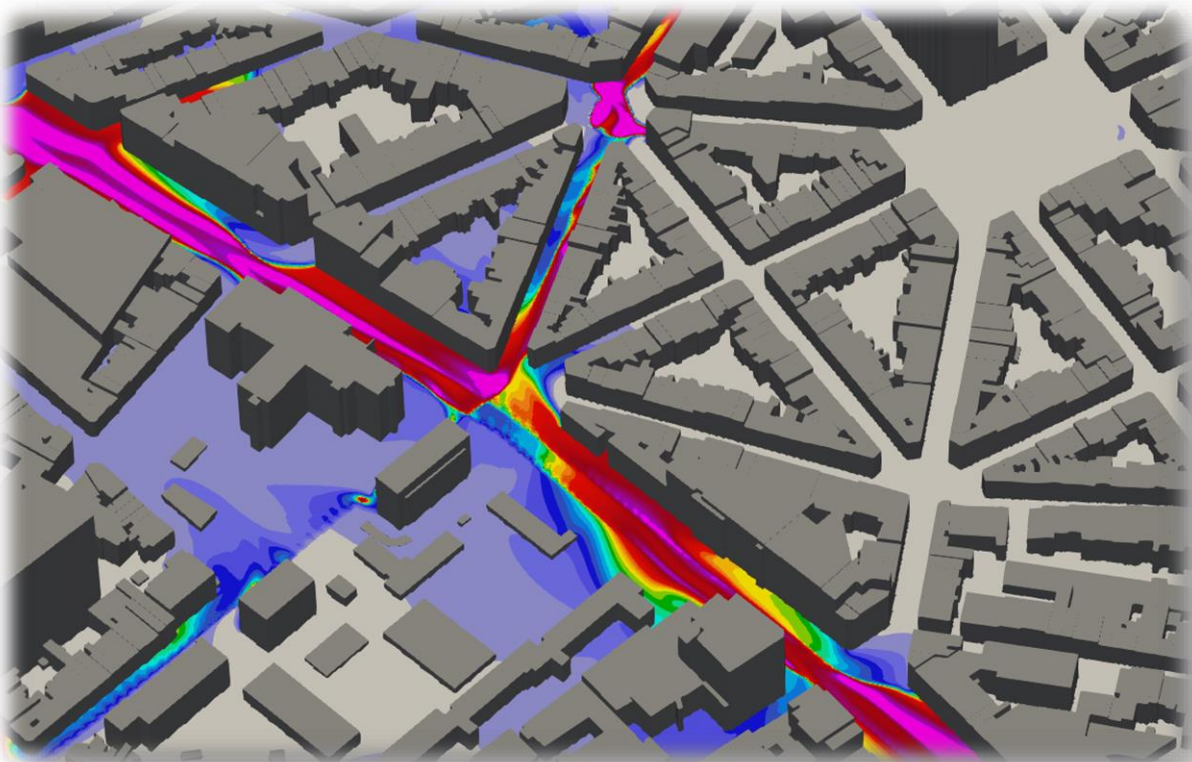


Pollution atmosphérique en milieu urbain

Etude de la qualité de l'air à proximité d'une école maternelle



Dr. Nicolas REIMINGER et Dr. Xavier JURADO

2024

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Les principaux objectifs de ce module sont de permettre aux étudiants :

1. D'appréhender et comprendre **la problématique** de la qualité de l'air en milieu urbain ;
2. De connaître **les principaux facteurs** influençant la qualité de l'air en ville ainsi que l'évolution de ceux-ci dans le temps ;
3. D'avoir une première expérience avec les **outils de calcul scientifique** et de **modélisation** nécessaires à la réalisation d'une étude de qualité de l'air en milieu urbain.

En particulier, à l'issue du module, les étudiants seront en mesure de :

- Définir **les polluants atmosphériques d'intérêt** pour la réalisation d'une étude de qualité de l'air en milieu urbain ;
- Trouver et recueillir les **données nécessaires** à la réalisation d'une telle étude ;
- Etudier et comprendre :
 - o L'évolution du **parc routier** métropolitain français ;
 - o L'évolution temporelle du **trafic routier** au niveau d'un grand axe de circulation ;
 - o Les avantages et inconvénients des différents **outils de modélisation**.
- Calculer les **émissions en polluants atmosphériques** liés au trafic routier selon **plusieurs méthodes** ;
- Développer et utiliser des **modèles simplifiés** de dispersion de polluants atmosphériques ;
- Emettre des **préconisations constructives** dans le but de limiter l'exposition à la pollution de l'air au niveau d'une nouvelle construction.

RENDU ATTENDU

Les travaux seront réalisés par **groupe de deux à trois** étudiants et donneront uniquement lieu à une **soutenance** à l'issue du projet (**aucun rapport** n'est attendu). Les membres d'un groupe devront se **partager la parole de manière équitable** durant la soutenance.

Lors de la soutenance, les membres du jury seront assimilés à des **élus** auxquels les étudiants présenteront leur étude de qualité de l'air, de la problématique aux conclusions et préconisations, en passant par les résultats. Les étudiants devront faire preuve de **pédagogie**, car un élu n'est pas nécessairement (voir rarement) un expert du domaine. Les résultats obtenus lors du projet devront être présentés **de manière structurée**, selon un ordre pertinent et logique pour la compréhension globale de l'étude.

PRESENTATION DU PROJET

La zone d'étude est située le long de l'Avenue du Rhin, à Strasbourg (67000).

Une photographie aérienne précisant la parcelle d'intérêt (en rouge) est proposée ci-après. Les coordonnées du centre de cette zone sont les suivantes : 48.572602, 7.768085.

L'Eurométropole de Strasbourg (EMS) souhaite réaliser la construction d'une école maternelle au niveau de cette parcelle. Afin de protéger les futurs occupants des lieux, et notamment les enfants, l'EMS vous charge d'étudier la nécessité de réaliser une étude d'incidence sur la pollution de l'air. En particulier, il s'agit de réaliser une étude préliminaire pour statuer sur le besoin (ou non) de réaliser une étude approfondie, puis, si nécessaire, d'évaluer l'état initial de la qualité de l'air au niveau de la zone du projet et de formuler des préconisations constructives pertinentes en vue de limiter l'exposition à la pollution de l'air des futurs occupants de l'école.

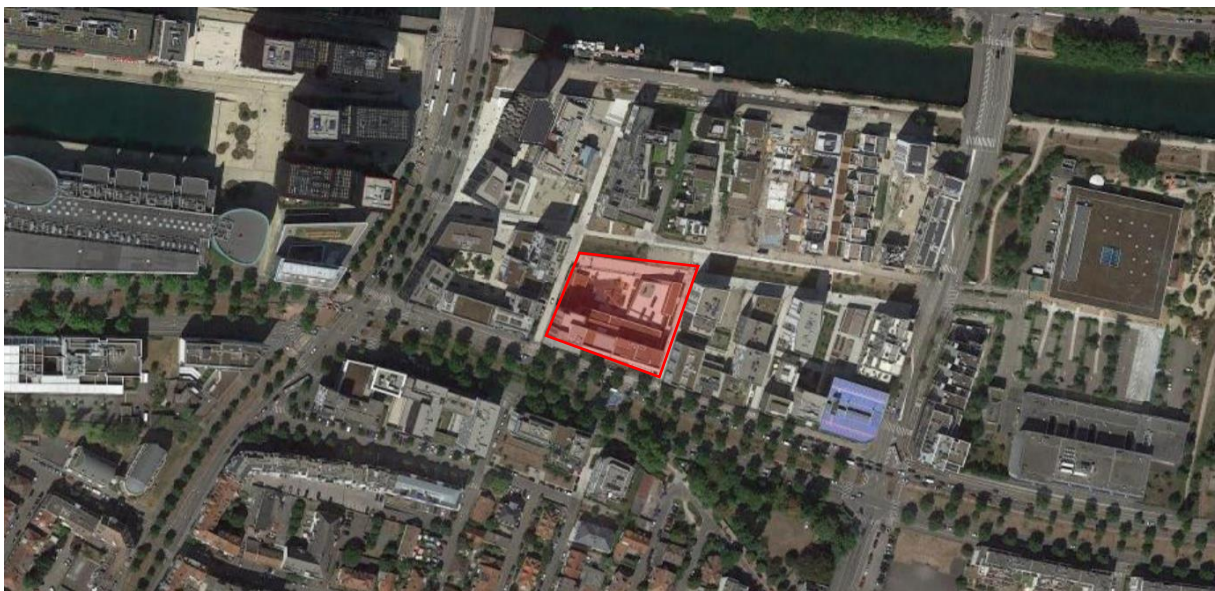


Figure 1 - Localisation de la zone d'étude

PROJET

I. Etude préliminaire au niveau de la zone prévue pour aménagement

- Etudier la zone d'intérêt de manière simple avec les outils disponibles sur internet ([Google Maps](#), [Géoportail](#), etc.). Est-ce que la zone semble « à risque » en termes de pollution de l'air ? Pourquoi ?

- Un Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) a été établi en 2014 pour Strasbourg et plus largement pour l'EMS. Télécharger et étudier le PPA de Strasbourg. Est-il pertinent de réaliser une étude de qualité de l'air ? Pourquoi ? Que dit le [PLU](#) à ce propos ?



[PPA de Strasbourg](#)

- Lister les polluants de l'air concernés par l'étude, puis établir un premier constat sur l'état initial de la qualité de l'air à l'aide des [données ATMO Grand Est](#). Quel constat peut-on faire ? Y-a-t'il un polluant plus « à risque » ?
- Localiser la [station de mesure ATMO](#) la plus proche de la zone d'étude. A quel type de station correspond-elle ? Est-ce cohérent ?
- Télécharger le fichier « Métrologie Danube ».



[Métrologie Danube](#)

- Calculer les concentrations moyennes annuelles de chaque polluant en 2020 et 2021 et les comparer. Quel est le constat ?
- Calculer les concentrations moyennes mensuelles de chaque polluant en 2021 et les tracer en fonction du temps. Que remarque-t-on ?
- Calculer les concentrations moyennes journalières en 2021 et les tracer en fonction du jour de la semaine (lundi, mardi, etc.). Qu'observe-t-on ?
- Tracer les concentrations moyennes horaires en 2021 en fonction de l'heure. Que peut-on conclure ?

- Comparer les résultats obtenus précédemment aux données cartographiques ATMO étudiées plus tôt. Les résultats sont-ils similaires ? Est-ce cohérent ?
- Compte tenu de ces résultats, vous avez décidé de réaliser une campagne de mesure d'un mois au niveau de l'Avenue du Rhin.



[Métrologie Av. du Rhin
\(données fictives\)](#)

- Télécharger le fichier « Métrologie Av. du Rhin » et étudier les résultats comme précédemment (calcul des moyennes journalières en polluants ainsi que de la concentration moyenne le long de la campagne de mesure).
- Ces résultats sont-ils directement comparables aux valeurs réglementaires UE et OMS ? Pourquoi ?

- Télécharger le document « NO₂ annuel »



[NO₂ annuel](#)

- Étudier la démarche proposée.
- Appliquer cette démarche aux résultats précédents pour calculer la concentration moyenne annuelle en NO₂ (ne pas oublier de tenir compte des incertitudes de la méthode).

- Comparer le résultat obtenu avec les valeurs réglementaires UE et OMS.
- Conclure quant à la nécessité de réaliser une étude approfondie de la qualité de l'air.

II. Analyse des données

a) Etude du parc routier métropolitain

Les données de parc routier métropolitain sont disponibles auprès du [CITEPA](#) (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique) dans les bases de données « OMINEA ».



Base de données OMINEA



Données de parc routier métropolitain

- Télécharger le fichier « Base de données OMINEA ». Que contient ce document ?
- Télécharger le fichier « Données de parc routier métropolitain », il s'agit d'une simplification du document précédent.
- Sur la base des données de parc routier, étudier l'évolution du nombre de véhicules en fonction du temps en distinguant les différents types de véhicules (VP, VUL, PL, BUS, DR¹).
- Pour chaque année disponible, calculer la proportion :
 - De véhicules par type (VP, VUL, etc.) parmi le parc total (e.g. 60% de VP, 15% de VUL, 5% de PL, etc.)
 - De véhicules diesel et essence parmi les VP et VUL (e.g. 60% de diesel et 40% d'essence au sein des VP, etc.)
 - Calculer la proportion des normes EURO1 à EURO6 parmi les différents types de véhicule, sans distinction du type de carburant (e.g. 5% de EURO1, 10% de EURO2, etc. parmi les VP, diesels et essences confondus.)
- Quelles sont les tendances d'évolution du parc routier français ? Comment évolue la part de diesel/essence parmi les VP ? Observe-t-on des inversions de tendance ? Quelle sera à votre avis l'évolution futur à court, moyen et long terme ?

¹ VP : Véhicule particulier / VUL : véhicule utilitaire léger / PL : Poids lourd / DR : Deux roues

b) Etude des courbes de trafic au niveau de l'Avenue du Rhin

Les données de trafic routier au niveau de l'Avenue du Rhin sont disponibles dans les bases de données suivantes :



[Données trafic Av. Rhin \(FRA->ALL\)](#)



[Données trafic Av. Rhin \(ALL->FRA\)](#)

- Télécharger les deux fichiers de données trafic.
- Calculer le Trafic Moyen Journalier Annuel (TMJA) ainsi que la Vitesse Moyenne Journalière Annuelle (VMJA) en distinguant les deux sens de circulation. Comparer les deux nombres obtenus, y-a-t'il une direction privilégiée ?
- Calculer le Trafic Moyen Journalier Mensuel (TMJM) sans distinction du sens de circulation. Tracer l'évolution des TMJM en fonction du mois. Qu'observe-t-on ?
- Calculer le Trafic Moyen Horaire Journalier (TMHJ) et la Vitesse Moyenne Horaire Journalière (VMHJ) sans distinction du sens de circulation mais en distinguant les différents jours de la semaine (lundi, mardi, ..., dimanche). Tracer l'évolution du TMHJ et de la VMHJ en fonction de l'heure et du jour considéré. Que remarque-t-on en fonction de l'heure considérée ? Et en fonction du jour considéré ? Existe-t-il des jours avec des tendances similaires ?
- Calculer le Trafic Moyen Horaire Annuel en Heure de Pointe (TMHA-HP) et la Vitesse Moyenne Horaire Annuelle en Heure de Pointe (VMHA-HP) sans distinction du sens de circulation. On ne considérera que les jours ouvrés (lundi à vendredi inclus) et on supposera que l'heure de pointe du matin est de 7h à 9h et celle du soir de 17h à 20h.

III. Calcul des émissions liées au trafic

a) Méthodes de calcul EEA

L'agence européenne pour l'environnement ([EEA, European Environment Agency](#)) met à disposition un guide de l'utilisateur pour le calcul des émissions en polluants atmosphériques provenant de sources variées (combustion, agriculture, industrie, etc.). Trois méthodes sont proposées pour le calcul des émissions liées au trafic routier et provenant de la combustion (moteur uniquement).

- Télécharger le document « EMEP/EEA - Méthodes de calcul des émissions (combustion trafic) »
- Prendre connaissance des différentes méthodes de calcul proposées. Qu'est ce qui différencie les différentes méthodes ? Quelle(s) méthode(s) doit(vent) être(s) privilégiée(s)/évitée(s) ? Pourquoi ?



EMEP/EEA - Méthodes
de calcul des émissions
(combustion trafic)

b) Calcul des émissions selon la méthode « Tier 2 »

- Créer un outil permettant le calcul des émissions par la méthode « Tier 2 ». Pour cela, il sera nécessaire de prendre en considération les données de parc routier métropolitain déterminées précédemment (part des différents types de véhicules, des énergies et des normes EURO). **Afin de simplifier les calculs, on prendra les hypothèses suivantes :**

Pour les types de véhicules :

- Tous les véhicules particuliers (VP) sont assimilés à des **véhicules de taille « Médium »**
- Tous les poids lourds (PL) sont assimilés à des **PL > 32t**
- Tous les bus sont assimilés à des bus de **type « coach »**
- Tous les deux-roues (DR) sont assimilés à des **« 4-stroke >750 cm³ »**

Pour les types d'énergie :

- Seules les énergies de type **essence et diesel sont considérées**

Pour les normes EURO :

- Pour les véhicules sans norme EURO (« Conventional »), on les inclura **dans la catégorie EURO 1**
 - Pour les VP diesel, on assimilera toutes les normes EURO 6 à la **variation EURO 6 2020+**
 - Pour les VP essence, on assimilera toutes les normes EURO 6 à la **variation EURO 6 a/b/c**
 - Pour les véhicules utilitaires légers (VUL), on assimilera toutes les normes EURO 6 à la **variation EURO 6 a/b/c**
 - Pour les PL, on assimilera toutes les normes EURO 6 à la **variation EURO 6 A/B/C**
- A l'aide de l'outil précédemment créé, calculer les émissions en oxydes d'azote (NO_x) et particules fines en considérant tous les parc routiers métropolitains entre 1990 et 2020. Pour les calculs, on prendra comme hypothèse une **longueur de route de 300 m et le TMJA calculé précédemment.**

- Comparer l'évolution des émissions calculées avec la méthode Tier 2 entre les années 1990 et 2020. Les émissions en oxydes d'azote et particules fines sont-elles en hausse ou en baisse sur les dix dernières années ? D'après cette méthode de calcul, quel est le premier et le second type de véhicule le plus émetteur en oxydes d'azote dans le mix total ? Et en particules fines ? Mêmes questions en distinguant le type d'énergie.

c) Comparaison des résultats avec la méthode « Tier 3 »

- Télécharger le fichier « Emicalc Tier 3 ». Ce fichier permet le calcul des émissions selon la méthode Tier 3.
- Calculer les émissions en oxydes d'azote (NO_x) et en particules fines (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$) avec les mêmes hypothèses que précédemment et en considérant cette fois-ci également la VMJA. On se contentera ici des émissions liées au moteur.
- Est-il pertinent d'utiliser la VMJA pour le calcul des émissions selon la méthode Tier 3 ? Pourquoi ? Quelle alternative pourrait-on employer ? Calculer la VMJA « représentative » et calculer à nouveau les émissions liées au moteur. Comparer les résultats avec ceux obtenus précédemment.
- Calculer une nouvelle fois les émissions en oxydes d'azote (NO_x) et en particules fines (PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$) et comparer les émissions totales (moteur + freins + pneus + route) aux émissions uniquement liées au moteur. Quel constat peut-on faire ? Faire de même avec un parc automobile hypothétique comprenant 100% de véhicules légers.
- En utilisant la méthode Tier 3, calculer les émissions horaires totales en distinguant jours ouvrés, samedi et dimanche. Calculer ensuite l'émission moyenne annuelle journalière sur la base des résultats obtenus. Quelle est l'erreur commise en utilisant la VMJA représentative ? Et en utilisant la VMJA ?



[Emicalc Tier 3](#)

IV. Modélisation de la dispersion des polluants atmosphériques

a) Etude du devenir des polluants émis par le trafic routier

- Télécharger le document « Chock (1977) » et étudier la démarche de modélisation proposée.
- Développer un modèle de dispersion gaussien linéaire sous Excel sur la base des équations données par Chock et tenant compte de la stabilité atmosphérique.
- Calculer les concentrations en NO_2 , PM_{10} et $\text{PM}_{2,5}$ au niveau de la zone d'étude dans le cas d'une stabilité atmosphérique neutre. On utilisera pour cela les émissions



[Chock 1977](#)

ainsi que les concentrations de fond précédemment calculées. Pour passer des NO_x aux NO₂, on utilisera la méthode de Derwent et Middleton décrite dans Jurado *et al.* 2020.

- Faire de même pour des atmosphères stables et instables. Quel est l'impact de la stabilité atmosphérique sur les résultats obtenus ?

b) Etude des rejets issus d'une cheminée de chauffage urbain

- Sous python, développer un modèle de dispersion gaussien à panache pour le calcul des concentrations issues de cheminées sur la base des deux modèles suivants :

Modèle sans réflexion (PM)
$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{q_m}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right]$$

Modèle avec réflexion (NO₂)
$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{q_m}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right]$$

Les paramètres de dispersion σ_y et σ_z seront calculés à l'aide des équations suivantes :

$$\sigma_z = a \cdot x^b \qquad \sigma_y = c \cdot x^d$$

Avec :

σ_z	100 < x ≤ 500		500 < x ≤ 5000		5000 < x	
	a	b	a	b	a	b
A	0.0383	1.281	0.0002539	2.089	0.0002539	2.089
B	0.1393	0.9467	0.04936	1.114	0.04936	1.114
C	0.112	0.91	0.1014	0.926	0.1154	0.9109
D	0.0856	0.865	0.2591	0.6869	0.7368	0.5642
E	0.1094	0.7657	0.2452	0.6358	0.9204	0.4805
F	0.05645	0.805	0.193	0.6072	1.505	0.3662

σ_y	x < 10 000		x ≥ 10 000	
	c	d	c	d
A	0.495	0.873	0.606	0.851
B	0.31	0.897	0.523	0.84
C	0.197	0.908	0.285	0.867
D	0.122	0.916	0.193	0.865
E	0.0934	0.912	0.141	0.868
F	0.0625	0.911	0.08	0.884

- Etudier l'impact des rejets de la chaufferie « SETE Esplanade » sur la base des émissions hypothétiques suivantes : **E_{NOx} = 1,5 kg/h** et **E_{poussières} = 0,1 kg/h**, un **vent de 1.5 m/s entraînant directement les polluants issus de la cheminée vers la zone**

d'étude, et une **hauteur de cheminée de 20 m**. On utilisera la même méthode que précédemment pour calculer les concentrations en NO_2 sur la base des résultats en NO_x .

- Comment évoluent les concentrations en NO_2 et PM en fonction de la stabilité atmosphérique ?

c) Etude des résultats issus d'un modèle 3D complexe de type CFD

- Conscient de l'intérêt que porte une modélisation 3D CFD pour l'étude de la qualité de l'air à l'échelle de la zone d'intérêt, vous avez réalisé une telle étude.
- Télécharger le dossier « Résultats CFD ». Sur la base des résultats obtenus, justifier l'intérêt d'avoir réalisé une modélisation CFD. Comparer les résultats obtenus avec les résultats du modèle gaussien linéaire. Quel constat final peut-on faire ?



Résultats CFD

V. Préconisations constructives

- Sur la base de tous les résultats obtenus, énoncer des préconisations constructives pour limiter l'exposition à la pollution de l'air des futurs occupants de l'école.