7 % (période 1, du 29/06/23 au 27/07/23, mais aussi périodes 4 et 5,) à 31 % (période 13, du 30/05/24 au 27/06/24) du nombre de mouvements d'avions au fil des périodes de l'étude. En moyenne, ce sens minoritaire d'utilisation de la piste a été utilisé 16 % du temps pendant l'étude (**Figure 24**).

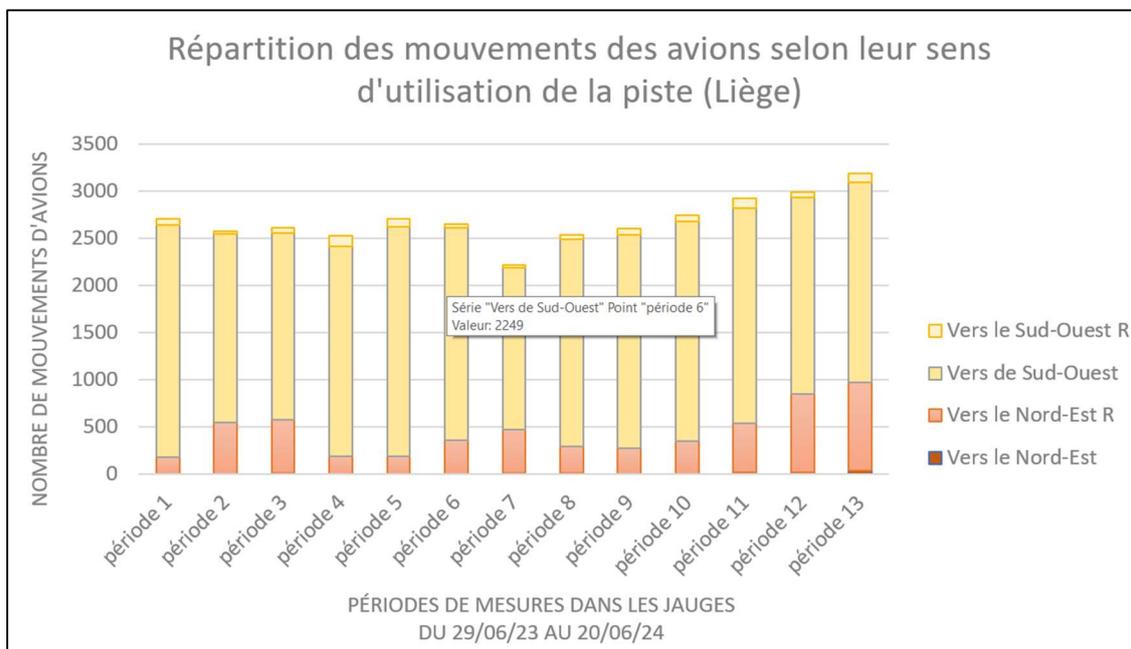


Figure 24. Répartition des mouvements d'avions selon leur sens d'utilisation de la piste à l'aéroport de Liège, pour toute la durée de l'étude. La mention R dans la légende, après l'indication de la direction Sud-Ouest ou Nord-Est précise que c'est la piste « right » (piste de droite) qui a été utilisée.

Ces conditions d'exploitations sont considérées comme normales pour les 2 aéroports étudiés.

10. Résultats

Les résultats de l'étude Aéro-Sols sont présentés dans ce chapitre par groupe de polluants (métaux, hydrocarbures factions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀, HAPs), pour les aéroports de Charleroi et de Liège. Les principes de présentation des résultats, et les bases de leur interprétation sont présentés au point 10.1.

Il est important de noter que l'échelle varie d'un graphe à l'autre, ce qui améliore la lisibilité des données mais oblige le lecteur à tenir compte des valeurs de l'axe des ordonnées lors de la comparaison visuelle des graphes des aéroports de Charleroi et de Liège.

10.1. Principes de présentation des résultats

10.1.1. Jauges

Les résultats des concentrations en polluants mesurées dans les échantillons prélevés dans les jardins via les jauges sont exprimés en quantité de polluant (µg et ng) par unité de surface (la surface de

l'entonnoir qui surplombait la jauge, exprimée en m^2) et par unité de temps (ici par jour). Les unités utilisées sont donc des $\mu g/m^2.j$ et $ng/m^2.j$, respectivement pour l'expression des résultats des jauges pour les métaux et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs). Ces résultats expriment donc bien la notion de dépôt atmosphérique.

Les résultats repris dans les tableaux suivants sont présentés pour chaque point de prélèvement sous forme de moyenne sur l'année et de médiane (valeur centrale du jeu de données⁵). Les concentrations minimales et maximales sont aussi mentionnées pour chacune des stations des 6 jardins autour de chaque aéroport pour les métaux.

Les résultats des stations dans les jardins des riverains sont comparés aux résultats des stations témoin de Charleroi et de Liège, stations urbaines décrites au point 6.6, exposées durant les mêmes périodes et de la même façon. Ils sont également comparés à des valeurs réglementaires quand elles existent ainsi qu'à une référence rurale et une urbaine, lorsque les données sont disponibles. L'origine de ces valeurs est détaillée pour chaque groupe de polluant.

Les résultats complets de chaque période de relèvement pour chaque point de prélèvement et pour chaque polluant sont repris aux **Annexes 10a, b et c** pour les hydrocarbures et **Annexe 11** pour les métaux.

10.1.2. Biosurveillance

Les résultats des analyses de métaux dans les graminées sont présentés ci-dessous, élément par élément. L'unité utilisée est une concentration dans les plantes, donc une quantité de polluant par quantité de plante, ici mg/kg . L'unité est suivie de la mention MS (matière sèche) car le résultat est exprimé en poids sec.

Les incertitudes analytiques sont estimées à 30% du résultat. Elles sont présentées sous forme de barres d'erreurs dans les graphes. Les comparaisons de concentrations réalisées ci-dessous tiennent compte de cette incertitude, c'est-à-dire qu'une concentration sera jugée significativement supérieure à celle du témoin si sa valeur moins 30 % est supérieure à celle du témoin + 30%.

Pour chaque élément, une **valeur repère rurale** est présentée dans les graphiques, sous la forme d'une ligne continue verte. Cette valeur repère correspond aux concentrations en polluants trouvées en tout lieu, résultant des apports diffus des activités humaines des décennies passées jusqu'à aujourd'hui et des apports naturels (présence dans les roches mères...).

Les valeurs repères rurales présentées ci-après sont des valeurs statistiques calculées chaque année par EVADIES (bureau d'étude membre d'Eco-Impact) à partir de sa base de données internes (mise à jour de septembre 2024). La méthodologie de calcul se rapporte à celle préconisée dans la norme XP X43-910 (AFNOR, 2020). La valeur présentée correspond à la valeur haute de la gamme des concentrations ubiquitaires (percentile 90) sur les 4 dernières années. Ces valeurs correspondent à une référence rurale.

Les résultats sont présentés pour les 6 points d'échantillonnages dans les jardins répartis autour de chaque aéroport, ainsi que pour un témoin local (**témoin Charleroi ou témoin Liège**), qui correspond dans les deux cas à une référence urbaine. Dans les graphes ci-dessous, ce témoin local est présenté dans une couleur plus foncée que les résultats dans les jardins, pour le différencier plus aisément.

Une dernière valeur est présentée dans les graphes : le **témoin de serre**. Il s'agit de graminées (ray-grass) cultivées en même temps et exactement de la même manière que celles qui ont été emmenées dans les lieux d'étude, mais qui est restée sous serre. Son étude permet de vérifier qu'il n'y a pas eu de contamination au stade de la culture (via le substrat par exemple). La particularité de ce témoin est

⁵ 50% des valeurs sont au-dessus de la valeur médiane et 50% en-dessous.

qu'il n'est pas exposé à l'extérieur. Il n'est donc pas lessivé par la pluie comme peuvent l'être les plantes exposées dans les jardins. Certaines concentrations faibles (de l'ordre de la valeur repère rurale) peuvent dès lors apparaître plus élevées dans le témoin de serre que dans les échantillons des jardins. Dans les graphes ci-dessous, ce témoin de serre est présenté dans une couleur plus pâle que les résultats dans les jardins, pour marquer sa spécificité.

Les résultats complets des deux campagnes de biosurveillance pour chaque point de prélèvement et pour chaque polluant sont repris aux **Annexes 12 a et b** pour les hydrocarbures et **Annexe 13 a et b** pour les métaux.

10.1.3. Limite de quantification

Certains polluants n'ont pas été détectés dans de nombreux échantillons car leur concentration était inférieure à la **limite de quantification** (indiqué dans les tableaux <LOQ = Limit Of Quantification). Cette valeur est spécifique au polluant étudié et aux méthodes d'analyse utilisées. C'est la concentration en-dessous de laquelle le laboratoire ne sait plus mesurer la concentration d'un polluant.

10.2. Métaux

10.2.1. Contexte réglementaire, valeurs limites et valeurs de comparaison

En l'absence de **réglementation** européenne ou wallonne relative aux dépôts atmosphériques, des valeurs limites ont été recherchées dans les pays limitrophes (**Tableau 13**).

En Allemagne, le gouvernement fédéral a adopté un règlement administratif général sur la lutte contre la pollution atmosphérique (TA-Luft). La TA-Luft indique notamment des valeurs d'immission (rejets dans l'environnement, pas en sortie de cheminée) pour le cadmium, le nickel et le plomb. Ces valeurs sont des niveaux fixés sur la base des connaissances scientifiques, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble. Elles sont applicables pour la moyenne de 4 stations formant un carré de 1 km de côté. Le réseau wallon ne constitue pas un maillage régulier mais surveille plus particulièrement les sites exposés ou faisant l'objet de plaintes. Pour diminuer l'impact de la surreprésentation des stations polluées, un autre indicateur est utilisé. Il s'agit de la médiane de tous les résultats d'un groupe de jauges et ce sur 13 périodes, correspondant à une année de mesures par périodes de 28 +/- 2 jours.

En Flandre, l'arrêté du gouvernement flamand du 1^{er} juin 1995 fixe les dispositions générales et sectorielles en matière de protection de l'environnement (VLAREM II de 1995). Les valeurs limites étant supérieures à celles de la TA-Luft et le document étant assez ancien, elles ne sont pas prises en compte pour la comparaison des résultats de cette étude.

En Suisse, l'ordonnance sur la protection de l'air de 1985 (Opair, révisée en 2024) indique des valeurs limites d'immission. Les valeurs limites sont établies sur la base des effets néfastes pour l'homme et l'environnement. Les valeurs sont les mêmes que celles de la TA-Luft pour le cadmium et le plomb, et les complètent avec une valeur de 400 µg/m².j pour le zinc. Il s'agit de valeurs de dépôt critiques qui ne devraient pas être dépassées. D'une façon générale, si la valeur limite applicable à un polluant donné est respectée, il est admis que celui-ci n'a pas d'effet dommageable pour l'homme et l'environnement.

Tableau 13. Valeurs limites pour les retombées atmosphériques de métaux dans les pays limitrophes.

Substances	Dépôts ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	Période	Source
Cadmium	2	1 an	TA-Luft (2021)
Nickel	15	1 an	TA-Luft (2021)
Plomb	100	1 an	TA-Luft (2021)
Cadmium	20	1 an	VLAREM II (1995)
Plomb	250	1 an	VLAREM II (1995)
Cadmium	2	Moyenne annuelle	Opair (2024) - valeur limite d'immission
Plomb	100	Moyenne annuelle	Opair (2024) - valeur limite d'immission
Zinc	400	Moyenne annuelle	Opair (2024) - valeur limite d'immission

Dans le cadre de cette étude, les valeurs limites utilisées pour comparer les résultats sont celles proposées par la TA-Luft pour le cadmium, nickel et plomb et celle de l'ordonnance suisse pour la protection de l'air pour le zinc.

Les résultats obtenus sur les échantillons des jauges sont comparés à une **référence rurale** et à une **référence urbaine**. Ces données de comparaison sont issues de stations du réseau de surveillance permanent de la qualité de l'air de Wallonie localisées à Havelange (4 stations) et à Liège (4 stations) sur les mêmes périodes de prélèvement. Le **groupe Havelange**, en province de Namur est typique d'un milieu **rural**. Il couvre un vaste territoire, les jauges les plus éloignées étant distantes de $\pm 13\text{km}$ (**Figure 25**). Dans ces stations, les retombées en métaux sont parmi les plus basses de Wallonie (ISSEP, 2022). Le groupe de Liège se veut caractéristique d'un milieu urbain. Les jauges sont situées à Rocourt, près de la Citadelle, rue de Namur (au niveau de la Meuse) et à Bressoux (**Figure 26**).

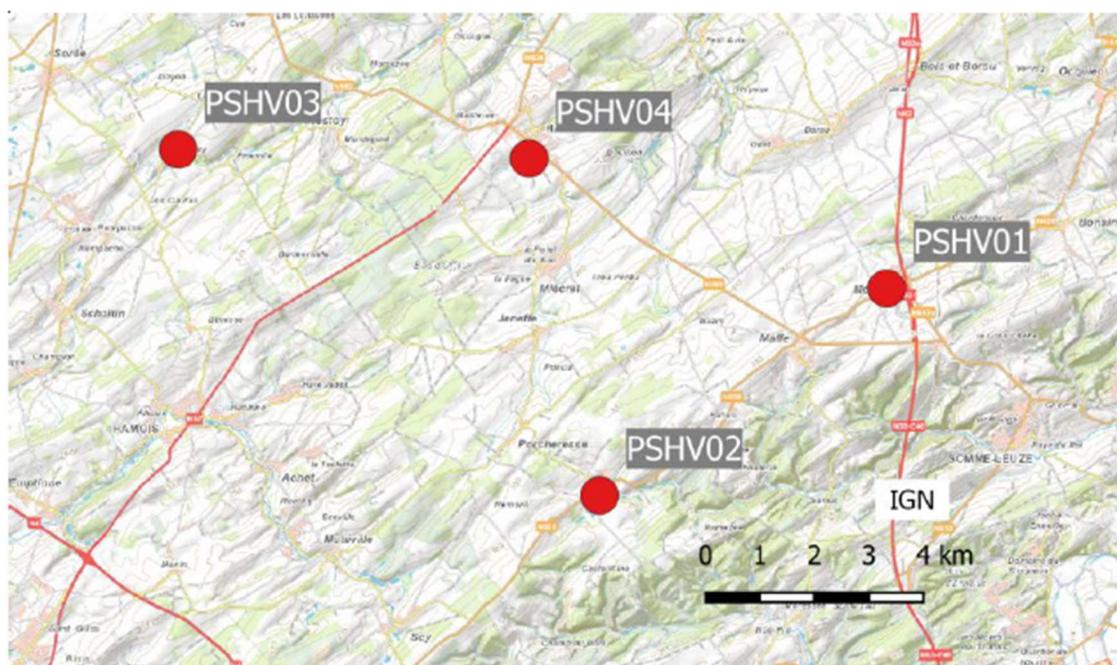


Figure 25. Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air de l'ISSEP - groupe d'Havelange = référence rurale (ISSEP, 2022).

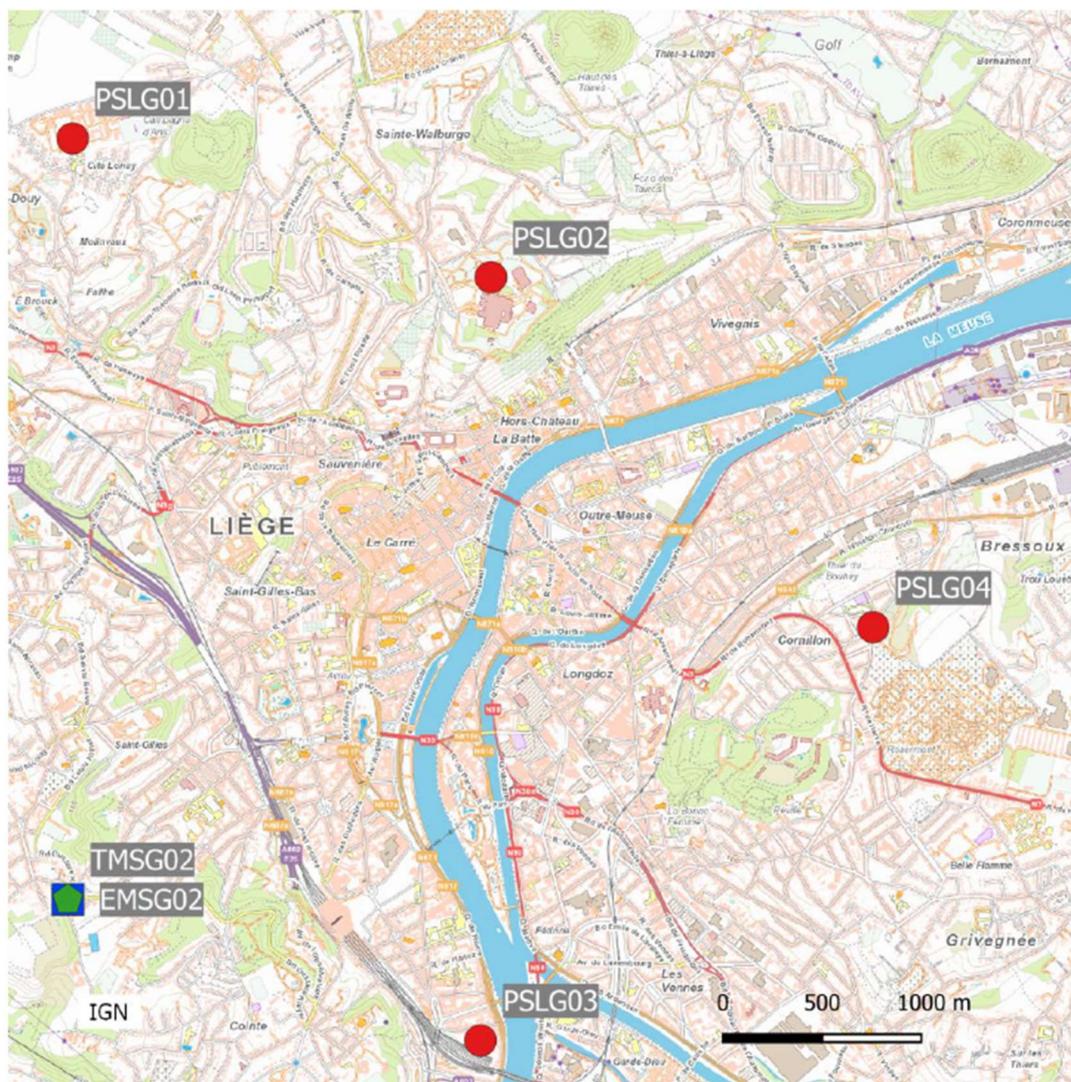


Figure 26. Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air de l'ISSEP - groupe de Liège = référence urbaine (ISSEP, 2022).

En ce qui concerne la **biosurveillance**, les critères d'interprétation des résultats pour les graminées reposent sur des valeurs réglementaires définies pour les aliments destinés aux animaux, en particulier les fourrages. Elles sont issues de la directive 2002/32/CE concernant les substances et produits indésirables dans les animaux. Cette directive (et ses modifications apportées par le Règlement (UE) 2015/186) est complétée par l'arrêté du 29 août 2014 fixant les teneurs maximales pour les substances et produits indésirables dans l'alimentation pour animaux. Ces valeurs existent pour le cadmium et le plomb, elles sont présentées dans le **Tableau 14**.

Des valeurs guides ont également été édictées en Allemagne, sous la référence VDI-2310. Elles sont reprises au **Tableau 14** pour les composés pour lesquels elles existent : cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb et zinc.

Tableau 14. Valeurs réglementaires et valeurs guides applicables aux végétaux dans le cas d'une utilisation pour l'alimentation animale.

Composé	Teneur maximale (mg/kg MS)	Source
Cadmium	1	Directive 2002/32/CE
Plomb	30	Directive 2002/32/CE
Cadmium	0,68	VDI 2310
Chrome	57	VDI 2310
Cuivre	11,4 à 23 (ovins)	VDI 2310
Cuivre	et 45 à 114 (bovins)	VDI 2310
Nickel	57	VDI 2310
Plomb	1 à 1,5 (bovins)	VDI 2310
Plomb	4,5 à 6,8 (ovins)	VDI 2310
Zinc	341	VDI 2310
Zinc	568	VDI 2310

Au-delà des valeurs réglementaires destinées à garantir l'absence de contamination de la chaîne alimentaire, et à protéger la santé, il existe également d'autres valeurs interprétatives des résultats. En biosurveillance, des valeurs repères sont utilisées (**Tableau 15**). Les valeurs repères rurales sont des valeurs statistiques calculées chaque année par EVADIES (bureau d'étude membre d'Eco-Impact) à partir de sa base de données internes (mise à jour de septembre 2024). La méthodologie de calcul se rapporte à celle préconisée dans la norme XP X43-910 : Lignes directrices pour l'élaboration de valeurs repères en biosurveillance de l'air. La valeur présentée correspond à la valeur haute de la gamme des concentrations ubiquitaires (percentile 90) sur les 4 dernières années. Il s'agit donc de concentrations habituellement rencontrées partout sur le territoire, témoin des activités humaines passées et actuelles.

Tableau 15. Valeurs repères rurales dans les graminées.

Composé	Valeur repère rurale (mg/kg MS)	Source
Cadmium	0,08	Evadiès 2024
Chrome	0,36	Evadiès 2024
Cuivre	10,6	Evadiès 2024
Nickel	0,74	Evadiès 2024
Plomb	0,17	Evadiès 2024
Zinc	60	Evadiès 2024

10.2.2. Cadmium

Jauges – valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en cadmium (Cd) au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans le **Tableau 16** et la **Figure 27** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 17** et la **Figure 28** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 16. Résultats annuels des retombées en cadmium au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Cd ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoin Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	0,10	0,11	0,10	0,14	0,12	0,14	0,26
Médiane	0,08	0,09	0,09	0,11	0,10	0,11	0,13
Cmin	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,07	0,06
Cmax	0,24	0,23	0,14	0,39	0,33	0,27	0,76

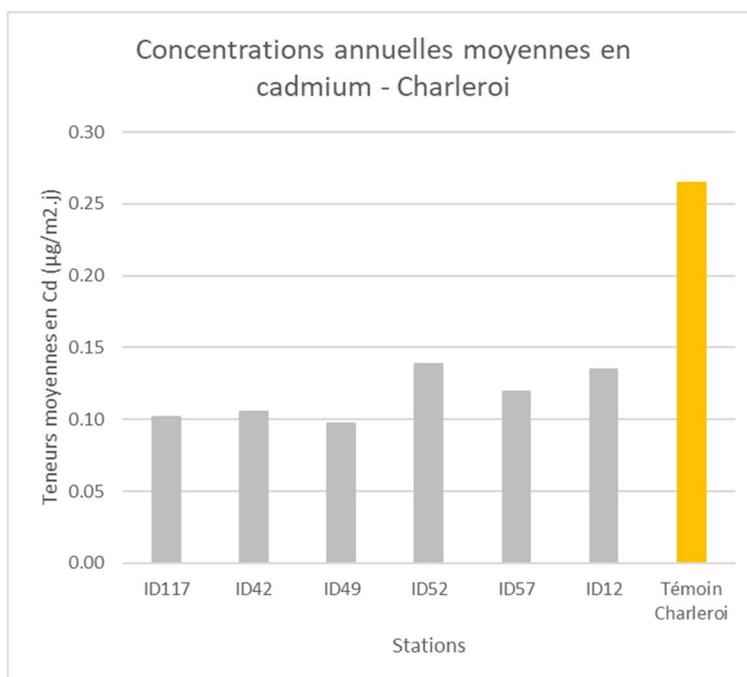

Figure 27. Teneurs moyennes en cadmium dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 17. Résultats annuels des retombées en cadmium au niveau de l'aéroport de Liège.

Cd ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoin Liège
Nombre de valeurs	13	13	13	13	12	13	12
Moyenne	0,31	0,15	0,20	0,19	0,21	0,21	0,20
Médiane	0,18	0,10	0,19	0,12	0,14	0,19	0,17
Cmin	0,10	0,07	0,10	0,07	0,07	0,09	0,10
Cmax	1,40	0,54	0,32	0,74	0,52	0,35	0,54

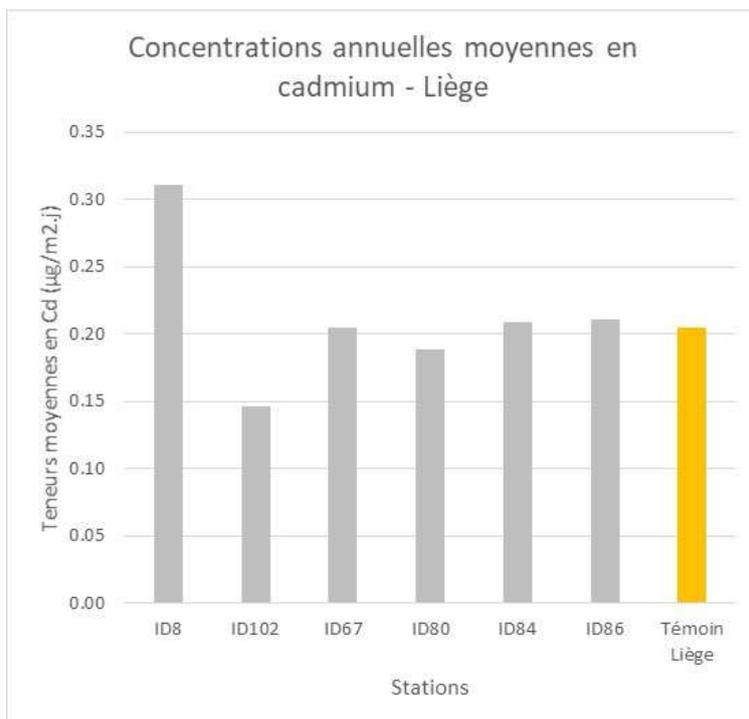


Figure 28. Teneurs moyennes en cadmium dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les concentrations médianes en cadmium des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) ainsi qu'avec la valeur réglementaire allemande (TA-Luft) de 2 µg/m².j (Figure 29).

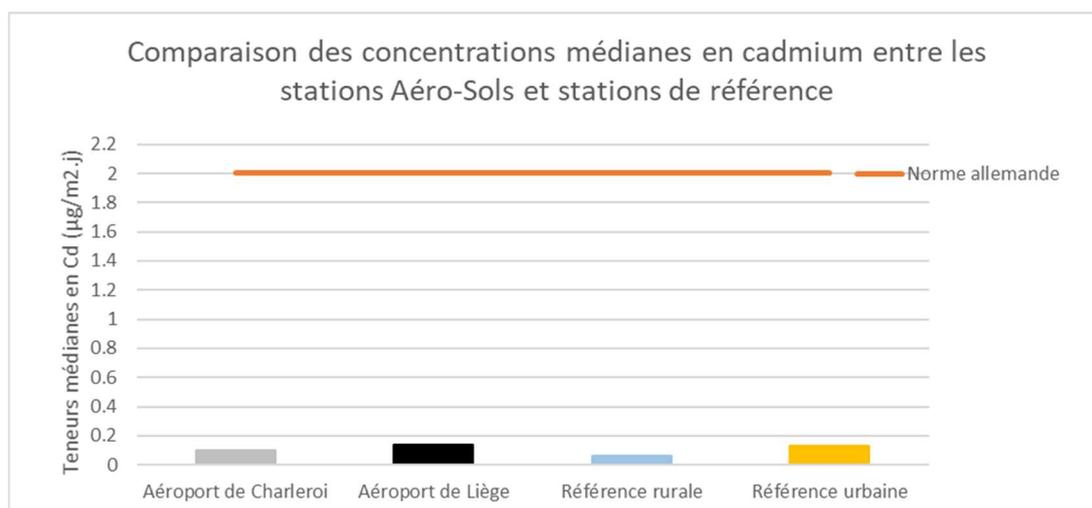


Figure 29. Jauges – comparaison des valeurs médianes en cadmium entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.

Au niveau des jauges, à Charleroi, toutes les valeurs sont inférieures à la station témoin (Figure 27). A Liège, les concentrations sont inférieures ou dans le même ordre de grandeur que la station témoin sauf pour la station ID8 (Figure 28). En effet, une concentration de 1,4 µg/m².j a été mesurée pour la période 3 (du 24/08/2023 au 21/09/2023) ce qui a fortement impacté la moyenne annuelle.

Les valeurs médianes en cadmium des jauges de Charleroi (0,1 µg/m².j) et Liège (0,14 µg/m².j) sont nettement inférieures à la norme allemande (TA-Luft) de 2 µg/m².j. Elles sont du même ordre de

grandeur que la référence urbaine (0,13 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$) et un peu plus élevée que la référence rurale (0,06 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$).

Les concentrations moyennes annuelles en cadmium mesurées dans les retombées atmosphériques vont de 0,1 à 0,31 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$. En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a estimé des valeurs annuelles de 0,07 à 0,35 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$.

Biosurveillance

Les **Tableaux 18** et **19** ainsi que les **Figures 30** et **31** présentent les résultats des analyses de cadmium dans les graminées pour les aéroports de Charleroi et de Liège, respectivement.

Les concentrations mesurées en cadmium se situent entre 0,033 et 0,14 mg/kg MS.

La valeur repère rurale du cadmium vaut 0,08 mg/kg MS.

Tableau 18. Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Concentrations (mg/kg MS) en cadmium		
Charleroi		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 117	0,045	0,074
ID 42	0,036	0,063
ID 49	0,041	0,073
ID 52	0,044	0,081
ID 57	0,045	0,073
ID12	0,045	0,063
Témoïn Charleroi	0,043	0,065
Témoïn serre	0,058	0,14

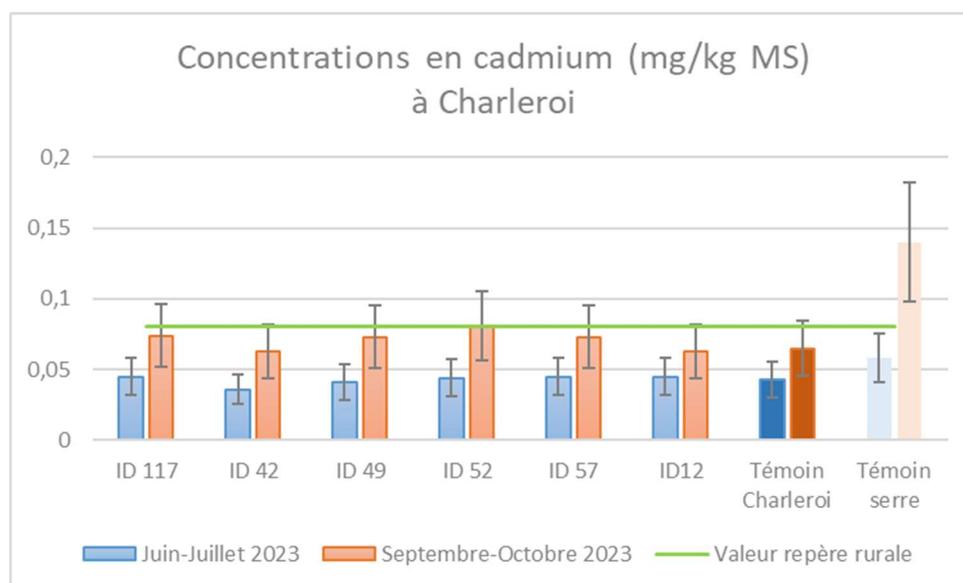
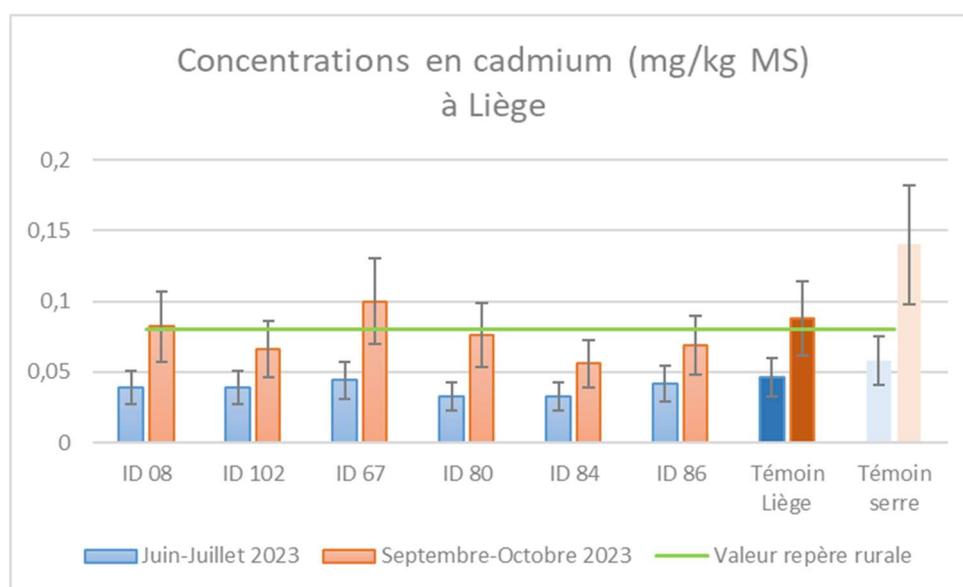


Figure 30. Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Tableau 19. Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Liège.

Concentrations (mg/kg MS) en cadmium		
Liège		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 08	0,039	0,082
ID 102	0,039	0,066
ID 67	0,044	0,1
ID 80	0,033	0,076
ID 84	0,033	0,056
ID 86	0,042	0,069
Témoin Liège	0,046	0,088
Témoin serre	0,058	0,14


Figure 31. Concentrations en cadmium dans les graminées, aéroport de Liège.

Les concentrations en cadmium mesurées dans les **graminées** dans les sites de Charleroi et de Liège sont inférieures à la valeur repère rurale pendant la campagne d'été (juin-juillet 2023) et du même ordre de grandeur que la valeur repère rurale pour la campagne d'automne (septembre-octobre 2023). La campagne de juin-juillet a été caractérisée par des pluies plus abondantes que la normale, ce qui pourrait expliquer un lessivage plus important des polluants. Le témoin serre, non soumis à la pluie, montre aussi cette différence, qui peut dès lors d'avantage être le reflet de la moindre croissance des ray-grass en septembre-octobre qu'en juin-juillet, avec la conséquence d'une concentration plus élevée du polluant dans la plante.

Pour chaque campagne individuellement, les concentrations en cadmium des stations de l'étude ne sont pas différentes de celles des témoins locaux.

En termes de risques de contamination de la chaîne alimentaire, toutes les concentrations mesurées sont très inférieures à la valeur guide édictée pour le cadmium, fixée à 0,68 mg/kg MS en Allemagne (Verein Deutscher Ingenieure, 2010). Elles sont également très inférieures à la valeur réglementaire édictée en France (INERIS, n.d.) pour la surveillance des retombées atmosphériques avec du ray-grass. La valeur réglementaire est fixée à 1 mg/kg MS, reposant sur l'étude du risque sanitaire pour les fourrages verts destinés à l'alimentation du bétail.

Les concentrations en cadmium mesurées dans les graminées vont de 0,033 à 0,14 mg/kg MS. En comparaison, les études de biosurveillance menées autour d'autres aéroports montrent :

- A Munich, des concentrations allant de < 0,010 à 0,032 mg/kg MS ;
- A Berlin, des valeurs allant de 0,018 à 0,060 mg/kg MS ;
- A Leipzig-Halle de 0,009 à 0,031 mg/kg MS.

La moyenne des concentrations enregistrées chez les riverains des 2 aéroports vaut 0,057 mg/kg MS, valeur supérieure à la référence rurale mesurée en Bavière (0,019 mg/kg MS) et plus comparable à un environnement urbain, comme le montrent les concentrations mesurées dans les témoins locaux de Liège et Charleroi, dont la moyenne vaut 0,061 mg/kg MS.

Conclusions pour le cadmium

Les deux techniques de mesure des dépôts en cadmium autour des aéroports de Charleroi et Liège, par jauges ou par biosurveillance, ont montré des valeurs relativement faibles, fréquemment inférieures ou égales aux valeurs de référence pour des milieux ruraux et urbains. La moyenne plus élevée de la station ID8 mesurée dans les jauges (qui est supérieure à la valeur du témoin de Liège, mais comparable à la valeur du témoin de Charleroi), est influencée par une seule valeur ponctuelle élevée, probablement liée à une source locale de pollution (envol de poussières, travaux, etc.) plutôt qu'à l'activité continue de l'aéroport voisin.

En conclusion, l'influence des aéroports n'apparaît pas dans l'étude des dépôts de cadmium.

10.2.3. Chrome

Jauges – valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en chrome (Cr) au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans le **Tableau 20** et la **Figure 32** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 21** et la **Figure 33** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 20. Résultats annuels des retombées en chrome au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Cr (µg/m ² .j)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoin Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	7	8	7	10	9	12	13
Médiane	7	6	7	9	9	9	11
Cmin	3	3	2	3	3	4	5
Cmax	16	15	12	19	17	46	32

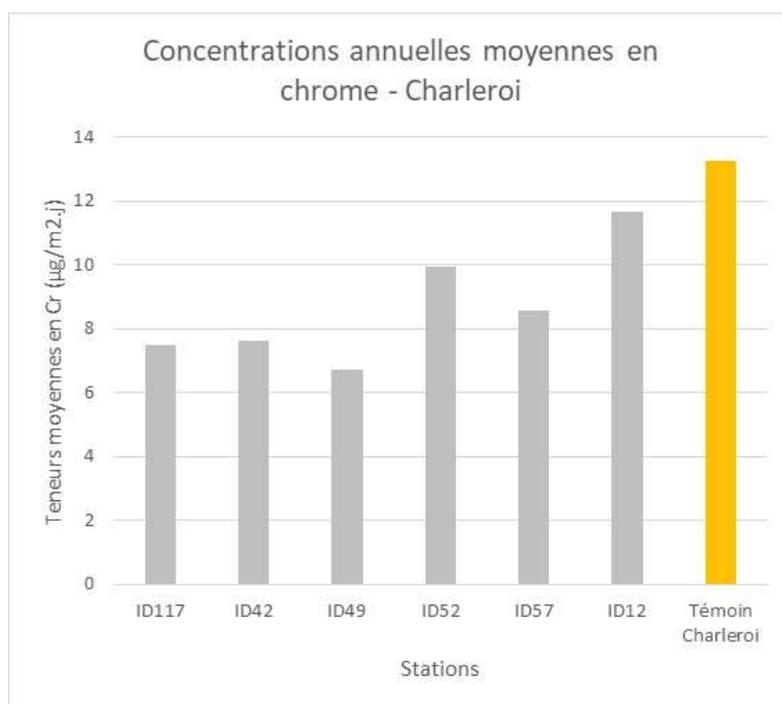


Figure 32. Teneurs moyennes en chrome dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 21. Résultats annuels des retombées en chrome au niveau de l'aéroport de Liège.

Cr (µg/m².j)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoin Liège
Nombre de valeurs	13	13	13	13	12	13	12
Moyenne	3	2	3	3	2	2	5
Médiane	2	2	2	2	2	2	5
Cmin	0	0	1	0	0	0	1
Cmax	9	8	13	9	3	7	9

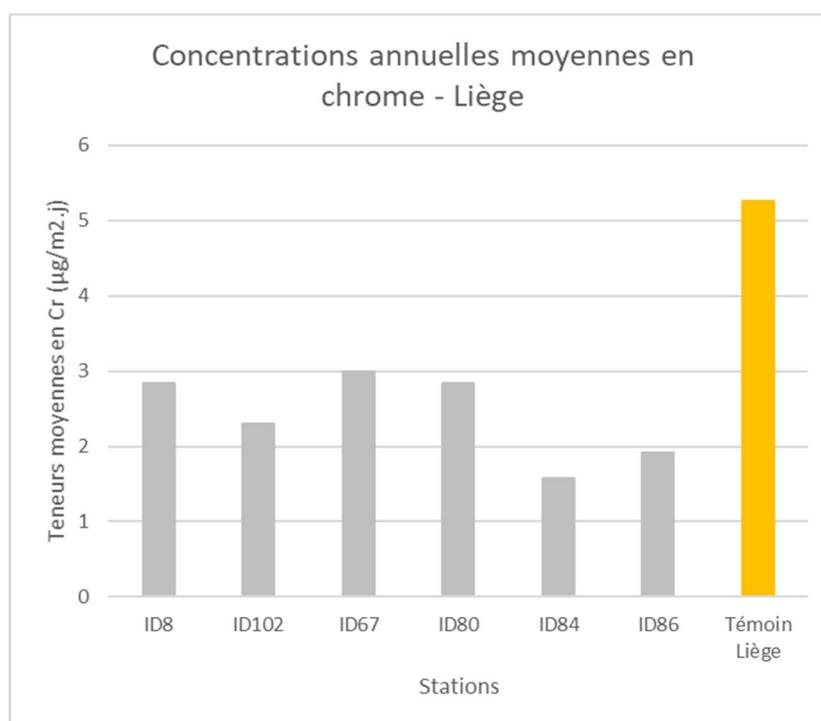


Figure 33. Teneurs moyennes en chrome dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les concentrations médianes en chrome des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) (**Figure 34**).

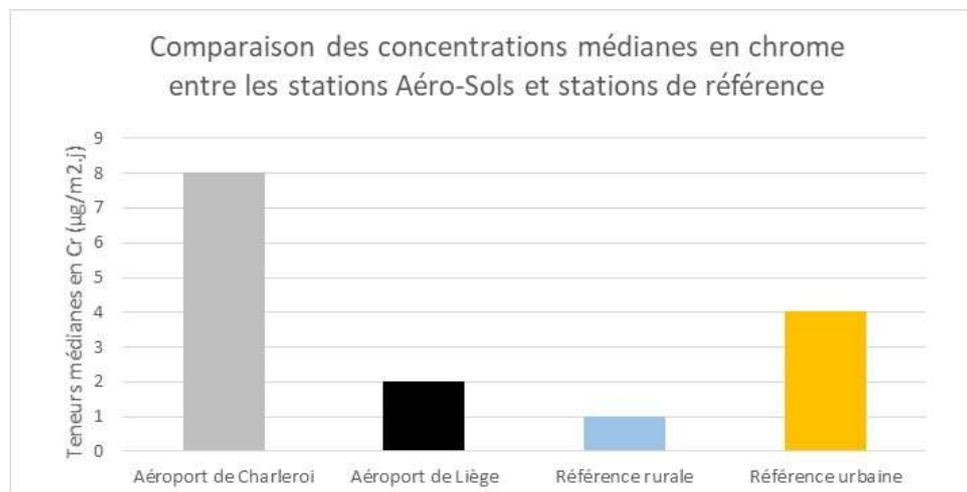


Figure 34. Jauges – comparaison des valeurs médianes en chrome entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège) et les stations de référence urbaine et rurale.

Au niveau des **jauges**, toutes les valeurs moyennes des stations de Charleroi et Liège sont inférieures aux stations témoins de Charleroi et Liège (**Figures 32 et 33**).

La valeur médiane en chrome au niveau des stations de l'aéroport de Liège se situe entre les stations de référence urbaine et rurale. Par contre, la valeur médiane des stations de l'aéroport de Charleroi est supérieure à celle de la référence urbaine (**Figure 34**).

Les concentrations moyennes annuelles en chrome mesurées dans les retombées atmosphériques vont de 2 à 12 µg/m².j. En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a estimé des valeurs annuelles de 1,5 à 2,3 µg/m².j.

Biosurveillance

Les **Tableaux 22 et 23** ainsi que les **Figures 35 et 36** présentent les résultats des analyses de chrome dans les graminées pour les aéroports de Charleroi et de Liège, respectivement.

Les concentrations mesurées en chrome se situent de < LOQ à 0,79 mg/kg MS.

La valeur repère rurale vaut 0,36 mg/kg MS.

Tableau 22. Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Concentrations (mg/kg MS) en chrome		
Charleroi		
Stations	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 117	0,16	0,79
ID 42	0,18	0,17
ID 49	0,16	0,13
ID 52	0,21	0,39
ID 57	0,18	0,46
ID12	0,41	0,24
Témoin Charleroi	0,31	0,27
Témoin serre	< 0,125	< 0,125

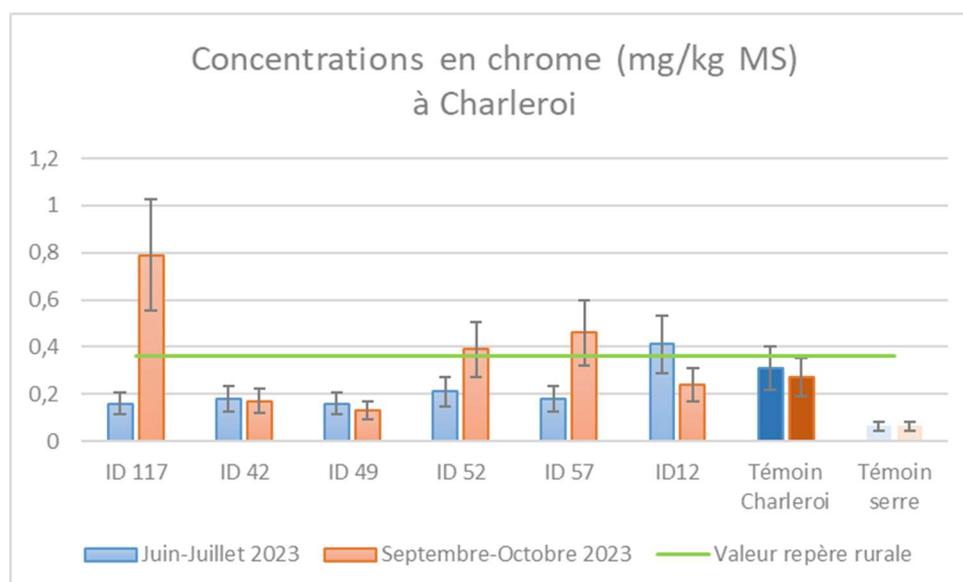

Figure 35. Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Tableau 23. Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Liège.

Concentrations (mg/kg MS) en chrome		
Liège		
Stations	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 08	0,22	0,52
ID 102	0,25	0,16
ID 67	0,13	0,72
ID 80	0,15	<0,125
ID 84	0,13	<0,125
ID 86	<0,125	<0,125
Témoin Liège	0,25	0,58
Témoin serre	<0,125	<0,125

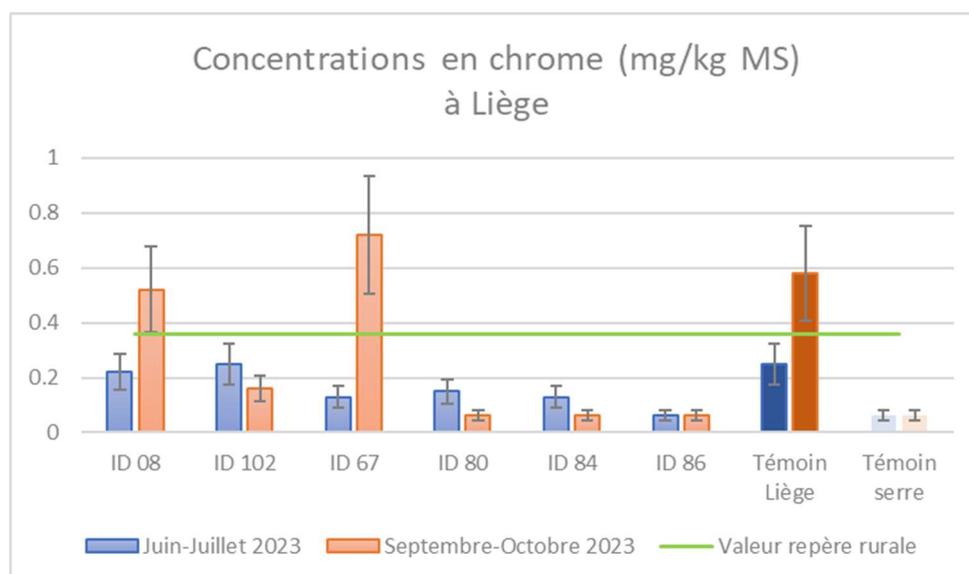


Figure 36. Concentrations en chrome dans les graminées, aéroport de Liège.

Les concentrations en chrome mesurées dans les **graminées** pour les sites de Charleroi et de Liège pendant les 2 campagnes de biosurveillance sont assez variables d'une station de mesure à l'autre et d'une campagne à l'autre.

La plupart des concentrations mesurées sont inférieures à la valeur repère rurale. Les concentrations mesurées en automne (septembre-octobre 2023) aux stations ID52 et ID 57 (Charleroi) et ID 08 (Liège) sont du même ordre que cette valeur repère. Les concentrations des stations ID 117 (Charleroi), ID 67 (Liège) et Témoin Liège sont légèrement supérieures à la valeur repère rurale lors de la campagne d'automne également. En particulier, la station ID117 montre une concentration en chrome significativement supérieure à celle du point témoin de Charleroi. Ce constat n'était pas apparu lors de la campagne de juin-juillet 2023. Cette station se situe au Sud-Ouest de la piste. Lors de la campagne de septembre-octobre 2023, qui correspond à la période 4, tous les avions ont décollé dans le sens vers le Sud-Ouest, donc vers cette station. Cependant, la station ID 57, qui est dans une situation similaire à celle de ID117, n'a pas montré de concentration plus élevée à cette période. Le nombre de mouvements d'avions n'est pas non plus différent d'une campagne à l'autre au point d'expliquer un impact possible. La valeur un peu plus élevée est donc peut-être liée à une activité ponctuelle à proximité de la station (envolée de poussière de sol par exemple). Cette station se situe dans un parc arboré avec des jardins potagers, au nord d'une zone densément peuplée.

Pour les autres stations, les concentrations en chrome ne sont pas différentes de celles des témoins locaux.

En termes de risques de contamination de la chaîne alimentaire, toutes les concentrations mesurées sont très inférieures à la valeur guide édictée pour le chrome, fixée à 57 mg/kg MS en Allemagne (VDI, 2010). Il n'y a pas de valeur réglementaire édictée en France pour le chrome dans le ray-grass.

Nous avons mesuré des concentrations en chrome dans les graminées allant de < LQ à 0,79 mg/kg MS. En comparaison, les études menées autour d'autres aéroports montrent :

- A Munich, des concentrations allant de 0,07 à 0,42 mg/kg MS ;
- A Berlin, Des allant de 0,13 à 0,69 mg/kg MS ;
- A Leipzig-Halle De 0,10 à 0,27 mg/kg MS.

La moyenne mesurée dans un environnement rural en Bavière est de 0,11 mg/kg MS. La moyenne observée ici pour les témoins, dans un environnement urbain, est de 0,35 mg/kg MS.

Conclusions pour le chrome

Les deux techniques de mesure des dépôts en chrome autour des aéroports de Charleroi et Liège, par jauges ou par biosurveillance, ont montré des valeurs relativement faibles, fréquemment inférieures ou égales aux valeurs de référence pour des milieux ruraux et urbains. Trois valeurs plus élevées que leurs voisines (mais de l'ordre de la référence urbaine) ont été observées par biosurveillance lors de la campagne d'automne (ID 08 et ID67 à Liège et ID117 à Charleroi) sans qu'un lien à la proximité ou à la dispersion des polluants (conditions météorologiques) puisse être fait avec l'activité de l'aéroport voisin. Dans les jauges, la moyenne des dépôts de Charleroi est supérieure à celle de Liège. Il est connu que le chrome est très présent dans le bassin sidérurgique de Charleroi, ses concentrations mesurées dans l'air par le réseau permanent de suivi de la qualité de l'air sont les plus élevées de Wallonie.

En conclusion, l'influence des aéroports n'apparaît pas dans l'étude des dépôts de chrome.

10.2.4. Cuivre

Jauges – valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en cuivre (Cu) au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans le **Tableau 24** et la **Figure 37** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 25** et la **Figure 38** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 24. Résultats annuels des retombées en cuivre au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoin Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	5	10	6	6	9	8	15
Médiane	5	7	4	4	9	7	7
Cmin	2	3	1	2	3	2	3
Cmax	10	25	17	14	16	25	102

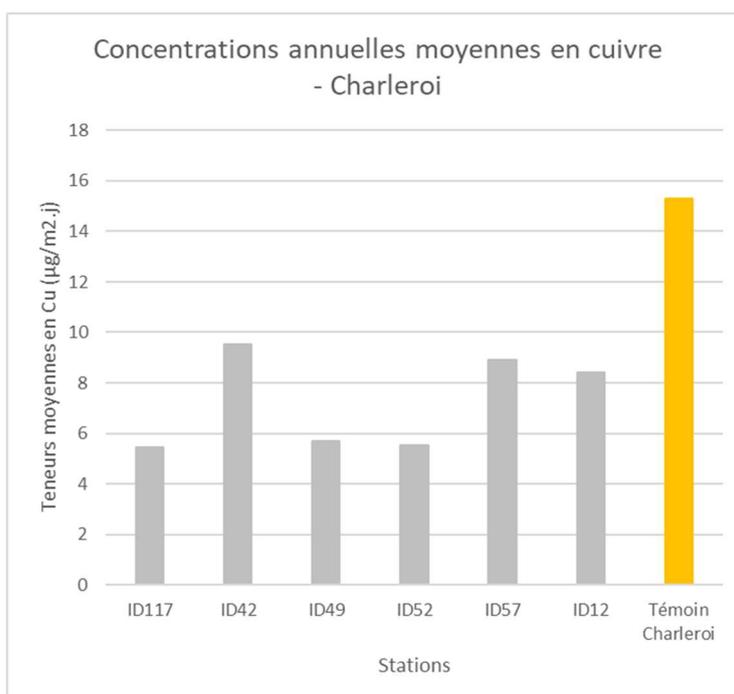


Figure 37. Teneurs moyennes en cuivre dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 25. Résultats annuels des retombées en cuivre au niveau de l'aéroport de Liège.

Cu ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoïn Liège
Nombre de valeurs	13	13	13	13	12	13	12
Moyenne	10	12	8	17	10	11	10
Médiane	7	7	7	6	6	7	10
Cmin	3	2	3	2	3	3	3
Cmax	40	54	18	135	42	33	16

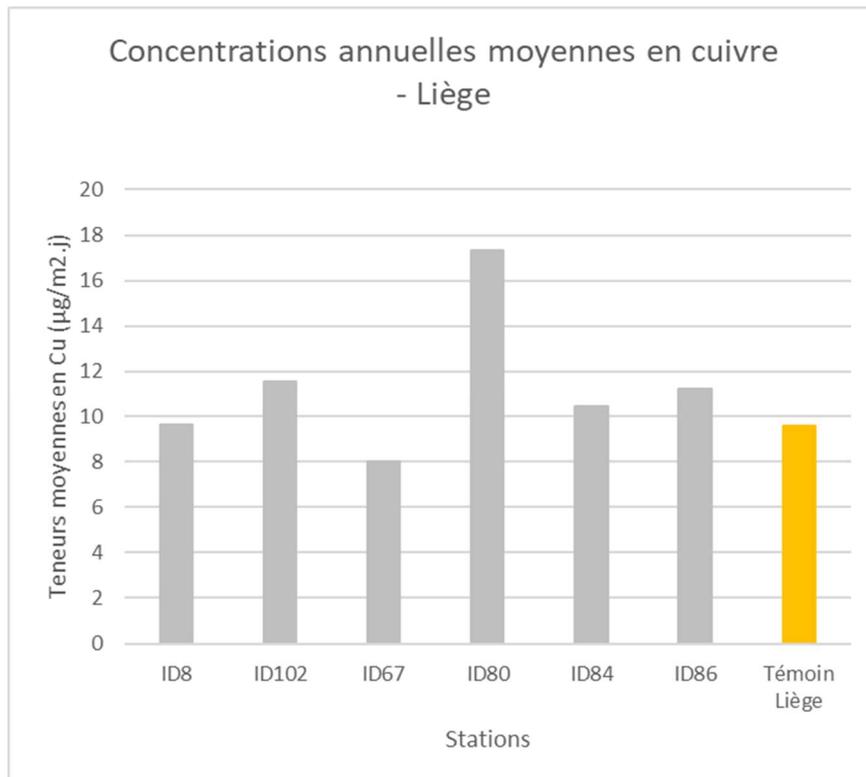


Figure 38. Teneurs moyennes en cuivre dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les concentrations médianes en cuivre des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) (**Figure 39**).

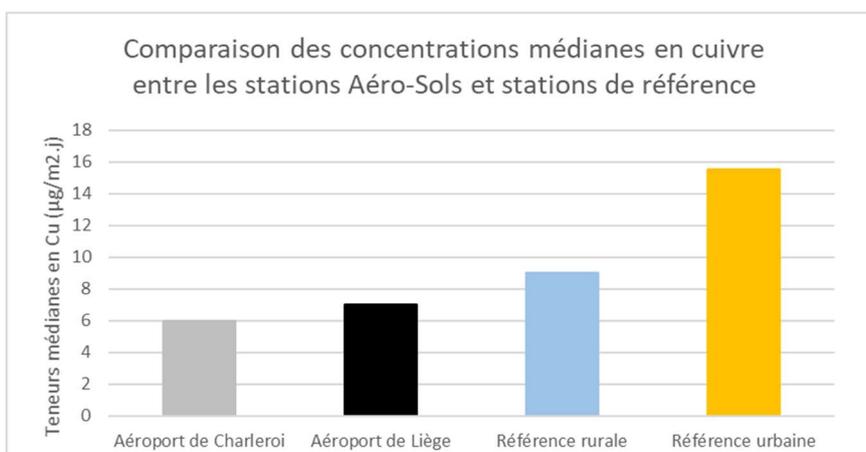


Figure 39. Jauges – comparaison des valeurs médianes en cuivre entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège) et les stations de référence urbaine et rurale.

Au niveau des **jauges**, à Charleroi, les concentrations moyennes au niveau de toutes les stations sont inférieures à la station témoin (**Figure 37**). A Liège, les concentrations moyennes en cuivre des différentes stations sont du même ordre de grandeur que la station témoin sauf pour la station ID80 qui présente entre le 21/09 et le 18/10/2023 des retombées en cuivre plus importantes (135 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$) pesant sur la moyenne annuelle (**Figure 38**).

Les valeurs médianes en cuivre des jauges de Charleroi et de Liège sont du même ordre de grandeur et inférieures aux références rurale et urbaine.

Les concentrations moyennes annuelles en cuivre mesurées dans les retombées atmosphériques vont de 5 à 17 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$. En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a estimé des valeurs annuelles de 4,8 à 26,0 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$.

Biosurveillance

Les **Tableaux 26 et 27** ainsi que les **Figures 40 et 41** présentent les résultats des analyses de cuivre dans les graminées pour les aéroports de Charleroi et de Liège, respectivement.

Pour le cuivre, les concentrations mesurées vont de 4,09 à 9,42 mg/kg MS (**Tableaux 26 et 27**).

La valeur repère rurale vaut 10,6 mg/kg MS.

Tableau 26. Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Concentrations (mg/kg MS) en cuivre		
Charleroi		
Stations	Juin-Juillet 2023	Septembre- Octobre 2023
ID 117	5,79	9,21
ID 42	6,18	8,59
ID 49	6,05	8,46
ID 52	6,39	8,49
ID 57	6,77	8,91
ID12	7,1	7,87
Témoin Charleroi	6,1	8,26
Témoin serre	6,59	8,44

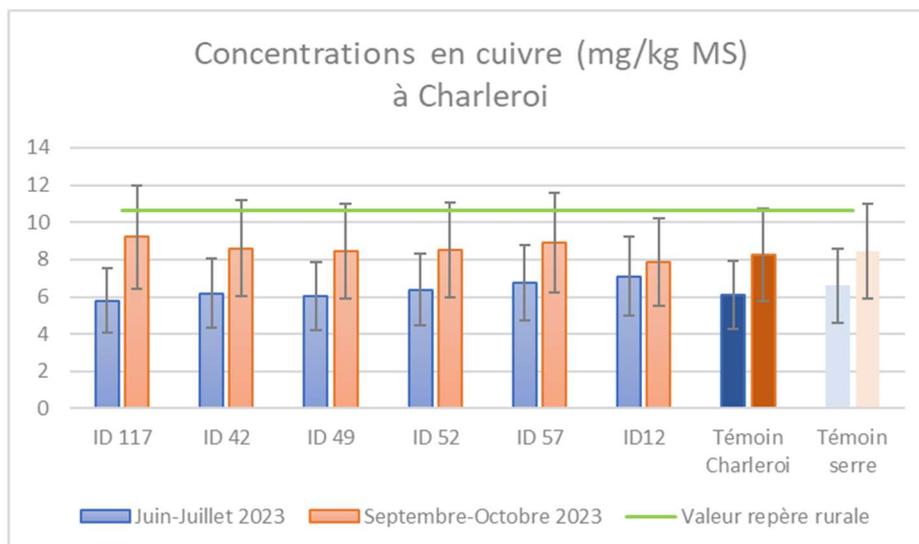


Figure 40. Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Tableau 27. Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Liège.

Concentrations (mg/kg MS) en cuivre		
Liège		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre- Octobre 2023
ID 08	5,7	9,42
ID 102	5,34	8,47
ID 67	5,07	9,34
ID 80	4,27	8,27
ID 84	4,09	7,8
ID 86	5,18	8,71
Témoin Liège	4,54	9,19
Témoin serre	6,59	8,44

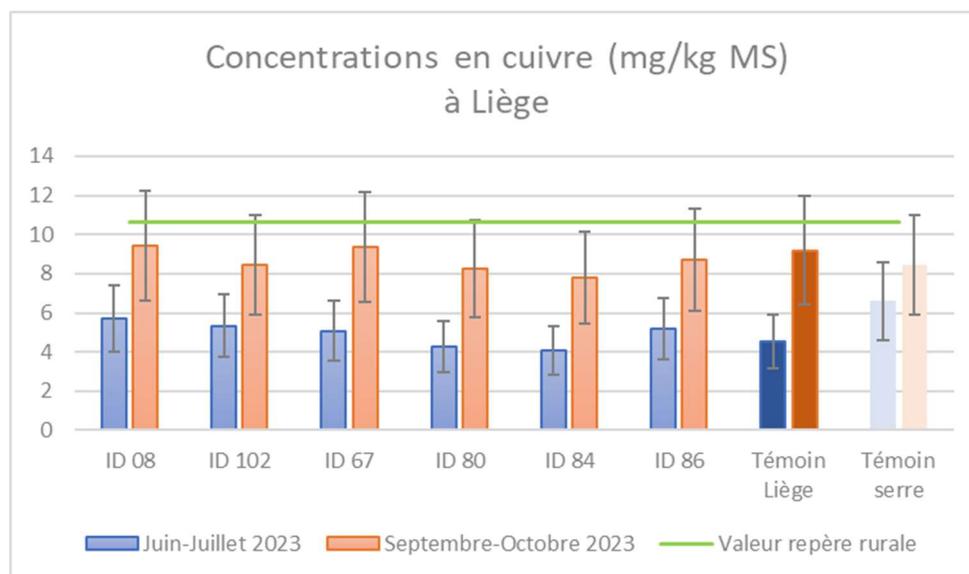


Figure 41. Concentrations en cuivre dans les graminées, aéroport de Liège.

Les concentrations en cuivre mesurées dans les **graminées** des stations de biosurveillance sont toutes inférieures ou proches de la valeur repère rurale, pour toutes les stations et pour les 2 campagnes de mesure.

Aucune concentration mesurée dans les stations de l'étude n'est supérieure à la valeur du témoin local, ni à Liège, ni à Charleroi.

En termes de risques de contamination de la chaîne alimentaire, toutes les concentrations mesurées sont inférieures aux valeurs guides édictées pour le cuivre, fixée dans la gamme de 11,4 à 23 mg/kg MS pour les ovins et 45 à 114 mg/kg MS pour les bovins en Allemagne (VDI, 2010). Il n'y a pas de valeur réglementaire édictée en France pour le cuivre dans les ray-grass.

Les concentrations en cuivre mesurées dans les graminées à Charleroi et Liège vont de 4,09 à 9,42 mg/kg MS. En comparaison, autour de l'aéroport de Munich, les concentrations allaient de 2,1 à 5,5 mg/kg MS. Le cuivre n'a pas été mesuré à Berlin ni à Leipzig-Halle ni dans l'environnement rural de Bavière. La moyenne des témoins de Liège et Charleroi, représentant un environnement urbain, vaut 7,02 mg/kg MS.

Conclusions pour le cuivre

Les deux techniques d'étude des dépôts en cuivre autour des aéroports, par jauges et par biosurveillance, ont montré des valeurs assez homogènes, pour les deux aéroports. Les dépôts sont pratiquement toujours inférieurs à la référence rurale. Seule la station ID80 (Liège) montre une valeur de dépôts dans les jauges proche de la référence urbaine.

Ces observations ne permettent pas de conclure à un lien entre les activités de l'aéroport et les dépôts en cuivre.

10.2.5. Manganèse

Jauges – valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en manganèse (Mn) au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans le **Tableau 28** et la **Figure 42** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 29** et la **Figure 43** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 28. Résultats annuels des retombées en manganèse au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Mn ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoin Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	34	33	36	38	39	59	41
Médiane	31	22	30	38	33	58	41
Cmin	11	8	14	12	12	11	11
Cmax	82	130	89	64	95	145	92

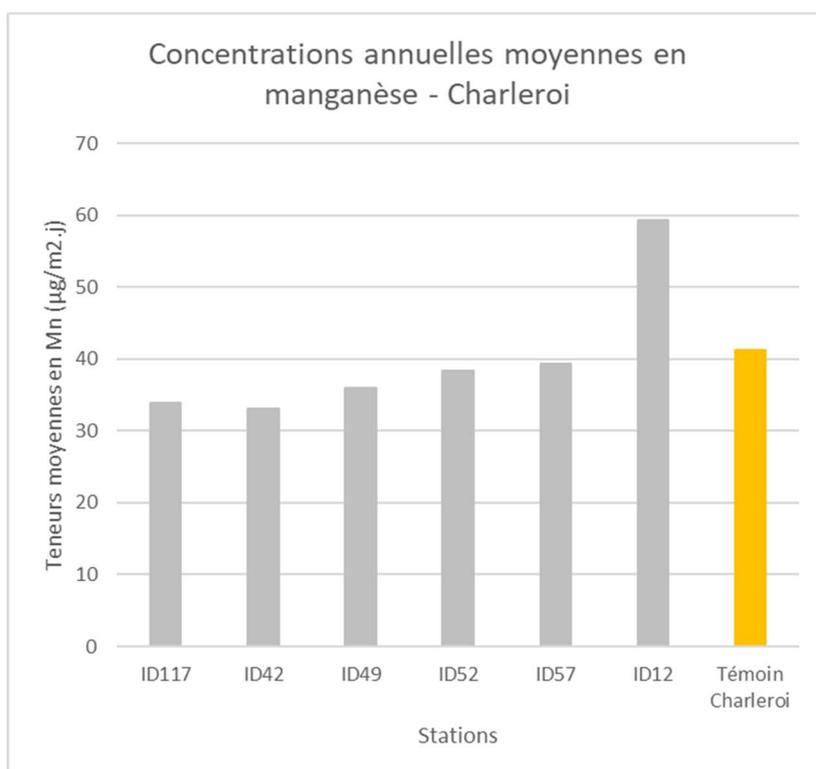


Figure 42. Teneurs moyennes en manganèse dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 29. Résultats annuels des retombées en manganèse au niveau de l'aéroport de Liège.

Mn (µg/m ² .j)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoin Liège
Nombre de valeurs	13	12	13	13	13	13	12
Moyenne	17	15	17	23	22	18	27
Médiane	17	12	17	20	19	18	23
Cmin	8	7	3	5	5	7	9
Cmax	37	25	40	72	65	36	54

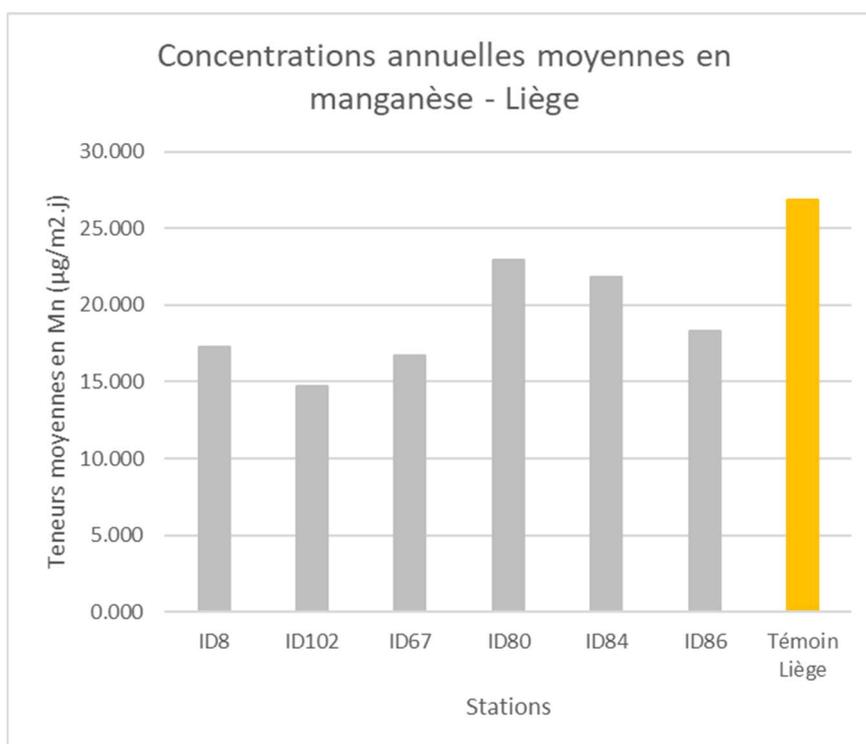


Figure 43. Teneurs moyennes en manganèse dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les concentrations médianes en manganèse des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) (**Figure 44**).

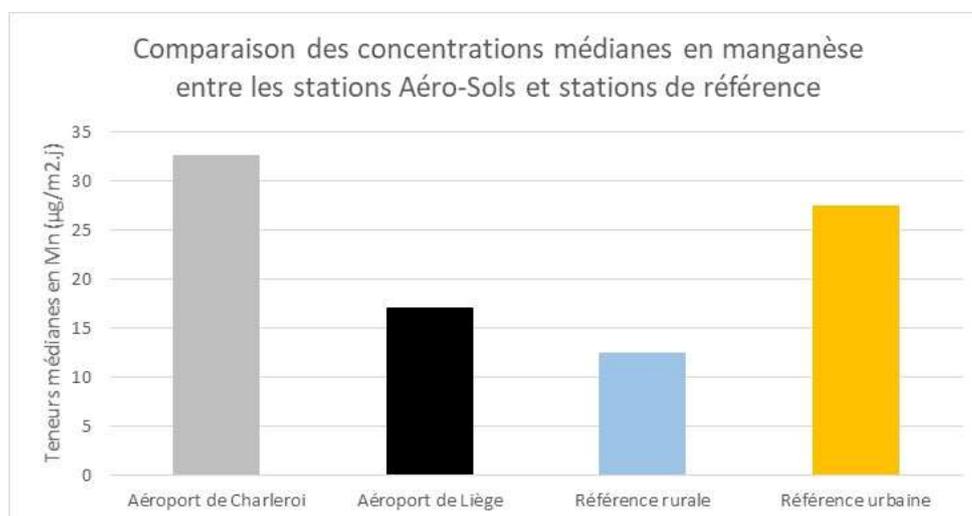


Figure 44. Jauges – comparaison des valeurs médianes en manganèse entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège) et les stations de référence urbaine et rurale.

Au niveau des **jauges**, à Charleroi, toutes les valeurs sont du même ordre de grandeur que la station témoin sauf la station ID12 (**Figure 42**). En effet, des concentrations de 95 µg/m².j et de 145 µg/m².j ont été mesurées pour les périodes du 22/06/2023 au 20/07/2023 et du 24/05 au 20/06/2024, respectivement. Ces mesures ont fortement impacté la moyenne annuelle de cette station. A Liège, toutes les stations présentent des concentrations moyennes en manganèse dans les retombées inférieures à la station témoin (**Figure 43**).

La valeur médiane en manganèse au niveau des jauges de Liège ($17 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$) se situent entre la référence rurale et la référence urbaine. La valeur médiane en manganèse au niveau des jauges de Charleroi ($32,5 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$) sont supérieures à la référence urbaine ($27,5 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$).

Les concentrations moyennes annuelles en manganèse des retombées atmosphériques vont de 15 à $59 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$). En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a estimé des valeurs annuelles de 11 à $21 \mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$.

Biosurveillance

Le manganèse n'a pas été dosé dans les graminées dans le cadre de ce projet.

Conclusions pour le manganèse

Les dépôts de manganèse n'ont été étudiés qu'avec la technique de mesure des jauges. Ils montrent des valeurs plus élevées à Charleroi qu'à Liège, ce qui rejoint les constats dressés dans le réseau permanent de mesure des poussières en Wallonie (le manganèse appartient aux métaux caractéristiques de la sidérurgie). La station ID12 dépasse la référence urbaine alors qu'elle est plus éloignée de la zone sidérurgique et située en zone rurale. Elle a pu être impactée par l'activité agricole, étant située à proximité immédiate du passage des tracteurs et autres machines (tri des pommes de terre, etc.).

Les dépôts de manganèse ne montrent pas de lien à l'activité aéroportuaire.

10.2.6. Nickel

Jauges – valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en nickel (Ni) au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans le **Tableau 30** et la **Figure 45** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 31** et la **Figure 46** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 30. Résultats annuels des retombées en nickel au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Ni ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoin Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	4	7	4	6	5	6	6
Médiane	4	4	4	6	5	4	5
Cmin	2	1	1	2	2	2	3
Cmax	9	23	6	10	11	21	11

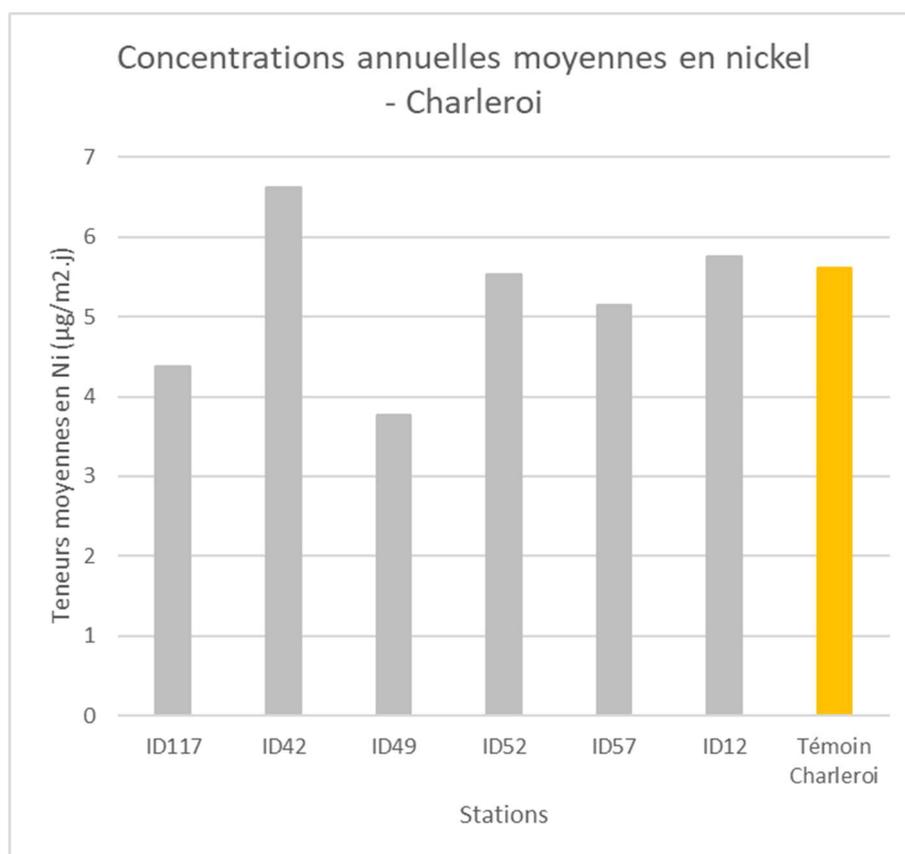


Figure 45. Teneurs moyennes en nickel dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 31. Résultats annuels des retombées en nickel au niveau de l'aéroport de Liège.

Ni (µg/m².j)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoin Liège
Nombre de valeurs	13	13	13	13	12	13	12
Moyenne	2	2	2	2	2	2	3
Médiane	1	1	1	1	2	1	3
Cmin	0	0	0	0	1	0	1
Cmax	7	7	5	6	6	6	5

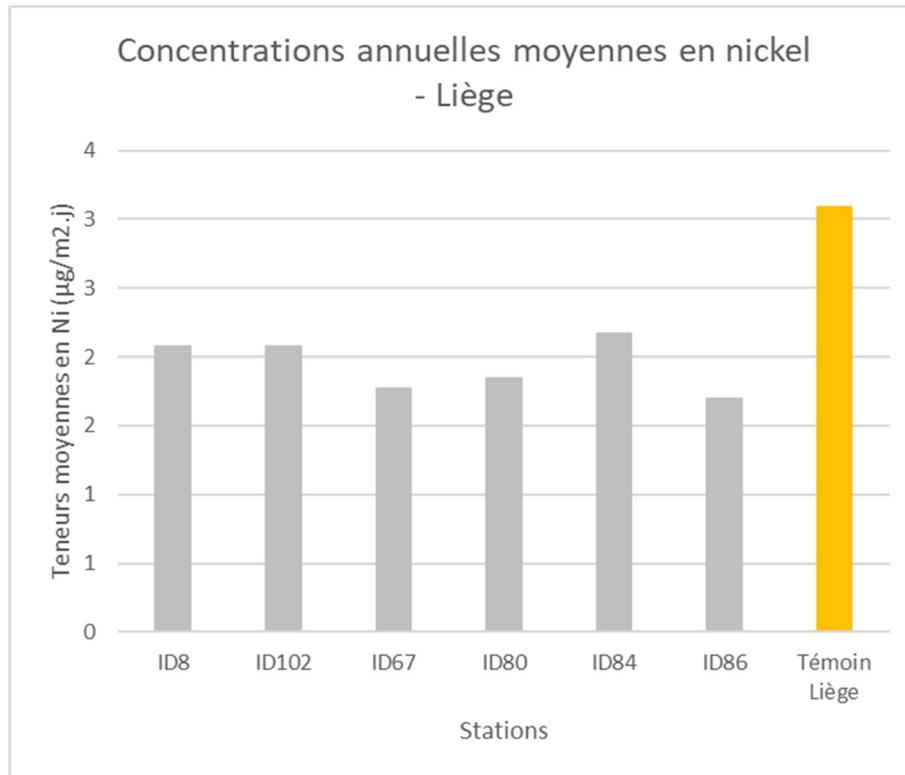


Figure 46. Teneurs moyennes en nickel dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les concentrations médianes en nickel des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) ainsi qu'avec la valeur réglementaire allemande (TA-Luft) de 15 µg/m².j (Figure 47).

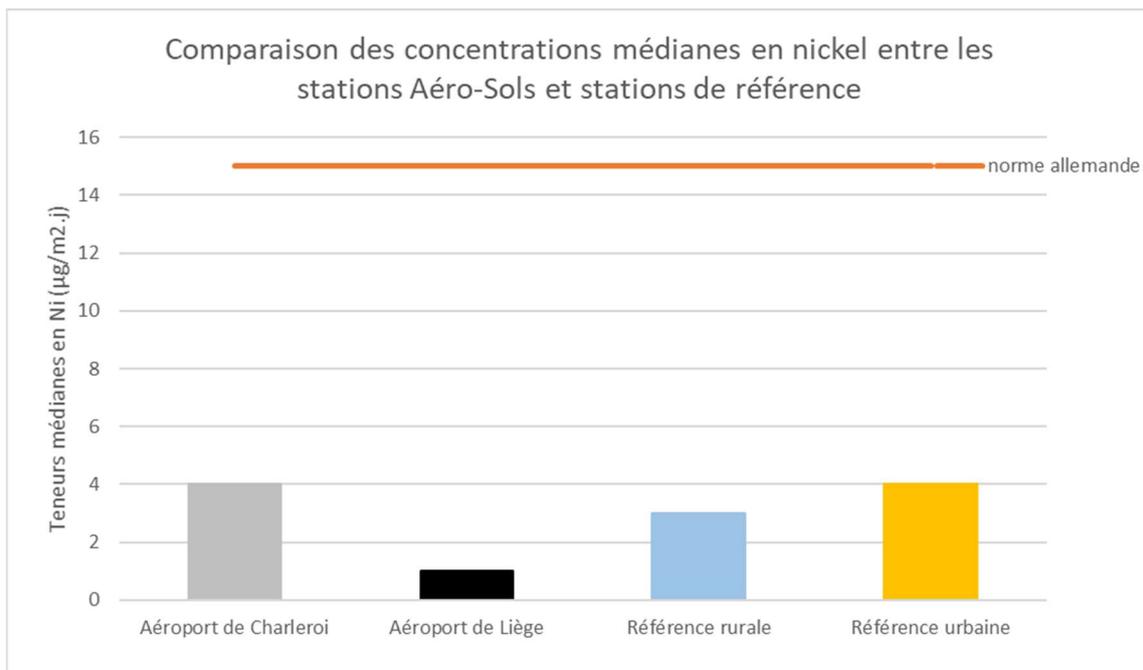


Figure 47. Jauges – comparaison des valeurs médianes en nickel entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.

Au niveau des **jauges**, à Charleroi, les concentrations moyennes sont du même ordre de grandeur voire inférieures à la station témoin sauf pour la station ID42 (**Figure 45**). Cette station présente des retombées plus importantes en Ni pendant 2 périodes de mesure (entre le 20/07 et le 17/08/2023 et entre le 09/11 et le 07/12/2023). Des concentrations de 23 et 19 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$ en nickel ont été mesurées à l'ID42 durant ces deux périodes, respectivement.

A Liège, les concentrations moyennes en nickel sont du même ordre de grandeur entre les stations et toutes inférieures à la station témoin (**Figure 46**).

La valeur médiane en nickel au niveau des jauges de Charleroi (4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$) est identique à la référence urbaine. La valeur médiane en nickel au niveau des jauges de Liège (1 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$) est inférieure à la valeur médiane de la référence rurale (3 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$). Ces valeurs sont nettement inférieures à la norme allemande (TA-Luft) de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$.

Les concentrations moyennes annuelles en nickel mesurées dans les retombées atmosphériques des stations du projet Aéro-Sols vont de 2 à 7 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$. En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a estimé des valeurs annuelles de 0,8 à 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$.

Biosurveillance

Les **Tableaux 32 et 33** ainsi que les **Figures 48 et 49** présentent les résultats des analyses de nickel dans les graminées pour les aéroports de Charleroi et de Liège, respectivement.

Les concentrations mesurées en nickel se situent entre 0,26 et 0,80 mg/kg MS.

La valeur repère rurale (valeur de référence) vaut 0,74 mg/kg MS.

Tableau 32. Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Concentrations (mg/kg MS) en nickel		
Charleroi		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre- Octobre 2023
ID 117	0,39	0,80
ID 42	0,43	0,45
ID 49	0,44	0,5
ID 52	0,43	0,62
ID 57	0,46	0,54
ID12	0,56	0,5
Témoin Charleroi	0,40	0,60
Témoin serre	0,31	0,41

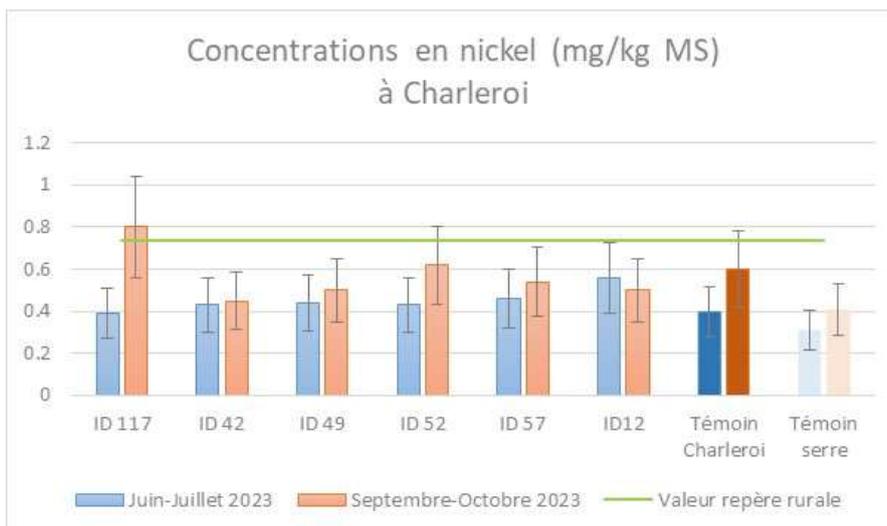


Figure 48. Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Tableau 33. Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Liège.

Concentrations (mg/kg MS) en nickel		
Liège		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 08	0,38	0,56
ID 102	0,37	0,46
ID 67	0,37	0,76
ID 80	0,26	0,42
ID 84	0,28	0,39
ID 86	0,36	0,45
Témoin Liège	0,36	0,79
Témoin serre	0,31	0,034

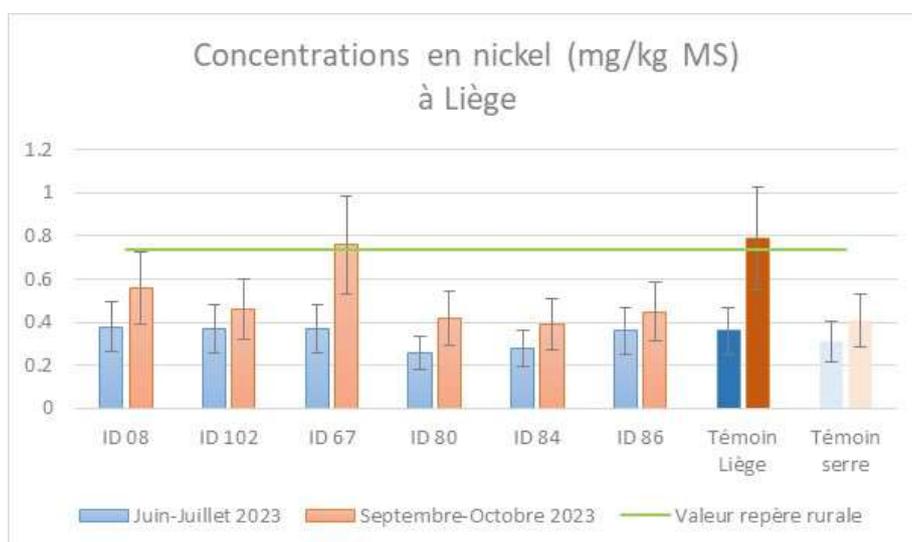


Figure 49. Concentrations en nickel dans les graminées, aéroport de Liège.

Les concentrations en nickel mesurées dans les **graminées** des stations de biosurveillance sont toutes inférieures à la valeur repère rurale ou comparable à celle-ci, pour toutes les stations et pour les 2 campagnes de mesure.

Aucune concentration mesurée dans les stations de l'étude n'est supérieure à la valeur du témoin local, ni à Liège, ni à Charleroi.

En termes de risques pour la chaîne alimentaire, toutes les concentrations mesurées sont très inférieures à la valeur guide de 57 mg/kg fixée en Allemagne (VDI, 2010) pour l'alimentation des ovins et bovins.

Les concentrations en nickel dans les graminées, mesurées dans cette étude, vont de 0,26 à 0,80 mg/kg MS, là où, pour d'autres aéroports, elles vont :

- A Munich, de 1,5 à 4,2 mg/kg MS ;
- A Berlin, de 1,7 à 7,4 mg/kg MS ;
- A Leipzig-Halle, de 2,4 à 4,5 mg/kg MS.

La valeur mesurée en zone rurale en Bavière, est de 4,2 mg/kg MS. La moyenne des témoins de Charleroi et Liège, représentant un environnement urbain, vaut 0,54 mg/kg MS.

Ces valeurs de fond sont fortement influencées par les concentrations naturelles dans les sols, fonction de la nature des roches mères. Le nickel est également un marqueur des activités sidérurgiques.

Conclusions pour le nickel

Les dépôts de nickel observés pendant l'étude Aéro-Sols montrent des valeurs proches des références rurales (par la biosurveillance à Charleroi et à Liège et par les jauges à Liège) et proches des références urbaines à Charleroi dans les jauges. Les valeurs supérieures à Charleroi sont à rattacher au passé sidérurgique de la zone.

Aucun lien n'apparaît entre les dépôts de nickel observés dans l'étude Aéro-Sols et les activités des aéroports voisins des stations de mesure.

10.2.7. Plomb

Jauges – valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en plomb (Pb) au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans le **Tableau 34** et la **Figure 50** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 35** et la **Figure 51** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 34. Résultats annuels des retombées en plomb au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{j}$)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoin Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	9	7	4	4	8	11	9
Médiane	3	4	3	3	6	5	5
Cmin	1	1	1	2	2	1	1
Cmax	57	50	8	16	25	76	48

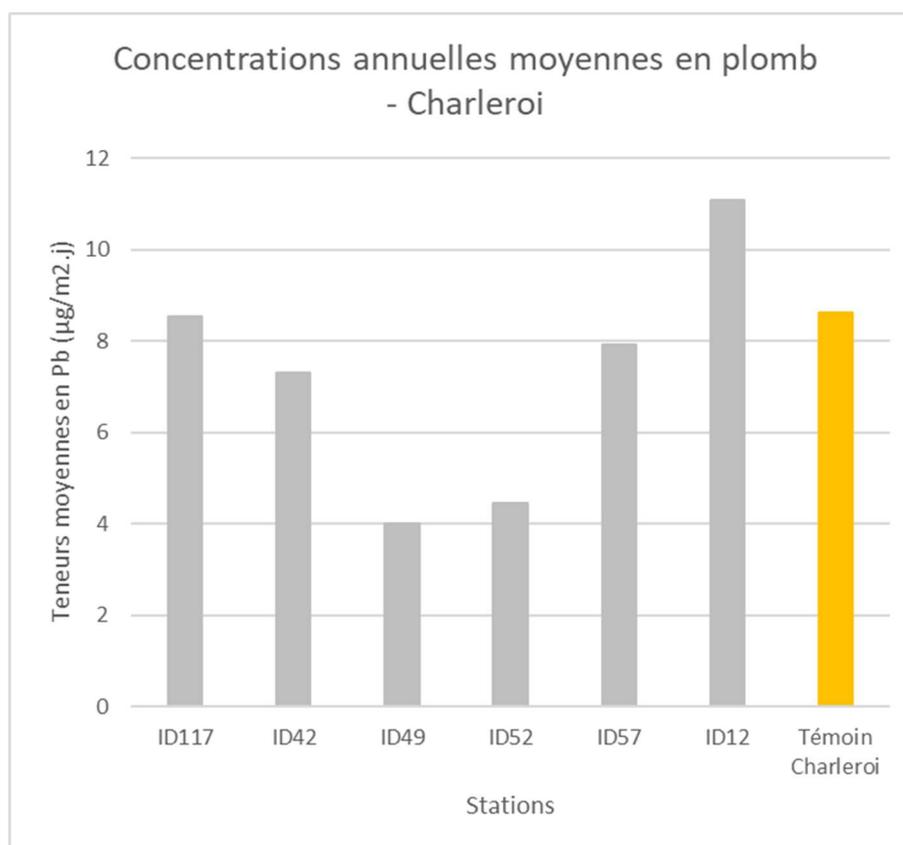


Figure 50. Teneurs moyennes en plomb dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 35. Résultats annuels des retombées en plomb au niveau de l'aéroport de Liège.

Pb (µg/m².j)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoin Liège
Nombre de valeurs	13	12	13	13	13	13	12
Moyenne	6	7	7	4	7	6	8
Médiane	4	4	5	3	5	4	8
Cmin	1	2	3	2	1	2	3
Cmax	24	27	23	9	33	22	15

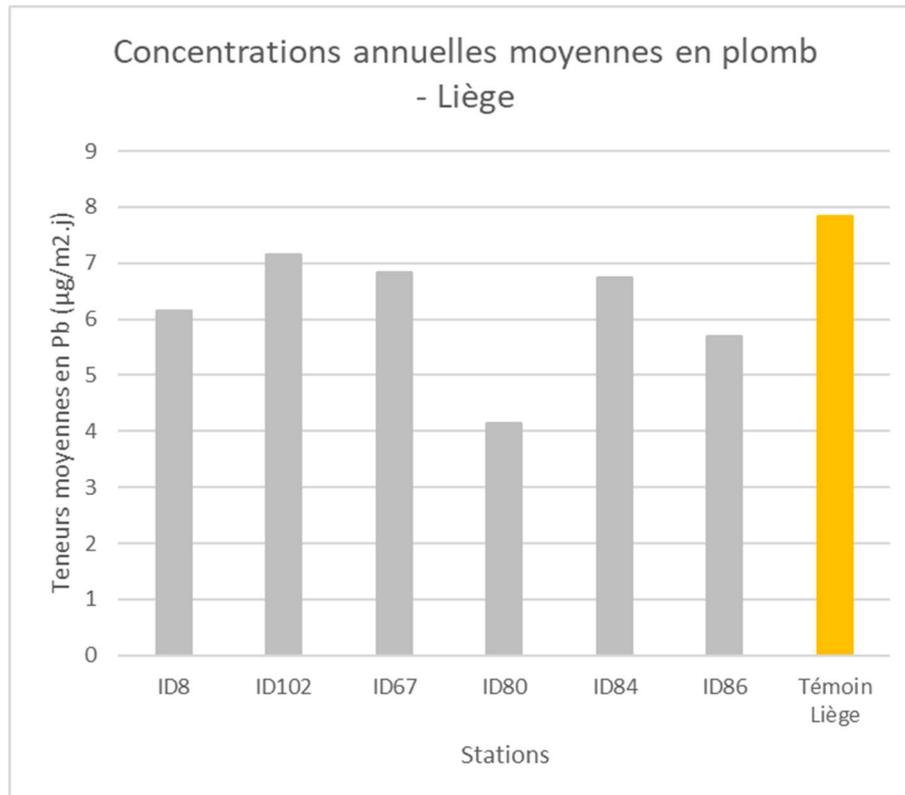


Figure 51. Teneurs moyennes en plomb dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les concentrations médianes en plomb des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) ainsi qu'avec la valeur réglementaire allemande (TA-Luft) de 100 µg/m².j (Figure 52).

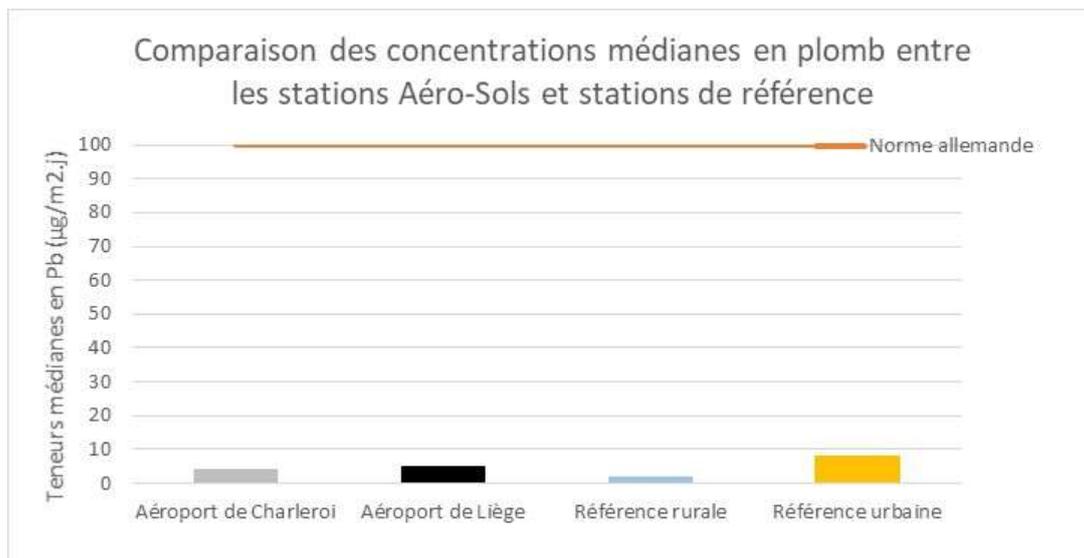


Figure 52. Jauges – comparaison des valeurs médianes en plomb entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.

Au niveau des jauges, à Charleroi, les concentrations moyennes sont du même ordre de grandeur voire inférieures à la station témoin sauf pour la station ID12 (Figure 50). Cette station présente des

retombées plus importantes en plomb pour la période de mesure du 12/10 au 09/11/2023. Cette concentration de 76 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$ pèse sur la moyenne annuelle.

Toutes les stations de Liège présentent des moyennes annuelles du même ordre de grandeur, à l'exception de l'ID80 dont la moyenne est plus faible. Toutes ces valeurs sont inférieures à la station témoin Liège (**Figure 51**).

Les retombées en plomb sont basses par rapport à la valeur réglementaire allemande (TA-luft de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$). Les médianes des teneurs en plomb dans les retombées atmosphériques des stations localisées dans le périmètre d'étude des aéroports de Liège et de Charleroi se situent entre la référence urbaine et rurale.

Les concentrations moyennes annuelles en plomb mesurées dans les retombées atmosphériques des stations du projet Aéro-Sols vont de 4 à 11 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$. En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a estimé des valeurs annuelles de 1,2 à 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$.

Biosurveillance

Les **Tableaux 36 et 37** ainsi que les **Figures 53 et 54** présentent les résultats des analyses de plomb dans les graminées pour les aéroports de Charleroi et de Liège, respectivement.

Les concentrations mesurées en plomb se situent entre 0,039 et 0,47 mg/kg MS.

La valeur repère rurale (valeur de référence) vaut 0,17 mg/kg MS.

Tableau 36. Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Concentrations (mg/kg MS) en plomb		
Charleroi		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre- Octobre 2023
ID 117	0,1	0,3
ID 42	0,095	0,18
ID 49	0,091	0,14
ID 52	0,15	0,21
ID 57	0,14	0,46
ID12	0,14	0,2
Témoin Charleroi	0,12	0,14
Témoin serre	0,049	0,039

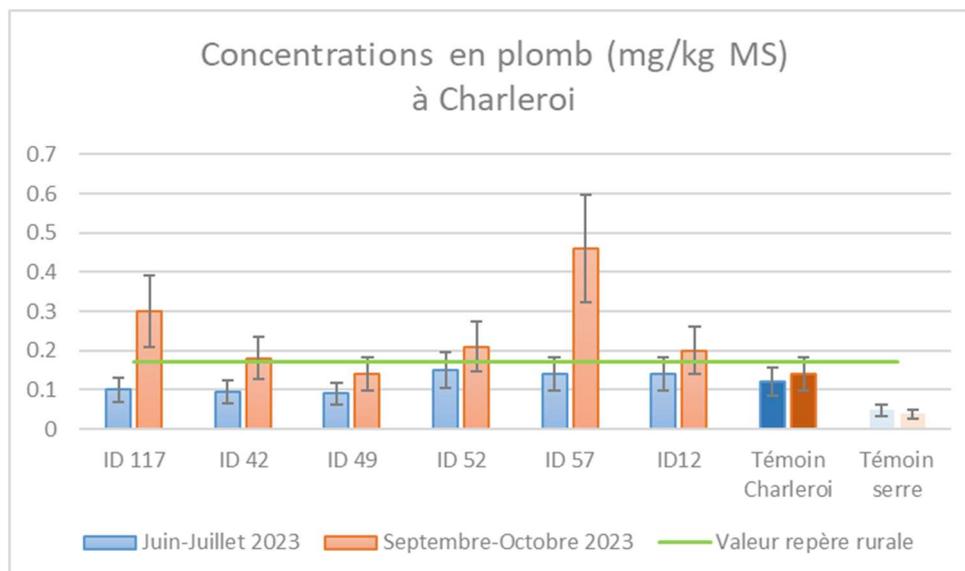


Figure 53. Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Tableau 37. Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Liège.

Concentrations (mg/kg MS) en plomb		
Liège		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 08	0,2	0,38
ID 102	0,14	0,21
ID 67	0,19	0,38
ID 80	0,11	0,24
ID 84	0,1	0,12
ID 86	0,19	0,18
Témoin Liège	0,36	0,47
Témoin serre	0,049	0,039

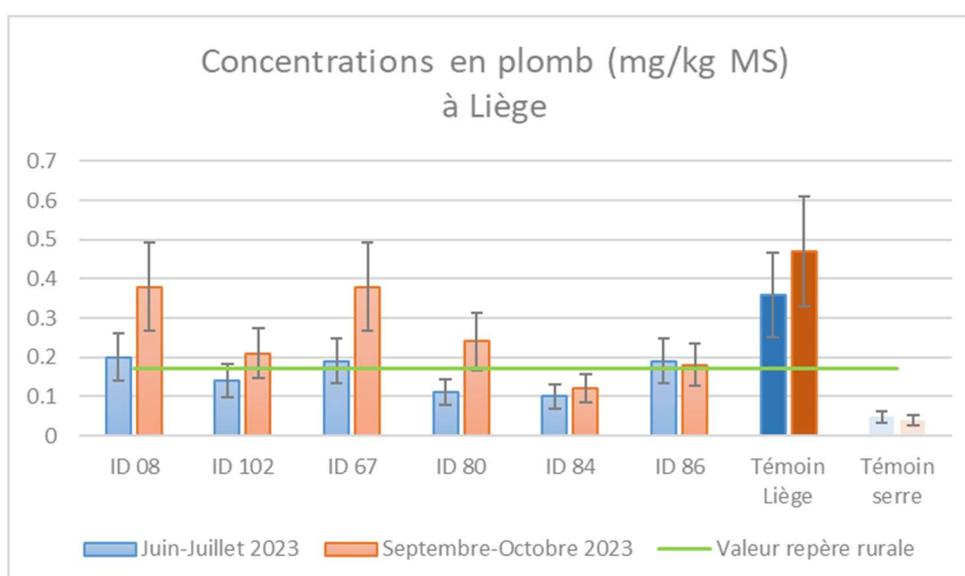


Figure 54. Concentrations en plomb dans les graminées, aéroport de Liège.

Les concentrations en plomb mesurées dans les **graminées** sont variables au fil des campagnes et des stations de mesure, tant à Liège qu'à Charleroi. La plupart des concentrations sont comparables à celles de la valeur repère rurale mais certaines le dépassent, notamment :

- À Charleroi, ID 57 et ID 117 lors de la campagne d'automne (septembre-octobre 2023).
- A Liège, ID 08 et ID 67 (campagne d'automne) et le Témoin Liège (lors des 2 campagnes).

Parmi ces valeurs, 2 sont significativement supérieures à la valeur mesurée au témoin local : ID 57 et ID 117 (Charleroi, campagne d'automne, respectivement 0,30 et 0,46 mg/kg MS). La station ID 57 est située dans un jardin, à l'arrière de la rangée de maison, mais à proximité immédiate de l'aéroport (370 m de la piste, au Sud-Ouest) et de l'autoroute E420 (250 m). La station ID 117 est situé dans un parc arboré, à 990 m au Sud-Ouest de la piste, et à 690 m de l'autoroute. Les différences de concentrations n'ont pas été observées lors de la campagne d'été (juin-juillet), qui a été marquée par des pluies plus abondantes. Lors de la campagne d'automne, tous les avions ont décollé vers le Sud-Ouest, sans que leur nombre soit plus important que lors de la campagne d'été. Les concentrations en plomb observées dans ces deux stations de Charleroi sont du même ordre de grandeur que la concentration observée dans le témoin de Liège lors de la campagne d'automne (0,47 mg/kg MS).

En termes de risque de contamination de la chaîne alimentaire, les concentrations mesurées ici en plomb dans les graminées sont très inférieures aux valeurs guides établies en Allemagne (Vdi, 2010), respectivement de 1 à 1,5 mg/kg MS pour les bovins et 4,5 à 6,8 mg/kg MS pour les ovins. En France (INERIS, n.d.), la valeur réglementaire a été fixée à 30 mg/kg MS.

Les graminées ont montré des concentrations en plomb allant de 0,039 à 0,47 mg/kg MS. En comparaison, pour d'autres aéroports, ces concentrations allaient :

- A Munich, de 0,05 à 0,20 mg/kg MS ;
- A Berlin, de 0,09 à 0,45 mg/kg MS ;
- A Leipzig, de 0,13 à 0,70 mg/kg MS.

Les mesures en milieu rural de la littérature donnent une valeur inférieure à 0,2 mg/kg MS, sans précision étant donné une limite de quantification plus élevée que dans notre étude. La moyenne des témoins pour les environnements urbains de Charleroi et Liège, est de 0,27 mg/Kg MS.

Conclusions pour le plomb

L'étude des dépôts en plomb a montré des valeurs fréquemment supérieures à la référence rurale, tant avec la technique des jauges qu'avec celle de la biosurveillance, et tant à Charleroi qu'à Liège. Elles restent toutefois inférieures à la référence urbaine. Ces observations ont été faites aussi bien dans des stations de localisation plus urbaine (comme ID117 et ID 57) que dans des environnements ruraux (ID 08 et ID 12), sans lien apparent aux activités de l'aéroport le plus proche.

10.2.8. Zinc

Jauges – valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en zinc (Zn) au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans le **Tableau 38** et la **Figure 55** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 39** et la **Figure 56** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 38. Résultats annuels des retombées en zinc au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Zn ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoïn Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	84	106	77	68	104	121	102
Médiane	54	44	48	47	52	91	74
Cmin	18	16	23	23	15	19	29
Cmax	395	403	258	216	414	316	386

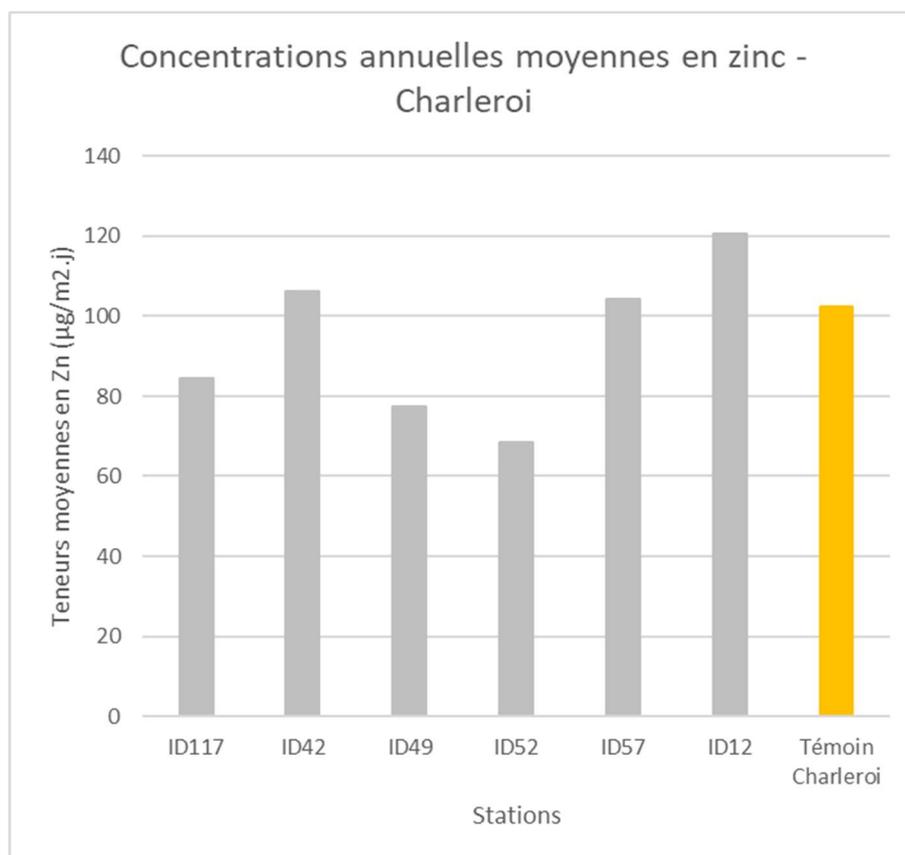

Figure 55. Teneurs moyennes en zinc dans les retombées au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 39. Résultats annuels des retombées en zinc au niveau de l'aéroport de Liège.

Zn ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoïn Liège
Nombre de valeurs	13	13	13	13	12	13	12
Moyenne	143	118	104	158	140	119	137
Médiane	121	116	89	70	81	120	119
Cmin	31	15	21	11	17	21	11
Cmax	264	237	260	1053	731	294	394

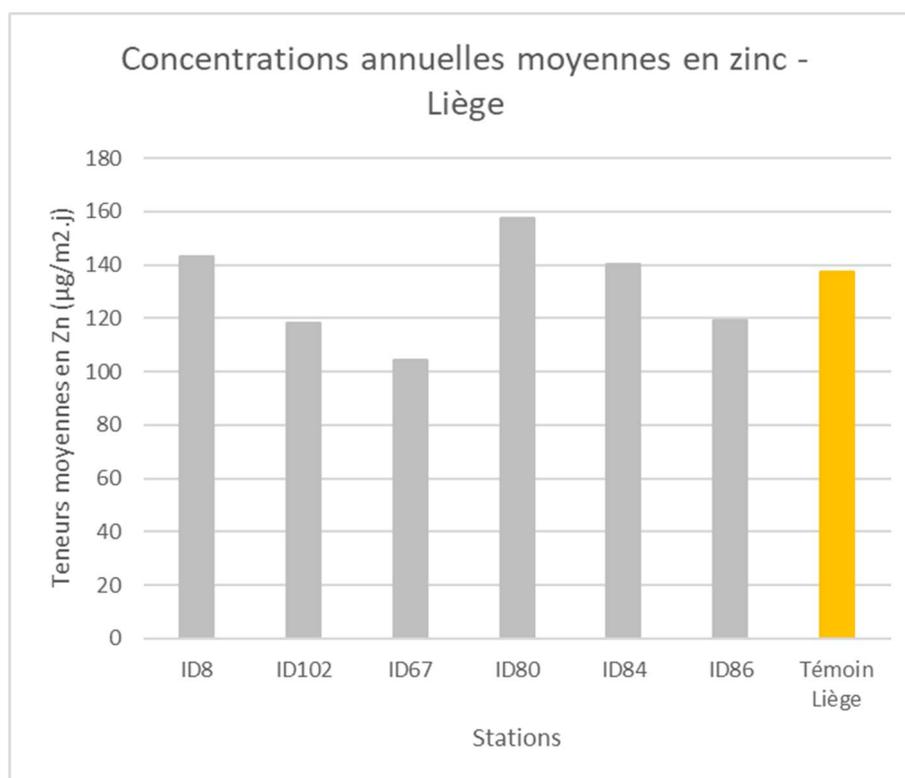


Figure 56. Teneurs moyennes en zinc dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les concentrations médianes en zinc des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) ainsi qu'avec la valeur réglementaire suisse (OPair) de 400 µg/m².j (Figure 57).

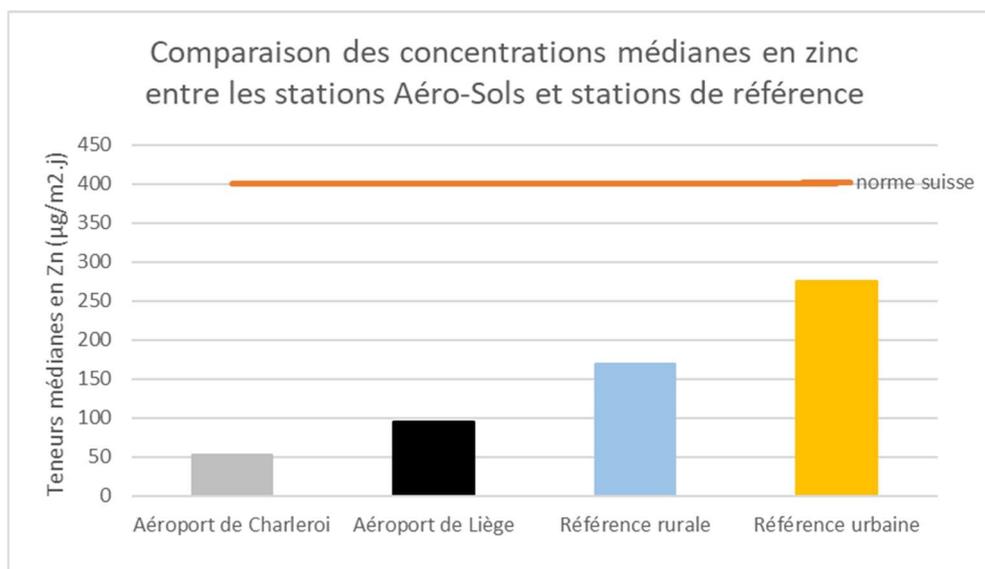


Figure 57. Jauges – comparaison des valeurs médianes en zinc entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft.

Au niveau des jauges, les concentrations moyennes en zinc sont du même ordre de grandeur que les stations témoins à Charleroi et à Liège à l'exception de 2 stations dont les retombées en zinc sont un peu plus importantes : ID12 à Charleroi (3 valeurs élevées : 288 µg/m².j entre le 22/06 et le 20/07/23,

316 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$ entre le 20/07 et le 17/08/23 et 254 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$ entre le 09/11 et le 07/12/23) (**Figure 55**) et ID80 à Liège (1053 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$ entre le 21/09 et le 18/10). Ces valeurs élevées pèsent sur la moyenne annuelle de ces stations (**Figure 56**).

Les valeurs médianes en zinc au niveau des jauges de Charleroi et de Liège sont inférieures aux valeurs médianes des références rurale et urbaine. Les retombées atmosphériques en Zn sont inférieures à la valeur de référence OPair (moyenne annuelle arithmétique qui représente la charge polluante admissible de l'air).

Les concentrations moyennes annuelles en zinc mesurées dans les retombées atmosphériques des stations du projet Aéro-Sols vont de 68 à 158 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$. En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a estimé des valeurs annuelles de 13 à 23 $\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{j}$.

Biosurveillance

Les **Tableaux 40 et 41** ainsi que les **Figures 58 et 59** présentent les résultats des analyses de zinc dans les graminées pour les aéroports de Charleroi et de Liège, respectivement.

Les concentrations mesurées en zinc se situent entre 24,3 et 47,3 mg/kg MS.

La valeur repère rurale (valeur de référence) vaut 60 mg/kg MS.

Tableau 40. Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Concentrations (mg/kg MS) en zinc		
Charleroi		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre- Octobre 2023
ID 117	36,4	46,2
ID 42	45,5	42,4
ID 49	37,7	42,6
ID 52	37,2	39,5
ID 57	37,8	41,8
ID12	40,6	39,9
Témoin Charleroi	34,3	37,6
Témoin serre	33	47,3

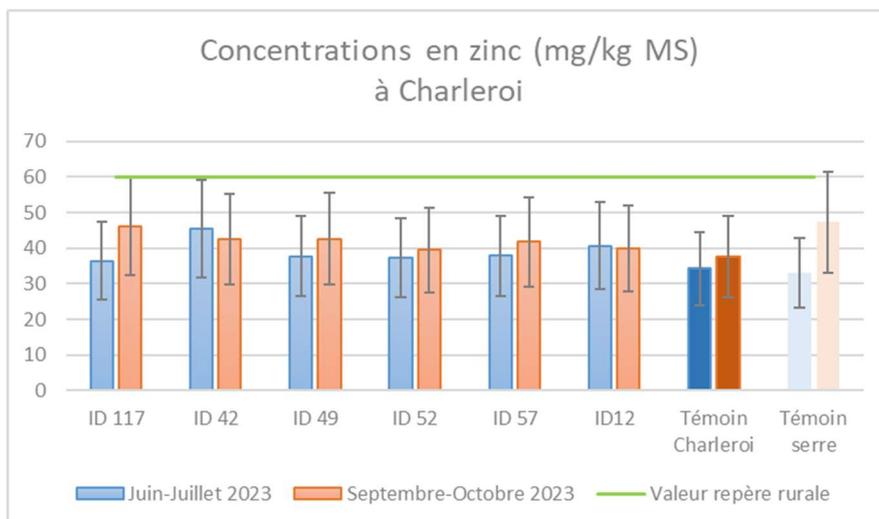


Figure 58. Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Charleroi.

Tableau 41. Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Liège.

Concentrations (mg/kg MS) en zinc		
Liège		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 08	32,3	44,6
ID 102	34,3	40
ID 67	32,2	46,4
ID 80	29,4	38,8
ID 84	27,1	36,4
ID 86	31,2	40,8
Témoin Liège	24,3	44,3
Témoin serre	33	47,3

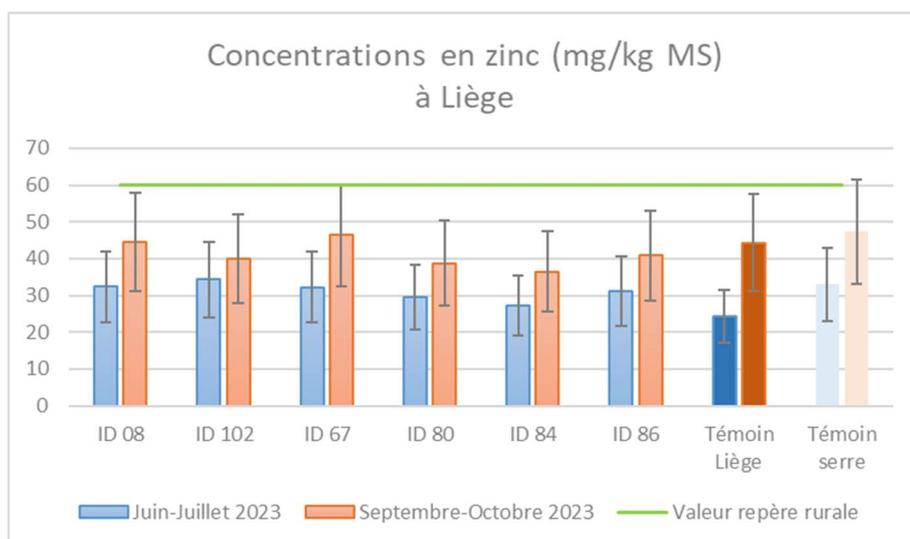


Figure 59. Concentrations en zinc dans les graminées, aéroport de Liège.

Toutes les concentrations en zinc mesurées dans les **graminées** des stations de biosurveillance sont inférieures à la valeur repère rurale.

Les concentrations en zinc mesurées dans les stations de l'étude ne sont pas supérieures à celles des témoins, ni à Charleroi ni à Liège, ni pour la campagne de juin-juillet 2023 ni pour celle de septembre-octobre 2023.

Le risque pour la contamination de la chaîne alimentaire est inexistant, les concentrations mesurées ici étant très inférieures à la valeur guide établie en Allemagne (VDI, 2010) respectivement à 341 mg/kg MS pour les ovins et 568 mg/kg MS pour les bovins.

Les graminées ont montré des concentrations en zinc allant de 24,3 à 47,3 mg/kg MS. Les études antérieures autour d'autres aéroports ont montré :

- A Munich, des concentrations allant de 17 à 33 mg/kg MS
- A Berlin, de 17 à 35 mg/kg MS
- A Leipzig-Halle, de 17 à 28 mg/kg MS.

Les concentrations typiques d'un milieu rural ont été mesurées à 24 mg/kg MS en Bavière. La moyenne des témoins urbains de Liège et Charleroi vaut 35,13 mg/kg MS.

Conclusions pour le zinc

Les dépôts en zinc sont presque toujours inférieurs aux références rurales, tant à Charleroi qu'à Liège et tant avec des techniques de mesure par jauge que par biosurveillance. Les quelques valeurs plus élevées observées dans les jauges (ID12 et ID80) n'ont pas pu être liées à une activité particulière issue de l'aéroport le plus proche.

10.2.9. Matières totales

Jauges – valeurs annuelles

La quantité de matières totales, c'est-à-dire l'ensemble des poussières récoltées par la jauge, a été mesurée au niveau des 6 stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin. Les moyennes annuelles de ces résultats sont reprises dans le **Tableau 42** et la **Figure 60** pour l'aéroport de Charleroi et dans le **Tableau 43** et la **Figure 61** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 42. Quantités annuelles de matières totales (mg/m².j) au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Matières totales (mg/m ² .j)	ID117	ID42	ID49	ID52	ID57	ID12	Témoin Charleroi
Nombre de valeurs	13	13	13	13	13	12	13
Moyenne	91	79	91	91	89	174	103
Médiane	80	50	71	76	83	113	85
Cmin	46	33	38	37	41	51	54
Cmax	264	324	274	204	190	520	165

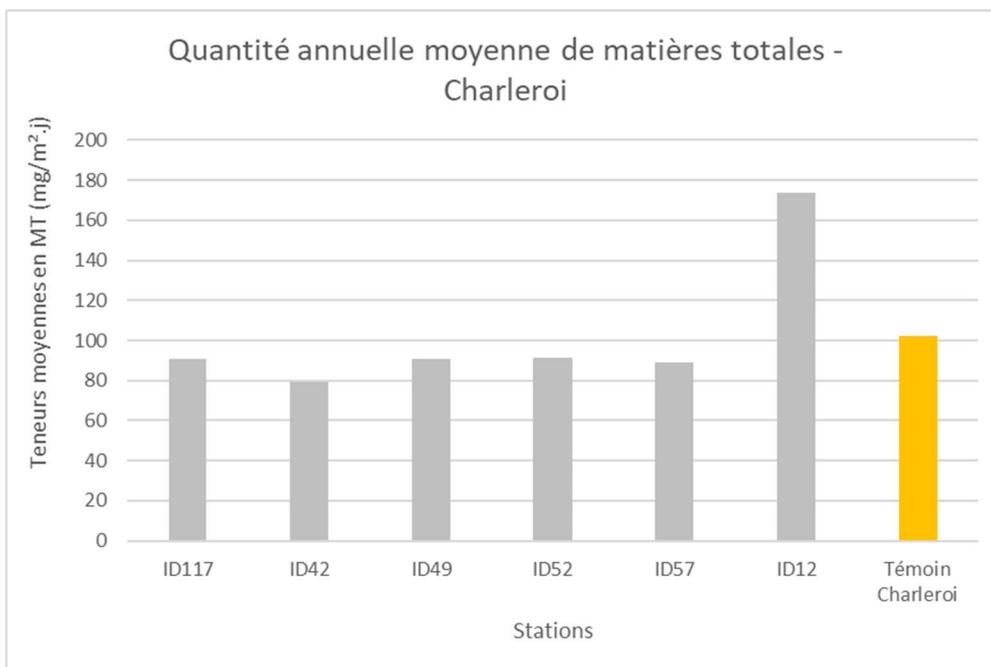


Figure 60. Quantité moyenne annuelle de matières totales au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 43. Quantités annuelles de matières totales au niveau de l'aéroport de Liège.

Matières totales (mg/m².j)	ID8	ID102	ID67	ID80	ID84	ID86	Témoin Liège
Nombre de valeurs	13	13	13	13	12	13	12
Moyenne	100	81	79	69	68	71	52
Médiane	66	68	72	59	57	66	50
Cmin	24	29	33	9	26	34	13
Cmax	348	168	146	111	129	126	109

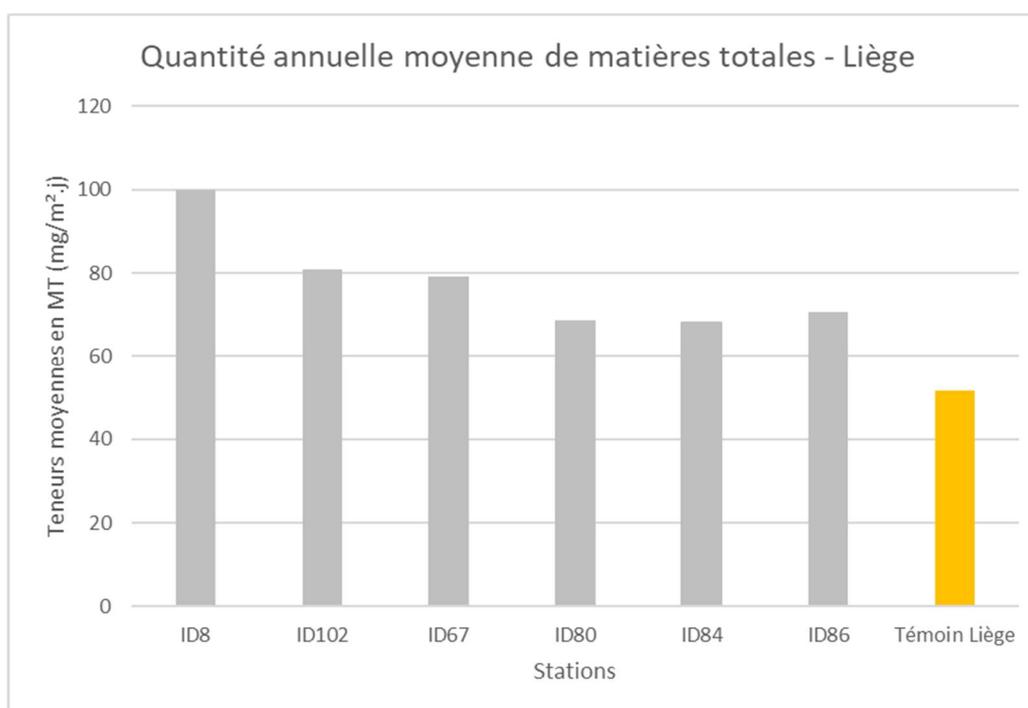


Figure 61. Teneurs moyennes en zinc dans les retombées au niveau de l'aéroport de Liège.

Les quantités totales médianes annuelles de matières totales mesurées au niveau des jauges sont comparées entre les deux aéroports et avec les références rurale (Havelange) et urbaine (Liège) ainsi qu'avec la valeur réglementaire allemande (TA-Luft) de 350 mg/m².j (**Figure 62**).

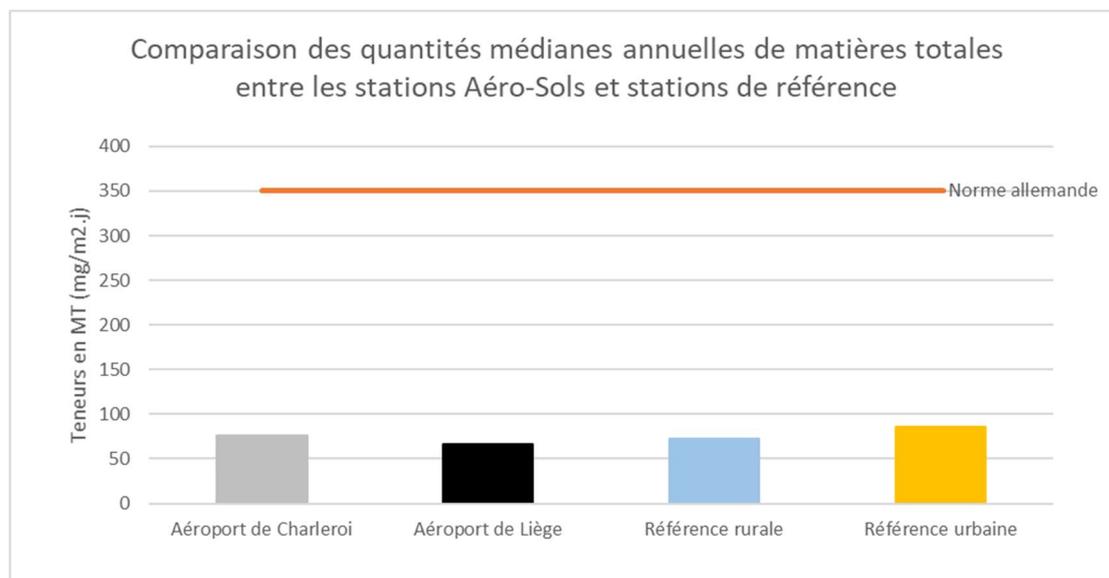


Figure 62. Jauges – comparaison des quantités médianes annuelles de matières totales entre les stations Aéro-Sols (Charleroi et Liège), les stations de référence urbaine et rurale ainsi que la TA-Luft (norme allemande).

Au niveau des **jauges**, les quantités annuelles moyennes de matières totales sont du même ordre de grandeur que la station témoin à Charleroi à l'exception de l'ID12. Cette station présente une quantité de retombées de poussières sédimentables plus importante que les autres stations. Cette station est située à proximité immédiate d'une ferme, en zone rurale. L'activité agricole menée à cet endroit est très probablement la source d'un envol plus important de poussières (tri et nettoyage des pommes de terre, passage de tracteurs, ...). Il est vraisemblable que les concentrations plus élevées en manganèse, plomb et zinc observées à cette station soient liées à cette quantité plus importante de retombée de poussières.

Les quantités annuelles moyennes de matières totales sont plus importantes au niveau des stations autour de l'aéroport de Liège en comparaison à la station témoin.

Les quantités totales médianes annuelles de matières totales dans les jauges autour des aéroports de Liège et Charleroi sont du même ordre de grandeur que la référence rurale et légèrement inférieures à la référence urbaine.

Les quantités moyennes annuelles de matières totales enregistrées au niveau des stations du projet Aéro-Sols vont de 68 à 174 mg/m².j, ce qui reste très inférieur à la valeur réglementaire de 350 mg/m².j. (TA-Luft). En comparaison, l'étude menée autour de l'aéroport de Munich a mesuré des valeurs moyennes annuelles de 41 à 74 mg/m².j.

10.3. Hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀)

Les hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) ont été analysés uniquement dans les échantillons provenant des jauges, pas de la biosurveillance. Ils sont dosés dans l'eau récoltée dans le collecteur par une méthode d'analyse qui est habituellement utilisée pour les eaux souterraines.

10.3.1. Contexte réglementaire, valeurs limites et valeurs de comparaison

Il n'existe pas de valeur limite légale ou autres valeurs de référence pour les hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) dans les retombées atmosphériques. Ce type de prélèvement et d'analyse n'a jamais été effectué en Wallonie et aucune étude semblable n'a été réalisée ailleurs, ni autour d'un aéroport, ni dans un autre environnement.

Cependant, comme présenté au point 6.4, il existe des stations de mesure en Wallonie qui peuvent fournir des valeurs de comparaison. Ces stations de mesure ISSEP réalisent la surveillance de la qualité de l'air ambiant autour de l'aéroport de Charleroi pour le compte de la SOWAER (Société Wallonne des Aéroports) mais également dans des zones rurales (Dourbes et Vielsalm) et dans des zones urbaines (Charleroi et Liège).

10.3.2. Résultats pour les hydrocarbures

Valeurs annuelles

Les résultats des retombées annuelles en hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) au niveau des stations de prélèvements disposées dans les jardins des riverains et au niveau du point témoin sont repris dans les **Tableaux 44 et 45** pour l'aéroport de Charleroi et dans les **Tableaux 46 et 47** pour l'aéroport de Liège.

Tableau 44. Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions C₅-C₁₁ au niveau de l'aéroport de Charleroi (LOQ = 50 µg/L).

Fraction C5-C11 (µg/L)	Nombre de valeurs	Moyenne	Médiane	Cmax
ID117	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID42	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID49	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID52	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID57	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID12	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Témoin Charleroi	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ

Tableau 45. Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions C₁₀-C₄₀ au niveau de l'aéroport de Charleroi (LOQ = 0,1 mg/L).

Fraction C10-C40 (mg/L)	Nombre de valeurs	Moyenne	Médiane	Cmax
ID117	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID42	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID49	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID52	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID57	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID12	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Témoin Charleroi	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ

Tableau 46. Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions C₅-C₁₁ au niveau de l'aéroport de Liège (LOQ = 50 µg/L).

Fraction C5-C11 (µg/L)	Nombre de valeurs	Moyenne	Médiane	Cmax
ID8	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID102	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID67	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID80	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID84	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID86	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Témoins Liège	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ

Tableau 47. Résultats annuels des retombées en hydrocarbures fractions C₁₀-C₄₀ au niveau de l'aéroport de Liège (LOQ = 0,1 mg/L).

Fraction C10-C40 (mg/L)	Nombre de valeurs	Moyenne	Médiane	Cmax
ID8	12	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID102	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID67	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID80	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID84	12	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID86	12	< LOQ	< LOQ	< LOQ
Témoins Liège	13	< LOQ	< LOQ	< LOQ

Conclusions pour les hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀)

Aucune retombée en hydrocarbures (fractions C₅-C₁₁ et C₁₀-C₄₀) n'a pu être mise en évidence. Tous les résultats sont inférieurs aux limites de quantification.

Ces valeurs sont identiques à celles des mesures réalisées par l'ISSEP en Wallonie. En effet, toutes les mesures sont également inférieures aux limites de quantification (**Tableaux de 48 à 51**).

Tableau 48. Retombées d'hydrocarbures (fraction C₅-C₁₁) – Valeurs mensuelles – (03/01/2023 au 04/01/2024) – Charleroi.

Site de mesure	Nombre de valeurs	Moyenne (µg/l)	Médiane (µg/l)	Maximum (µg/l)
TMCH07 (Site SOWAER, Jumet)	12	< 50	< 50	< 50
TMCH08 (Middle Marker)	13	< 50	< 50	< 50
Fleurus (Outer Marker)	13	< 50	< 50	< 50
Roux (rue du Chiffon rouge)	13	< 50	< 50	< 50
TMCH03 (Charleroi-caserne)	13	< 50	< 50	< 50
TMNT01 (Dourbes)	13	< 50	< 50	< 50

Tableau 49. Retombées d'hydrocarbures (fraction C₁₀-C₄₀) – Valeurs mensuelles – (03/01/2023 au 04/01/2024) – Charleroi.

Site de mesure	Nombre de valeurs	Moyenne (mg/l)	Médiane (mg/l)	Maximum (mg/l)
TMCH07 (Site SOWAER, Jumet)	11	< 0,1	< 0,1	< 0,1
TMCH08 (Middle Marker)	13	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Fleurus (Outer Marker)	13	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Roux (rue du Chiffon rouge)	13	< 0,1	< 0,1	< 0,1
TMCH03 (Charleroi-caserne)	13	< 0,1	< 0,1	< 0,1
TMNT01 (Dourbes)	13	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Tableau 50. Retombées d'hydrocarbures (fraction C₅-C₁₁) – Valeurs mensuelles – (02/02/2023 au 14/01/2024) – Liège.

Site de mesure	Nombre de valeurs	Moyenne (µg/l)	Médiane (µg/l)	Maximum (µg/l)
TMLG08 (Cahottes)	11	< 50	< 50	< 50
TMLG09 (Liège-Airport D-VOR)	11	< 50	< 50	< 50
Alleur	11	< 50	< 50	< 50
Warfusée	11	< 50	< 50	< 50
TMLG06 (Liège-ISSeP)	10	< 50	< 50	< 50
TMNT09 (Vielsalm)	8	< 50	< 50	< 50

Tableau 51. Retombées d'hydrocarbures (fraction C₁₀-C₄₀) – Valeurs mensuelles – (02/02/2023 au 14/01/2024) – Liège.

Site de mesure	Nombre de valeurs	Moyenne (mg/l)	Médiane (mg/l)	Maximum (mg/l)
TMLG08 (Cahottes)	11	< 0,1	< 0,1	< 0,1
TMLG09 (Liège-Airport D-VOR)	11	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Alleur	11	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Warfusée	11	< 0,1	< 0,1	< 0,1
TMLG06 (Liège-ISSeP)	10	< 0,1	< 0,1	< 0,1
TMNT09 (Vielsalm)	8	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Les données pour l'aéroport de Charleroi sont issues du rapport ISSeP (2024a). Tandis que les données pour l'aéroport de Liège proviennent du rapport ISSeP (2024b). Ces rapports sont disponibles sur le site Wallonair.

10.4. HAP (16 EPA)

Les analyses des 16 HAP sont effectuées sur la phase liquide de l'échantillon. Par conséquent, les résultats des analyses sont donnés en quantité de polluant par litre (ng/L). Or, les valeurs de la littérature sont en ng/m².j. Pour pouvoir comparer ces dernières aux résultats des analyses, il est donc nécessaire de procéder à une conversion des unités.

La conversion des unités est réalisée grâce au volume des échantillons ce qui permet d'obtenir la quantité totale de polluant par échantillon. Ensuite, cette quantité est divisée par la surface de l'entonnoir et par le nombre de jours de prélèvement de façon à avoir une quantité de polluant par m² et par jour (ng/m².j).

10.4.1. Contexte réglementaire, valeurs limites et valeurs de comparaison

Il n'existe pas de valeur limite réglementaire pour les HAP dans les retombées atmosphériques ni dans l'Union Européenne ni en Wallonie. Il n'y a pas non plus de mesure des HAP dans les retombées atmosphériques en Wallonie. Les résultats des mesures réalisées aux 6 stations autour de l'aéroport de Charleroi et de Liège sont donc comparées à la station témoin de Charleroi et de Liège respectivement.

Il existe cependant des valeurs dans la littérature scientifique qui peuvent être considérées **uniquement à titre indicatif** car la méthodologie, le matériel de prélèvement, les analyses, les périodes et les lieux de mesure ne sont pas identiques à ceux du projet Aéro-Sols.

Tout d’abord, des mesures ont été réalisées en Flandre entre 2016 et 2018 par la VMM⁶ dans divers milieux (urbain, rural, industriel...). Il a été décidé de prendre Houtem comme comparaison rurale et Gand comme comparaison urbaine. Les moyennes annuelles sont présentées dans le **Tableau 52**. Une valeur unique est indiquée pour le benzo(b+j+k)fluoranthène ce qui pose problème. En effet, une valeur pour le benzo(b)- et le benzo(k)fluoranthène séparément serait plus adaptée afin de comparer ces valeurs aux résultats des analyses réalisées dans le cadre du projet Aéro-Sols.

Il existe également des valeurs repères dans les pays voisins pour quelques HAP (**Tableau 52**). Il s’agit de données reprises en annexe de la norme NBN EN 15980 (2011). Ce sont des valeurs de référence pour différents sites ruraux, urbains ou industriels.

Tableau 52. Valeurs de comparaison dans la littérature pour les HAP.

HAP (ng/m ² .j)	France (site de fond)	VMM - Houtem (rural)	VMM - Gand (urbain)	Allemagne (site industriel)
Naphtalène		24	75	
Acénaphtylène		8,7	31,5	
Acénaphène		8,6	241,7	
Fluorène		9,2	184,7	
Phénanthrène		41	443	
Anthracène		7,5	120	
Fluoranthène		57	1103	
Pyrène		41	705	
Benzoanthracène	7,6	13,6	161	288
Chrysène		33	443	
Benzo(b)fluoranthène	23	29	283	369
Benzo(k)fluoranthène	7			192
Benzo(a)pyrène	7,7	17,3	95,1	212
Dibenzoanthracène	3	4,5	23,6	53
Benzo(g,h,i)pérylène		10,8	69,4	
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	15	10	69,8	330
Somme 16 HAP		316	4048	

10.4.2. Résultats pour les 16 HAP

Jauges – valeurs annuelles pour la somme des 16 HAP

Ce chapitre présente les résultats annuels pour la somme des 16 HAP pour chaque station ainsi que les moyennes et les concentrations maximales mesurées autour de chaque aéroport (**Tableau 53 et 54**).

Les résultats complets de chaque période de relèvement pour chaque point de prélèvement et pour chaque polluant sont repris aux **Annexes 10 a, b et c**.

La somme des 16 HAP est effectuée en considérant une valeur de LOQ/2 pour les valeurs < LOQ. Si cette somme (exprimée en ng/L) est inférieure à la LOQ de la somme des 16 HAP (117 ng/L), alors le

⁶ Vlaamse Milieumaatschappij : l’agence flamande pour l’environnement

résultat est indiqué comme étant < LOQ. Si le résultat est > LOQ, alors la conversion des unités est effectuée afin d'obtenir des ng/m².j.

De la même manière, les moyennes ont été calculées en prenant une valeur de LOQ/2. Si le résultat (exprimé en ng/L) est inférieur à la LOQ de la somme des 16 HAP (117 ng/L), alors il est indiqué comme étant < LOQ. Si le résultat est > LOQ, alors la conversion des unités est effectuée afin d'obtenir des ng/m².j.

Tableau 53. Résultats annuels des retombées en HAP au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Somme 16 HAP (ng/m ² .j)	Moyenne	Nombre de valeurs	Nombre valeurs > LOQ	Concentration maximale mesurée
ID117	< LOQ	13	0	< LOQ
ID42	< LOQ	13	0	< LOQ
ID49	< LOQ	12	0	< LOQ
ID52	< LOQ	13	0	< LOQ
ID57	< LOQ	13	0	< LOQ
ID12	< LOQ	13	1	195
Témoïn Charleroi	< LOQ	13	0	< LOQ

Tableau 54. Résultats annuels des retombées en HAP au niveau de l'aéroport de Liège.

Somme 16 HAP (ng/m ² .j)	Moyenne	Nombre de valeurs	Nombre valeurs > LOQ	Concentration maximale mesurée
ID8	< LOQ	13	0	< LOQ
ID102	< LOQ	13	0	< LOQ
ID67	< LOQ	13	1	567
ID80	< LOQ	13	0	< LOQ
ID84	< LOQ	13	0	< LOQ
ID86	< LOQ	13	0	< LOQ
Témoïn Liège	< LOQ	11	0	< LOQ

La somme des 16 HAP mesurées **dans les jauges** est toujours inférieure à la limite de quantification sauf pour une station à Charleroi (ID12 période 8) et une station à Liège (ID67 période 10) avec des concentrations de 195 ng/m².j à Charleroi et 567 ng/m².j à Liège. La moyenne annuelle des deux aéroports est la même que pour les témoins urbains, c'est-à-dire < LOQ.

A Charleroi, la valeur mesurée était de 123 ng/L (avant conversion des unités), ce qui est très proche de la LOQ (117 ng/L). Elle est due à la présence de plusieurs HAP rarement détectés à d'autres périodes et dans d'autres stations autour de l'aéroport de Charleroi tels que :

- Le chrysène, le benzo(b)fluoranthène, le benzo(g,h,i)pérylène et l'indéno(1,2,3-c,d)pyrène avec 1 détection sur 77 mesures ;
- Le benzo(a)anthracène avec 2 détections sur 77 mesures ;
- Le benzo(a)pyrène avec 3 détections sur 77 mesures.

A Liège, cette valeur est due à une concentration en acénaphthylène de 311 ng/m².j pour la période 10. En effet, l'acénaphthylène n'a jamais été détecté par les stations situées autour de l'aéroport de Charleroi, ni par celles placées autour de l'aéroport de Liège, quelle que soit la période d'observation.

L'origine de ce pic reste inexplicée mais il est peu probable qu'il soit causé par les activités aéroportuaires étant donné qu'il n'y a pas eu d'augmentation significative du nombre de vols à cette période (voir la section 9 sur les conditions d'exploitation des aéroports) et qu'une augmentation des activités induirait plutôt une augmentation généralisée des différents polluants étudiés. Il est probable que ce pic soit induit par une source ponctuelle de pollution.

À titre indicatif, la moyenne annuelle de la somme des 16 HAP à Houtem est de 316 ng/m².j et à Gand la moyenne annuelle est de 4048 ng/m².j. Donc la concentration maximale mesurée à Charleroi est inférieure à la moyenne annuelle rurale de Houtem et celle de Liège est environ 7 fois inférieure à la moyenne annuelle mesurée à Gand.

Biosurveillance - valeurs pour la somme des 16 HAP

Les résultats des analyses des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont présentés ci-dessous (**Tableaux 55 et 56, Figures 63 et 64**) pour la somme des 16 HAP, pour laquelle il existe une valeur de référence. Les résultats complets de chaque campagne, pour chaque point de prélèvement et pour chaque polluant sont repris aux **Annexes 12 a et b**.

Pour les mesures de concentration en HAP dans les graminées, les concentrations sont exprimées en µg de la substance étudiée par kg de plante, ramenée en matière sèche (MS). Les limites de quantification (LOQ) valent 0,083 ou 0,086 µg/kg MS, sauf dans un cas où la LOQ valait 0,25 µg/kg MS (pour le benzo(a)anthracène, échantillon ID102, campagne juin-juillet 2023). Les incertitudes analytiques sont estimées à 30 % ; elles sont représentées sous forme de barres d'erreur dans les graphes.

Il est également à noter que le naphthalène est un composant naturel de certains champignons, insectes et plantes, d'où sa présence dans le charbon. Il représente fréquemment la part majeure de la somme des 16 HAP mesurés par la biosurveillance dans le ray-grass.

Les HAP présents dans l'atmosphère proviennent essentiellement des processus de combustion (feu de bois, chauffage au fuel, etc.). Il est classique de les observer en concentration supérieure en période plus froide (automne-hiver).

Tableau 55. Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en µg par kg de matière sèche, pour les sites de Charleroi.

Somme des concentrations des 16 HAP (µg/kg MS)		
Charleroi		
Station	Juin-Juillet 2023	Septembre- Octobre 2023
ID 117	48,32	163,36
ID 42	74,54	59,00
ID 49	58,32	27,84
ID 52	61,47	48,30
ID 57	45,12	46,86
ID12	60,86	26,40
Témoin Charleroi	48,12	177,26
Témoin serre	57,32	113,34

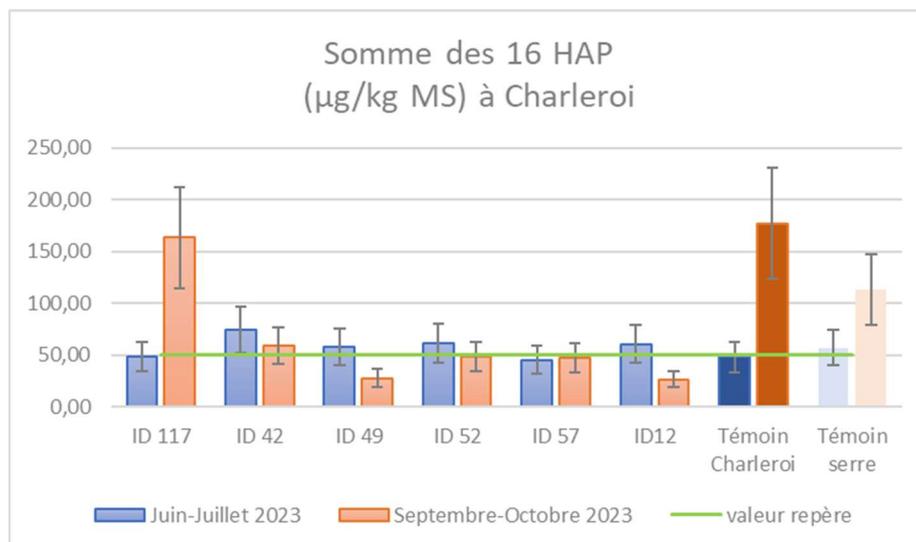


Figure 63. Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en µg par kg de matière sèche, pour les sites de Charleroi.

Tableau 56. Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en µg par kg de matière sèche, pour les sites de Liège.

Somme des concentrations des 16 HAP (µg/kg MS)		
Liège		
Stations	Juin-Juillet 2023	Septembre-Octobre 2023
ID 08	57,42	66,57
ID 102	43,33	132,56
ID 67	44,60	69,60
ID 80	43,61	169,12
ID 84	46,33	138,12
ID 86	46,97	89,16
Témoin Liège	51,95	166,26
Témoin serre	57,32	113,34

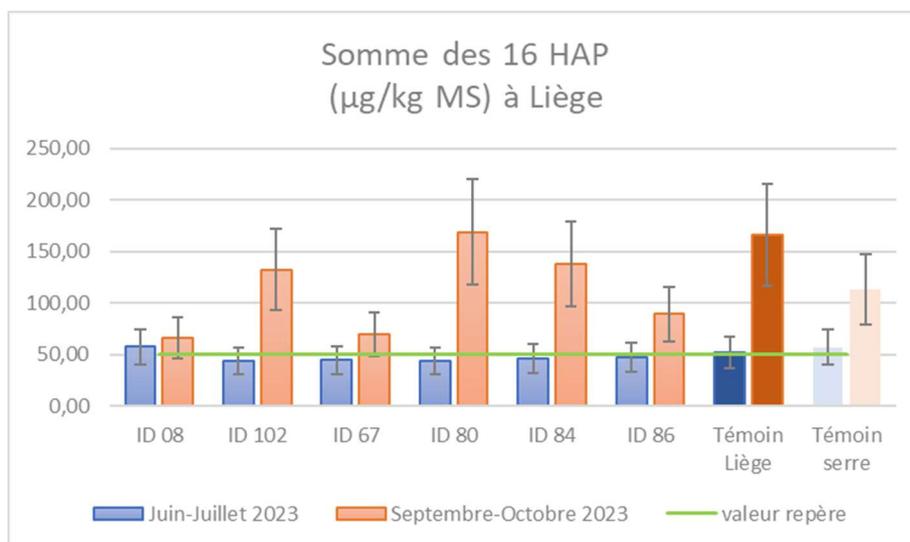


Figure 64. Somme des concentrations des 16 HAP, exprimées en µg par kg de matière sèche, pour les sites de Liège.

La somme des concentrations en HAP mesurées dans les graminées varie de 26,4 à 177,3 µg/kg MS (**Tableaux 55 et 56**). La valeur repère pour cette somme vaut 50 µg/kg MS.

La somme des 16 HAP mesurée par la **biosurveillance** reflète les constats posés individuellement pour les différents HAP (voir **Annexes 12 a et b**) et les amplifie pour certains :

- Le naphtalène représente de 19 à 77 % de la somme des 16 HAP.
- A Charleroi et à Liège : les concentrations de la campagne d'été (juin-juillet 2023) sont toutes du même ordre de grandeur que la valeur repère pour la somme des 16 HAP.
- A Charleroi : 3 valeurs issues de la campagne d'automne (septembre-octobre 2023) sont supérieures à la valeur repère : ID117, Témoin Charleroi et Témoin serre.
- A Liège, le constat est similaire pour la campagne d'automne, et concerne les stations ID102, ID80, ID84, ID86, Témoin Liège et Témoin serre.

Les concentrations les plus élevées apparaissent lors de la campagne d'automne, période de plus faible croissance des plantes, de moindre pluviométrie (propre à 2023), de moins bonne dispersion atmosphérique et de plus de chauffage.

A titre de comparaison, ici la somme des concentrations en HAP mesurées dans les graminées varie de 26,4 à 177,3 µg/kg MS, et dans les autres aéroports ayant organisé une biosurveillance :

- A Munich, les concentrations allaient de 10 à 33 µg/kg MS ;
- A Berlin, de 21 à 50 µg/kg MS ;
- A Leipzig-Halle, de 14 à 36 µg/kg MS.

Le fond rural mesuré en Bavière était de 18 µg/kg MS pour la somme des 16 HAP. La moyenne des témoins de Charleroi et Liège vaut 111 µg/kg MS. Même si elles dépassent les valeurs rurales, les concentrations mesurées à Charleroi et Liège restent faibles et sont typiques des environnements urbanisés.

Comparaison des nombres de détection des différents HAP selon la méthode d'échantillonnage utilisée

Les différents HAP qui composent la somme des 16 HAP prioritaires étudiés ici ne sont pas toujours détectables car ils sont présents en concentrations très faibles, que ce soit dans les jauges ou dans les graminées. Le nombre de détection des composés recherchés est repris dans les **Tableaux 57 et 58**, pour Charleroi et pour Liège, respectivement, pour chaque méthode.

A titre d'exemple, le naphtalène a été détecté à toutes les stations des 2 aéroports pour les 2 campagnes de mesure par biosurveillance alors qu'il n'a jamais été détecté dans les jauges. Cela s'explique, d'une part, par le caractère particulièrement volatil de ce polluant. Ce dernier possède une pression vapeur de 32 Pa alors que l'acénaphthylène, le second HAP le plus volatil, a une pression vapeur de 0,89 Pa. La méthode de prélèvement avec des jauges n'est pas adaptée pour cette molécule. D'autre part, le naphtalène est un composé naturellement présent dans les plantes.

Tableau 57. Nombre de détection pour chaque HAP en fonction de la méthode de prélèvement (biosurveillance et jauges) au niveau de l'aéroport de Charleroi.

HAP	Détection des HAP	
	Biosurveillance (12 mesures)	Jauges (77 mesures)
Anthracène	0	0
Acénaphthylène	0	0
Benzo(k)fluoranthène	0	0
Benzoanthracène	0	2
Chrysène	0	1
Benzo(b)fluoranthène	0	1
Benzo(a)pyrène	0	3
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0	1
Naphtalène	12	0
Acénaphthène	3	0
Fluorène	7	0
Dibenzoanthracène	6	0
Benzo(g,h,i)pérylène	2	1
Phénanthrène	10	11
Fluoranthène	12	33
Pyrène	12	30

Tableau 58. Nombre de détection pour chaque HAP en fonction de la méthode de prélèvement (biosurveillance et jauges) au niveau de l'aéroport de Liège.

HAP	Détection des HAP	
	Biosurveillance (12 mesures)	Jauges (78 mesures)
Anthracène	0	0
Benzo(k)fluoranthène	0	0
Benzo(b)fluoranthène	0	0
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0	0
Acénaphthylène	0	1
Benzo(a)pyrène	0	1
Benzo(g,h,i)pérylène	4	0
Dibenzoanthracène	5	0
Acénaphthène	6	0
Naphtalène	12	0
Chrysène	3	2
Benzoanthracène	4	4
Phénanthrène	9	16
Pyrène	12	17
Fluoranthène	12	28
Fluorène	9	33

De manière générale, le nombre de détection et les concentrations sont plus élevées en période hivernale car les températures sont plus faibles et le chauffage est une source importante de polluants. Ce constat est bien visible dans l'exemple donné par le **Tableau 59** qui présente l'évolution des concentrations au fil de l'année en pyrène au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Tableau 59. Evolution des concentrations de juin 2023 à juin 2024 en pyrène au niveau de l'aéroport de Charleroi.

Pyrène (ng/m ³ .j)	22/06 au 20/07/23	20/07 au 17/08/23	17/08 au 14/09/23	14/09 au 12/10/23	12/10 au 09/11/23	09/11 au 07/12/23	07/12/23 au 04/01/24	04/01 au 01/02/24	01/02 au 29/02/24	29/02 au 28/03/24	28/03 au 25/04/24	25/04 au 24/05/24	24/05 au 20/06/24
ID117	< LOQ	38	29	10	36	21	28	< LOQ	< LOQ				
ID42	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	22	26	< LOQ	14	27	23	< LOQ	< LOQ	< LOQ
ID49	< LOQ		38	17	48	20	< LOQ	< LOQ	< LOQ				
ID52	< LOQ	38	29	16	31	19	< LOQ	24	< LOQ				
ID57	< LOQ	48	43	12	45	18	27	< LOQ	< LOQ				
ID12	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	24	25	< LOQ	19	< LOQ				
Témoin Charleroi	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	23	59	23	15	36	18	16	< LOQ	< LOQ



39

Conclusions pour les HAP

Il ressort des constats dressés aussi bien pour les résultats issus des jauges que ceux de la biosurveillance, que les concentrations mesurées à Charleroi et Liège restent faibles et sont typiques des environnements urbanisés. Aucun impact spécifique des activités des aéroports n'a été mis en évidence dans l'étude des HAP.

10.5. Communication des résultats

Une réunion citoyenne finale a été organisée pour chacun des aéroports afin de présenter les résultats aux citoyens, le 18 novembre 2024 à l'hôtel Vander Valk à Charleroi, le 21 novembre 2024 au Val Benoît à Liège et le lundi 2 décembre 2024 à la salle du CEM à Charleroi.

Ces réunions ont été organisées en deux phases. Dans un premier temps, elles étaient adressées uniquement aux participants de l'étude afin de leur permettre de déchiffrer et d'interpréter les résultats avec l'aide de l'équipe projet (ISSeP et Eco-Impact). Cela a permis aux participants de poser leurs questions de manière privilégiée tout en gardant leur anonymat vis-à-vis du grand public.

Ensuite, toute personne intéressée était conviée aux réunions citoyennes finales au cours desquelles les résultats globaux du projet ainsi que les conclusions finales ont été présentés.

10.5.1. Aux participants de l'étude

Les participants ont été invités personnellement par mail à participer à la réunion d'interprétation des résultats. Cette réunion rassemblait les personnes ayant hébergé une station de mesure dans leur jardin. Chaque participant avait reçu préalablement à la réunion, l'ensemble des résultats chiffrés pour la station de mesure de leur jardin (ex : **Annexe 14**).

Les questions ont donc porté sur la compréhension des résultats, qui étaient volontairement bruts. Les riverains ont souhaité des compléments d'information sur les points suivants :

- Points de comparaisons (valeurs réglementaires, valeurs de référence urbaine et rurale, ... ;
- Autres sources de pollution ;
- Localisation des stations les unes par rapport aux autres ;
- Différence entre les polluants présents dans l'air (concentrations dans l'air) et les dépôts (retombées de poussières) ;

- Faut-il s'inquiéter de valeurs plus élevées que les témoins urbains ?
- L'impact potentiel des dépôts atmosphériques sur les nappes phréatiques et les eaux de pluie ;
- Les impacts à long terme sur la santé ;
- ...

Certains participants auraient voulu recevoir plus d'informations sur les interprétations des résultats, et notamment des indications par rapport au risque pour leur santé. C'était précisément l'objet de la réunion, de réaliser les comparaisons des résultats aux références avec les riverains.

Les chiffres bruts créent un effet de loupe sur les valeurs les plus élevées, et suscitent l'inquiétude, même s'ils sont très inférieurs aux normes établies pour la protection de la santé.

Une des participantes informe les autres que, depuis 2 ans, elle n'a plus observé de taches irisées à la surface de son étang. Un autre affirme n'avoir jamais observé de tache et très peu d'odeurs alors que son habitation est survolée par les avions.

Quelques participants indiquent la présence d'odeurs très fortes de kérosène chez eux à certains moments de la journée. Le principe d'un observatoire des odeurs a été évoqué, « une ressource pour toute personne intéressée ou affectée par la pollution par les odeurs » (<https://odourobervatory.org/fr/about-us/>). Ce type d'observatoire possède une approche de science citoyenne qui demande la participation des communautés pour enregistrer les observations concernant les odeurs.

Une personne s'inquiète également d'une éventuelle accumulation des dépôts, même s'ils sont faibles, sur la qualité des fruits et légumes de son jardin. L'ISSeP a renvoyé le riverain vers l'outil SANISOL qui a pour but d'informer sur la pollution des sols et son impact sur l'alimentation. Cet outil en ligne (<http://maps.elie.ucl.ac.be/potager/accueil>) fournit aux particuliers des recommandations spécifiques sur base des résultats d'analyses du sol et des légumes de leur jardin. Les riverains doivent donc au préalable faire analyser leur sol et éventuellement les légumes de leur potager pour utiliser cet outil. Des informations sur ce projet sont disponibles sur le site <http://environnement.sante.wallonie.be/home/expert/projets/sanisol>. Il est important de noter que l'outil SANISOL ne concerne que la pollution des sols en métaux lourds.

10.5.2. Au grand public

L'invitation aux réunions citoyennes a été transmise aux volontaires et à l'ensemble des riverains via la 3^{ème} newsletter ainsi que via les communes et villes.

Les communes/villes contactées pour l'aéroport de Liège sont :

- Verlaine ;
- Saint-Georges ;
- Awans ;
- Flémalle ;
- Grâce-Hollogne ;
- Ans ;
- Juprelle ;
- Fexhe-le-Haut-Clocher.

Les communes/villes contactées pour l'aéroport de Charleroi sont :

- Charleroi ;
- Fleurus ;
- Wangenies ;
- Jumet ;

- Roux ;
- Ransart.

Les résultats ainsi que les conclusions générales du projet Aéro-Sols ont été présentés au public le lundi 18 novembre 2024 à l'hôtel Vander Valk de Charleroi, le jeudi 21 novembre 2024 au Val Benoît à Liège et le lundi 2 décembre 2024 à la salle du CEM à Charleroi. A Charleroi, le 18/11, une trentaine de personnes étaient présentes dont plusieurs représentants du collectif citoyen « Stop aux nuisances de l'aéroport de Charleroi ». A Liège, une vingtaine de personnes étaient présentes dont une journaliste de la presse écrite. A Charleroi le 02/12, 12 personnes étaient présentes.

Le support de présentation pour la réunion citoyenne de Charleroi et de Liège se trouve en **Annexe 15** et **Annexe 16**, respectivement.

Lors de la réunion à Charleroi le 18/11, il a été reproché le manque de communication aux riverains concernant la tenue de cette réunion. Plusieurs personnes ont demandé l'organisation d'une seconde réunion pour toucher un plus grand public. C'est pour cette raison qu'une seconde réunion a été organisée le 02/12 à Charleroi.

Le représentant du collectif citoyen a cité un avis de 2024 du Conseil supérieur de la santé relatif à l'impact sur la santé du bruit de avions et des émissions de polluants à proximité de l'aéroport de Bruxelles-Zaventem (2024) ainsi que les lignes directrices pour la réduction des polluants de l'ACNUSA. Il remet en question le choix des polluants et regrette la décision de ne pas prendre en compte un plus grand panel de substances (PFAS, ...). Il demande des précisions sur les limites de quantification, sur le témoin Charleroi, sur la prise en compte de normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et des dangers pour la santé.

L'équipe du projet rappelle l'origine de l'étude (les plaintes pour des dépôts) et la mise sur pied d'un protocole d'étude dédié à cette question-là. Le périmètre de l'étude est précisé.

Une personne a expliqué que des analyses avaient été réalisées en 2018 sur le sol et des légumes de son jardin dont des carottes et des scaroles et les concentrations étaient faibles dans le sol et très élevées dans les légumes.

Plusieurs personnes insistent pour que le cadre et les limites du projet soient bien expliqués dans le rapport final de l'étude afin d'éviter toute interprétation biaisée des conclusions.

Les questions évoquées lors des différentes réunions citoyennes sont reprises à l'**Annexe 17**. Des réponses sont formulées pour chacune d'elle.

En conclusion, les riverains des aéroports demandent une meilleure communication, permettant d'atteindre le plus grand nombre, ainsi que d'approfondir les recherches sur d'autres polluants qui suscitent leur inquiétude (particules ultrafines, PFAS, ...) afin de savoir si les activités aéroportuaires présentent un risque pour leur santé.

Plusieurs riverains remercient l'ISSeP et Eco-Impact pour la réalisation de l'étude.

L'ISSeP et Eco-Impact ont été également remercié lors de la réunion citoyenne de Charleroi par le porte-parole de l'association « Stop aux nuisances de l'aéroport de Charleroi » pour le « professionnalisme et l'honnêteté avec lesquels ils ont répondu aux questions ».

11. Conclusions

L'origine des taches ressemblant à des hydrocarbures, observées par certains riverains dans leur jardin, sur leur terrasse ou pièce d'eau, n'a pas pu être attribué aux activités aéroportuaires par le suivi pendant un an des retombées atmosphériques d'hydrocarbures, d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et de métaux.

Près de 35.000 mouvements d'avions à Liège et 78.000 à Charleroi ont été enregistrés pendant la période d'étude avec survols des zones d'étude sans que les dépôts observés de polluants ne montrent des valeurs anormales. Quelques valeurs ponctuelles sont supérieures à d'autres, et font partie de la variabilité des apports de polluants dans l'atmosphère. Les métaux et hydrocarbures étudiés par Aéro-Sols sont émis par de nombreuses sources (autres que les avions) anthropiques mais également naturelles.

Ces conclusions rejoignent les conclusions d'études antérieures réalisées autour de deux aéroports en Allemagne, Leipzig (Maier, 2009) et Munich (Wäber, 2020b).

Les conclusions de ce projet concernent les métaux, HAP et hydrocarbures mesurés dans les retombées atmosphériques au niveau des 12 jardins de riverains qui ont accueilli les stations de mesure pour la période de juin 2023 à juin 2024 et tenant en compte des capacités de l'aéroport et des conditions climatiques au moment de l'étude.

12. Perspectives et recommandations

Cette étude pourrait être complétée par :

- Une évaluation de la qualité de l'air ambiant autour des aéroports et des risques pour la santé des activités aéroportuaires (notamment les particules fines - PM₁₀, PM_{2,5} et ultrafines) chez les riverains en complément du réseau de surveillance de la qualité de l'air permanent de l'ISSeP.
- Une proposition de valeurs limites pour la santé humaine pour les polluants dans les retombées atmosphériques en Wallonie sur base des réglementations d'autres pays.
- Une évaluation des nuisances olfactives et de l'impact des odeurs de kérosène sur la santé via un observatoire des odeurs et une évaluation des vibrations autour des aéroports.

Suite aux questions des riverains lors des réunions citoyennes, l'ISSeP et Eco-Impact leur ont formulé les recommandations suivantes :

- De faire analyser les taches observées si elles se reproduisent afin de déterminer la composition exacte de ces dépôts ;
- De faire analyser leur sol et éventuellement les légumes de leur potager et d'utiliser l'outil SANISOL pour avoir des recommandations pour leur potager (uniquement pour les métaux).
- Les riverains ayant indiqué la présence d'odeurs très fortes de kérosène chez eux ont été orientés vers un principe d'observatoire des odeurs.

RÉFÉRENCES

- AFNOR, 2008. NF X43-901 Biosurveillance de l'air - Biosurveillance active de la qualité de l'air à l'aide de ray-grass : des cultures à la préparation des échantillons. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-x43901/biosurveillance-de-lair-biosurveillance-active-de-la-qualite-de-lair-a-laid/fa143836/31151> (consulté le 19/11/2024)
- AFNOR, 2020. NF X43-910. Qualité de l'air - Lignes directrices pour l'établissement de valeurs repères en biosurveillance de l'air <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/xp-x43910/qualite-de-lair-lignes-directrices-pour-letablissement-de-valeurs-reperes-e/fa192205/85554> (consulté le 19/11/2024)
- Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA) (2020a). Rapport sur la gestion de la qualité de l'air sur et autour des plateformes aéroportuaires. 131p. https://www.acnusa.fr/sites/default/files/2021-09/1515_2006-09rapport-qualite-de-lair2020vfc_0.pdf (consulté le 25/10/2023).
- Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA) (2020b). Etat de l'environnement sur et autour des grands aéroports français en 2020. Diagnostic eau, sols, biodiversité et pollution lumineuse. 205p. https://www.acnusa.fr/sites/default/files/2021-09/1605_2102-16-l-etat-de-l-environnement-sur-et-autour-des-grands-aeroports-francais-en-2020.pdf (consulté le 25/10/2023).
- Autorité de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires en Région wallonne ACNAW, 2023. Rapport annuel 2023. https://acnaw.be/files/publications/rapports/Acnaw_Rapport_2023_web.pdf (consulté le 11/10/2024).
- Aviation Environment Federation (Aef), n.d. What Are an airport's impacts? 30p. <https://www.aef.org.uk/uploads/PlanningGuide2.pdf> (consulté le 25/10/2023).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz, 2021. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft. https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_18082021_IGI25025005.htm (consulté le 19/11/2024)
- Clean Airport Partnership, Inc, Environmental Consulting Group, Inc (2006). Particle Deposition from Airport Activities : Task 5 : Investigating Air Emission Impacts on the Community. 58p. https://www.broward.org/Airport/Business/Community/Documents/task5_deposition_report_final_3.pdf (consulté le 25/10/2023).
- Clewell, H.J. (1980). Fuel jettisoning by U.S. air force aircraft, volume 1 : summary and analysis. 62p. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA089010.pdf> (consulté le 25/10/2023).
- Clewell, H.J. (1983). Ground contamination by fuel jettisoned from aircraft in flight. J. Aircr. 20, 382–384. <https://doi.org/10.2514/3.44881>
- Confédération suisse, 2024. Ordonnance sur la protection de l'air (Opair). https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1986/208_208_208/fr#app7ahrfe0 (consulté le 19/11/2024)
- Directive 2002/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 7 mai 2002 sur les substances indésirables dans les aliments pour animaux - Déclaration du Conseil. <https://eur->

lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02002L0032-20191128 (consulté le 19/11/2024)

- Haile, B.T. (2004). An assessment of heavy metal and pesticide pollution at a commercial airport. University of Kwazulu=Natal. 144p. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=1e44825d9f51f72b2d4fbbfaba91d21d24b632d> (consulté le 25/10/2023).
- Hsu, H.-H., Adamkiewicz, G., Andres Houseman, E., Vallarino, J., Melly, S.J., Wayson, R.L., Spengler, J.D., Levy, J.I. (2012). The relationship between aviation activities and ultrafine particulate matter concentrations near a mid-sized airport. *Atmos. Environ.* 50, 328–337. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231011012544>
- Hu, S., Fruin, S., Kozawa, K., Mara, S., Winer, A.M., Paulson, S.E. (2009). Aircraft Emission Impacts in a Neighborhood Adjacent to a General Aviation Airport in Southern California. *Environ. Sci. Technol.* 43, 8039–8045. <https://doi.org/10.1021/es900975f>
- INERIS, n.d., Cadmium. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/17_CADMIUM%20v1_0.pdf (consulté le 19/11/2024)
- INERIS, n.d. Plomb https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/18_PLOMB%20v2.pdf (consulté le 19/11/2024)
- Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) (2021). Guide sur la surveillance dans l'air autour des installations classées - Retombées des émissions atmosphériques, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 201065 - 2172207 - v.1.0, décembre 2021. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris_Surveillancedansl%27Air_Guide_2021-%237_Web.pdf (consulté le 25/10/2023).
- ISSEP (2022). Réseaux de surveillance de la Qualité de l'Air. Rapport 2022. <https://www.wallonair.be/images/pdf/rapport2022.pdf> (consulté le 19/11/2024)
- ISSEP (2024a). Mesure de la qualité de l'air ambiant autour de l'aéroport de Charleroi. Rapport ISSEP n°00902/2024.52p. https://www.wallonair.be/images/pdf/Rapport_SOWAER_Charleroi_2023.pdf (consulté le 21/11/2024).
- ISSEP (2024b). Mesure de la qualité de l'air ambiant autour de l'aéroport de Liège. Rapport ISSEP n°00916/2024.53p. https://www.wallonair.be/images/pdf/Rapport_SOWAER_Liege_2023.pdf (consulté le 21/11/2024).
- Lucadamo, L., Gallo, L., Corapi, A. (2022). Detection of air quality improvement within a suburban district (southern Italy) by means of lichen biomonitoring. *Atmospheric Pollut. Res.* 13, 101346. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101346>
- Lucadamo, L., Gallo, L., Vespasiano, G., Corapi, A. (2021). The contributions of an airport and related road network to *Pseudevernia furfuracea* bioaccumulation of trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Ecol. Indic.* 125, 107474. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107474>

- Maier, W. (2009). Biomonitoring von Luftschadstoffen mit dem Grünkohl-Verfahren im Umfeld des Flughafens Leipzig 2008. TÜV Süd Industrie Service GmbH. 27p. https://www.mdf-ag.com/media/user_upload/Leipzig_Halle/bericht_biomonitoring_gruenkohl_2008.pdf (consulté le 25/10/2023).
- Masiol, M. and Harrison, R.M. (2014). Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmos. Environ.* 95, 409–455. 48p. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.05.070>
- Munich Airport (2015). Expertise in environmental protection. The environment at Munich Airport. 24p. <https://www.munich-airport.com/environmental-protection-and-sustainability-1274522> (consulté le 25/10/2023).
- NBN EN 15980 (2011). Qualité de l'air – Détermination du benzo[a]anthracène, benzo[b]fluoranthène, benzo[j]fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[a]pyrène, dibenz[a,h]anthracène et indeno[1,2,3-cd]pyrène dans les dépôts atmosphériques. 1^{ère} Edition juillet 2011. 47p. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-15980/qualite-de-lair-determination-du-benzoanthracene-benzobfluoranthene-benzoj/fa150155/37628> (consulté le 19/11/2024)
- Nunes, L.M., Zhu, Y.-G., Stigter, T.Y., Monteiro, J.P., Teixeira, M.R. (2011). Environmental impacts on soil and groundwater at airports: origin, contaminants of concern and environmental risks. *J. Environ. Monit.* 13, 3026. <https://doi.org/10.1039/c1em10458f>
- Office fédéral de l'aviation civile OFAC (2009a). Largage de carburant (fuel dumping). 2p. https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/fr/dokumente/Politik/Umwelt/treibstoffablassfueldump.pdf.download.pdf/largage_de_carburantfueldump.pdf (consulté le 26/10/2023).
- Office fédéral de l'aviation civile OFAC (2009b). Ce que les réacteurs recrachent. 2p. https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/fr/dokumente/Politik/Umwelt/was_bei_triebwerken_intenherauskommt.pdf.download.pdf/ce_que_les_reacteursrecrachent.pdf (consulté le 26/10/2023).
- Peters, J., Berghmans, P., Laer, J.V., Frijns, E. (2016). UFP- en BC-metingen rondom de luchthaven van Zaventem. VITO Eindrapport 2016/MRG/R/0493. 115p. https://emis.vito.be/sites/emis/files/articles/3331/2016/rapport_fijnstof_zaventem.pdf (consulté le 25/10/2023).
- SOWAER (2017). Etude d'incidences sur le projet d'allongement de la piste de l'aéroport de Charleroi Bruxelles-Sud à 3.200 m. Chapitre 5.10 : Air et Climat. 133p.
- Thöni, L., Kosonen, Z. (2018). Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz. Moosanalysen 1990-2015. Bundesamt für Umwelt (BAFU). 134p. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/deposition-von-luftschadstoffen-in-der-schweiz.html> (consulté le 25/10/2023).
- Van Dijk, C. Biomonitoring: measuring air quality. Wageningen University and Research. 7p. https://www.wur.nl/upload_mm/e/a/8/b78130b1-0bfd-420f-91ed-8e4f8c814725_EN%20White%20Paper_LR.pdf (consulté le 26/10/2023).
- Verein Deutscher Ingenieure, 2010. VDI-Richtlinien. VDI-2310. Maximum immission values - Aim and significance of the series of guidelines VDI 2310

https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnisse/1725005.pdf (consulté le 19/11/2024)

- VLAREM, 1995. Besluit van de Vlaamse regering van 1 juni 1995 houdende algemene en sectorale bepalingen inzake milieuhygiëne. VLAREM II <https://navigator.emis.vito.be/detail?wold=263> (consulté le 19/11/2024)
- Wäber, M. (2022). Graskultur-Biomonitoring im Umfeld des Flughafens Berlin Brandenburg 2022 mit Einordnung der Wirkungssituation 2013 und 2015. Umweltmonitoring. 137p. <https://www.munich-airport.de/> (consulté le 25/10/2023).
- Wäber, M. (2020a). Biomonitoring von Luftverunreinigungen mit standardisierten Graskulturen im Umland des Flughafens Leipzig/Halle 2020. Umweltmonitoring. 67p. <https://www.munich-airport.de/> (consulté le 25/10/2023).
- Wäber, M. (2020b). Biomonitoring und Depositionsuntersuchungen in der Umgebung des Flughafens München Zusammenfassende Dokumentation 2020. 70p. <https://www.munich-airport.de/> (consulté le 25/10/2023).
- Wäber, M., Pompe, F. (2018). Biomonitoring von Luftverunreinigungen an Flughäfen im deutschsprachigen Raum. 5p. https://www.umweltmonitoring.com/assets/files/pdf/Gefahrstoffe_04_2018_K224-Waeber.pdf (consulté le 25/10/2023).
- Westerdahl, D., Fruin, S., Fine, P., Sioutas, C. (2008). The Los Angeles International Airport as a source of ultrafine particles and other pollutants to nearby communities. Atmos. Environ. Volume 42, Issue 13, 3143–3155. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.09.006>