



Campagne d'évaluation de la qualité de l'air sur le quartier des Deux Rives à Strasbourg

CONDITIONS DE DIFFUSION

Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous :

- Les données produites par ATMO Grand Est sont accessibles à tous sous licence libre « **ODbL v1.0** ».
- Sur demande, ATMO Grand Est met à disposition les caractéristiques des techniques de mesure et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur et les guides méthodologiques nationaux.
- Rapport rediffusé (nouvel indice) en cas de modification ultérieure des données. (oui ici?)

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Rédaction : -Christelle SCHNEIDER, Ingénieure d'études – Unité Surveillance et études réglementaires
 -Mélodie Chatain, Ingénieure d'études – Unité Enjeux Emergents (parties NH3, Black Carbon et PUF)
 - Sandrine BOURDET, Chargée d'Etudes – Unité Surveillance et études réglementaires

Relecture : Sandrine BOURDET, Chargée d'études – Unité Surveillance et études réglementaires

Approbation : Bérénice JENNESON, Responsable de l'Unité Surveillance et études réglementaires

Référence du modèle de rapport : COM-FE-001_8

Référence du projet : MSP-00807

Référence du rapport : SURV-EN-990 Indice 2.0

Date de publication : 17/11/2023

ATMO Grand Est

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73

Mail : contact@atmo-grandest.eu

Définitions

Emissions : rejets de polluants dans l'atmosphère directement à partir des pots d'échappement des véhicules et des aéronefs ou des cheminées de sites industriels par exemple (exprimées en unité de masse).

Immissions : concentrations de polluants dans l'atmosphère telles qu'elles sont inhalées. Les immissions résultent de la dilution, de la transformation et du transport des polluants émis (exprimées en unité de masse par volume).

Niveau : concentration d'un polluant dans l'air ambiant.

Polluant : toute substance introduite directement ou indirectement par l'homme dans l'air ambiant et susceptible d'avoir des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble.

Pollution de fond : dans sa dimension géographique, la pollution de fond représente l'exposition d'une population, en milieu rural ou urbain, non directement soumise à une pollution industrielle ou trafic de proximité. Cette pollution de fond ne doit pas être confondue avec le fond de pollution qui exprime la dose ambiante sur une longue période.

Pollution de proximité : la pollution de proximité représente l'exposition d'une population directement soumise à une pollution industrielle ou de proximité trafic.

Valeur limite : niveau fixé sur la base de 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, à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser une fois atteint.

Objectif de qualité de l'air : niveau à atteindre à long terme et à maintenir sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

Valeur cible : niveau fixé sur la base de 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.

Seuil d'information et de recommandation : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.

Seuil d'alerte : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Percentile : pour un percentile X, ne pas dépasser une valeur limite signifie que X% des jours (ou des heures pour un percentile horaire) ayant fait l'objet de mesure doivent présenter des valeurs journalières (ou horaires) inférieures à cette valeur limite.

Profil journalier moyen : moyenne des concentrations horaires sur la période de mesure pour chaque heure de la journée.

SOMMAIRE

RESUME.....	5
1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE.....	7
2. SITES DE MESURES	7
3. PARAMETRES MESURES	9
3.1 SELECTION DES POLLUANTS MESURES DANS L'AIR AMBIANT	9
3.2 DESCRIPTIF DES POLLUANTS ET EFFETS SUR LA SANTE	10
3.2.1 Oxydes d'azote (NO _x).....	10
3.2.2 Composés organiques volatils (COV).....	10
3.2.3 Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	10
3.2.4 Ammoniac (NH ₃).....	11
3.2.5 Métaux lourds	11
3.2.6 Hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP).....	12
3.2.7 1,3-butadiène	13
3.2.8 Particules (PM ₁₀ et PM _{2.5}).....	13
3.2.9 Dioxyde de soufre (SO ₂).....	13
3.2.10 Mercure (Hg).....	14
3.2.11 Black carbon (BC).....	14
3.2.12 Particules Ultrafines (PUF).....	15
4 MOYENS MIS EN OEUVRE	16
4.1 METHODOLOGIE DE MESURE EN AIR AMBIANT	16
4.2 STRATEGIE TEMPORELLE.....	21
4.3 REFERENCE AUX NORMES DE QUALITE DE L'AIR AMBIANT	22
4.4 ASSURANCE QUALITE	27
5 RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE	27
5.1 CONDITIONS METEOROLOGIQUES	27
5.2 MESURES AVEC TUBES PASSIFS	32
5.2.1 Dioxyde d'azote (NO ₂).....	32
5.2.2 Benzène	33

5.2.3	Autres composés organiques volatils (COV)	33
5.2.4	Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	33
5.2.5	NH ₃	34
5.3	MESURES AVEC PRELEVEURS ACTIFS.....	34
5.3.1	Les métaux lourds.....	34
5.3.2	Les HAP	36
5.4	RESULTATS DES MESURES PAR CANISTER (1,3-BUTADIENE)	37
5.5	RESULTATS ISSUS DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES (NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , HG, NH ₃ , PUF, BLACK-CARBON)	38
5.5.1	NO ₂	38
5.5.2	Particules PM ₁₀ , PM _{2,5}	40
5.5.3	SO ₂	44
5.5.4	Mercure	44
5.5.5	Ammoniac	45
5.5.6	Black-Carbon	46
5.5.7	Les particules ultrafines	47
	CONCLUSION	49

ANNEXE : Concentrations par phase en COV, métaux lourds et HAP

RESUME

ATMO Grand Est a été sollicitée par l'Eurométropole de Strasbourg (EMS) pour réaliser une campagne de mesures de la qualité de l'air dans la zone des Deux Rives, composée de quatre quartiers (Rives et Port du Rhin, COOP Citadelle, Starlette), afin d'identifier les enjeux de qualité de l'air de ce nouveau quartier et de quartiers existants aux alentours, en lien avec des problématiques propres (plaintes odeurs, zone industrielle proche...). Ce suivi entre dans le cadre du Plan Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air 2017-2023 d'ATMO Grand Est.

Les sites strasbourgeois instrumentés, définis en concertation avec l'EMS, sont l'école maternelle Ampère et l'école primaire du Rhin, ainsi que le quai des Belges.

Les résultats sont les suivants :

Polluants suivis	Méthode / nbre de sites étudiés	Principaux résultats
Dioxyde d'azote NO ₂	Analyseur (école du Rhin) et tubes passifs (3 sites)	<ul style="list-style-type: none"> * Valeur limite réglementaire et seuils d'information-recommandations et seuil d'alerte respectés. * Ligne directrice de l'OMS dépassée. * Niveaux compris entre ceux issus des sites urbains de fond et celui de la station urbaine à influence trafic de Strasbourg Clémenceau. * Evolution temporelle des concentrations à l'école du Rhin corrélée à celle des stations urbaines. * Pics parfois observés le matin et le soir sur de courtes durées, liés à la hausse du trafic routier (trafic pendulaire).
Composés organiques volatils COV	Tubes passifs 3 sites	<ul style="list-style-type: none"> * Concentrations annuelles en benzène (polluant réglementé) inférieures aux seuils de référence en vigueur. * Pour les autres COV non réglementés : concentrations très faibles.
H ₂ S	Tubes passifs 2 sites (école Ampère et quai des Belges)	<ul style="list-style-type: none"> * A l'école Ampère et au quai des Belges, les concentrations obtenues sont inférieures à la limite de quantification du laboratoire (LQ) sur chaque phase. A l'école du Rhin, les résultats sont également inférieurs à la LQ (sauf en phase 1 avec 0,8 µg/m³), et nettement inférieurs aux seuils de référence.
Ammoniac NH ₃	Analyseur (école Ampère) et tubes passifs (3 sites)	<ul style="list-style-type: none"> * Par tubes passifs : <ul style="list-style-type: none"> -Niveaux proches entre les sites, et très inférieurs aux valeurs toxicologiques de référence pour la santé humaine. -Niveaux les plus élevés observés pour la campagne 4 (juin 2023), ce qui est cohérent avec la volatilisation de l'ammoniac favorisée par les températures plus élevées et l'absence de précipitations. * Mesures par analyseur à l'école Ampère : résultats globalement similaires à ceux de la station Danube avec des niveaux très inférieurs aux valeurs toxicologiques de référence. <p>Remarque : variations similaires observées entre les campagnes, que ce soit avec les mesures réalisées avec l'analyseur ou les tubes passifs, en lien avec l'influence de la météorologie.</p>
Métaux lourds	Préleveurs 2 sites (écoles)	<ul style="list-style-type: none"> *Métaux lourds réglementés (Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb) : concentrations respectant les valeurs réglementaires. * Métaux lourds non réglementés (Chrome, Cuivre, Manganèse et Vanadium) : teneurs en dessous des seuils de référence indicatifs (issus de la bibliographie ou de l'OMS). <p>Les concentrations mesurées en métaux réglementés sont légèrement supérieures au niveau du fond urbain Strasbourgeois, et à celles mesurées autour d'un environnement industriel régional tel qu'à proximité de la cristallerie de Baccarat (Meurthe et Moselle) ou de l'usine de valorisation énergétique des déchets Valaubia (Aube), pour certaines métaux lourds. Les teneurs sont par contre inférieures à celles issues du site fixe de Neuves-Maisons qui est implanté en contexte urbain à influence industrielle.</p>

Polluants suivis	Méthode / nbre de sites étudiés	Principaux résultats
Hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP	Préleveurs 2 sites (écoles)	* Concentrations toutes inférieures à 0,5 ng/m ³ . * Valeur cible réglementaire respectée en BaP, mais dépassement de la ligne directrice de l'OMS.
1,3-butadiène	Canisters 2 sites (écoles)	* Résultats inférieurs à la limite de quantification du laboratoire. * Valeur toxicologique de référence (VTR) chronique à seuil pour l'inhalation proposée par l'ANSES respectée.
Particules PM ₁₀ - PM _{2,5}	Analyseurs 2 sites (écoles)	* Valeurs moyennes annuelles inférieures aux seuils réglementaires en vigueur, mais supérieures aux lignes directrices de l'OMS. * Résultats inférieurs à ceux mesurés en milieu urbain de fond strasbourgeois pour les PM ₁₀ , et en milieux urbains Bas-Rhinois pour les PM _{2,5} .
Dioxyde de soufre SO ₂	Analyseur (école Ampère)	* Résultats insignifiants, avec une valeur moyenne annuelle glissante inférieure à 1 µg/m ³ .
Mercure Hg	Analyseurs (école Ampère)	* Concentration moyenne annuelle glissante nettement inférieure aux valeurs de référence, et en dessous des niveaux de fond urbain/péri-urbain à influence industrielle. * Niveaux globalement homogènes entre les phases. Remarque : des maxima horaires journaliers (notamment lors de la phase 4 en juin 2023) sont observés, probablement liés aux activités industrielles du Port du Rhin (Port du Rhin de Kehl et de Strasbourg).
Black-Carbon	Analyseurs Ecole du Rhin	* Niveaux similaires entre le site de l'école du Rhin et la station fixe Danube. Le BCff (trafic routier) et le BCwb (chauffage) présentant des niveaux plus élevés en période froide, en cohérence avec des émissions plus importantes (surémission des moteurs à froid, chauffage).
Particules ultrafines PUF	Microcapteurs 2 sites (écoles)	* Variations similaires entre les sites de l'école du Rhin et de l'école Ampère et la station fixe Danube. * Influence urbaine observée sur les sites, avec moins de 40% des moyennes journalières qualifiées de concentrations hautes selon l'OMS. L'analyseur de la station fixe Danube reste représentatif des autres sites investigués.

L'étude réalisée sur le quartier des 2 Rives indique que les niveaux mesurés sont globalement similaires au milieu de fond urbain à Strasbourg, et parfois un peu inférieurs à ceux de la station fixe Danube. Par ailleurs il n'a pas été mis en évidence d'influence spécifique au niveau du quartier des 2 Rives lors des périodes de mesures sur les niveaux de polluants mesurés hormis pour les métaux lourds dont les niveaux seraient liés aux activités industrielles voisines. Cependant, les diverses comparaisons effectuées sont à relativiser en raison des périodes de mesures différentes. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude confortent la représentativité de la station fixe de Danube qui sera potentiellement équipée pour la mesure de polluants complémentaires dans le cadre de la mise en application de la nouvelle directive.

L'absence de niveaux jugés inhabituels et le respect global des normes, amène à conclure qu'il n'est pas nécessaire d'installer une station de mesure pérenne mais plutôt de poursuivre la surveillance avec une campagne de mesure ponctuelle qui pourra être menée tous les 2 à 3 ans.

1. CADRE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

La zone des Deux Rives située à Strasbourg fait l'objet d'aménagements conduisant au développement de son caractère résidentiel. Cette zone est composée de quatre quartiers : Rives et Port du Rhin, COOP Citadelle, Starlette.

Dans le cadre de ce développement, ATMO Grand Est a été sollicitée par l'Eurométropole de Strasbourg (EMS) pour l'étude de l'opportunité de la mise en place d'une station de mesure dans ce secteur. En amont de ce projet, il a été décidé de réaliser une campagne de mesures de la qualité de l'air sur cette zone afin d'identifier les enjeux de qualité de l'air de ce nouveau quartier et de quartiers existants aux alentours (Neudorf notamment) avec des problématiques propres (plaintes odeurs, zone industrielle proche...). A noter par ailleurs, que dans le cadre du projet relatif à la nouvelle directive, il sera nécessaire de disposer d'un « super-site » dans la région Grand Est, avec la mesure d'un nombre important de polluants : la station fixe Danube, qui comporte la surveillance de nombreux polluants, pourrait répondre aux critères de la nouvelle directive. A terme, elle pourrait être complétée avec la mesure d'autres composés (métaux lourds, HAP, Ozone...) afin de répondre aux évolutions réglementaires.

L'Eurométropole de Strasbourg a exprimé son intérêt pour une approche large en termes de polluants à mesurer afin d'intégrer certains polluants émergents, et ainsi prendre en compte certaines inquiétudes manifestées par les riverains et les associations.

Ce suivi entre dans le cadre du Plan Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air 2017-2023 d'ATMO Grand Est.

2. SITES DE MESURES

Le projet Deux-Rives représente le développement de 4 quartiers à Strasbourg entre le parc de la Citadelle et l'Allemagne : Citadelle, Starlette, COOP et Rives & Port du Rhin.

En raison des travaux en cours sur ces sites au début du projet, le choix s'est porté sur un ciblage du quartier **Rives & Port du Rhin** déjà bien implanté et construit.

Le **quai des Belges** et le **quartier de Neudorf** constituent les deux autres zones à cibler de part des problématiques locales.

Les emplacements des points dans ces quartiers ont été définis en concertation avec l'EMS et en fonction de l'assurance de la faisabilité technique notamment de l'installation des unités mobiles et des analyseurs/préleveurs qui nécessitent des raccordements électriques et des zones sécurisées.

Les écoles maternelle Ampère (39 rue de Wattwiller, 67100 Strasbourg) et primaire du Rhin (170 route du Rhin - 67000 Strasbourg) ont été instrumentées ainsi que le quai des Belges (aux environs du numéro 16). Les sites sont localisés sur la carte ci-dessous :

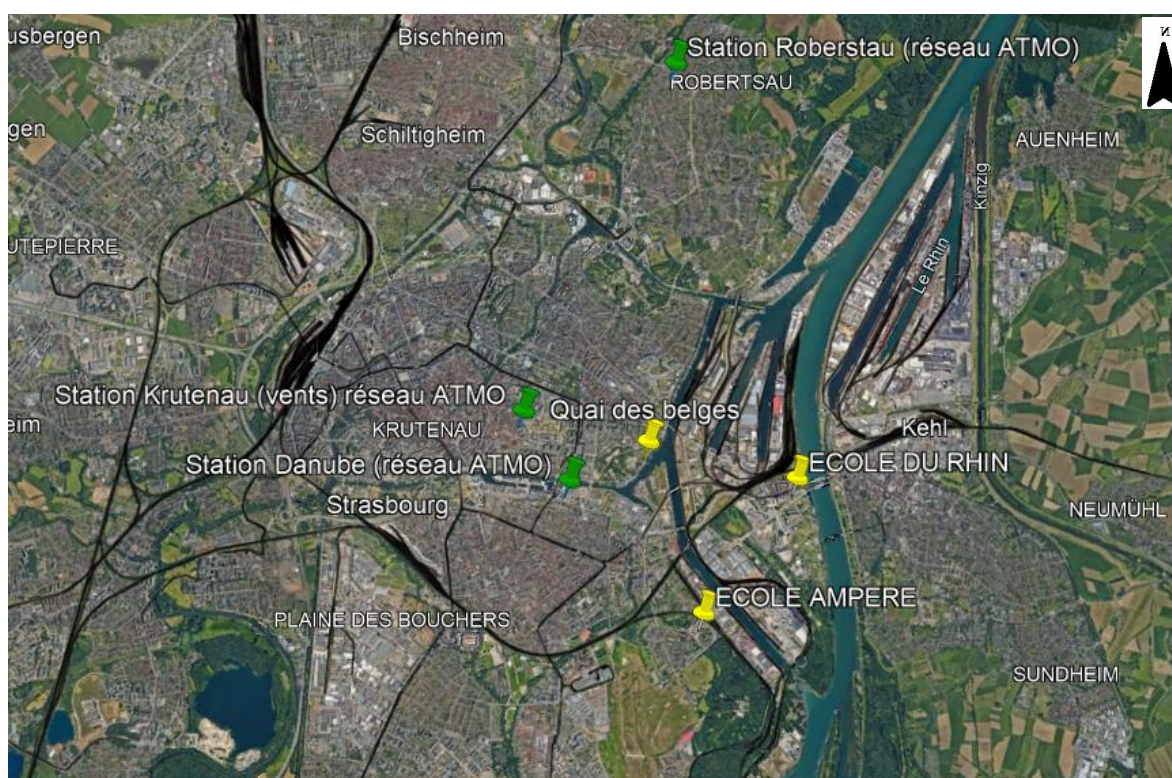


Figure 1 : Localisation des sites de mesures (en jaune) et des stations fixes strasbourgeoises du réseau de ATMO Grand Est (en vert)

Les stations de mesures fixes « Danube » et « Robertsau » situées respectivement dans les écoles Solange Fernex et Niederau permettront de comparer les niveaux de pollution obtenus par rapport aux niveaux de fond urbain de l'agglomération strasbourgeoise. La station fixe « Krutenau » permettra de disposer des paramètres météorologiques (vitesses et directions de vents).

L'école Ampère est localisée à environ 3 kilomètres à vol d'oiseau au Nord du Port du Rhin de Strasbourg, à environ 2,5 km au Sud du Port et avant-Port de Strasbourg-Nord, et à environ 3km au Sud-Ouest du Port du Rhin de Kehl . L'école du Rhin se situe à environ 3,5 kilomètres à vol d'oiseau au Nord du Port du Rhin de Strasbourg, à environ 1,8 kilomètres au Sud du Port et avant-Port de Strasbourg-Nord, et à environ 1,9 kilomètres au Sud-Ouest du Port du Rhin de Kehl.

3. PARAMETRES MESURES

3.1 SELECTION DES POLLUANTS MESURES DANS L'AIR AMBIANT

Les paramètres proposés ci-après englobent des polluants réglementés, des polluants issus de l'exploitation de données provenant d'inventaires d'émissions de sources identifiées environnantes (telles que les industries du Port du Rhin), des polluants liés au trafic routier aux abords et au chauffage résidentiel, et pour certains de propositions de l'EMS en lien avec les inquiétudes/plaintes de riverains. Ont ainsi été suivis :

- Les oxydes d'azote NO_x , NO et NO_2 : par analyseur intégré dans une unité mobile (suivi dynamique des évolutions temporelles) sur l'école du Rhin et par tubes passifs pour le NO_2 sur tous les sites ;
- Le benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes (BTEX) : par tubes passifs et analyse différée en laboratoires sur l'ensemble des sites ;
- Les COV (composés organiques volatils) : par tubes passifs avec quantification des 10 molécules présentes en quantités majoritaires sur l'ensemble des sites ;
- L'hydrogène sulfuré (H_2S) par tubes passifs (ensemble des sites) ;
- L'ammoniac NH_3 par tubes passifs (ensemble des sites) et par analyseur sur l'école Ampère ;
- Les métaux lourds (ou ETM : éléments traces métalliques) : 4 réglementaires : Plomb Pb, Cadmium Cd, Arsenic As, Nickel Ni + 6 autres non réglementés (Chrome + Cuivre + Manganèse + Vanadium + Zinc + Antimoine) par préleveurs de particules et analyse différée des filtres particulaires en laboratoire sur les deux écoles ;
- HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) : par préleveurs de particules et analyse différée des filtres en laboratoire sur les deux écoles ;
- Le 1,3-butadiène via des canisters sur les deux écoles ;
- Les particules PM_{10} - $\text{PM}_{2.5}$: par analyseur intégré dans une unité mobile (suivi dynamique des évolutions temporelles) sur les deux écoles ;
- Le dioxyde de soufre SO_2 : par analyseur intégré dans une unité mobile à l'école Ampère ;
- Le mercure Hg par analyseur (suivi dynamique) sur l'école Ampère* ;
- Le Black Carbon (BC) par analyseur (suivi dynamique) sur l'école du Rhin ;
- Les PUF (particules ultra fines) par microcapteurs (suivi dynamique) sur les deux écoles ;
- Les paramètres ambiants : températures, précipitations, directions et vitesses de vents (via les stations fixes d'ATMO Grand Est situées à Schiltigheim et dans le quartier Krutenau).

* le suivi du mercure n'a pas pu avoir lieu à l'école du Rhin, pour des raisons techniques.

3.2 DESCRIPTIF DES POLLUANTS ET EFFETS SUR LA SANTE

3.2.1 Oxydes d'azote (NO_x)

Les NO_x proviennent surtout des véhicules et des installations de combustion. Ces émissions ont lieu principalement sous la forme de NO (90%) et dans une moindre mesure sous la forme de NO₂.

Le monoxyde d'azote présent dans l'air inspiré passe à travers les alvéoles pulmonaires, il se dissout dans le sang où il limite la fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine. Les organes sont alors moins bien oxygénés. Le dioxyde d'azote pénètre dans les voies respiratoires profondes où il fragilise la muqueuse pulmonaire face aux agressions infectieuses, notamment chez les enfants. Aux concentrations observées habituellement, le dioxyde d'azote provoque une hyperactivité bronchique chez les personnes souffrant d'asthme.

Des études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des concentrations en dioxyde d'azote s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire.

3.2.2 Composés organiques volatils (COV)

Ces polluants sont liés au transport, mais aussi à l'utilisation de solvants dans les procédés industriels (imprimeries, nettoyage à sec, etc.) ou dans les colles, vernis, peintures, etc. Les plus connus sont les BETX (benzène, éthylbenzène, toluène, xylènes). Les effets sont variables selon la nature du composé chimique. Ils vont de la simple gêne olfactive ou une irritation, à une diminution de la capacité respiratoire, jusqu'à des effets mutagènes et cancérigènes, notamment établis pour le benzène. Il est classé par le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) comme cancérogène avéré pour l'homme (groupe 1) sur la base de leucémies observées dans des études épidémiologiques et animales.

3.2.3 Hydrogène sulfuré (H₂S)

L'hydrogène sulfuré (H₂S) est un gaz incolore, composant naturel du pétrole, à odeur caractéristique d'œufs pourris. Il se dégage des matières organiques en décomposition ou lors de l'utilisation du soufre et des sulfures dans l'industrie chimique. Étant plus lourd que l'air, il s'accumule dans les parties basses non ventilées... Le dégagement se produit :

- En présence de matières ou résidus organiques ou minéraux (production de sulfures)
- Dans un espace confiné
- Sous l'effet d'une acidification (qui dépend du pH du milieu).

NB : la perception olfactive est décelable à très faible concentration mais ne constitue pas un seuil d'alerte suffisant car elle s'atténue jusqu'à disparaître au fur et à mesure qu'augmente la concentration de gaz (effet de sidération olfactive).

L'hydrogène sulfuré est un gaz toxique qui pénètre par les voies respiratoires qui peut générer des intoxications aiguës (exposition de courte durée à de fortes concentration en H₂S) : troubles respiratoires, irritations oculaires, conjonctivites, vertiges, céphalées, œdème aigu du poumon, pertes de connaissance, mais aussi des intoxications chroniques (exposition prolongée) : bronchites irritatives, irritations cutanées. Il peut également causer des pertes de connaissance à partir de 500 ppm voire d'accident mortel très rapide en cas de fortes inhalations (> 1000 ppm).

3.2.4 Ammoniac (NH₃)

Les effets sanitaires et les enjeux associés à l'ammoniac sont principalement liés à son implication dans la formation de particules secondaires. En effet, l'ammoniac réagit avec les acides atmosphériques (acide nitrique ou acide sulfurique) pour former des particules principalement retrouvées sous forme de nitrate d'ammonium (NH₄NO₃) et de sulfate d'ammonium ((NH₄)₂SO₄) dans l'atmosphère. Or l'impact sanitaire des particules est mis en évidence dans le paragraphe 3.2.8.

3.2.5 Métaux lourds

Les métaux lourds comprennent non seulement les métaux présents à l'état de trace (cadmium, cuivre, mercure, plomb, etc.), mais aussi des éléments non-métalliques, comme l'arsenic, le fluor etc. La plupart d'entre eux, sous forme d'oligo-éléments et à faible dose, sont nécessaires à la vie. Ils peuvent cependant se révéler très nocifs en quantités trop importantes. C'est le cas du fer (Fe), du cuivre (Cu), du zinc (Zn), du nickel (Ni), du cobalt (Co), du vanadium (V), du sélénium (Se), du molybdène (Mo), du manganèse (Mn), du chrome (Cr), de l'arsenic (As) et du titane (Ti). D'autres ne sont pas nécessaires à la vie et sont préjudiciables dans tous les cas, comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'antimoine (Sb). Les métaux lourds s'accumulent dans les organismes vivants et ont des effets toxiques à court et long terme. Certains, comme le cadmium, le chrome et le plomb, sont cancérigènes.

Les métaux lourds sont émis lors de la combustion du charbon et du pétrole, ils sont également issus de l'incinération des ordures ménagères et de certains procédés industriels.

Quatre de ces métaux lourds sont concernés par la réglementation en raison de leur toxicité : le plomb, l'arsenic, le cadmium et le nickel. Ces composés se retrouvent principalement sous forme particulaire dans l'atmosphère.

Le plomb

Le plomb est un polluant particulièrement toxique pour la santé humaine. Cette toxicité est renforcée par un phénomène d'assimilation et de concentration dans l'organisme qu'on appelle bioaccumulation. Ce métal est à l'origine du saturnisme, terme qui désigne l'ensemble des intoxications par le plomb. La principale voie d'absorption du plomb par l'organisme est digestive, par le lait, l'eau et les boissons. Les écailles de peinture, les poussières présentes en milieu domestique peuvent être ingérées par les jeunes enfants (2 à 3 ans) par portage main bouche.

L'absorption pulmonaire peut jouer un rôle important pour les expositions professionnelles ou pour les personnes vivant sous les rejets atmosphériques d'entreprises polluantes, puisque 20% à 30% du plomb inhalé est absorbé par l'organisme. La toxicité causée à long terme par le plomb est communément appelée « saturnisme ». Elle peut avoir des effets sur les systèmes nerveux, hématopoïétique et cardio-vasculaire. A forte dose, le plomb provoque des troubles neurologiques, hématologiques et rénaux. Il peut entraîner chez l'enfant des troubles du développement cérébral, avec des perturbations psychologiques et des difficultés d'apprentissage scolaire.

Le plomb est considéré potentiellement cancérigène pour l'homme.

L'arsenic

Chez l'homme, l'arsenic est absorbé à 95 % par voie orale et à 30 à 34 % par inhalation. La voie cutanée est une voie mineure d'absorption.

L'inhalation à l'arsenic peut provoquer l'apparition de lésions cutanées et des troubles digestifs, le développement de cancer des voies respiratoires, ainsi qu'une augmentation du risque de mortalité par accident cardiovasculaire.

La forme la plus toxique est l'arsenic inorganique qui s'accumule dans la peau, les cheveux et les ongles. A forte dose, il pourrait favoriser l'apparition de cancers des poumons, des reins, etc.

L'Union Européenne a classé certains dérivés de l'arsenic comme « substances que l'on sait être cancérigènes pour l'homme ».

Le cadmium

Les deux principales voies d'absorption sont l'inhalation et l'ingestion. Le cadmium se concentre principalement dans le foie et les reins (entre 50% et 70% de la charge totale) et peut provoquer des troubles de la respiration et des voies urinaires. L'exposition chronique entraîne l'apparition d'une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale.

Il est classé comme agent cancérigène pour l'homme.

Le nickel

Par ingestion d'une dose de 1 à 3 mg de nickel par kg de poids corporel, on observe des perturbations intestinales, convulsions et asphyxie. Par contact, les symptômes sont : démangeaisons, dermatites, asthme, inflammations. Par les voies respiratoires, on observe une élévation du nombre de cancers du poumon et des cavités nasales.

Il est classé comme agent cancérigène pour l'homme.

3.2.6 Hydrocarbures Aromatique Polycyclique (HAP)

Les HAP appartiennent à la famille des hydrocarbures. Ils sont constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène. Parmi les HAP, on compte plus d'une centaine de composés émis dans l'atmosphère par diverses sources et dont les durées de vie sont très variables. Les HAP sont présents dans notre atmosphère sous forme gazeuse ou particulaire.

Les HAP se forment dans des proportions relativement importantes lors de la combustion, surtout dans des conditions incomplètes. Ils se créent tout particulièrement lors de la combustion de la biomasse dans les foyers domestiques, qui s'effectue souvent dans des conditions moins bien maîtrisées. Les flux d'émission les plus élevés concernent généralement les HAP dont le poids moléculaire est le plus faible. Une petite part des émissions peut être sous forme gazeuse, tandis que le reste est sous forme particulaire. Leurs émissions et leur utilisation sont réglementées du fait de leur toxicité et de leurs propriétés mutagènes et cancérigènes.

Le benzo[a]pyrène est classé cancérigène avéré (groupe 1). Le B[a]P est également classé CMR (Cancérigène, mutagène et reprotoxique) de catégorie 2 par l'union Européenne ; ce qui correspond à de fortes présomptions d'effet cancérigène, mutagène et toxique pour la reproduction. Trois HAP sont classés cancérigènes probables (groupe 2A) : le cyclopenta[c,d]pyrène, le dibenzo[a,h]anthracène et le dibenzo[a,l]pyrène. Onze autres composés sont classés par le CIRC cancérigènes possibles (groupe 2B). D'autres composés évalués ont été considérés comme inclassables (groupe 3). L'exposition aux HAP est classée cancérigène avéré pour le cancer du poumon et le cancer de la peau (groupe 1).

La réglementation française (arrêté du 2 février 1998 modifié, arrêtés relatifs aux installations de combustion soumises à déclaration ou à autorisation) impose des valeurs limites d'émission pour huit composés :

- le benzo(a)pyrène ;
- le benzo(b)fluoranthène ;
- le benzo(k)fluoranthène ;
- l'indeno(1,2,3-cd)pyrène ;
- le benzo(g,h,i)pérylène ;
- le fluoranthène ;
- le dibenzo(a,h)anthracène ;
- le benzo(a)anthracène.

3.2.7 1,3-butadiène

Le 1,3 butadiène est un hydrocarbure, de formule C_4H_6 , gazeux, incolore et inflammable. En France, cette substance est émise notamment par des activités industrielles traitant du plastique et du caoutchouc, mais aussi par l'échappement des moteurs automobiles et la fumée de cigarette. Le 1,3-butadiène a été classé cancérigène certain (groupe 1) par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) en 2012. Extrêmement inflammable, le 1,3-butadiène peut entraîner des irritations des yeux et des voies respiratoires supérieures en cas d'exposition aiguë par inhalation massive.

3.2.8 Particules (PM₁₀ et PM_{2,5})

Les particules sont des composés liquides ou solides en suspension dans l'air. Les PM₁₀ sont les particules dont le diamètre est inférieur (ou égal) à 10 µm et les particules fines PM_{2,5} celles avec un diamètre inférieur (ou égal) à 2,5 µm. Les particules sont soit émises directement dans l'atmosphère par les processus de combustion notamment (chauffage, industrie, transport etc.), soit formées dans l'air à partir de gaz présents dans l'atmosphère.

L'effet de ces particules sur la santé dépend du diamètre des particules. En effet, les particules dont le diamètre est supérieur à 10 µm sont arrêtées et éliminées au niveau du nez et des voies respiratoires supérieures. En revanche, elles deviennent plus toxiques pour l'organisme lorsqu'elles ont un diamètre inférieur à 10 µm, puisqu'elles peuvent pénétrer plus profondément dans l'appareil respiratoire. Le rôle des particules en suspension a été montré dans certaines atteintes fonctionnelles respiratoires, le déclenchement de crises d'asthme et la hausse du nombre de décès pour cause cardio-vasculaire ou respiratoire, notamment chez les personnes les plus sensibles. L'impact sanitaire des particules fines est majeur car 40 000 morts/an en France sont attribuées à l'exposition aux particules fines. De plus, depuis 2013, la pollution particulaire est classée cancérigène certain pour l'Homme d'après le CIRC.

De plus, les particules peuvent transporter d'autres polluants à leur surface. Certains hydrocarbures aromatiques polycycliques portés par les particules d'origine automobile, sont classés comme probablement cancérigènes chez l'homme.

3.2.9 Dioxyde de soufre (SO₂)

Ce gaz provient essentiellement de la combustion des matières fossiles contenant du soufre (comme le fuel ou le charbon) et s'observe en concentrations légèrement plus élevées dans un environnement à forte circulation.

Le dioxyde de soufre est un gaz irritant des muqueuses, de la peau et de l'appareil respiratoire. Des expositions courtes à des valeurs élevées (250 µg/m³) peuvent provoquer des affections respiratoires (bronchites, etc.) surtout chez les personnes sensibles. Comme tous les polluants, ses effets sont amplifiés par le tabagisme. Aux concentrations habituellement observées dans l'environnement, une part importante du dioxyde de soufre inhalé est arrêtée par les sécrétions muqueuses du nez et des voies respiratoires supérieures.

Le dioxyde de soufre qui atteint le poumon profond passe dans la circulation sanguine puis est éliminé par voie urinaire. Des études épidémiologiques ont montré qu'une hausse des concentrations en dioxyde de soufre s'accompagnait notamment d'une augmentation du nombre de décès pour cause cardiovasculaire.

3.2.10 Mercure (Hg)

Les effets sur la santé de l'exposition au mercure dépendent de la forme chimique dans laquelle l'élément se trouve (élémentaire, inorganique ou organique), de la voie d'exposition (inhalation, ingestion ou contact cutané) et du niveau d'exposition. Les vapeurs de mercure élémentaire liquide et le méthylmercure sont absorbés plus facilement que les sels de mercure inorganique et peuvent, de ce fait, être plus nocifs. Le mercure peut avoir des effets toxiques sur les systèmes nerveux (trouble du développement neurologique chez les enfants), digestif et immunitaire, et sur les poumons, les reins, la peau et les yeux.

3.2.11 Black carbon (BC)

Les effets du Black Carbon sur le système cardiovasculaire ne sont pas différenciés de ceux des PM_{2,5} en général, à savoir des arythmies et des insuffisances cardiaques.

De manière générale, la fonction pulmonaire est susceptible d'être diminuée, et ce en particulier chez les patients souffrant de déficience respiratoire tels que les asthmatiques. De plus, des réactions inflammatoires peuvent se produire au sein des poumons et si elles se propagent, mener à une altération du système nerveux autonome, engendrant des effets indirects sur la fonction cardiaque. Chez les enfants principalement, une exposition importante aux particules peut altérer le développement pulmonaire. Des maladies du système respiratoire apparaissent fréquemment : bronchite, toux chronique, sinusite, rhume. Les mécanismes de développement de cancer sont controversés, mais il est établi qu'il existe bel et bien un lien entre l'exposition aux particules fines et le risque de développement de cancer. Les suies émises par les moteurs diesel sont les PM_{2,5} présentant les effets cancérigènes les plus importants : elles contiennent un taux important de particules Black Carbon auxquelles peuvent être adsorbés une quantité significative d'autres composés, comme des hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Source : *Bruxelles Environnement - administration de l'environnement et de l'énergie en Région de Bruxelles-Capitale*

Le graphique ci-après permet de visualiser les principaux secteurs d'émissions de certains polluants suivis au cours de cette étude, sur la zone PPA Strasbourg :

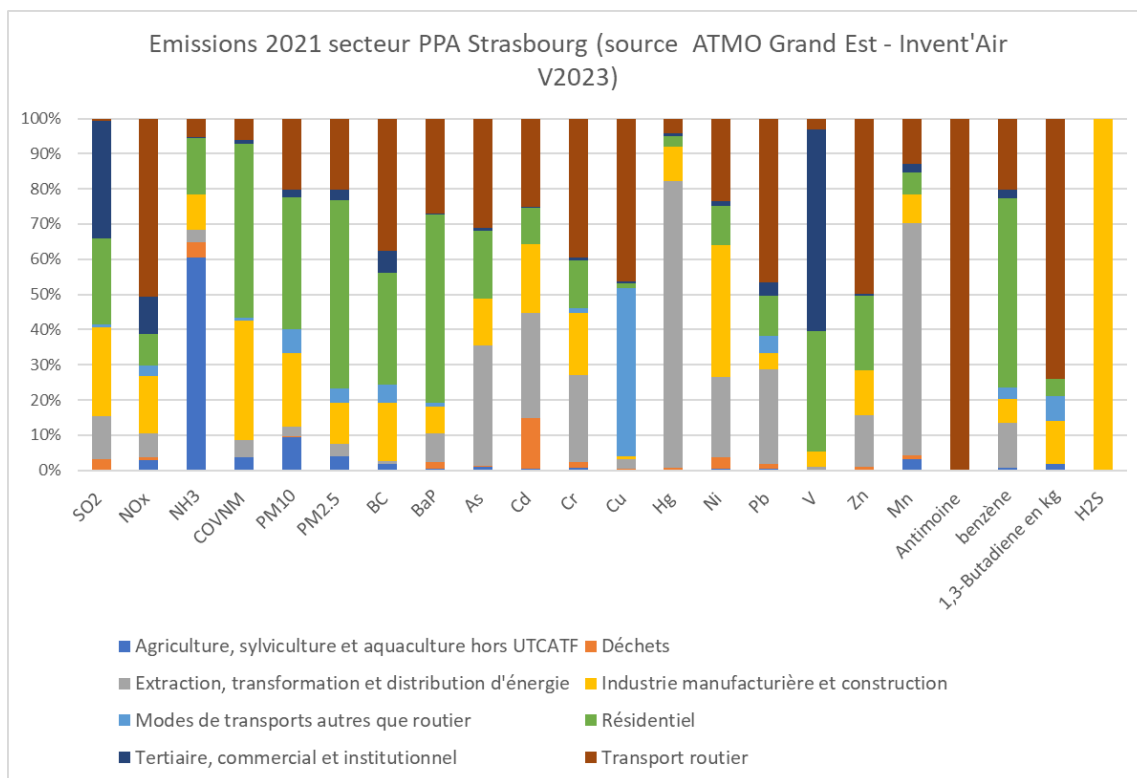


Figure 2 : Emissions 2021 secteur PPA Strasbourg (source ATMO Grand Est - Invent'Air V2023)

3.2.12 Particules Ultrafines (PUF)

Les études mettent en évidence une augmentation de la toxicité avec la diminution de la taille des particules pour une composition chimique identique. Le rôle majeur des particules ultrafines (PUF) – définies comme les particules ayant un diamètre inférieur à 100 nm – est donc légitimement mis en évidence. Elles atteignent la partie la plus profonde du système respiratoire : les alvéoles pulmonaires, au sein desquelles les mécanismes de défense du système immunitaire peuvent être moins efficaces compte tenu de leur taille. Elles ont également la capacité de traverser les barrières biologiques et ainsi passer dans le sang. De plus, leur faible taille favorise l'adsorption en surface de composés toxiques comme les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) ou les métaux. La compréhension de l'ensemble de ces mécanismes et le lien direct avec l'impact sanitaire ne sont pas clairement identifiés à l'heure actuelle. Toutefois, l'association entre l'exposition aux particules ultrafines et des atteintes du système cardiovasculaire et du système respiratoire a été mise en évidence¹.

¹ ANSES, Particules de l'air ambiant extérieur – Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie, 2019

4 MOYENS MIS EN OEUVRE

4.1 METHODOLOGIE DE MESURE EN AIR AMBIANT

Le dispositif de mesures ci-dessus, déployé pour couvrir la zone d'étude requiert des données issues de **préleveurs temporaires** (données moyennes sur la période d'exposition) et des mesures de niveaux de pollution issues d'**analyseurs automatiques** (capacité de suivi des fluctuations temporelles de la qualité de l'air). Ont ainsi été installés :

Des tubes passifs

*Dans cette étude, les prélèvements par tubes passifs ont été employés pour la mesure des polluants suivants : **NO₂, NH₃, et H₂S**.*

Le principe de fonctionnement de ce mode de prélèvement est basé sur celui de la diffusion passive de molécules sur un absorbant (support solide imprégné de réactif chimique) adapté au piégeage spécifique du polluant gazeux. La quantité de molécules piégées est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement et est déterminée par analyse des échantillons différée en laboratoire.



Figure 3 : Tubes de prélèvement passifs – quai des Belges

Des préleveurs actifs

*Dans cette étude, les prélèvements par préleveurs actifs ont été employés pour la mesure des HAP et des **métaux lourds** sur les PM₁₀.*

Le préleveur de type Leckel est un échantillonneur séquentiel qui a le statut de référence gravimétrique. La hauteur de prélèvement est de l'ordre de 1,60 m. L'aspiration est assurée par une turbine dimensionnée pour assurer le débit nominal de 2,3 m³/h. Une tête de prélèvement spécifique a été utilisée en fonction de la granulométrie recherchée. L'appareil est équipé d'un chargeur automatique qui permet de réaliser des séries de prélèvements sur plusieurs semaines, après programmation.



Figure 4 : Préleveur actif LECKEL

Des canisters

Les canisters sont des conteneurs en acier inoxydable dépressurisés, fermés hermétiquement et servant à prélever des échantillons d'air ambiant en vue de doser un ou des polluants... Leur surface interne est rendue inerte grâce à un électropolissage combiné à une désactivation chimique.

Le canister fonctionne sur le principe d'un différentiel de pression entre la pression atmosphérique et l'intérieur même du canister, ce qui permet d'entraîner l'air à l'intérieur du canister qui est sous vide.

Les molécules à analyser (analytes) restent piégées dans la matrice gazeuse à l'intérieur même du canister. Le gaz piégé est ensuite analysé grâce au couplage de la Chromatographie en phase Gaz et d'un Spectromètre de Masse (GC/MS).



Figure 5 : Canister

Des analyseurs automatiques

*Dans cette étude, les analyseurs automatiques ont été employés pour la mesure des polluants suivants : **NO₂**, **NH₃**, **PM₁₀**, **PM_{2,5}**, **SO₂**, **Mercurie (Hg)** et **Black-Carbon**.*

Les analyseurs présents dans un moyen mobile ou une station fixe du réseau ATMO Grand Est permettent de réaliser un suivi en continu, 24h/24 et 7j/7, de différents polluants réglementés (NO₂, SO₂, PM₁₀, PM_{2,5} dans cette étude) avec une qualité de données identique à celles exigées pour les mesures fixes dans la Directive 2008/50/CE, en termes d'incertitudes sur les mesures (15 % pour le NO₂, 25 % pour les PM₁₀ ...).



Figure 6 : Unité mobile à l'école Ampère et à l'école du Rhin

Le **NH₃** est également mesuré par un analyseur automatique installé dans une cabine climatisée. Le Picarro (Modèle G2103) est basé sur une mesure optique sur le principe du CRDS (cavity ring down spectroscopy). Il n'existe pas de normes en air ambiant pour la mesure du NH₃, ce composé n'étant pas réglementé. Toutefois, les intercomparaisons réalisées aux niveaux national et régional mettent en évidence une bonne reproductibilité des résultats de cet analyseur. De plus, le guide LCSQA a été suivi pour assurer le suivi qualité des mesures pendant cette campagne de mesure.



Figure 7 : analyseur de NH3

Le **mercure** est mesuré par un analyseur fixe RA915AM, basé sur le principe de l'absorption atomique avec correction Zeeman.

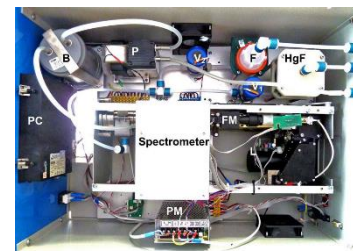


Figure 8 : analyseur de mercure

Le **Black-Carbon** est mesuré par un analyseur automatique disposé dans une cabine climatisée. L'aéthalomètre AE33 utilisé pour ces campagnes de mesure est basé sur une mesure de l'atténuation optique à 7 longueurs d'onde.

Cet analyseur multi-longueurs d'onde permet notamment de distinguer la partie des particules de Black-Carbon issues de la combustion de biomasse principalement associée au chauffage en zone urbaine (BCwb) de celles issues de la combustion d'hydrocarbures, principalement associée au trafic routier en zone urbaine (BCff). Il n'existe pas de normes en air ambiant pour la mesure du Black Carbon.



Figure 9 : AE33 (source : Ecomasure.com)

Toutefois, les recommandations du constructeur et le guide LCSQA disponibles ont été suivis pour assurer la qualité des mesures par l'AE33 sur la campagne de mesure².

² LCSQA, Guide méthodologique pour la mesure du « Black Carbon » par Aethalomètre multi longueur d'onde AE33 dans l'air ambiant, 2020.

Des systèmes capteurs

Dans cette étude, les prélèvements par systèmes capteurs ont permis la mesure des PUF.

Les particules ultrafines (PUF) sont mesurées en nombre de particules/cm³ d'air. Dans ce projet, le capteur Partector 2 a été utilisé pour mesurer en temps réel le nombre de particules dont le diamètre est compris entre 10 et 300 nm. Cet appareil de mesure portable est basé sur une mesure de la charge et peut être déployé en extérieur dans son boîtier de protection. Cet appareil a mis en évidence de bons résultats (corrélation et pente) en comparaison de l'analyseur de référence du nombre de particules, lors de précédentes inter-comparaisons (comparaison au CPC, respectant la spécification technique XP EN 16976³).



Figure 10 : Partector 2

Les méthodes et normes de prélèvement et analyse ainsi que le laboratoire d'analyse pour chaque polluant sont décrits dans le tableau ci-après.

³ NF EN 16976 Octobre 2016 : Air ambiant – Détermination de la concentration en nombre de particules de l'aérosol atmosphérique

Tableau 1 : Descriptif de chaque type de mesures (prélèvements et analyses) réalisée dans le cadre de l'étude

Polluants/paramètres	Méthode prélèvement	Laboratoire d'analyse	Type de quantification et norme
Oxydes d'azote (NO _x)	Analyseur		NF EN 14211 - Air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde d'azote et monoxyde d'azote par chimiluminescence
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Tubes passifs	LASAIR (AirParif)	NF EN 16339 - Air ambiant - Méthode pour la détermination de la concentration du dioxyde d'azote au moyen d'échantillonneurs par diffusion
Benzène (et toluène, éthylbenzène, xylènes)	Tubes passifs (désorption thermique)	SynAirGie (ATMO Grand Est)	NF EN 14662-4 - Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage des concentrations en benzène - Partie 4 : échantillonnage par diffusion suivi d'une désorption thermique et d'une chromatographie en phase gazeuse
COV majoritaires	Tubes passifs (désorption thermique)	TERA Environnement	NF ISO16017-2 Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail - Échantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur capillaire - Partie 2 : échantillonnage par diffusion Thermodésorption et analyse chromatographie gaz couplée à un spectromètre de masse
H ₂ S	Tubes passifs	TERA Environnement	Méthode interne laboratoire d'analyses Analyse en spectrophotométrie
NH ₃	Analyseur / Tubes passifs	LASAIR (AirParif) pour analyse des tubes passifs	Analyseur : méthode de mesures automatiques par spectrométrie d'absorption en cavité optique haute finesse (CRDS). Tubes passifs : NF EN 17346 Air ambiant - Méthode normalisée pour la détermination de la concentration en ammoniac au moyen d'échantillonneurs par diffusion
Métaux Lourds	Préleveur de PM10	Micropolluant SA	NF EN 14902 - Qualité de l'air ambiant - Méthode normalisée de mesure du plomb, du cadmium, de l'arsenic et du nickel dans la fraction MP10 de matière particulaire en suspension
Benzo(a)pyrène	Préleveur actif	SynAirGie (ATMO Grand Est)	NF EN 15549 - Qualité de l'air - Méthode normalisée de mesure de la concentration du benzo[a]pyrène dans l'air ambiant
Autres HAP	Préleveur actif	SynAirGie (ATMO Grand Est)	XP CEN/TS 16645 - Air ambiant - Mesurage pour la mesure de benz(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(j)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, dibenz(a,h)anthracène, indéno(1,2,3-cd)pyrène et benzo(ghi)perylène
1,3-butadiène	Canister	TERA Environnement	Méthode interne laboratoire d'analyses Analyse en chromatographie gazeuse avec détecteur à ionisation de flammes (CG-FID)
PM ₁₀ -PM _{2,5}	Analyseur		NF EN 12341 - Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2.5 de matière particulaire en suspension NF EN 16450 29 Avril 2017- Air ambiant – Systèmes automatisés de mesurage de la concentration de matière particulaire (PM10 ; PM2,5).
SO ₂	Analyseur		NF EN 14212 - Air ambiant - Méthode normalisée pour le mesurage de la concentration en dioxyde de soufre par fluorescence UV
Hg	Analyseur		NF EN 15 852 - Mesure optique directe selon le principe de l'absorption atomique à effet Zeeman
BC	Analyseur « AE33 »		L'analyseur « AE33 » est un modèle d'aethalomètre mesurant le carbone suie (Black Carbon, BC), dans les particules fines PM2,5 par analyse optique. Ce dispositif permet d'identifier la répartition des sources de carbone suie grâce au modèle de Sandradewi et al. (2008), qui permet de calculer le BCff (fuel fossil) caractérisant la part issue de la combustion d'hydrocarbures majoritairement associée au transport routier et le BCwb (wood burning) caractérisant la part issue de la combustion de biomasse.
PUF	Microcapteurs « Partector 2 »		Appareil basé sur une mesure de la charge. Cette méthode de mesure récente et innovante permet de mesurer la concentration en nombre totale des particules entre 10 et 300 nm.

4.2 STRATEGIE TEMPORELLE

L'étude est limitée à une investigation concernant un des maillons du cycle de la pollution de l'air, celui de la qualité de l'air (concentrations atmosphériques de polluants dans l'air).

4 séries de mesures d'un minimum de 14 jours ont été proposées afin de couvrir les 4 saisons et de pouvoir comparer les données aux normes en vigueur (pour reconstituer des grandeurs annuelles comparables aux normes de qualité de l'air, une couverture de 14% de l'année est nécessaire en périodes climatiques contrastées - directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008).

Les données sont toutefois dépendantes des conditions de météorologiques durant les campagnes de mesures et des émissions plus ou moins importantes générées par les sources environnantes.

Les périodes d'échantillonnage et temporalité des mesures ont été les suivantes :

Tableau 2 : Périodes d'échantillonnage et temporalité des mesures

Moyen de mesure	Paramètres mesurés	Périodes d'échantillonnage par campagne	Temporalité des données	Ecole du Rhin	Ecole Ampère	QUAI DES BELGES
Unités mobiles	NO _x /NO ₂ + SO ₂	4 périodes d'au moins 14 jours	En continu sur 4*14 jours minimum	x		
Tubes passifs	NO ₂ + COV + NH ₃	4 périodes de 14 jours	Moyenne sur 14 jours	x	x	x
Tubes passifs	BTEX + H ₂ S	2*7 jours sur 4 périodes	Moyenne sur 7 jours	x	x	x
Analyseur	NH ₃	4 périodes d'au moins 14 jours	En continu sur 4*14jours minimum		x	
Préleveurs PM ₁₀ pour les métaux lourds	Plomb Pb, cadmium Cd, arsenic As, nickel Ni + autres	2*7 jours sur 4 périodes	Moyenne sur 7 jours	x	x	
Préleveurs PM ₁₀ pour les HAP	HAP	14 jours sur 4 périodes : 1 filtre toutes les 24h, une analyse de 7 filtres groupés	Moyenne sur 7 jours	x	x	
Canisters	1,3-butadiène	2*24h par période de 14 jours	Moyenne sur 24 heures	x	x	
Unités mobiles	PM ₁₀ -PM _{2.5}	4 périodes d'au moins 14 jours	En continu sur 4*14 jours minimum	x	x	
Unités mobiles	SO ₂	4 périodes d'au moins 14 jours	En continu sur 4*14 jours minimum	x		
Analyseurs	Hg	4 périodes d'au moins 14 jours	En continu sur 4*14jours minimum		X **	
Analyseurs	BC	4 périodes d'au moins 14 jours	En continu sur 4*14jours minimum	x		
Microcapteurs	PUF	4 périodes d'au moins 14 jours	En continu sur 4*14jours minimum	x	x	

** Initialement prévu à l'école du Rhin (n'a pas pu être effectué pour raison technique)

Les phases de mesures se sont déroulées sur 14 jours pour les prélèvements par tubes passifs et par préleveurs et sur plus de 14 jours pour les mesures automatiques (unités mobiles, systèmes capteurs, analyseurs). Les dates ont été les suivantes :

Tableau 3 : dates des périodes d'échantillonnage

	Tubes passifs et préleveurs	Mesures automatiques
phase 1	du 05 au 19/10/2022	du 05/10/2022 au 20/10/2022 et jusqu'au 24/10/2022 pour les PUF suite à des pertes données durant la quinzaine.
phase 2	du 01 au 15/12/2022	du 28/11/2022 au 15/12/2022 et jusqu'au 22/12/2022 pour l'UM à l'école du Rhin suite à des pertes données durant la quinzaine. Du 28/11 au 10/12/2022 pour les PUF à l'école Ampère suite à des problèmes d'alimentation électrique.
phase 3	du 30/03 au 13/04/2023	du 27/03/2023 au 17/04/2023 (perte de données à l'école du Rhin du 11 au 13/04/2022).
phase 4	du 05 au 19/06/2023	du 05/06/2023 au 23/06/2023

4.3 REFERENCE AUX NORMES DE QUALITE DE L'AIR AMBIANT

L'étude des concentrations de polluants permet de comparer les niveaux estimés de concentrations de polluants dans l'air aux valeurs limites, objectifs de qualité de l'air, niveaux de recommandation et d'alerte définis par les directives européennes et dans la réglementation nationale (France : code de l'environnement article R221-1).

Le tableau suivant donne les valeurs réglementaires en vigueur issues du **décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010** portant application de la **Directive 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe** et reprenant pour partie des éléments définis dans la directive 2004/107/CE du parlement Européen et du Conseil du 15 décembre 2004, concernant l'arsenic, le cadmium, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant.

Tableau 4 : Principales normes de qualité de l'air

Polluants	Valeurs limites	Objectifs de qualité (moyennes annuelles)	Valeurs cibles (moyennes annuelles)	Seuil information / recommandations	Seuils d'alerte	Niveaux critiques
Dioxyde d'azote (NO ₂)	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ En moyenne horaire : 200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 heures par an	40 µg/m ³	/	En moyenne horaire : 200 µg/m ³	En moyenne horaire : • 400 µg/m ³ dépassé sur 3 heures consécutives • 200 µg/m ³ si dépassement de ce seuil la veille, et risque de dépassement de ce seuil le lendemain	/
Oxydes d'azote (NO _x)	/	/	/	/	/	En moyenne annuelle (équivalent NO ₂) : 30 µg/m ³ (protection de la végétation)
Benzène (C ₆ H ₆)	En moyenne annuelle : 5 µg/m ³	2 µg/m ³	/	/	/	/
Arsenic (As)	/	/	6 ng/m ³	/	/	/
Cadmium (Cd)	/	/	5 ng/m ³	/	/	/
Nickel (Ni)	/	/	20 ng/m ³	/	/	/
Plomb (Pb)	En moyenne annuelle : 0,5 µg/m ³	0,25 µg/m ³	/	/	/	/
Benzo(a)pyrène (B(a)P)	/	/	1 ng/m ³	/	/	/
Particules de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (PM ₁₀)	En moyenne annuelle : 40 µg/m ³ En moyenne journalière : 50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 jours par an	30 µg/m ³	/	En moyenne journalière : 50 µg/m ³	En moyenne journalière : 80 µg/m ³	/
Dioxyde de soufre (SO ₂)	En moyenne journalière : 125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an En moyenne horaire : 350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 24 heures par an	50 µg/m ³	/	En moyenne horaire : 300 µg/m ³	En moyenne horaire sur 3 heures consécutives : 500 µg/m ³	En moyenne annuelle et hivernale : 20 µg/m ³ (protection de la végétation)

A noter que le Parlement européen s'est prononcé le mercredi 13 septembre 2023 sur la révision de la directive européenne sur la qualité de l'air ambiant. Il est prévu d'adopter un alignement en 2035 des valeurs limites européennes avec les recommandations de l'OMS (l'Organisation Mondiale de la Santé).

Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) sont indiquées dans le tableau ci-après :

Tableau 5 : Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air – Mise à jour 2021 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) pour les PM, NO_2 , SO_2 , (CO, O_3)

POLLUANTS $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Durée d'exposition									
	10 mn	15 mn	30 mn	1h	8h	24h	1 semaine	Pic saisonnier	1 an	UR Vie ⁽¹⁾ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
Dioxyde d'azote (NO_2)				200		25			10	
Benzène (C_6H_6)										6×10^{-6}
Toluène (C_7H_8)							260			
Xylène						4 800				
Éthylbenzène (C_8H_{10})									22 000	
Plomb (Pb)									0.5	
Benzo(a)anthracène										de $1,2 \times 10^{-4}$ à 13×10^{-4}
Benzo(a)pyrène										$8,7 \times 10^{-2}$
Benzo(b)fluoranthène										de $0,87 \times 10^{-2}$ à $1,2 \times 10^{-2}$
Benzo(k)fluoranthène										de $8,7 \times 10^{-4}$ à 87×10^{-4}
Fluoranthène										de $8,7 \times 10^{-5}$ à 87×10^{-5}
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène										de $5,8 \times 10^{-3}$ à $20,2 \times 10^{-3}$
Dibenzo(ah)anthracène										de $7,7 \times 10^{-2}$ à $43,5 \times 10^{-2}$
Particules de diamètre inférieur ou égal à 10 micromètres (PM_{10})						45			15	
Particules de diamètre inférieur ou égal à 2,5 micromètres ($\text{PM}_{2,5}$)						15			5	
Dioxyde de soufre (SO_2)	500					40				

VALEUR LIMITE : niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

VALEUR CIBLE : niveau à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

OBJECTIF DE QUALITÉ : niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

NIVEAU CRITIQUE : niveau fixé sur la base des connaissances scientifiques, au-delà duquel des effets nocifs directs peuvent se produire sur certains récepteurs, tels que les arbres, les autres plantes ou écosystèmes naturels, à l'exclusion des êtres humains.

SEUIL D'INFORMATION ET DE RECOMMANDATIONS : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.

SEUIL D'ALERTE : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

(1) UR VIE : risque additionnel de développer un cancer (dont le type dépend du composé) au cours d'une vie (soit 70 ans), pour une population hypothétiquement exposée continuellement à une concentration de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du composé considéré dans l'air respiré. Par exemple, une personne exposée continuellement à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de benzène tout au long de sa vie aura $1 + 6 \times 10^{-6} = 1.000006$ fois plus de probabilité de développer un cancer qu'une personne non exposée.

Composés non réglementés :

✓ L'hydrogène sulfuré (H₂S)

Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les effets « à seuil » sont les suivantes :

- ✓ Selon l'ATSDR : 100 µg/m³ (pour une exposition aiguë de 1 à 14 jours) ;
- ✓ Selon l'US EPA : 2 µg/m³ (pour une exposition chronique sur plusieurs années) ;
- ✓ Selon l'OEHHHA : 10 µg/m³ (pour une exposition chronique de 8 ans et plus) ; 42 µg/m³ (pour une exposition aiguë de 1 à 7 heures).

En France, en milieu professionnel, la valeur moyenne d'exposition (VME) et la valeur limite d'exposition (VLE) sont respectivement de 7 000 et 14 000 µg/m³.

La valeur guide recommandée par l'OMS pour une absence d'effet sur la santé est de 150 µg/m³ sur 24h.

✓ Métaux lourds

Dans le tableau suivant sont présentés les niveaux auxquels certains métaux lourds, autres que l'arsenic, le cadmium, le nickel et le plomb, peuvent être comparés :

Tableau 6 : Seuils pour métaux lourds non réglementés dans l'air ambiant.

Polluant	Seuil	Valeur de référence
Chrome (Cr)	Valeur bibliographique ⁴	< 10 ng/m ³
Cuivre (Cu)	Valeur bibliographique ⁵	10 ng/m ³
Manganèse (Mn)	Valeur guide OMS*	0,15 µg/m ³
Vanadium (V)	Valeur guide OMS*	1 µg/m ³

*OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

Pour le **mercure gazeux**, les directives européennes ne présentent pas de valeurs réglementaires dans l'air ambiant. Toutefois, il existe des valeurs toxiques de référence (VTR) pour le risque chronique d'exposition au mercure par inhalation. L'Institut de Veille Sanitaire (InVS) de Santé Publique de France a travaillé sur ces valeurs toxiques de référence pour définir quelles étaient les plus pertinentes au regard des résultats de mesures de mercure dans l'air au niveau de la France.

Deux VTR sont ainsi préconisées dans l'interprétation des résultats de l'étude, à savoir :

- ✓ 200 ng/m³ de l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)
- ✓ 30 ng/m³ de l'OEHHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) de l'agence californienne de l'EPA (Environmental Public Agency), valeur qui prend en compte la susceptibilité de la population d'enfant par l'application d'un facteur protecteur de 10.

⁴ CE (2000) - Preliminary draft-Risk assessment of chromium trioxide, sodium chromate, sodium dichromate, ammonium dichromate, potassium dichromate. European Union. R326-330 0005 env.

⁵ ATSDR (1990) - Toxicological Profiles for copper. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services.

A savoir également que l'Organisation Mondiale de la Santé préconise pour le mercure inorganique une valeur guide de 1 000 ng/m³ pour réduire les risques sanitaires. Enfin, les concentrations de mercure généralement observées dans l'air, en situation de fond urbain sans source d'émissions de proximité immédiate, se situent entre 1 et 4 ng/m³ (source INERIS, 2010⁶).

✓ **Particules ultrafines (PUF)**

Aujourd'hui, aucune réglementation en air ambiant n'existe au niveau européen ou international et aucun seuil n'est proposé pour la surveillance des particules ultrafines compte tenu de l'absence de données sanitaires suffisantes. Les seules particules concernées par une réglementation sont les PM₁₀ et les PM_{2,5} en concentration massique. Toutefois, le programme de travail 2023 de l'ANSES porte notamment sur l'élaboration de valeurs toxicologiques de référence pour les particules ultrafines⁷.

Il existe des seuils précisés par l'Organisation Mondiale de la Santé permettant d'identifier une concentration « faible » d'une concentration haute⁸ :

- Concentration faible : moyenne journalière inférieure à 1 000 particules/cm³ ;
- Concentration haute : moyenne journalière supérieure à 10 000 particules/cm³ ou moyenne horaire supérieure à 20 000 particules/cm³.

✓ **Ammoniac (NH₃)**

Le suivi de l'ammoniac n'est pas réglementaire à l'heure actuelle selon l'arrêté du 17 juillet 2019 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. Sa surveillance n'est donc pas obligatoire et il n'existe pas de valeurs limites ou de seuils en air ambiant.

Toutefois, des valeurs toxicologiques de référence pour les effets « à seuil » existent⁹ :

- ✓ ATSDR : exposition chronique : 70 µg/m³ ; exposition aiguë : 1 200 µg/m³
- ✓ US EPA : 100 µg/m³
- ✓ OEHHA : exposition chronique = 200 µg/m³ ; exposition aiguë = 3 200 µg/m³

Des valeurs pour la protection de la végétation sont également disponibles¹⁰ :

- ✓ Limite annuelle pour la protection de la végétation sensible (lichens, bryophytes) : 1 µg/m³
- ✓ Limite annuelle pour la protection de la végétation totale (plantes supérieures) : 3 µg/m³

⁶ Bilan des mesures et perspectives pour la surveillance du mercure dans l'air ambiant en France au titre de la directive européenne – LCSQA/INERIS – Décembre 2010.

⁷ ANSES, Valeurs toxicologiques de référence (VTR) – Les travaux de l'Agence, 2023, [Article](#)

⁸ Organisation mondiale de la santé, Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air, Particules (PM_{2,5} et PM₁₀), ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre et monoxyde de carbone – résumé d'orientation, 2021

⁹ Techniques de mesure de l'ammoniac et de l'hydrogène sulfuré dans l'air ambiant - Bilan bibliographique. INERIS, Décembre 2012

¹⁰ Cape *et al.*, Evidence for changing the critical level for ammonia, *Environmental Pollution*, Volume 157, pages 1033-1037, 2009, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.049>

✓ **Black Carbon (BC) :**

La mesure de la composition chimique des particules n'est pas réglementaire selon l'arrêté du 17 juillet 2019 relatif au dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. Sa surveillance n'est donc pas obligatoire et il n'existe pas de valeurs limites ou de seuils en air ambiant. Le programme de travail 2023 de l'ANSES porte notamment sur l'élaboration de valeurs toxicologiques de référence pour le BC⁷. Mais cette mesure s'intègre pleinement au [programme national CARA](#) ayant pour objectifs la compréhension des épisodes particuliers d'ampleur nationale et l'amélioration de l'identification des sources de particules.

✓ **1,3-butadiène**

La valeur toxicologique de référence (VTR) chronique à seuil pour l'inhalation qui a été proposée par l'ANSES¹¹ dans son rapport de janvier 2021 est de 2 µg/m³.

La comparaison à des données de campagnes de mesures de même typologie réalisées sur le Grand Est voire sur la France permet de situer les niveaux des composés non réglementés évalués dans le cadre de cette étude.

4.4 ASSURANCE QUALITE

Afin de s'assurer de la répétabilité des mesures un site a été équipé en triplicats pour les tubes passifs (NO₂ et BTEX : 3 tubes exposés en parallèle ayant subis les mêmes manipulations).

Des blancs (de terrain et/ou de lot) ont également été réalisés (hors mesures automatiques). Non exposés (ils restent dans leur contenant à côté des échantillons exposés), ils permettent de vérifier l'absence de contamination initiale ainsi que celles potentiellement liées au transport et à la mise en œuvre sur site.

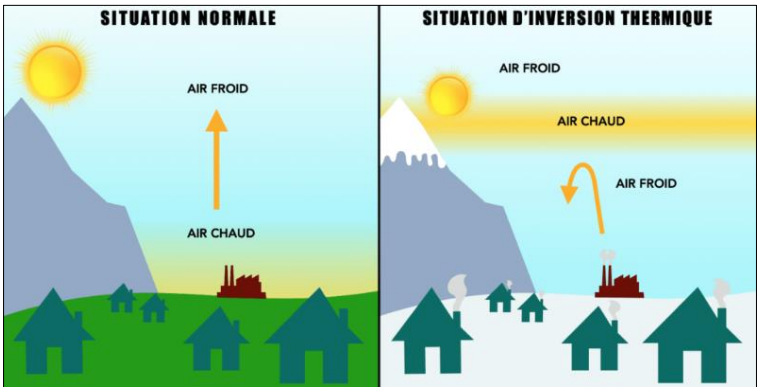
5 RESULTATS DE LA CAMPAGNE DE MESURE

5.1 CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Divers paramètres météorologiques contrôlent en partie le comportement des polluants dans l'air ambiant (dispersion, accumulation...). Ainsi, les niveaux mesurés peuvent varier fortement sur une courte durée.

¹¹ Le 1,3-butadiène - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective Janvier 2021 - Valeurs toxicologiques de référence : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2019SA0073Ra.pdf>

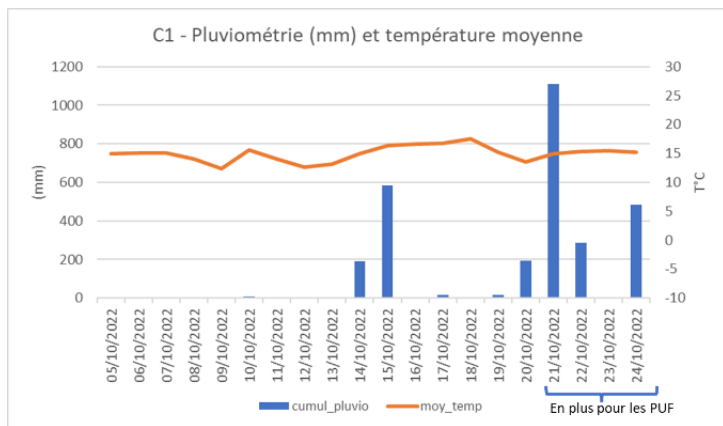
Tableau 7 : Paramètres météorologiques

Paramètre	Rôle de paramètres météorologiques dans la formation et la dispersion des polluants de l'air
Température (en °C)	La température agit sur la chimie et les émissions des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz et peut favoriser la stagnation des gaz issus des rejets d'échappement des véhicules, des installations de chauffage (dispersion limitée) etc., tandis que les fortes températures favorisent les transformations photochimiques des polluants.
Précipitations (en mm)	Elles sont généralement associées à une atmosphère instable, qui permet également une bonne dispersion de la pollution atmosphérique. Par ailleurs, elles entraînent au sol les polluants les plus lourds. Elles peuvent parfois accélérer la dissolution de certains polluants. Globalement, les concentrations en polluants dans l'atmosphère diminuent nettement par temps de pluie.
Direction du vent (en degrés) et vitesse du vent (m/s)	<p>Le vent est un paramètre météorologique essentiel, et contrôle la dispersion des polluants. Il intervient tant par sa direction pour orienter les panaches de pollution que par sa vitesse pour diluer et entraîner les émissions de polluants. Une absence de vent contribuera à l'accumulation de polluants près des sources et inversement.</p> <p>Certains phénomènes, comme les inversions de température, influencent la dispersion des masses d'air plus ou moins chargées en polluants.</p> <div data-bbox="555 909 1315 1294" data-label="Image">  </div> <p style="text-align: center;">Schéma d'une inversion thermique (source : Météo France)</p>

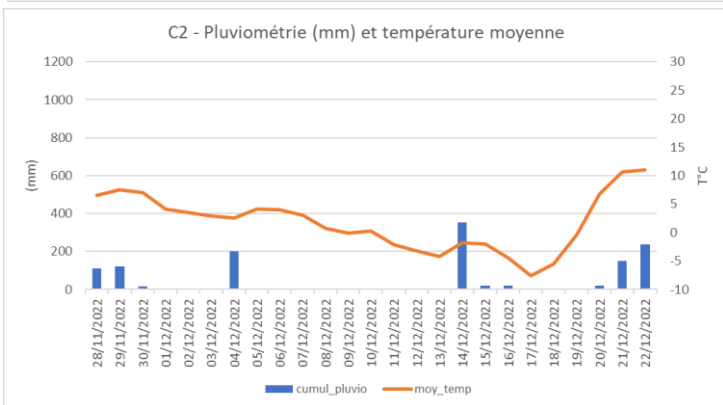
Précipitations et températures

Les diagrammes ombrothermiques obtenus au cours des quatre campagnes de mesures, sont présentés ci-dessous. Les graphiques sont élaborés à partir des températures moyennes journalières et du cumul des précipitations journalières, ce qui permet de visualiser les variations conjointes de ces deux paramètres.

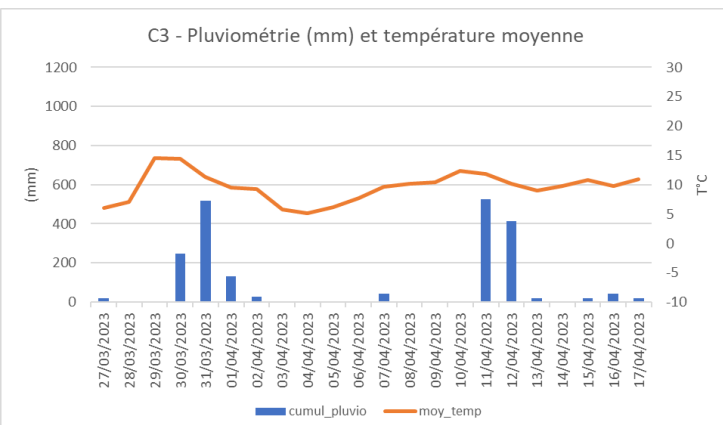
Remarque : les données de pluviométrie permettent d'obtenir une information sur la quantité d'eau tombée lors d'une journée mais pas sur l'intensité des épisodes pluvieux (30 min, 1 heure, 5 heures, une journée de pluie...).



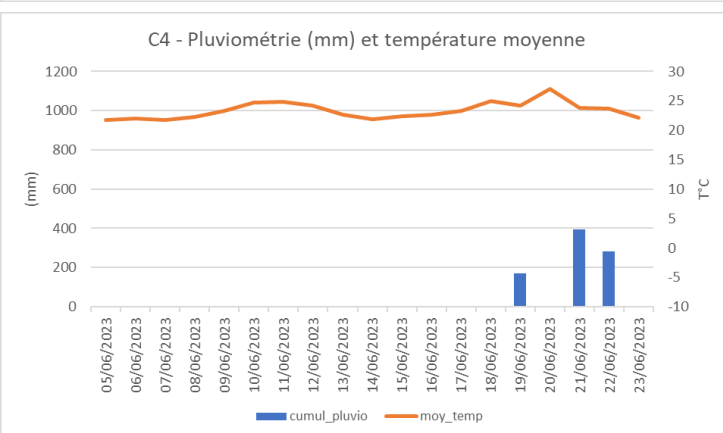
Durant la phase 1 (05 au 20 octobre 2022), 9 jours de précipitations ont été relevés, le cumul total s'élevant à 1009 mm avec un maximum de 585 mm le 15/10/2022. Les températures ont oscillé entre 12,4°C et 17,5°C pour une moyenne de 14,8°C. Les jours supplémentaires pour l'acquisition des données PUF ont été humides avec 3 jours de pluie sur 4 dont le maximum journalier (1109 mm le 21/10). Les températures ont été stables à environ 15°C sur ces quelques jours.



Lors de la phase 2 (décembre), il y a eu également 10 jours avec de la pluie (cumul de 823 mm et maximum de 352 mm le 14/12/2022) sur la période initiale de 18 jours. La température moyenne a été de 2,0°C variant de -4,2°C à 7,4°C. Les 7 jours supplémentaires sont marqués par 4 journées avec des précipitations (cumul de 443 mm et maximum de 236 mm le 22/12/2022) et des températures en nette augmentation les 4 derniers jours (moyenne à 1,1°C).



La phase 3 (mars-avril 2023) se caractérise par davantage de précipitations avec 12 jours pluvieux sur 22, pour un cumul de 2024 mm et deux jours atteignant les 500 mm (31/03 et 11/04/2022). La température s'est établie à 9,6°C, avec des variations de 5,1°C à 14,5°C.



La dernière phase en juin a été sèche avec seulement 3 jours de pluie sur 19, cumulant 846 mm. La température moyenne a été de 23,3°C (minimum 21,7 et maximum 27°C). Ainsi, le temps sec n'est pas favorable à une bonne dilution des polluants.

Figure 11 : Diagrammes ombrothermiques du site fixe d'ATMO GE à Schiltigheim lors des campagnes de mesures

Vitesses et direction du vent

Les figures suivantes présentent les roses des vents des quatre campagnes. A noter que les vitesses des vents inférieures ou égales à 1 m/s sont exclues.

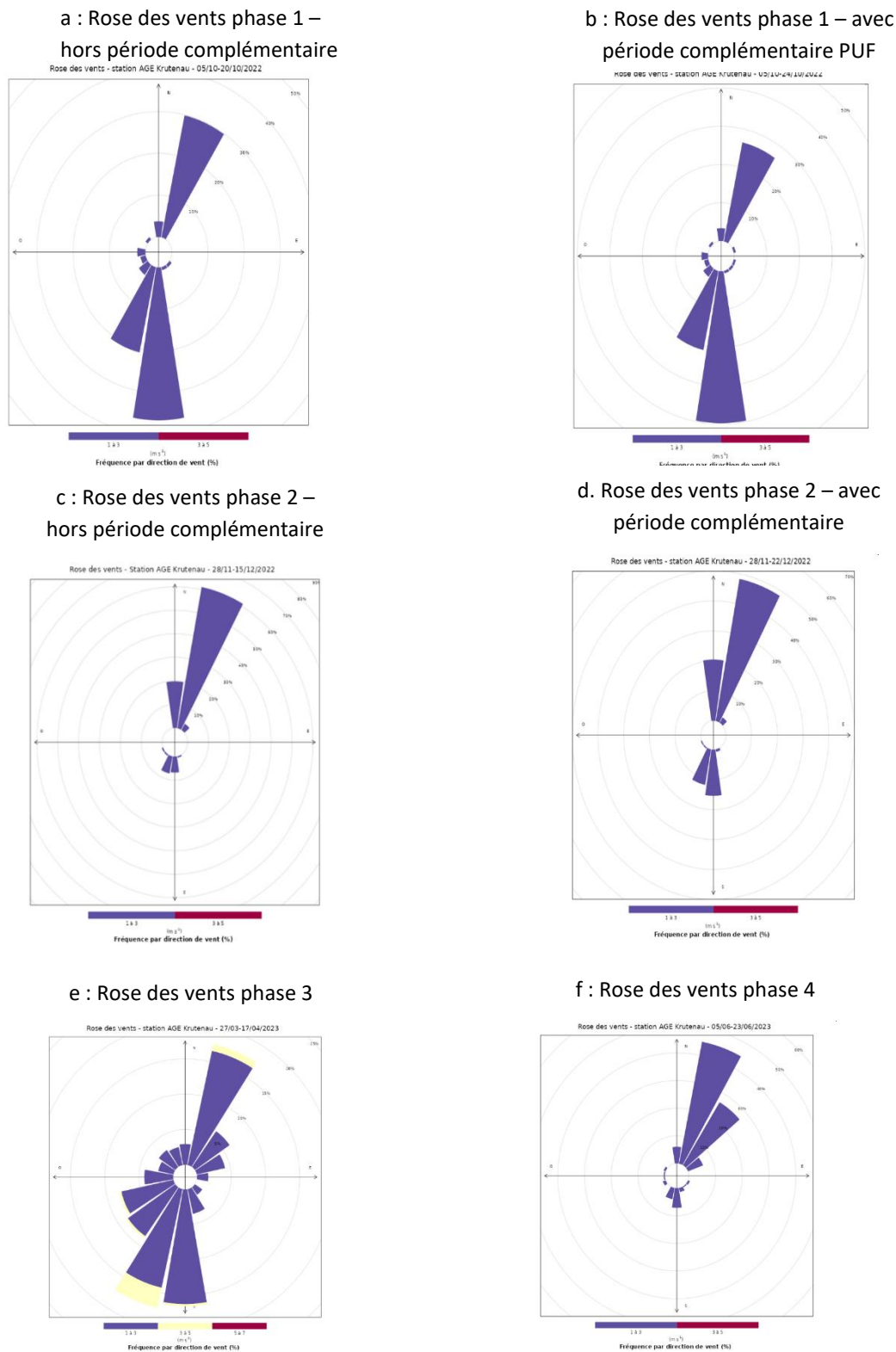


Figure 12 (a,b,c,d,e,f) : Roses des vents issues des données de la station fixe d'ATMO GE de la Krutenau

Sur l'ensemble des campagnes :

- ✓ 99 % des vents ont des vitesses comprises entre 1 à 3 m/s.
- ✓ 1 % des vents ont des vitesses comprises entre 3 à 5 m/s (uniquement en phase 3).
- ✓ Il n'y a pas de vents ayant des vitesses supérieures à 5 m/s.
- ✓ Les directions majoritaires sont les secteurs Nord/Nord-Est ainsi que les secteurs Sud et Sud/Sud-Ouest.

Bilan des conditions atmosphériques :

Le tableau suivant récapitule les conditions rencontrées :

Tableau 8 : Bilan des conditions atmosphériques

Stations AGE Krutenau vents et Schiltigheim pluviométrie	Pluviométrie totale (mm)	Nb j de pluie	Temp. moyenne (°C)	Orientations vents dominants	Vitesses vents dominants
Phase 1 (automne) 05-20/10/2022 16 jours	1009,3	5	14,9	NNE : 28% S : 38% SSO : 20%]1-3] m/s : 100%
Phase 1 bis (automne) 05-24/10/2022 20 jours	2887,9	8	14,9	NNE : 25% S : 41% SSO : 20,5%]1-3] m/s : 100%
Phase 2 (hiver) 28-11 au 15/12/2022 18 jours	822,6	6	1,8	N : 23% NNE : 60,5 %]1-3] m/s : 100%
Phase 2 bis (hiver) 28-11 au 22/12/2022 25 jours	1246,7	10	1,7	N : 23% NNE : 47 % S : 19%]1-3] m/s : 100%
Phase 3 (printemps) 27-03 au 17/04/2023 22 jours	2023,6	12	9,6	NNE : 15,6% NE à ENE : 11% S : 17% SSO : 14,3 % SO : 7,8 % OSO : 7,5 %]1-3] m/s : 95%]3-5] m/s : 5%
Phase 4 (été) 05-06 au 23/06/2023) 19 jours	846,7	3	23,4	N : 9% NNE : 48,3 % NE : 23,6 % S : 8,2 % SSO : 3,4 %]1-3] m/s : 100%

→ Globalement, sur les différentes phases, les vents ont été faibles et ont donc peu dispersé les polluants (seule la phase 3 a été légèrement plus venteuse). Les pluies ont en revanche pu avoir un impact sur la qualité de l'air.

Les épisodes pluvieux ont concerné 41 % du temps. La phase 3 (printanière) a été particulièrement pluvieuse et a donc été très favorable à la dilution des polluants. La phase 4, estivale, relativement sèche, n'a pas permis de diluer les polluants. Les conditions de pluie observées sur les deux autres phases ont été moyennement favorables à la dilution des polluants.

En hiver, les polluants ont eu tendance à stagner davantage dans l'air, avec des températures plus froides que les autres saisons.

Les conditions atmosphériques (précipitations, vents, températures) ont été favorables à la qualité de l'air (dilution et dispersion) en période printanière et moins sur les autres phases.

5.2 MESURES AVEC TUBES PASSIFS

5.2.1 Dioxyde d'azote (NO₂)

La figure suivante présente les résultats obtenus sur les 3 sites par période et en moyenne et les stations strasbourgeoises du réseau d'ATMO Grand Est.

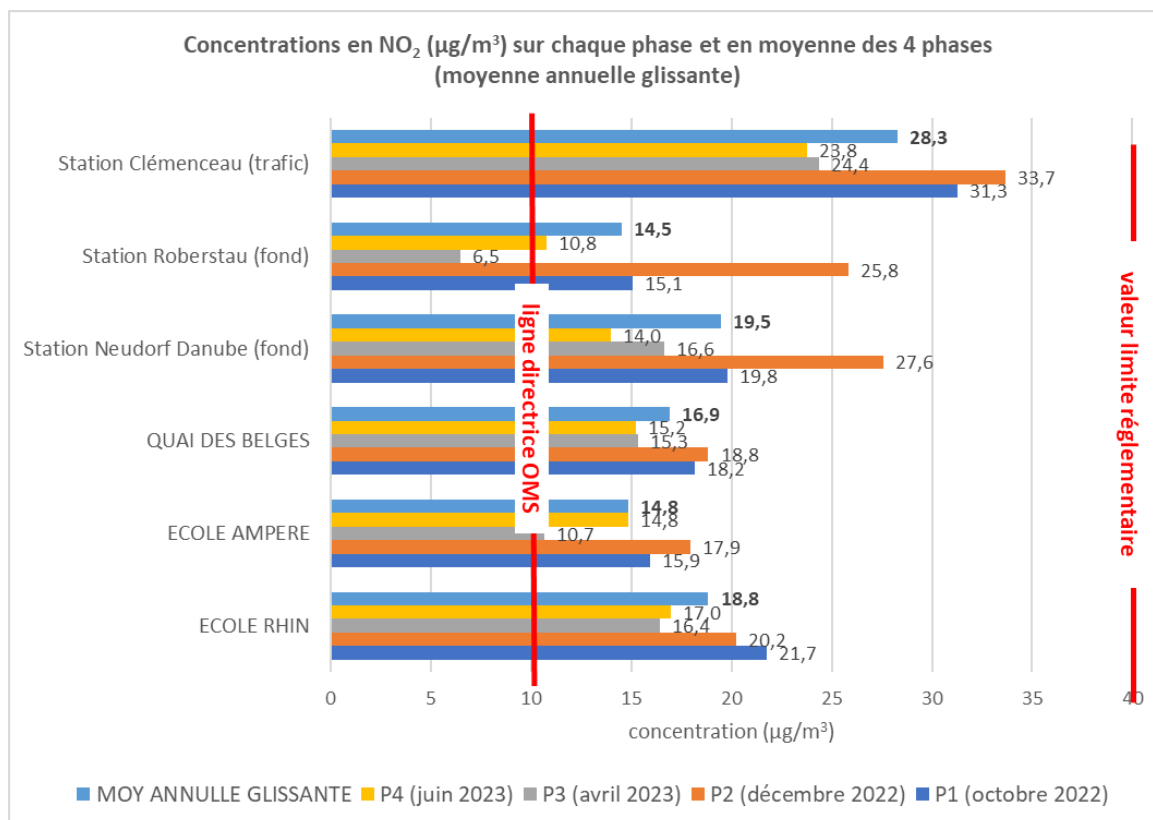


Figure 13 : concentrations en NO₂ sur les 3 sites et aux stations strasbourgeoises du réseau AGE

Les concentrations moyennes annuelles glissantes en dioxyde d'azote ont varié sur la zone d'étude entre 14,8 µg/m³ (école Ampère) et 18,8 µg/m³ (école du Rhin). Elles se situent entre les stations urbaines de fond de la Robertsau et Danube, et largement en dessous de la station urbaine d'influence trafic Clémenceau. **L'ensemble des sites respecte la valeur limite réglementaire en vigueur de 40 µg/m³.**

En revanche, la ligne directrice de l'OMS fixée à 10 µg/m³ est dépassée. La phase hivernale de décembre 2022 présente les concentrations maximales sur chaque site en lien avec des conditions atmosphériques peu favorables à la qualité de l'air. A contrario, les concentrations sont plus faibles lors de la phase printanière d'avril 2023 (période pluvieuse), et lors de la phase estivale.

5.2.2 Benzène

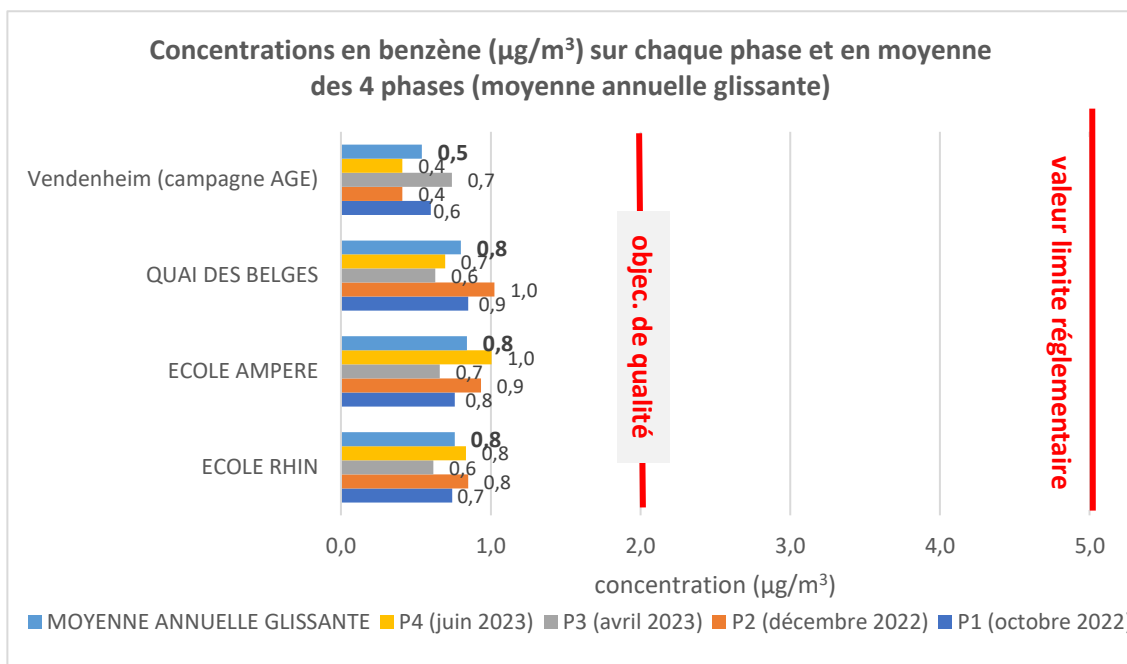


Figure 14 : concentrations en benzène sur les 3 sites et sur la commune de Vendenheim (pour comparaison)

Les concentrations annuelles glissantes en benzène ($0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont pour les 3 sites inférieures à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles se positionnent très largement en dessous des seuils de référence en vigueur. Dans le cadre du suivi du Grand Contournement Ouest de Strasbourg (GCO), des mesures de benzène ont lieu ponctuellement sur le secteur de Vendenheim (fond urbain). A titre indicatif, la moyenne des quatre séries de prélèvements réalisées à des dates proches (mêmes saisons) est de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en dessous des sites strasbourgeois.

5.2.3 Autres composés organiques volatils (COV)

10 COV majoritaires ont été recherchés par le laboratoire. Les concentrations sont très faibles, très souvent inférieures à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur chaque phase. **Aucune molécule ne ressort de façon prépondérante.** Les composés ressortis sont majoritairement des hydrocarbures.

Le maximum des concentrations rencontrées sur l'ensemble de la campagne est de $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en dodécane (hydrocarbure) lors de la phase 4 à l'école Ampère.

L'annexe donne sous forme de tableau les résultats de chacune des phases.

5.2.4 Hydrogène sulfuré (H_2S)

Pour l'école Ampère et le quai des Belges, les concentrations en H_2S sont inférieures sur chacune des phases à la limite de quantification du laboratoire (LQ).

Pour l'école du Rhin, les résultats sont inférieurs à la LQ, sauf en phase 1, où $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été relevés.

Ces résultats sont tous largement en dessous des seuils de référence, le plus bas étant celui de l'US EPA fixé à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour une exposition chronique sur plusieurs années).

5.2.5 NH₃

Les moyennes *sur chaque phase* varient entre 0,7 et 2,9 µg/m³ sur le site Quai des Belges, entre 0,8 et 2,7 µg/m³ sur le site Ecole du Rhin et entre 1,8 et 2,9 µg/m³ sur le site Ecole Ampère.

Les niveaux sont similaires entre les 3 sites exceptés pour la phase P2 où le site de l'école Ampère est plus élevé que les deux autres mais les niveaux restent toujours inférieurs à ceux de la station Danube (niveaux compris entre 3,0 et 5,5 µg/m³).

Les 3 sites mettent en évidence des niveaux plus élevés lors la campagne P4 en cohérence avec les périodes favorables à la volatilisation de l'ammoniac (température élevée, peu de précipitations).

Les moyennes annuelles sont comprises entre 1,7 et 2,2 µg/m³ et sont très inférieures aux valeurs toxicologiques de référence. Les moyennes annuelles glissantes sont toutes supérieures à la limite annuelle pour la protection de la végétation sensible, mais inférieures à celle pour la protection de la végétation totale.

Concentration en NH₃ sur chaque phase et en moyenne des 4 phases (moyenne annuelle glissante)

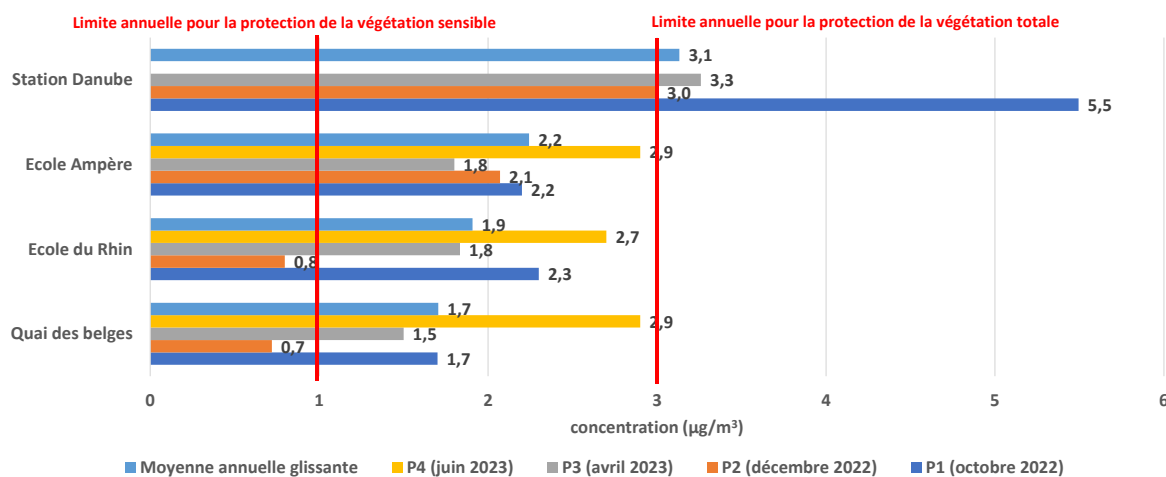


Figure 15 : concentrations en NH₃ sur chaque site et à la station fixe Danube

Remarque concernant la valeur de 5,5 µg/m³ relevé sur le site Danube lors de la 1ère phase de mesures :

Cette valeur, mesurée courant octobre 2022, est probablement due à une influence micro locale : en effet, les vents, calmes à faibles, sont principalement orientés au Sud et au Nord-Nord-Est donc issus respectivement du Port du Rhin de Strasbourg et des activités industrielles de Kehl.

Par ailleurs, il s'agit d'un niveau habituellement mesuré sur ce point fixe, et similaire à la moyenne annuelle de ce site fixe (4,9 µg/m³ en 2022). A noter qu'en octobre 2022 il a fait particulièrement beau à chaud ce qui a favorisé la volatilisation de ce composé.

5.3 MESURES AVEC PRELEVEURS ACTIFS

5.3.1 Les métaux lourds

Les résultats des échantillonnages en moyennes des quatre périodes ainsi que des données de comparaison sont présentés dans le tableau ci-après. Les résultats par phase figurent en annexe.

Tableau 7 : concentrations en métaux lourds aux 2 écoles et éléments de comparaison

MOY annuelle (ng/m ³ et plomb µg/m ³)	réglementés				non réglementés					
	Pb (µg/m ³)	As	Cd	Ni	V	Cr	Mn	Cu	Zn	Sb
école du Rhin 2022-2023	0,004	0,39	0,14	0,92	0,50	2,73	12,96	8,69	33,53	0,80
école Ampère 2022-2023	0,004	0,33	0,11	0,67	0,46	1,86	7,88	5,38	21,75	0,81
Normes de qualité de l'air	0,25**	6*	5*	20*						
Strasbourg-Nord (Robertsau), fond urbain	0,003	0,31	0,06	0,44						
Reims BSN – fond périurbain	0,003	0,27	0,07	0,67						
Agglo Nancy Sud (Neuves-Maisons), urbain indus	0,008	0,44	0,16	1,03						
industriel (Manufacture Baccarat 2022), sites prox indus	0,054	0,26	0,08	0,55		1,80			15,58	
industriel (Manufacture Baccarat 2022), site de fond	0,009	0,27	0,08	1,15		1,19			12,34	
industriel (Valaubia), site de fond	0,004	0,18	0,08	0,39	0,39	1,37	3,25	3,52		0,75
Industriel (Valaubia), sites prox indus	0,003	0,15	0,07	0,73	0,37	1,59	6,35	5,09		0,97

* valeurs cibles (moyennes annuelles)

** objectif de qualité (moyenne annuelle)

Les concentrations en Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb (métaux réglementés) relevées au sein des deux écoles sont situées en dessous des valeurs réglementaires. Les métaux non réglementés (Chrome, Cuivre, Manganèse et Vanadium) sont également en dessous des seuils de référence indicatifs (issus de la bibliographie ou de l'OMS).

Les résultats issus de la Manufacture de Baccarat, de Strasbourg-Nord, de Neuves-Maisons et de Valaubia (usine de valorisation énergétique des déchets dans l'Aube) sont ceux de 2022 et n'ont donc pas été réalisés en même temps. Les comparaisons sont donc indicatives.

Des mesures de métaux lourds ont lieu ponctuellement à la station de la Robertsau dans le cadre de la surveillance réglementaire régionale. Les données indiquées correspondent aux moyennes de quatre séries de prélèvement réalisées entre 2022 et 2023 au cours des quatre saisons, mais pas aux mêmes dates que la présente campagne.

A titre, indicatif :

- Les concentrations en Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb (métaux réglementés) mises en évidence sont légèrement supérieures au niveau du fond urbain Strasbourgeois, et à celles mesurées autour d'un environnement industriel régional tel à la cristallerie de Baccarat en contexte de fond à influence industrielle, sauf pour le plomb et le nickel. Hormis pour le plomb, les teneurs sont également légèrement supérieures à celles mesurées à Valaubia en contexte industriel, que ce soit en contexte de fond ou de proximité de l'usine. Comme indiqué ci-dessus, les résultats observés à Baccarat et de l'usine Valaubia dans l'Aube sont ceux de 2022.
- Les niveaux mesurés en métaux lourds réglementés sont inférieurs à ceux issus du site fixe de Neuves-Maisons qui est implanté en contexte urbain à influence industrielle.
- Les concentrations plus élevées en métaux lourds proviennent très vraisemblablement des activités industrielles voisines en lien avec les directions de vent observées :
 - secteur du Port du Rhin de Kehl en raison de vents calmes à faibles de quart Nord-Est représentant 61% du temps (les vents de Nord-Nord-Est correspondant à eux seuls 45%),
 - secteur du Port du Rhin strasbourgeois mais dans une moindre mesure, avec des vents de secteur Sud / Sud-Sud-Ouest 15% du temps.

- Concernant les deux écoles, les concentrations mesurées en métaux lourds sont globalement plus élevées à l'école du Rhin. Il est à noter que les directions des vents n'ont pas présenté de différences significatives entre les quatre phases de mesures. L'école du Rhin (située à environ 1,9 kilomètres au Sud-Ouest du Port du Rhin de Kehl) a probablement été plus influencée par les activités industrielles du Port de Rhin de Kehl que l'école Ampère (à environ 3km au Sud-Ouest), en raison de sa localisation géographique.

5.3.2 Les HAP

Le tableau suivant présente les moyennes annuelles obtenues en HAP aux 2 écoles ainsi que sur d'autres sites, pour comparaison.

Tableau 8 : concentrations en HAP aux 2 écoles et éléments de comparaison

MOY ANNUELLE (ng/m ³)	Benzo(a)anthracène	Benzo(a)pyrène	Benzo(b)fluoranthène	Benzo(e)pyrène	Benzo(g,h,i)pérylène	Benzo(j)fluoranthène	Benzo(k)fluoranthène	Chrysène	Dibenzo(a,h)anthracène	Indeno(1,2,3-cd)pyrène
Ecole du Rhin	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,02	0,3
Ecole Ampère	0,2	0,2	0,4	0,2	0,3	0,3	0,2	0,3	0,02	0,3
Valeurs cibles		1								
EPINAL urbain fond	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,03	0,4
HOUDELAINCOURT fond rural	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,1
VALLEE DE LA FENSCH périurbain industriel*	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,02	0,2
BOURBONNE-les-Bains périurbain fond	0,5	0,5	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,8	0,05	0,8
Biomasse Strasbourg (prox indus)	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,02	0,2

* moy annuelle de l'année civile 2022 dans la vallée de la Fensch (Bétange)

Les concentrations en HAP des 2 écoles strasbourgeoises sont en moyennes annuelles toutes inférieures à 0,5 ng/m³. La réglementation française fixe pour le BaP en phase particulière une valeur cible en moyenne annuelle de 1 ng/m³. L'OMS a établi une ligne directrice évaluée à 0,12 ng/m³. Il n'y a pas de valeurs réglementaires à respecter dans l'air ambiant pour les autres HAP. **Avec 0,2 ng/m³ au niveau des deux écoles, le benzo(a)pyrène, seul HAP réglementé, respecte la valeur cible réglementaire mais dépasse la ligne directrice de l'OMS.**

Les deux sites strasbourgeois sont équivalents aux concentrations mesurées en milieu urbain de fond à Epinal (surveillance régionale de fond aux mêmes dates). Ils sont inférieurs à ceux de Bourbonne-les-Bains qui est un site périurbain de fond (avec une influence chauffage au bois).

Les données en HAP à Strasbourg les plus récentes et proches de la zone d'étude proviennent de la campagne de mesures à proximité de la centrale ES Biomasse de Strasbourg (instrumentation des rues St-Malo et du Rhin Napoléon).

Deux phases de mesures d'un mois chacune en mars 2021 et novembre 2022 avaient eu lieu. Les niveaux relevés aux deux écoles sont dans la gamme de celles rencontrées à ces périodes sur cette campagne. Les résultats par phase figurent en annexe. Les résultats les plus élevés en HAP sont observés lors de la phase 2, c'est-à-dire du 1^{er} au 19 décembre, ce qui est cohérent en cette période de l'année (hiver), en lien avec les conditions météorologiques.

5.4 RESULTATS DES MESURES PAR CANISTER (1,3-Butadiène)

Pour rappel, les prélèvements de 1,3-butadiène par canister ont eu lieu aux deux écoles sur deux fois 24h au cours des 4 périodes de mesures. Le tableau ci-dessous indique les concentrations journalières.

Tableau 9 : concentrations en 1-3 butadiène aux 2 écoles (LQ : limite de quantification du laboratoire) et historiques de campagnes de mesures AGE

		concentrations butadiène		µg/m ³
phase 1	11 au 12/10/2022	ECOLE 1 RHIN		0,1
	11 au 12/10/2022	ECOLE 2 AMPERE RHIN		0,1
	18 au 19/10/2022	ECOLE 1 RHIN		0,1
	18 au 19/10/2022	ECOLE 2 AMPERE RHIN		0,2
phase 2	05 au 06/12/2022	ECOLE 1 RHIN		0,2
	05 au 06/12/2022	ECOLE 2 AMPERE RHIN		0,3
	12 au 13/12/2022	ECOLE 1 RHIN		0,5
	12 au 13/12/2022	ECOLE 2 AMPERE RHIN		0,2
phase 3	04 au 5/04/2023	ECOLE 1 RHIN		<LQ
	04 au 5/04/2023	ECOLE 2 AMPERE RHIN		<LQ
	11 au 12/04/2023	ECOLE 1 RHIN		<LQ
	12 au 12/04/2023	ECOLE 2 AMPERE RHIN		<LQ
phase 4	05 au 06/06/2023	ECOLE 1 RHIN		<LQ
	05 au 06/06/2023	ECOLE 2 AMPERE RHIN		<LQ
	12 au 13/06/2023	ECOLE 1 RHIN		<LQ
	12 au 13/06/2023	ECOLE 2 AMPERE RHIN		<LQ
Campagnes ATMO milieux urbains	Fond			0,1 (max : 8,74 µg/m ³)
	trafic			0,2 (max : 1,16 µg/m ³)
	industriel			0,5 (max : 9,20 µg/m ³)

Durant les phases 3 et 4, les résultats sont tous inférieurs à la limite de quantification du laboratoire. Le maximum est de 0,5 µg/m³ en phase 2 à l'école du Rhin. A noter que les mesures de cette phase ont eu lieu en période hivernale, lors de conditions météorologiques défavorables à une bonne dispersion des masses d'air : temps froid (températures négatives en journée) et sec, des vents calmes à faibles de secteurs Nord-Nord-Est et dans une moindre mesure du Sud/Sud-Sud-Ouest, et présence d'inversions thermiques empêchant une bonne dispersion des masses d'air. En cette période hivernale, une élévation généralisée des niveaux d'autres polluants tels le NO₂, les PM₁₀, les PM_{2,5}, des COV a également été observée. La hausse observée en butadiène n'est par conséquent pas un phénomène isolé. La valeur de 0,5 µg/m³ pourrait éventuellement être liée à une activité avoisinante très localisée. Pour rappel, l'émetteur principal de ce polluant reste le trafic routier (environ 75%) dans la zone PPA Strasbourg. **A titre purement indicatif, la valeur toxicologique de référence (VTR) chronique à seuil pour l'inhalation**

qui a été proposée par l'ANSES¹² (2 µg/m³ sur un an) n'est jamais dépassée. Des mesures de 1,3-butadiène ont lieu ponctuellement sur le Grand Est depuis 2002 autour d'environnements urbain et industriel. Les deux écoles en phase 1 sont à des niveaux de fond urbain régionaux non influencés, tandis que la phase 2 se rapprocherait du milieu industriel.

5.5 RESULTATS ISSUS DES ANALYSEURS AUTOMATIQUES (NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, Hg, NH₃, PUF, Black-Carbon)

Afin d'appréhender l'évolution horaire et journalière des niveaux de pollution atmosphérique au regard des normes de qualité de l'air, une unité mobile (UM) équipée d'analyseurs de mesure en continu du NO₂, des PM, et du mercure a été installée à l'école du Rhin. A l'école Ampère, l'UM a permis de suivre les niveaux en SO₂ (prévus initialement à l'école du Rhin mais non possible en raison de contraintes techniques), et des PM. Les résultats des mesures des deux unités mobiles sont exploités en référence aux normes en vigueur et comparés aux données issues des stations du réseau de mesure régional d'ATMO Grand Est. En complément, le suivi en continu des concentrations en NH₃ par analyseur a complété les mesures à l'école Ampère et des mesures du Black-Carbon par analyseur et des PUF par systèmes capteurs ont été réalisées à l'école du Rhin. Les analyseurs ont mesuré sur de plus longues périodes que celles des tubes passifs.

5.5.1 NO₂

Les maxima horaires journaliers en NO₂ enregistrés sur chaque période sont présentés au travers de la figure ci-dessous :

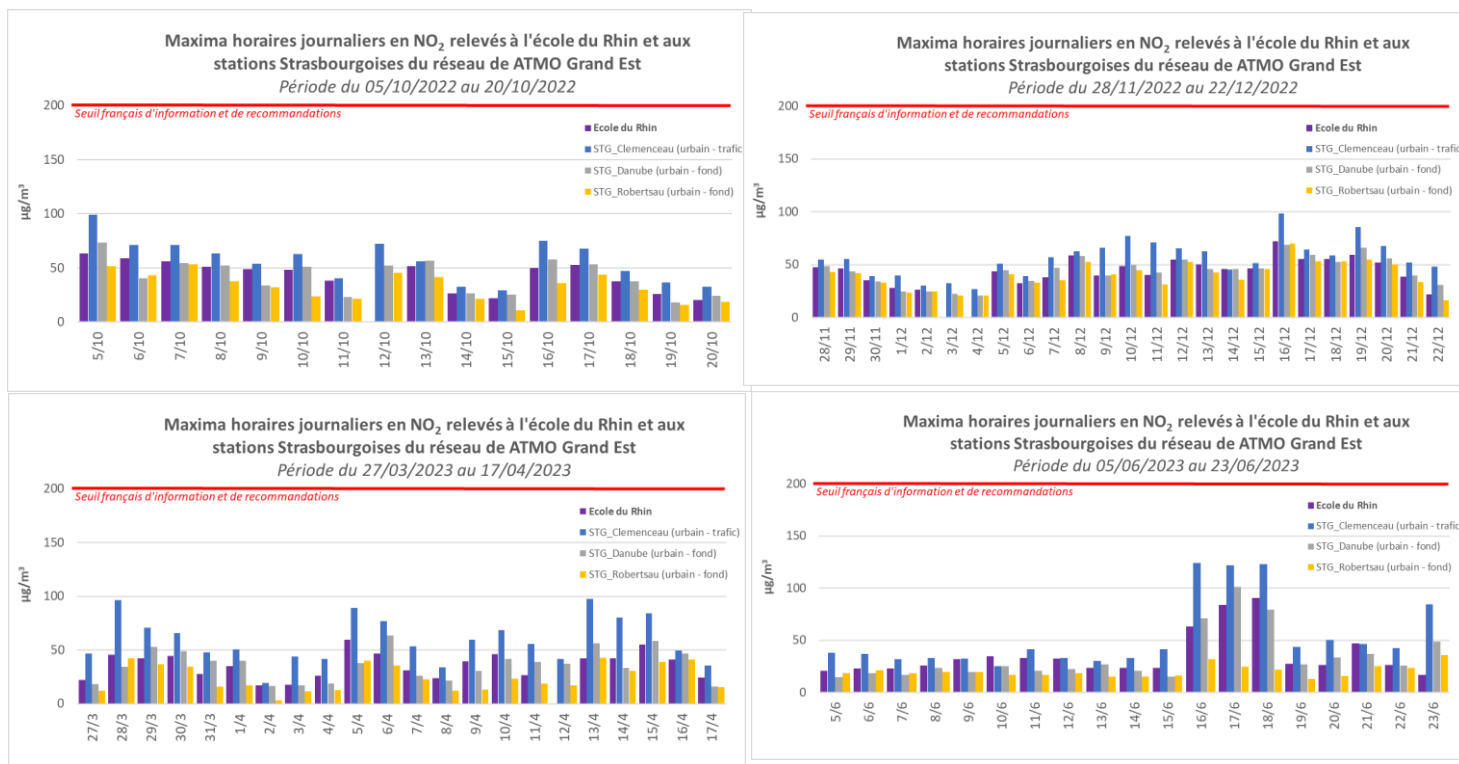


Figure 16 : Maxima horaires journaliers en NO₂ – école du Rhin et stations

¹² Le 1,3-butadiène - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective Janvier 2021 - Valeurs toxicologiques de référence : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2019SA0073Ra.pdf>

Les maxima horaires journaliers sur l'école du Rhin ont varié entre 16,9 et 90,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, minimum et maximum des quatre périodes confondues, tous deux relevés en phase estivale. Ils sont inférieurs aux maxima de la station d'influence trafic Clémenceau, mais régulièrement supérieurs aux stations urbaines de fond.

Ces niveaux sont inférieurs aux seuils d'information/recommandations et d'alerte fixés respectivement à 200 et 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une heure.

Les profils moyens journalier de chaque phase (figure 16) représentent les moyennes des concentrations horaires pour chaque heure de la journée en comparaison avec ceux établis pour les stations du réseau ATMO Grand Est.

Toutes les heures indiquées ci-après sont en heure locale. Les résultats se lisent comme ceci : 08h00 = moyenne des teneurs entre 07h00 et 08h00. 09h00 = moyenne des résultats entre 08h00 et 09h00.

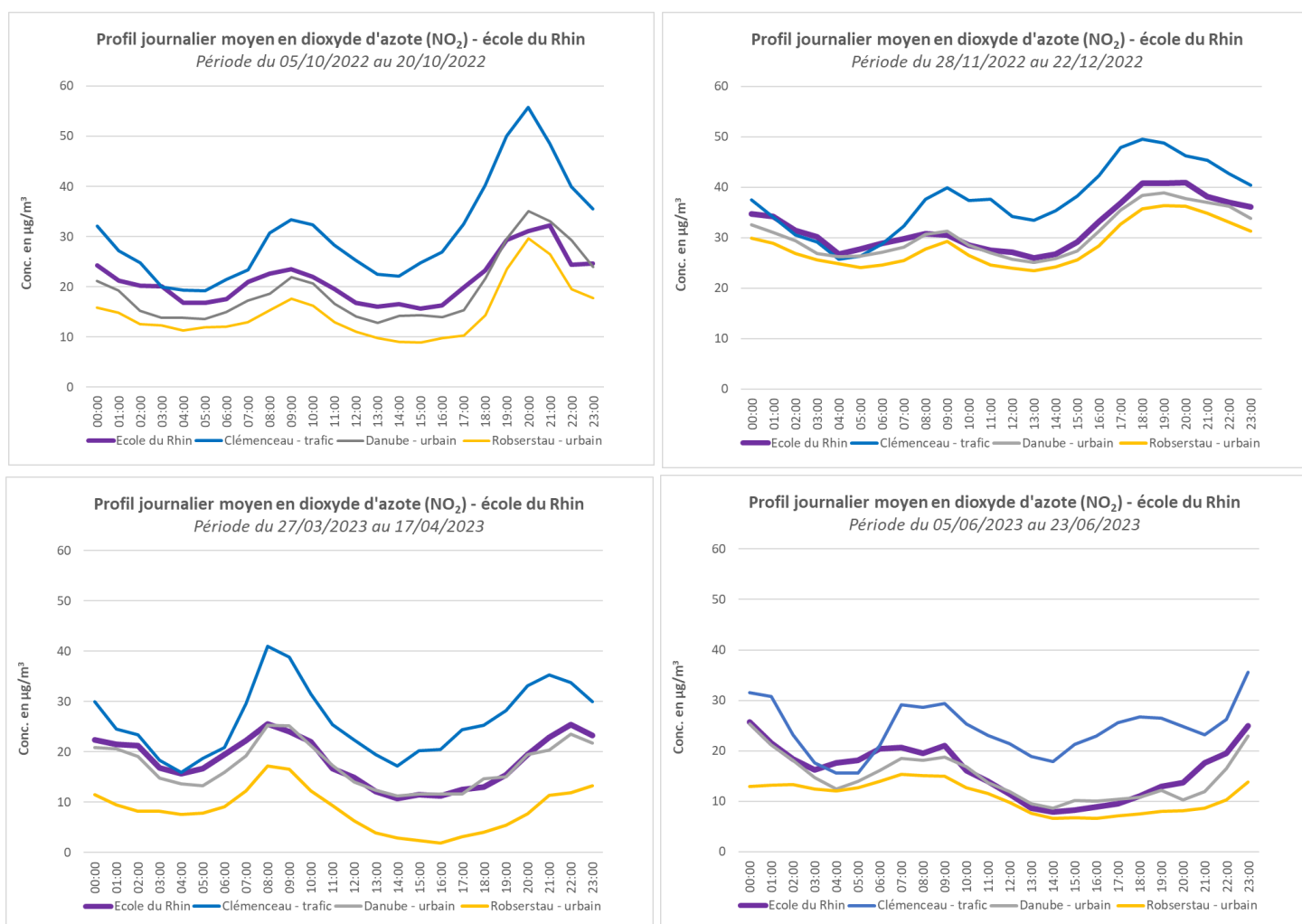


Figure 17 : Profils journaliers en NO_2 – école du Rhin et stations

A noter que les analyseurs ont mesuré sur de plus longues périodes que celles des tubes passifs. Les données en profils moyens journaliers sont donc complémentaires par rapport aux tubes passifs (moyenne sur 14 jours).

L'évolution temporelle des concentrations à l'école du Rhin est corrélée à celle des stations urbaines. Les pics relevés le matin entre 07h00 et 09h00 et le soir correspondent aux périodes d'intensification du trafic routier (trafic pendulaire). L'école, située à proximité directe d'une route à fort trafic (avenue de l'Europe Trafic Moyen Journalier Annuel = 14 850 véhicule/jour en 2021), se situe au-dessus de la station de fond de la Roberstau, au-dessus ou très proche de la station Danube (située à proximité de l'axe routier Avenue du Rhin) et en dessous de la station trafic du boulevard Clémenceau.

5.5.2 Particules PM₁₀, PM_{2,5}

Les figures 18 et 19 ci-après dressent la distribution des concentrations en particules mesurées par les unités mobiles aux deux écoles et aux stations du réseau de ATMO GE.

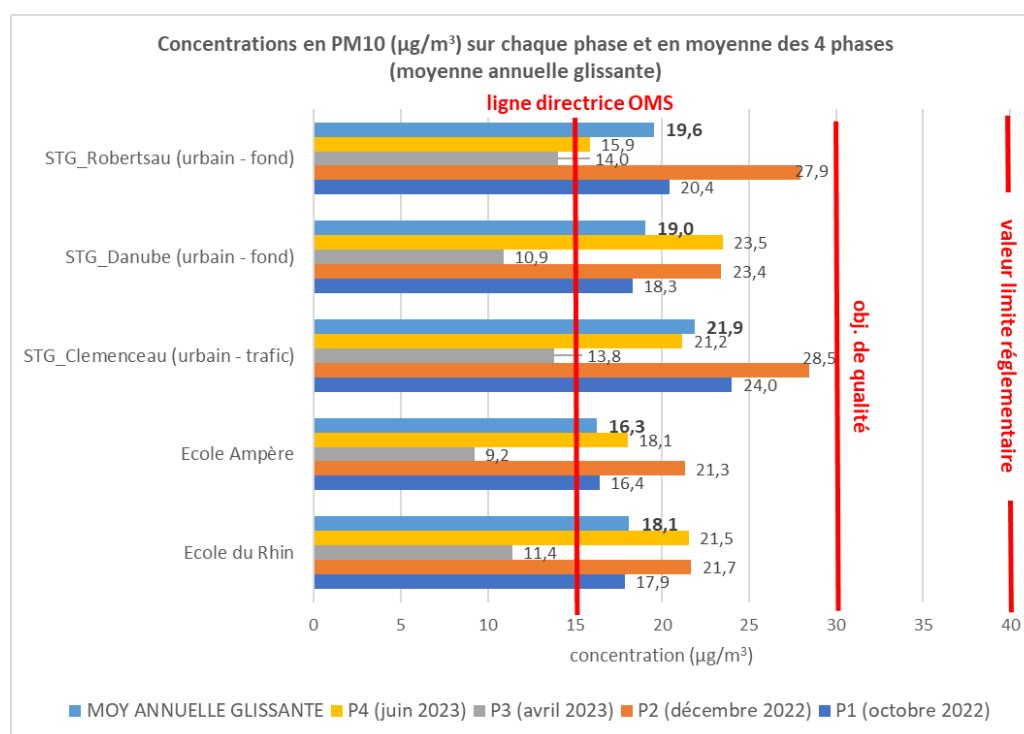


Figure 18 : Distribution des concentrations en particules PM₁₀ - écoles et stations

Les teneurs moyennes annuelles (glissantes) en particules PM₁₀ mesurées sont de 18,1 µg/m³ à l'école du Rhin et de 16,3 µg/m³ à l'école Ampère. Elles se positionnent en dessous du milieu urbain de fond strasbourgeois, et sont inférieures aux seuils réglementaires en vigueur mais dépassent la ligne directrice de l'OMS fixée à 15 µg/m³.

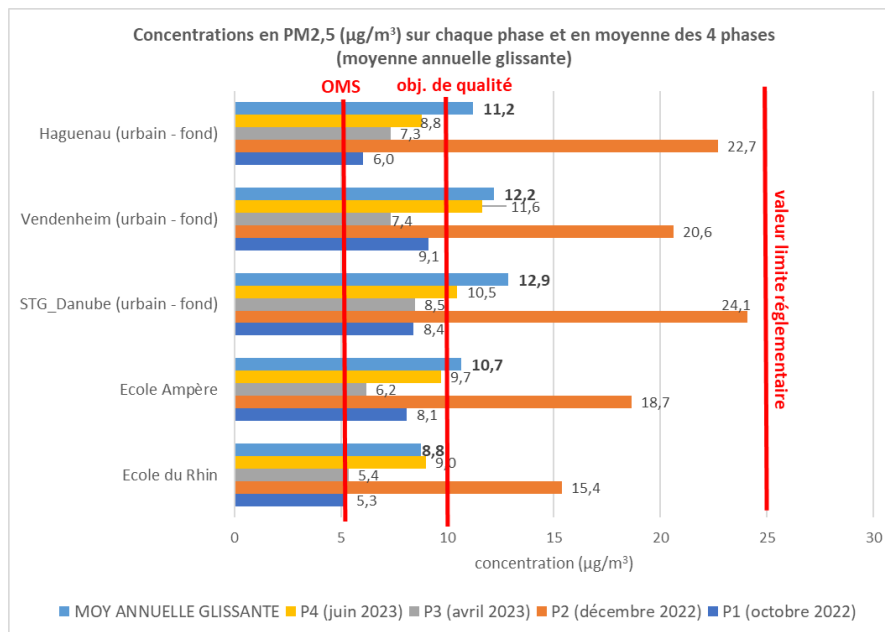


Figure 19 : Distribution des concentrations en particules PM_{2,5} - écoles et stations

Les teneurs moyennes annuelles (glissantes) en particules PM_{2,5} sont de 8,8 µg/m³ à l'école du Rhin et de 10,7 µg/m³ à l'école Ampère. Elles se positionnent en dessous de milieux urbains Bas-Rhinois (stations Haguenau et Vendenheim¹³), et sont inférieures aux seuils réglementaires en vigueur (hormis pour l'objectif de qualité légèrement dépassé à l'école Ampère) mais sont supérieures au seuil OMS fixé à 5 µg/m³.

Pour les deux fractions de particules, la phase 2 hivernale (décembre 2022) est la plus élevée, en lien avec des émissions accrues liées au chauffage domestique en cette période de froid, et de mauvaises conditions de dispersion de la pollution dues à des inversions thermiques. Le climat de fond urbain était chargé. Cela est visible au travers des moyennes journalières hivernales en PM₁₀ (figure 20) dont le seuil d'information-recommandations a été dépassé sur la station urbaine de fond de la Robertsau le 19 décembre mais pas à l'école du Rhin (les mesures se sont arrêtées le 15 décembre à l'école Ampère). Sur les trois autres phases, il n'y a pas eu de dépassement du seuil journalier d'information-recommandations en PM₁₀.

¹³ A titre indicatif, les données peuvent être comparées à la station de Vendenheim dans le Bas-Rhin, station de fond implantée dans un environnement péri-urbain mais correspondant à de l'observation spécifique en raison de son placement près d'un champ agricole (non-respect de l'ensemble des règles du guide d'implantation des stations de mesures fixes).

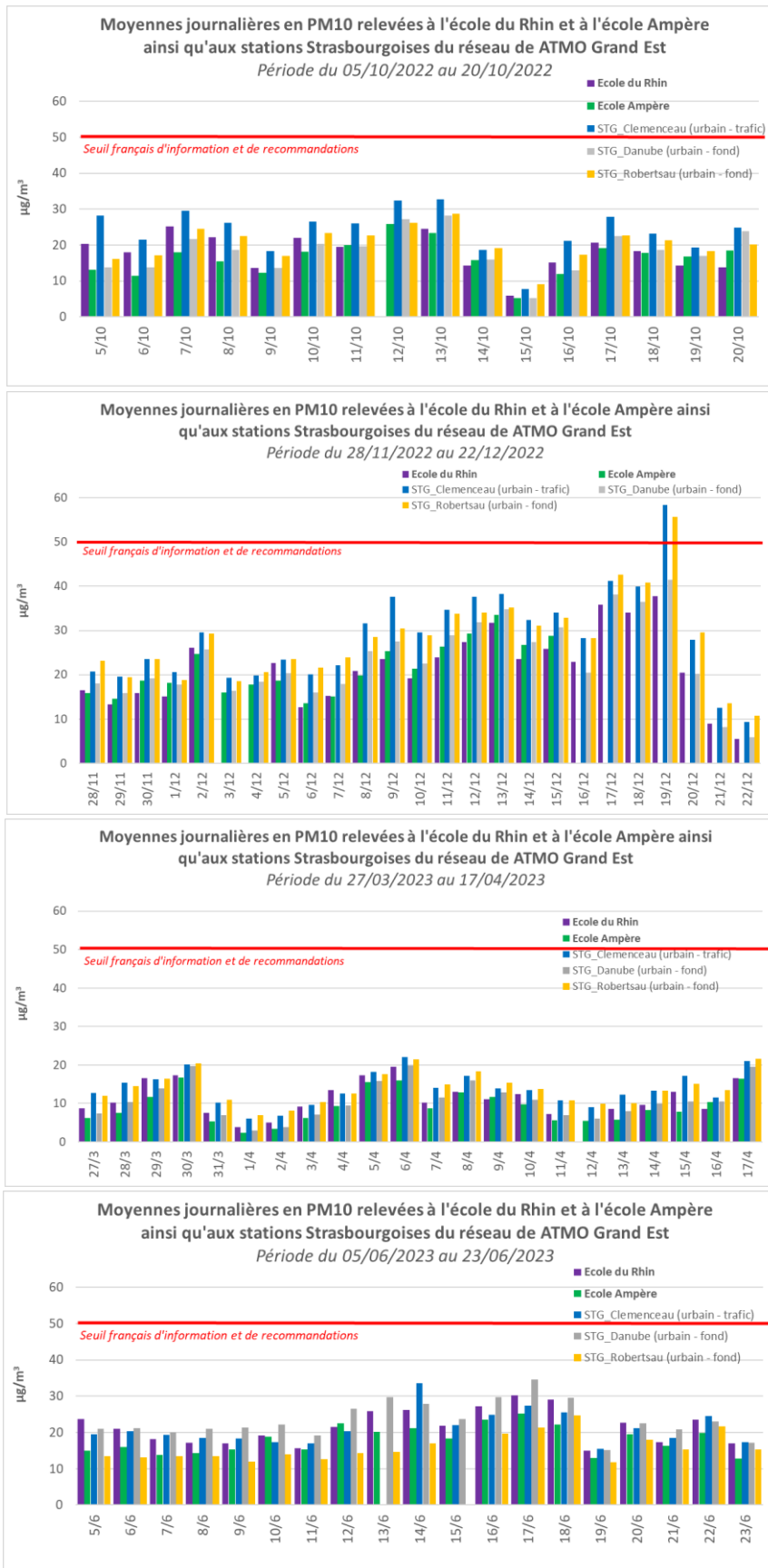


Figure 20 : moyennes journalières en PM₁₀ - écoles et stations

Les profils moyens journalier en PM₁₀ et PM_{2,5} de chaque phase sont représentés ci-après :

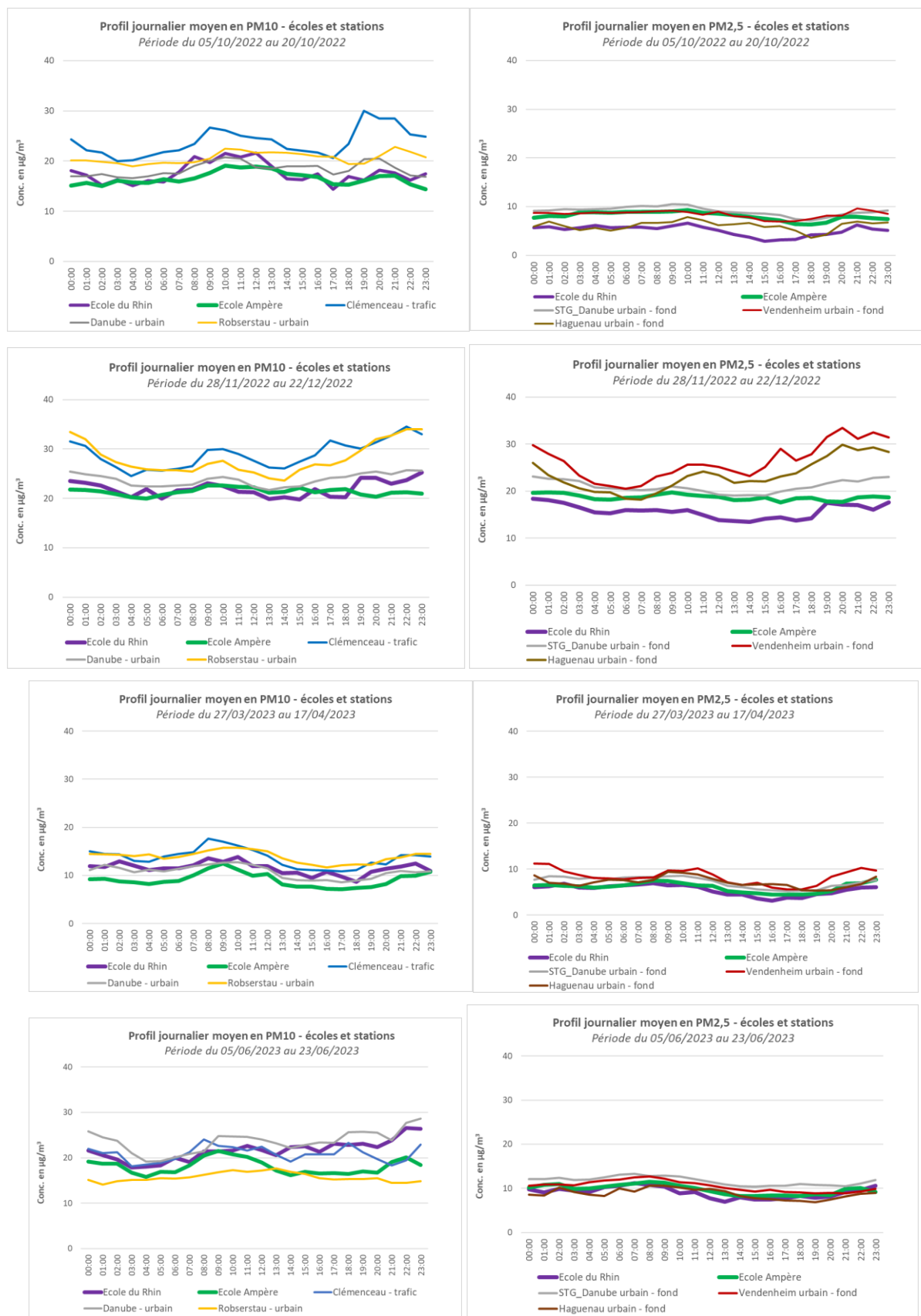


Figure 21 : profils moyens journaliers en PM₁₀ et PM_{2,5} - écoles et stations

Les variations journalières sont relativement similaires entre les écoles et les stations. Selon les phases et les heures de la journée, les écoles sont soit en dessous ou proches des niveaux de fond urbain. La phase 2 (hivernale) est marquée par une hausse des PM₁₀ et des PM_{2,5} en soirée et qui stagnent une partie de la nuit, correspondant au recours au chauffage domestique et donc à davantage d'émissions de PM₁₀ et PM_{2,5}, couplée à de mauvaises conditions de dispersion atmosphériques (peu de pluies et inversions thermiques).

5.5.3 SO₂

Les mesures de SO₂ ont eu lieu à l'école Ampère uniquement. Les concentrations obtenues sont détaillées dans le tableau 12 :

Tableau 10 : concentrations en SO₂ à l'école Ampère et à une station

SO ₂ (µg/m ³)	école Ampère		station Thann-Bugnert (urbain industriel)		station Reims Jean D'Aulan (fond urbain)	
	moyenne	Max horaire	moyenne	Max horaire	moyenne	max
phase 1	0	1,2	0,9	27,1	0	6,4
phase 2	0	0	0,7	15,5	0	2,5
phase 3	0	0	1,1	41,3	0,3	3,7
phase 4	1,9	4,7	1,9	8,5	0	3,4
MOY ann. glissante	0,5		1,2		0,1	

Le maximum horaire journalier relevé est de 4,7 µg/m³ en phase 4 le 10 juin 2023 à 20h00. La phase 4 a des concentrations comprises entre 1,9 et 4,7 µg/m³ pour une moyenne de 1,9 µg/m³. Sur les autres phases, le SO₂ est à des niveaux nuls. Seuls les 5, 6 octobre sont à 1 µg/m³ en maximum horaire. Les moyennes des trois autres phases sont à 0 µg/m³. Ces valeurs sont très largement en dessous du seuil d'informations-recommandations de 300 µg/m³ pour le maxima horaire journalier. En milieu urbain influencé par un contexte industriel, le maxima horaire à la station de Thann-Bugnert par exemple, en phase 4, est de 8,5 µg/m³ (10/06 à 12h00). A cette station, le maxima horaire de l'ensemble des phases a été de 41,3 µg/m³ le 05/04 à 12h00). Les maxima en milieu urbain de fond (station rémoise Jean-d'Aulan) sont plus élevés et en moyenne des quatre phase, l'école se situe comme pour le niveau de fond urbain rémois aux alentours de 0 µg/m³.

5.5.4 Mercure

Les résultats obtenus pour le mercure sont présentés ci-après :

Tableau 11 : concentrations en Mercure à l'école Ampère et à une station (ng/m³)

Hg (ng/m ³)	école Ampère		station Vieux Thann (péri-urbain industriel)	
	moyenne	Max horaire	moyenne	Max horaire
phase 1	1,8	2,8	6,9	91,0
phase 2	1,8	3,5	2,4	21,1
phase 3	1,8	4,3	4,9	45,0
phase 4	1,9	6,5	15,1	159,3
MOY ann. glissante	1,8		7,3	

Le suivi du mercure au niveau de l'école Ampère révèle des niveaux homogènes entre les phases, s'établissant à 1,8 ng/m³ en moyenne annuelle glissante, en dessous des niveaux de fond urbain influencés par un milieu industriel et très éloignés des valeurs de référence (la plus restrictive étant la valeur américaine de 30 ng/m³). Cependant, les maxima horaires journaliers relevés (notamment lors de la phase 4) impliqueraient une influence d'une source de mercure aux alentours : l'étude des conditions météorologiques et du positionnement du site par rapport aux activités industrielles avoisinantes indique que le ou les sources proviendraient vraisemblablement des activités industrielles du Port du Rhin (Port du Rhin de Kehl et dans une moindre mesure du Port du Rhin de Strasbourg).

5.5.5 Ammoniac

Des problèmes techniques n'ont pas permis d'obtenir des mesures sur la phase P1 pour les deux sites et les mesures pour la phase P4 n'ont pu être faites que sur l'école Ampère car un des deux analyseurs ne fonctionnait plus.

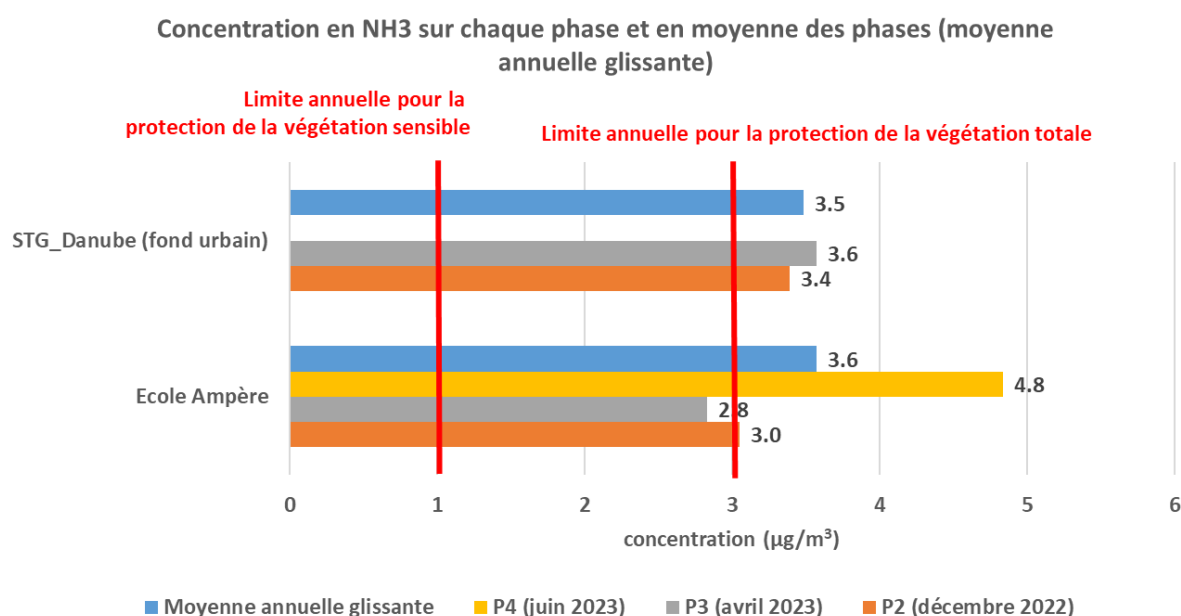


Figure 22 : Distribution des concentrations en ammoniac sur l'école Ampère et la comparaison au site urbain Danube sur les 3 dernières campagnes. Des problèmes techniques ont entraîné des pertes de données sur les phases P1 et P4.

Les moyennes sur les phases varient entre 2,8 et 4,8 µg/m³ à l'école Ampère, en cohérence avec la station Danube pour les périodes communes, ce qui ne montre pas une influence spécifique au niveau de l'école Ampère par rapport à la station fixe. Les niveaux plus élevés observés en juin 2023 (phase P4) à l'école Ampère sont cohérents avec les mesures par tubes passifs et peuvent s'expliquer par une période favorable à la volatilisation de l'ammoniac (température élevée, peu de précipitations).

Les moyennes annuelles glissantes restent très inférieures aux valeurs toxicologiques de référence concernant l'exposition humaine. Elles sont supérieures aux limites annuelles pour la protection de la végétation sensible et totale. L'écart observé par rapport aux tubes passifs pour le site de l'école Ampère notamment peut s'expliquer par une tendance à la sous-estimation des tubes passifs par rapport aux analyseurs de l'ordre de 20-30%.

5.5.6 Black-Carbon

Le Black-Carbon ne dispose d'aucune VTR à l'heure actuelle, bien que des travaux soient actuellement entrepris par l'ANSES.

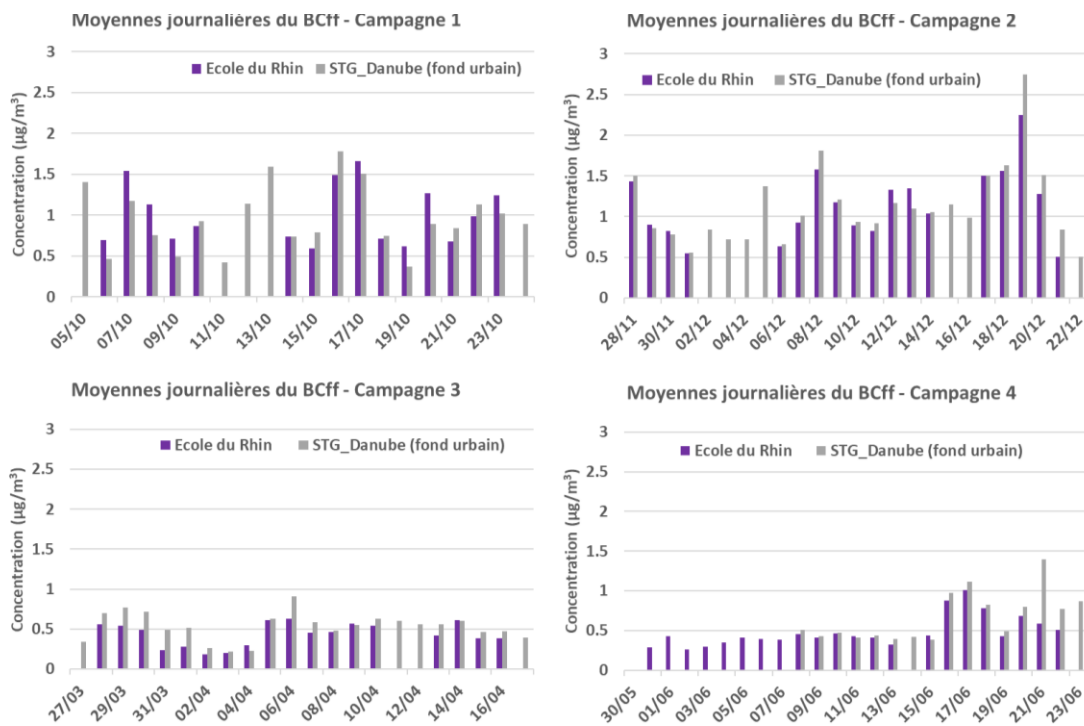


Figure 23 : Moyennes journalières du BCff (Black Carbon fuel fossil) principalement associée au trafic routier

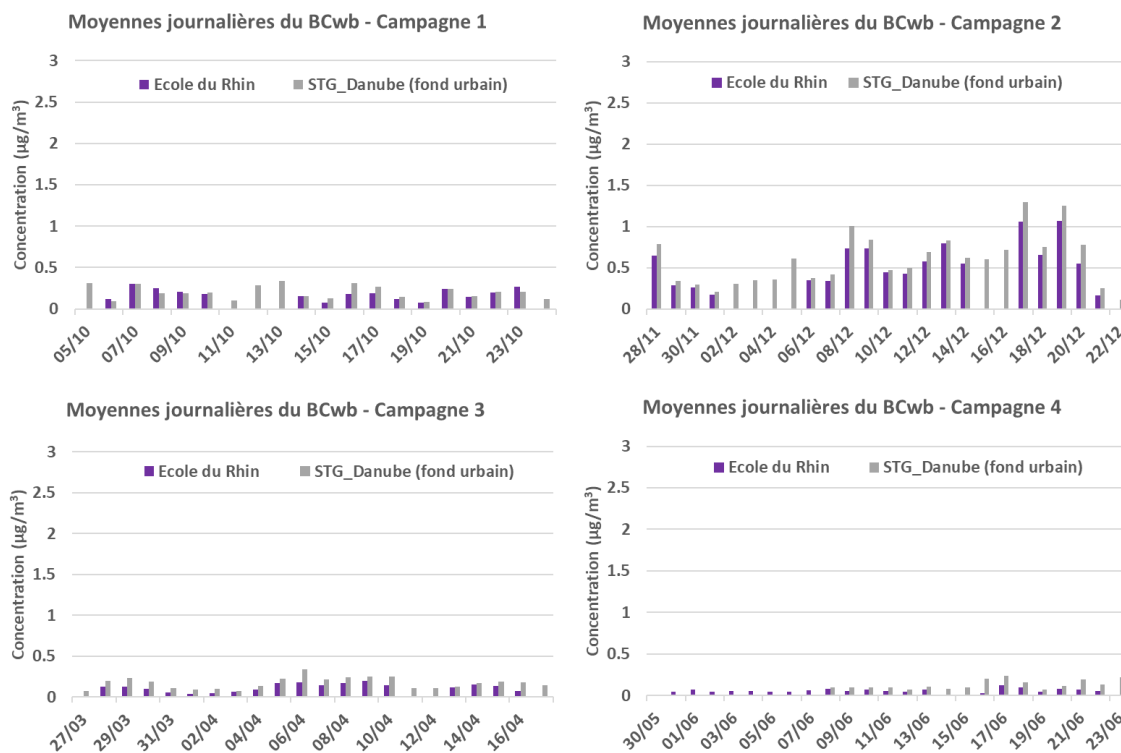


Figure 24 : Moyennes journalières du BCwb (Black Carbon wood burning) principalement lié au chauffage

Les résultats de mesure du BCff (Black Carbon fuel fossil) lié à la combustion d'hydrocarbures mettent en évidence des résultats similaires voire plus faibles à l'école du Rhin (entre 0,2 et 2,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) par rapport à la station urbaine de fond (0,2 et 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette même tendance est observée pour le BCwb (Black Carbon wood burning) lié à la combustion de biomasse avec une variation entre 0,1 et 1,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à l'école du Rhin et 0,1 et 1,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Danube. La variabilité est similaire entre les 2 sites avec une influence de la météorologie et de la saisonnalité.

Les deux composés présentent des niveaux les plus élevés pendant la campagne 2 en cohérence avec la période hivernale. En effet, le BCff est notamment associé au trafic routier dont les surémissions des moteurs en période froide ont été mises en évidence tandis que le BCwb est principalement lié au chauffage ce qui est bien observé avec un maximum sur la campagne hivernale et des niveaux très faibles en période plus chaude (campagne 3 et 4 avec des niveaux inférieurs à 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

5.5.7 Les particules ultrafines

Les moyennes journalières des particules ultrafines montrent des niveaux similaires entre les trois sites sur les journées disponibles pendant les 4 campagnes. En effet, des problèmes de communication et des soucis techniques ont impacté les campagnes notamment sur le site de l'école Ampère ce qui a limité le nombre de journées disponible.

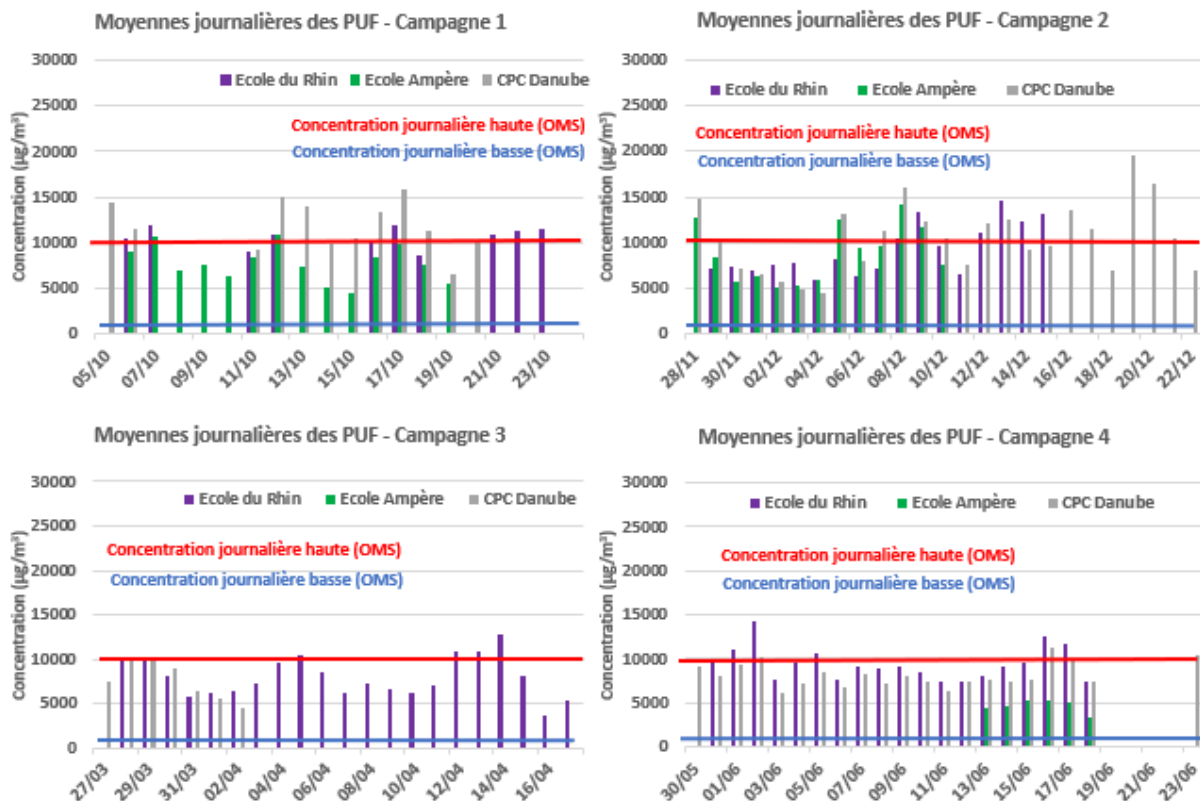


Figure 25 : Moyennes journalières des particules ultrafines (nombre de particules)

Les moyennes journalières varient entre 3 000 et 14 000 particules/cm³ sur l'école Ampère, entre 4 000 et 14 900 particules/cm³ sur l'école du Rhin et entre 4 500 et 19 000 particules/cm³ sur la station Danube. Ces niveaux de l'ordre de grandeur 1 000 - 10 000 particules/cm³ sont les niveaux habituellement observés en zone urbaine.

Aucune mesure n'est inférieure à la concentration journalière basse, seuil indicatif défini par l'OMS, ce qui cohérent compte tenu de l'environnement urbain des sites. Les 3 sites présentent des dépassements ponctuels de la concentration journalière haute notamment en période plus froide (campagne 1 et 2). Ces concentrations qualifiées de « haute » représentent moins de 40% des moyennes journalières sur les sites de l'école du Rhin (33%) et de l'école Ampère (18%), de manière inférieure au site fixe Danube (37%). Excepté un pic ponctuel lors de la campagne 4 sur le site de l'école du Rhin, les niveaux des deux écoles sont similaires voire inférieurs à ceux de la station fixe Danube.

CONCLUSION

Les résultats en **dioxyde d'azote** obtenus avec les analyseurs et les tubes passifs indiquent des niveaux inférieurs à la valeur limite réglementaire ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et aux seuils d'information/recommandations et d'alerte. La Ligne directrice de l'OMS est quant à elle dépassée ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$). L'évolution temporelle des concentrations à l'école du Rhin est corrélée à celle des stations urbaines.

Les concentrations mesurées sont comprises entre celles issues des sites urbains de fond (Robertsau, Danube) et inférieures à la station urbaine à influence trafic de Strasbourg Clémenceau. Des pics sur de courtes durées sont parfois relevés le matin et le soir, correspondant aux périodes d'intensification du trafic routier (trafic pendulaire).

Concernant les **COV**, les niveaux annuels en **benzène** sur les trois sites sont inférieurs aux seuils de référence en vigueur. Pour les autres COV, non réglementés, les concentrations obtenues sont très faibles.

A l'école Ampère et au quai des Belges, les concentrations obtenues en **H₂S** sont inférieures à la limite de quantification du laboratoire (LQ) sur chaque phase. A l'école du Rhin, les résultats sont également inférieurs à la LQ (sauf en phase 1 avec $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), et nettement inférieurs aux seuils de référence.

Les résultats des campagnes pour l'**ammoniac** par tubes passifs mettent en évidence des niveaux proches entre les sites et très inférieurs aux valeurs toxicologiques de référence pour la santé humaine. Les niveaux les plus élevés ont été observés pour la campagne 4 en juin 2023, ce qui est cohérent avec la volatilisation de l'ammoniac favorisée par les températures plus élevées et l'absence de précipitations.

Les mesures par analyseur de l'ammoniac sur l'école Ampère montrent des résultats globalement similaires à ceux de la station Danube avec des niveaux très inférieurs aux valeurs toxicologiques de référence. Les mêmes variations entre les campagnes que pour les tubes passifs sont observées en lien avec l'influence de la météorologie.

Les **métaux lourds réglementés** (Arsenic, Cadmium, Nickel et Plomb) présentent des concentrations respectant les valeurs réglementaires. Les **métaux non réglementés** (Chrome, Cuivre, Manganèse et Vanadium) présentent pour leur part des teneurs en dessous des seuils de référence indicatifs (issus de la bibliographie ou de l'OMS).

A titre *indicatif*, les teneurs obtenues en métaux réglementés (ainsi qu'en chrome et zinc concernant les mesures à Baccarat) au niveau des deux écoles sont légèrement supérieures au niveau du fond urbain Strasbourgeois, et à celles mesurées autour d'un environnement industriel régional tel à la cristallerie de Baccarat en contexte de fond à influence industrielle, sauf pour le plomb et le nickel. Les concentrations sont également légèrement supérieures à celles mesurées à Valaubia (incinérateur) en contexte industriel, que ce soit en contexte de fond ou de proximité de l'usine, hormis pour le plomb. Il est à noter que les résultats observés à Baccarat et au niveau de l'usine Valaubia (Aube) sont ceux de 2022. A contrario, les niveaux mesurés en métaux lourds réglementés sont inférieurs à ceux issus du site fixe de Neuves-Maisons implanté en contexte urbain à influence industrielle. L'influence des activités industrielles proches des écoles peuvent expliquer ces observations qui ne nécessitent cependant pas la mise en place de mesures pérennes en continu puisque les seuils réglementaires ne sont pas dépassés.

Les concentrations obtenues à l'école du Rhin sont dans l'ensemble supérieures à celles de l'école Ampère, en lien avec les conditions météorologiques rencontrées et de la proximité de l'école par rapport aux activités industrielles à proximité (zone d'activités industrielle de Kehl).

L'ensemble des **HAP** mesurés présente des concentrations toutes inférieures à $0,5 \text{ ng}/\text{m}^3$. Le BaP, seul composé réglementé, présente des niveaux respectant la valeur cible réglementaire mais dépassant la ligne directrice de l'OMS.

Les résultats en **1,3-butadiène** sont inférieurs à la limite de quantification du laboratoire, et la valeur toxicologique de référence (VTR) chronique à seuil pour l'inhalation proposée par l'ANSES est respectée.

Pour les **PM₁₀ - PM_{2,5}**, les valeurs moyennes annuelles sont inférieures aux seuils réglementaires en vigueur, mais elles sont supérieures aux lignes directrices de l'OMS.

Les résultats sont inférieurs à ceux mesurés en milieu urbain de fond strasbourgeois pour les PM₁₀ et en milieux urbains Bas-Rhinois (càd Haguenau et Vendenheim) pour les PM_{2,5}.

En **SO₂**, les divers résultats sont insignifiants, avec une moyenne annuelle glissante inférieure à 1 µg/m³.

Pour le **mercure**, la valeur moyenne annuelle glissante au niveau de l'école Ampère est nettement inférieure aux valeurs de référence, et en dessous des niveaux de fond urbain/péri-urbain à influence industrielle. Nous observons des niveaux globalement homogènes entre les phases. Cependant, les maxima horaires journaliers relevés (notamment lors de la phase 4 en juin 2023) impliquent une possible influence d'une source de mercure aux alentours. L'étude des conditions météorologiques et du positionnement du site instrumenté par rapport aux activités industrielles avoisinantes indique que le ou les sources proviendraient des activités industrielles du Port du Rhin : Port du Rhin de Kehl, et dans une moindre mesure du Port du Rhin de Strasbourg où diverses industries sont implantées).

Les **particules ultrafines** présentent des variations similaires entre les sites de l'école du Rhin et de l'école Ampère et la station fixe Danube. L'influence urbaine est observée sur les sites, avec moins de 40% des moyennes journalières qualifiées de concentrations hautes selon l'OMS. L'analyseur de la station fixe Danube reste représentatif des autres sites investigués.

Les mesures du **Black-Carbon** mettent en évidence des niveaux similaires entre le site de l'école du Rhin et la station fixe Danube. Le BCff lié majoritairement au trafic routier et le BCwb lié majoritairement au chauffage présentent des niveaux plus élevés en période froide en cohérence avec les émissions plus importantes (surémission des moteurs à froid, chauffage).

Ainsi, en guise de bilan, l'étude réalisée sur le quartier des 2 Rives a permis d'obtenir des données spécifiques sur cette zone. Il en ressort les éléments suivants :

- Les concentrations mesurées sont globalement similaires au milieu de fond urbain à Strasbourg, et parfois un peu inférieures à celles de la station Danube.
- Il n'a pas été mis en évidence d'influence spécifique au niveau du quartier des 2 Rives lors des périodes de mesures sur les niveaux de polluants mesurés, hormis pour les métaux lourds en lien avec une éventuelle influence des activités industrielles voisines. Cependant, les diverses comparaisons effectuées sont à relativiser en raison des périodes de mesures différentes et les niveaux mesurés ne dépassent pas les seuils réglementaires.



Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude confortent la représentativité de la station fixe de Danube qui est pourrait être complétée avec la mesure d'autres composés dans le cadre de la nouvelle directive.

L'absence de niveaux jugés inhabituels et le respect global des normes, amène à conclure qu'il n'est pas nécessaire d'installer une station de mesure pérenne mais plutôt de poursuivre la surveillance avec une campagne de mesure ponctuelle qui pourra être menée tous les 2 à 3 ans.

ANNEXE

Concentrations par phase

Les COV

AUTRES hydrocarbures BTEX	école Rhin					école Ampère					Quai des belges				
	P1	P2	P3	P4	MOY	P1	P2	P3	P4	MOY	P1	P2	P3	P4	MOY
Concentrations µg/m ³															
toluène	0,8	0,6	0,5	1,1	0,7	0,9	0,6	0,6	1,4	0,9	0,8	0,5	0,5	0,9	0,7
éthylbenzène	0,2	0,1	0,1	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2
o-xylène	0,4	0,2	0,2	0,9	0,4	0,3	0,1	0,2	1,1	0,5	0,5	0,1	0,2	0,7	0,4
m-p xylènes	0,1	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2

COV concentrations µg/m ³		Isopentane	2-methylpentane	Hexane	Acide acétique	2,2,3,3-tetramethylbutane	Heptane	Decane	1,2,4-triméthylbenzène	Dodecane	Pentane	Pentane, 3-méthyl-	Ethyl Acétate	Composé non identifié (type cycloalcane C6H12)	Hexane, 2-méthyl-	Composé non identifié (type alcane ramifié C8H18)	Cyclohexane, méthyl-	Acetic acid, butyl ester	Benzène, 1-éthyl-3-méthyl-
ECOLE 1 RHIN	phase 1	0,10	0,44	0,38	0,37	0,35	0,25	1,10	0,30	1,60									
ECOLE 1 RHIN	phase 2	0,77	0,61	0,51	-	-	0,24	-	0,09	-	0,70	0,26	0,47	0,13	0,20	0,26	0,17	0,29	0,07
ECOLE 1 RHIN	phase 3	-	0,13	0,15	0,08	-	0,11	0,08	0,05	-	0,10	-	0,13	-	-	-	0,13	0,08	-
ECOLE 1 RHIN	phase 4	-	-	-	0,93	-	-	0,44	0,40	1,80	-	-	-	-	-	-	-	0,93	-
ECOLE 1 RHIN	moy	0,43	0,39	0,35	0,46	0,35	0,20	0,54	0,21	1,70	0,40	0,26	0,30	0,13	0,20	0,26	0,15	0,43	0,07
QUAI DES BELGES	phase 1	0,79	0,22	0,21	0,04	0,16	0,09	0,13	0,06	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-	-
QUAI DES BELGES	phase 2	0,88	0,47	0,37	-	-	0,17	-	0,02	-	0,68	0,20	0,06	0,11	0,15	0,17	0,12	0,01	0,02
QUAI DES BELGES	phase 3	-	0,13	0,13	0,17	-	0,10	0,06	0,04	-	0,11	-	0,13	-	-	-	0,10	0,17	-
QUAI DES BELGES	phase 4	-	-	-	0,91	-	-	0,62	0,30	2,30	-	-	-	-	-	-	-	0,91	-
QUAI DES BELGES	moy	0,84	0,27	0,24	0,37	0,16	0,12	0,27	0,11	1,26	0,40	0,20	0,10	0,11	0,15	0,17	0,11	0,36	0,02
ECOLE 2 AMPERE RHIN	phase 1	0,09	0,44	0,35	0,41	0,39	0,24	0,78	0,27	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECOLE 2 AMPERE RHIN	phase 2	0,83	0,65	0,44	-	-	0,21	-	0,09	-	0,75	0,24	0,37	0,12	0,19	0,26	0,14	0,19	0,07
ECOLE 2 AMPERE RHIN	phase 3	-	0,19	0,19	0,41	-	0,11	0,16	0,10	-	0,14	-	0,12	-	-	-	0,10	0,41	-
ECOLE 2 AMPERE RHIN	phase 4	-	-	-	0,83	-	-	0,88	0,57	2,40	-	-	-	-	-	-	-	0,83	-
ECOLE 2 AMPERE RHIN	moy	0,46	0,43	0,33	0,55	0,39	0,19	0,61	0,26	1,75	0,45	0,24	0,25	0,12	0,19	0,26	0,12	0,48	0,07

Les métaux lourds

métaux lourds	concentrations ng/m ³ sauf plomb	V	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Pb µg/m ³
		phase 1	école du Rhin	0,59	3,03	13,60	0,91	9,26	24,03	0,31	0,21
	école Ampère	0,54	2,15	8,59	0,80	6,48	20,02	0,29	0,14	1,25	0,004
phase 2	école du Rhin	< LQ	2,86	7,68	0,83	10,07	39,17	0,44	0,17	0,95	0,006
	école Ampère	< LQ	1,91	5,55	0,53	6,22	24,54	0,39	0,12	0,76	0,005
phase 3	école du Rhin	0,33	2,23	13,07	0,90	8,93	invalidé	0,38	0,07	0,50	0,004
	école Ampère	0,26	1,21	4,46	0,44	3,52	13,30	0,26	0,08	0,25	0,003
phase 4	école du Rhin	0,59	2,80	17,51	1,04	6,52	37,39	0,43	0,11	0,67	0,004
	école Ampère	0,59	2,19	12,93	0,90	5,28	29,16	0,39	0,10	0,96	0,004

Les HAP

concentrations ng/m ³		Benzo(a)anthracène	Benzo(a)pyrène	Benzo(b)fluoranthène	Benzo(e)pyrène	Benzo(g,h,i)pérylène	Benzo(j)fluoranthène	Benzo(k)fluoranthène	Chrysène	Dibenzo(a,h)anthracène	Indeno(1,2,3-cd)pyrène
phase 1	école du Rhin	0,04	0,04	0,06	0,11	0,17	0,09	0,06	0,07	<LQ	0,14
	école Ampère	0,03	0,03	0,05	0,11	0,14	0,09	0,06	0,07	<LQ	0,14
phase 2	école du Rhin	0,54	0,56	1,14	0,74	0,69	0,78	0,49	0,96	0,04	0,80
	école Ampère	0,54	0,60	1,11	0,69	0,71	0,76	0,48	0,86	0,06	0,85
phase 3	école du Rhin	0,06	0,08	0,15	0,10	0,11	0,10	0,06	0,10	<LQ	0,06
	école Ampère	0,07	0,09	0,21	0,14	0,14	0,13	0,08	0,12	<LQ	0,14
phase 4	école du Rhin	<LQ	0,02	0,05	0,03	0,04	0,02	0,02	0,03	<LQ	0,04
	école Ampère	<LQ	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	<LQ	0,04



Air • Climat • Energie • Santé

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim
Tél : 03 69 24 73 73 – contact@atmo-grandest.eu
Siret 822 734 307 000 17 – APE 7120 B
Association agréée de surveillance de la qualité de l'air