

innover
pour un monde
durable



Modélisation de la dispersion

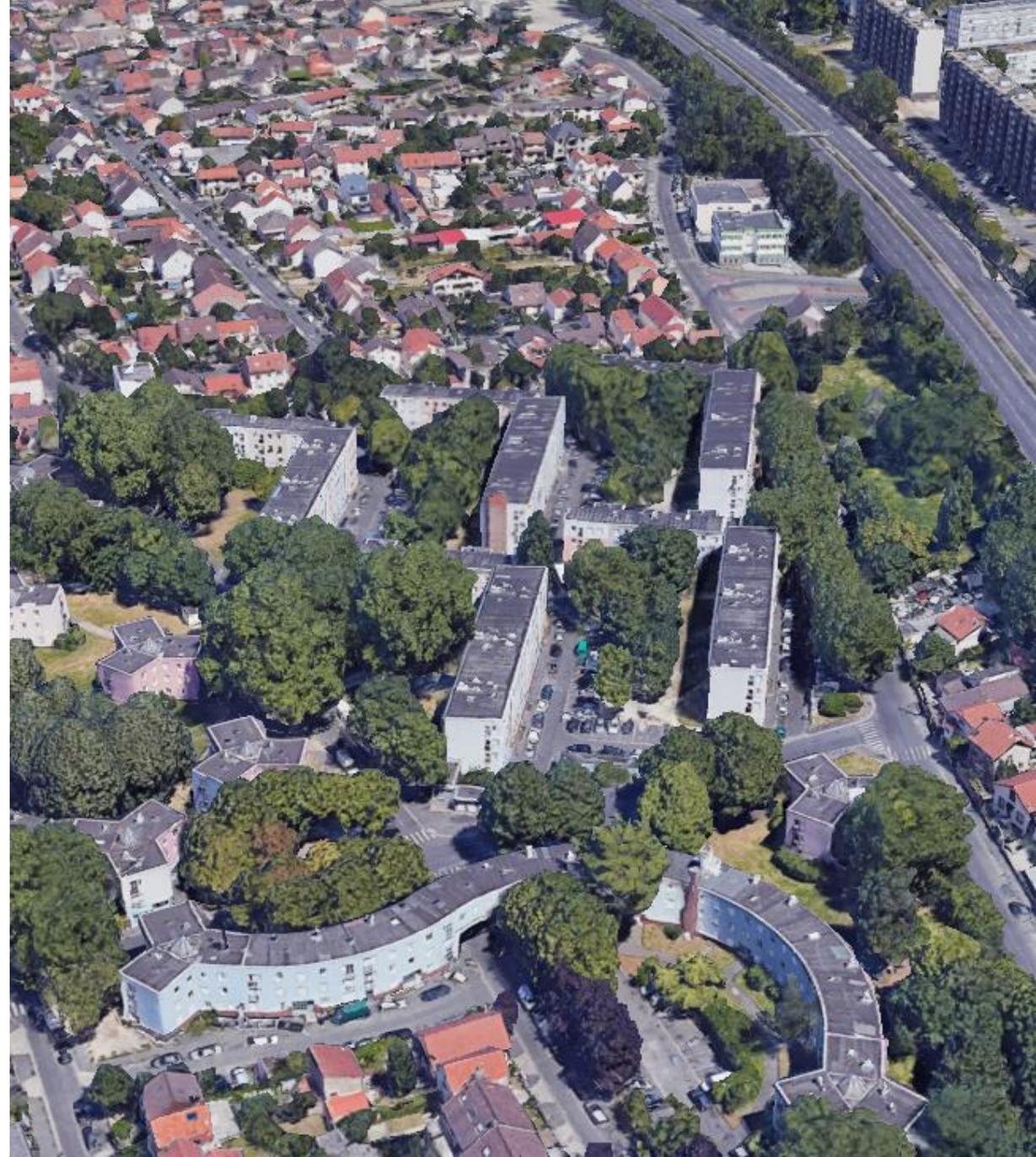
Rapport de modélisation

Pont de Bondy
Scénarios Abrevoir 2030

EST ENSEMBLE

13/12/2021 - Ind 3

Rédacteur : AF Relecture : PEC



sommaire

1

Objectifs &
Périmètre

p.3

2

Résultats

p.5

3

Annexes :
méthodologie
& hypothèses

p.21

Enjeux
sanitaires

p.44

Facteurs clés

p.48

Concentrations
de fond

p.53



objectifs & périmètre

1



objectifs & périmètre



Repérage du secteur de l'étude

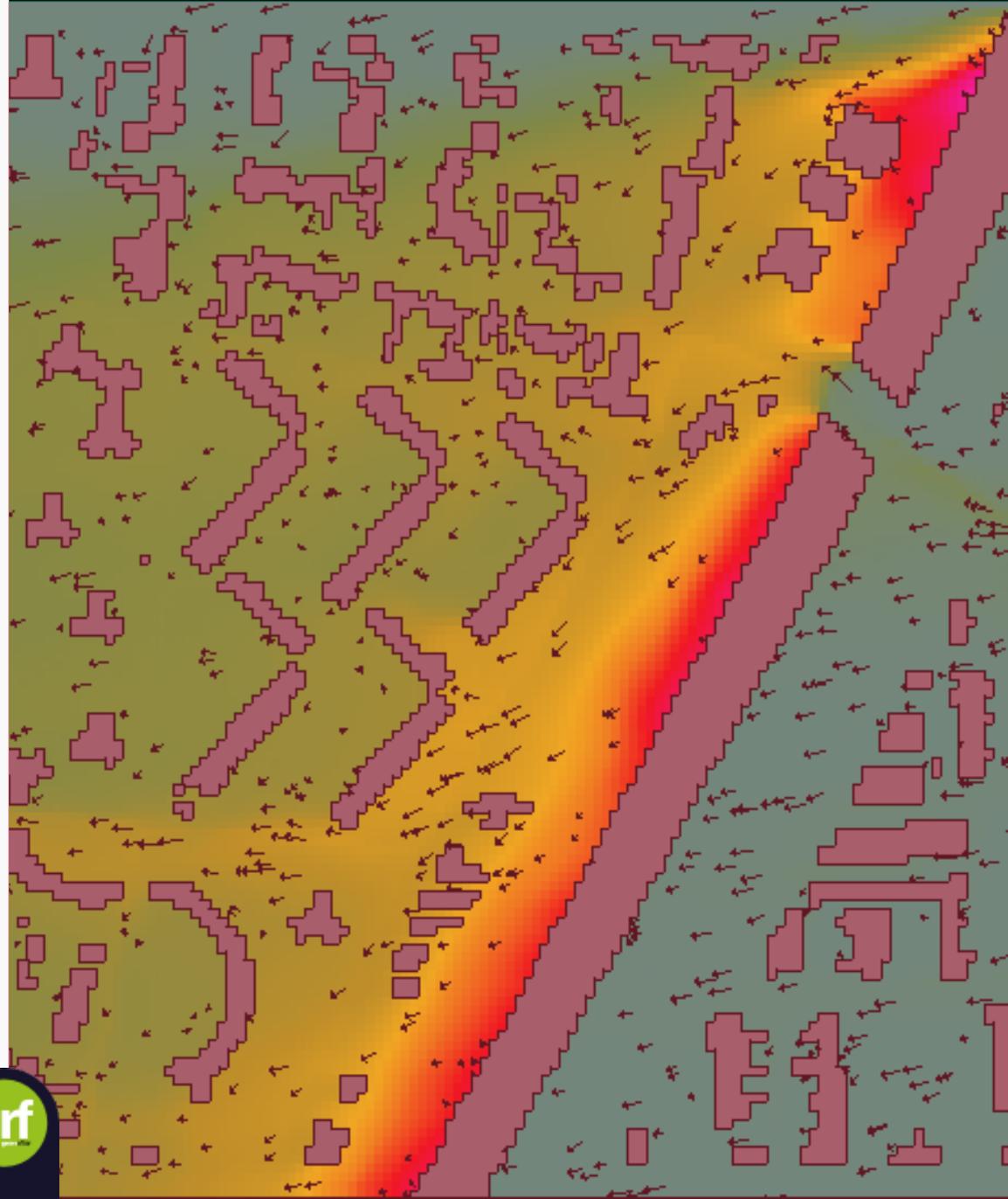
Cette étude pour un urbanisme favorable à la qualité de l'air s'inscrit dans le cadre de l'étude pré-opérationnelle du secteur de grands projets du Pont de Bondy, sur les communes de Bobigny, Bondy et Noisy-le-Sec. L'objectif est de développer une méthodologie pragmatique de prise en compte des nuisances atmosphériques en tant que guide pour la conception urbaine.

Des modélisations et un diagnostic initial appuyé sur des mesures in situ réalisées en juillet 2021 et sur les ressources documentaires existantes ont permis de dresser un premier panorama des enjeux et contraintes du site en termes de pollution de l'air. Cette seconde étape de modélisation permet de comparer les scénarios d'aménagement futurs et d'établir des situations prévisionnelles de la qualité de l'air. Ce travail prospectif a pour objectif d'accompagner la définition des projets d'aménagement et de renouvellement urbain du secteur étudié.

- La situation prospective est définie par des **conditions météorologiques et de trafic estimées selon des modèles adaptés**, représentatives d'un fonctionnement moyen annuel en 2030.
- Le périmètre d'étude est rappelé ci-contre : entouré en noir le secteur de l'Abreuvoir et en rouge le secteur Washington, impacté par les différents scénarios d'aménagement.

Résultats

2



Résultats

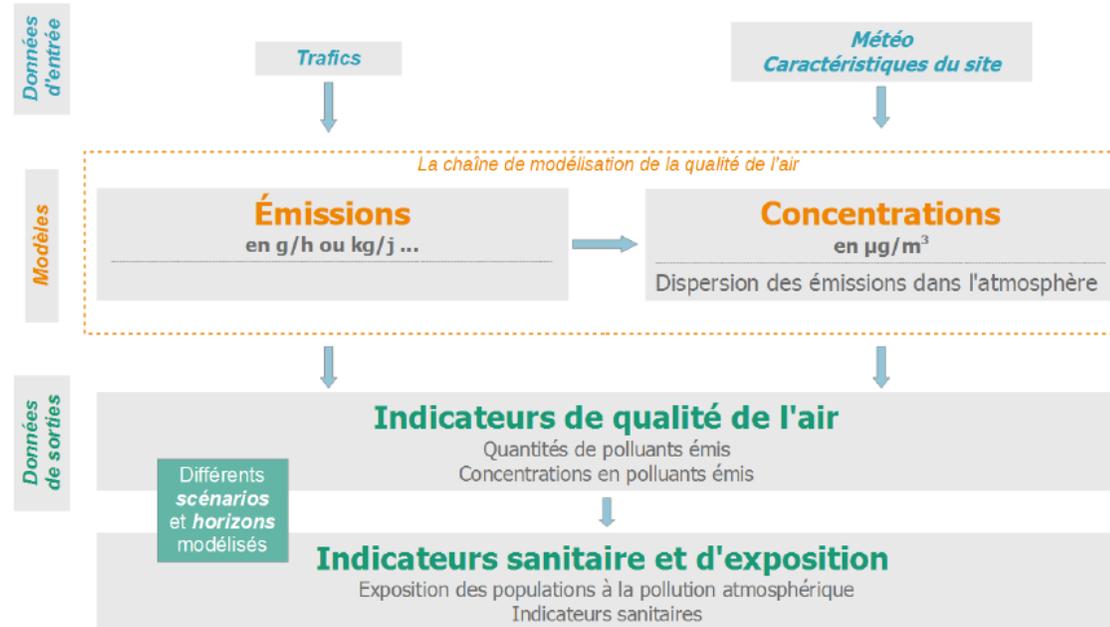
Préambule

Les résultats affichés ici dépendent principalement des facteurs et hypothèses suivantes :

- ▶ Conditions météorologiques
- ▶ Ratio NO₂/NO_x
- ▶ Ratio PM_{2,5}/PM₁₀
- ▶ Concentrations de fond
- ▶ Hypothèses de trafic

La combinaison de ces hypothèses conduit aux résultats du présent rapport. Ils ne sauraient être interprétés indépendamment de ces dernières.

Si ces conditions restent les mêmes entre différentes simulations, cela permet un travail de comparaison (en relatif) entre différents scénarios d'aménagement.



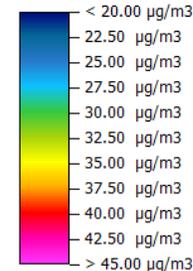
Processus en jeu dans la modélisation de la qualité de l'air - Source: Cerema 2018

Résultats

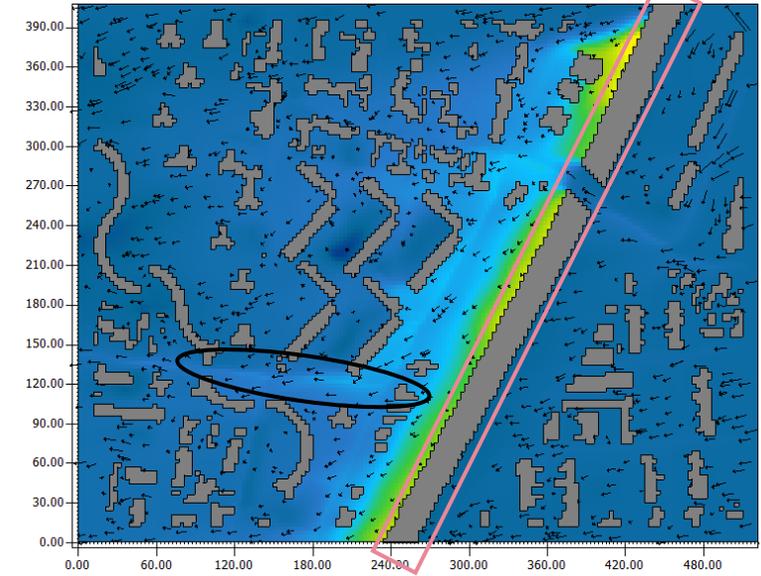
Influence du choix de la hauteur sur la visualisation des résultats

- ▶ Les émissions de polluants de **l'ensemble des routes ont été modélisées à hauteur de pot d'échappement (0,50 m)** hormis celles de l'autoroute A3 étant donné qu'elle est surélevée de quelques mètres par rapport au quartier.
- ▶ Ci-contre la différence de vues si l'on prend une coupe horizontale (plan) à **hauteur d'homme** (en haut) et une autre à **hauteur de l'A3** (en bas). On peut alors observer qu'à hauteur d'homme apparaît le talus de l'autoroute (entouré en rose) ainsi que le passage sous l'autoroute au niveau de la rue Jean Jacques Rousseau. Les niveaux de concentrations de polluants au niveau de l'autoroute à hauteur d'homme sont faibles **car elles sont en contrebas de la source d'émission**. A l'inverse, sur la carte à hauteur d'autoroute les valeurs de concentration sont plus importantes, bien que très exposées au vent.
- ▶ Le fait de prendre les concentrations à hauteur d'homme permet de voir aussi l'effet des routes au niveau du sol avant que leurs émissions soient balayées par le vent. On observe à hauteur d'homme (**cercle noir**) les endroits où sont situées les routes émissives alors qu'elles disparaissent à hauteur de l'autoroute.

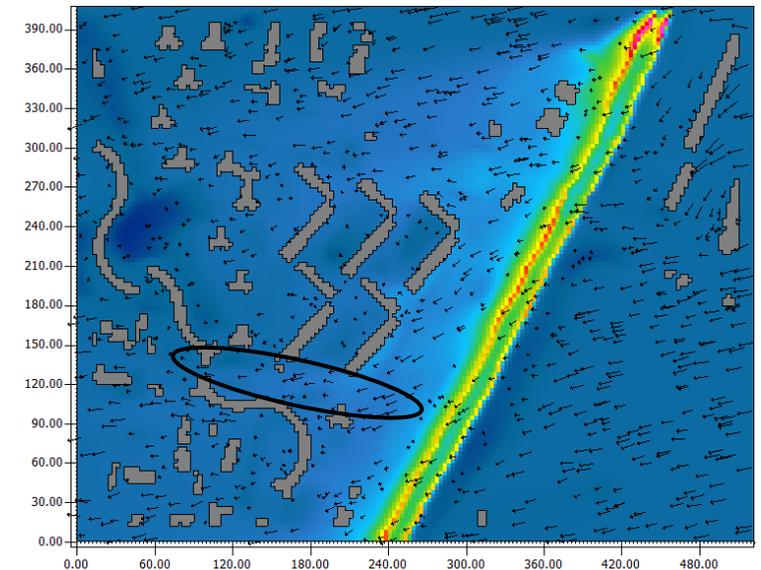
NO2 Concentration



Concentrations NO₂ – H = hauteur d'homme



Concentrations NO₂ – H = autoroute



Résultats PM



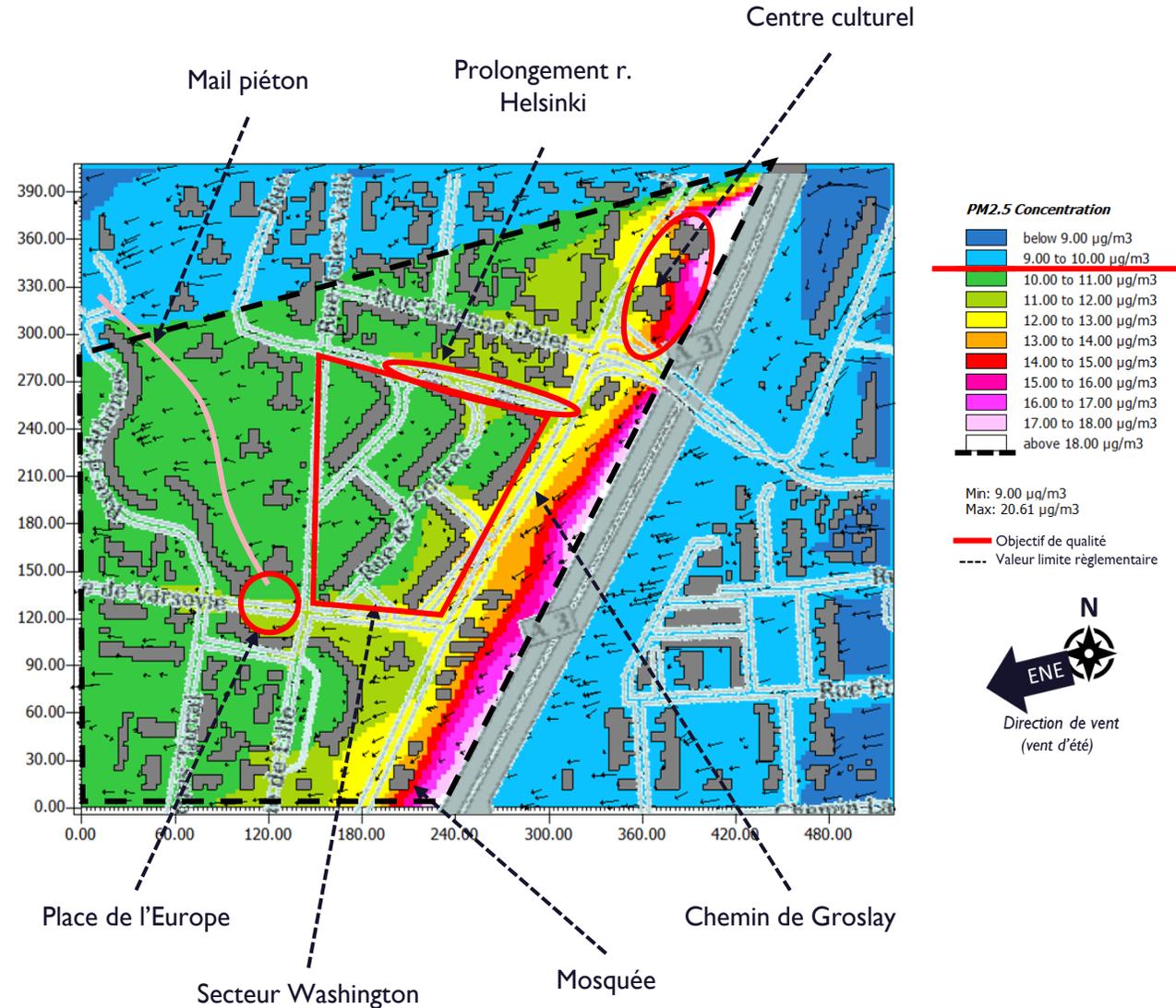
Résultats PM_{2,5}

Scénario au fil de l'eau (2030)

Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Le scénario au fil de l'eau permet de faire un état des lieux des concentrations en polluant, des points faibles et des points forts du secteur pour établir le meilleur scénario possible pour l'aménagement futur.

- ▶ **Les PM_{2,5} représentent l'enjeu le plus important** car c'est d'une part le polluant le plus dangereux pour la santé, et d'autre part car c'est aussi le seul dont les valeurs dépassent encore les seuils de qualité en 2030 au niveau des quartiers habités. La surconcentration de ce scénario futur s'explique par le fait qu'aujourd'hui les valeurs de PM_{2,5} atteintes sont jusqu'à deux fois supérieures à l'objectif de qualité. La réduction des concentrations due à la baisse du trafic et aux changements du parc automobile n'est alors pas suffisante pour atteindre l'objectif de qualité. **L'objectif est donc double** : viser les endroits sensibles pour tenter de les protéger via les projets d'urbanisme en essayant de **réduire chaque μg de concentration**, mais aussi **ne pas créer de nouvelles zones exposées**, donc ne pas faire augmenter les concentrations à d'autres endroits pouvant exposer la population.
- ▶ On note que sur toute la zone en pointillés noirs, les valeurs dépassent l'objectif de qualité fixé à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- ▶ Les **espaces et secteurs sensibles** du point de vue de la qualité de l'air sont repérés sur la carte ci-contre **en rouge** et ont tous des concentrations supérieures à l'objectif de qualité pour les PM_{2,5}. On y retrouve notamment la place de l'Europe, place commerciale, le mail piéton, la mosquée en bordure d'A3, le chemin de Groslay ainsi que le centre culturel au Nord du secteur de l'Abreuvoir, accueillant potentiellement un public jeune et donc sensible.

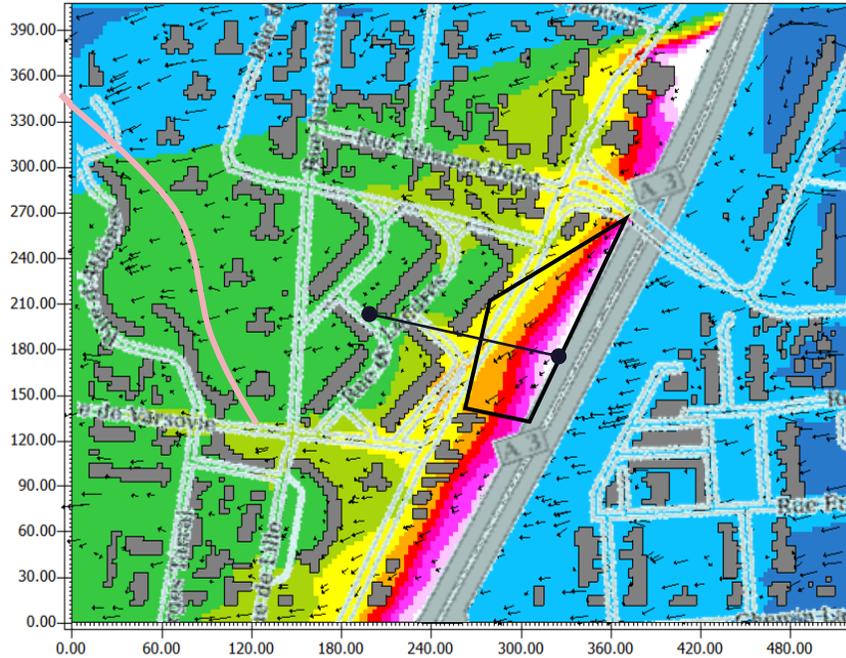


Résultats PM_{2,5}

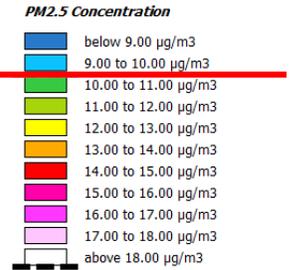
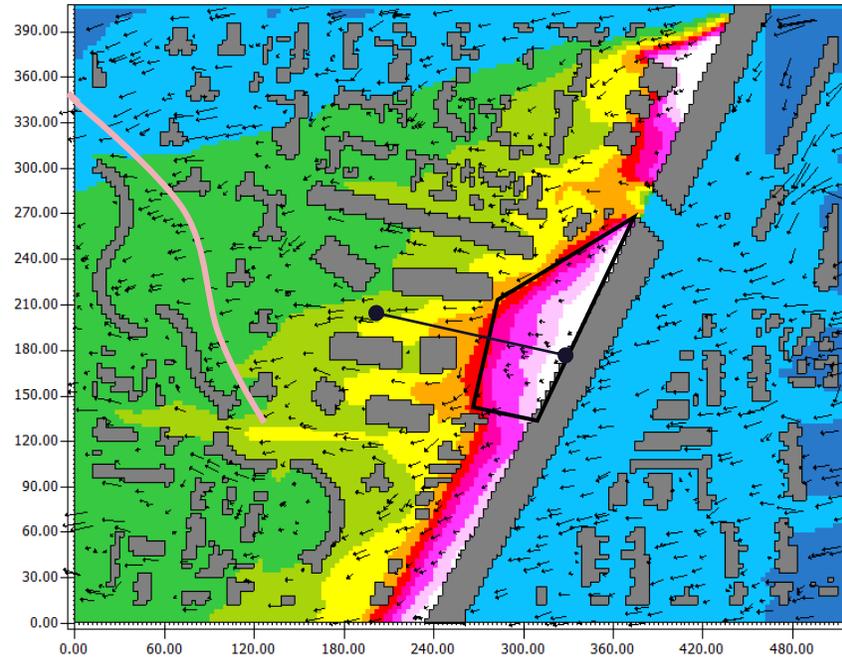
Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Scénario 1 : IMGP + jardin-forêt

Scénario au fil de l'eau



Scénario I



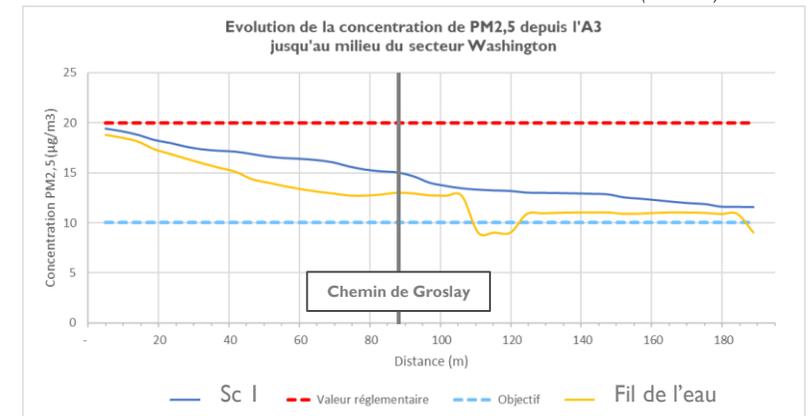
Min: 9.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Max: 20.66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

- Objectif de qualité
- - - Valeur limite réglementaire
- Droite analysée sur le graphique



Les couloirs d'air créés par la morphologie des bâtiments du scénario I permettent aux polluants de s'infiltrer à l'intérieur du secteur Washington. Les valeurs dépassant les $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ qui n'atteignaient que les premiers bâtiments dans le scénario au fil de l'eau, à 80m de l'autoroute, s'enfoncent ici jusqu'à 120m de l'autoroute (graphique ci-contre). On observe aussi que la libre circulation des polluants a pour effet d'élever la valeur de concentration sur l'entièreté du secteur Washington d'un minimum à $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ à $11\mu\text{g}/\text{m}^3$. On rappelle que derrière la parcelle Washington démarre le mail piéton du secteur de l'Abreuvoir (repéré en rose), zone piétonne fréquentée qu'il faut alors au maximum protéger des émissions de PM_{2,5}.

La mise en place du jardin-forêt tel que dessiné (scénario présenté en page 41) augmente les concentrations entre le chemin de Groslay et l'autoroute (zone encadrée) pour les raisons explicitées dans le focus en page suivante. En l'état, cette zone n'est donc pas propice à la création d'un espace public piéton ou à la création d'équipements et nécessitera des ajustements pour améliorer la qualité de l'air du secteur (hauteur des plantations, nature des végétaux, densité, profondeur de la barrière végétale, ajout d'un mur anti-bruit,...).



Résultats PM

Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Focus jardin-forêt

La mise en place d'arbres et d'une végétation dense depuis le sol, le long de l'autoroute, a pour effet de bloquer les polluants et de **ralentir la vitesse du vent au niveau du feuillage** de ces derniers (voir cartes ci-contre). Le corollaire de ce phénomène est que cela induit également une **diminution de la dilution des polluants dans l'espace** et peut ainsi contribuer à piéger les polluants au sein de la forêt et donc à y **augmenter les concentrations**.

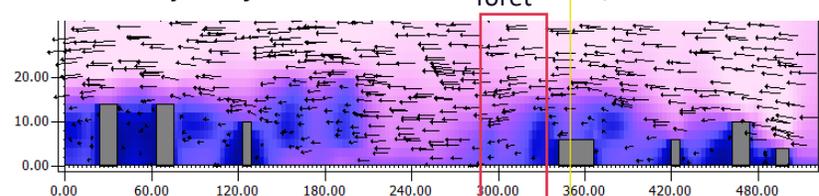
Il est donc **nécessaire d'ajuster l'aménagement de cet espace** en tenant compte d'un **ensemble de paramètres** de conception du jardin forêt de sorte à ne pas dégrader la qualité de l'air du site et à concevoir des espaces publics sains et confortables pour les habitants. Quoi qu'il en soit, la réalisation d'une modélisation complémentaire pour garantir l'efficacité des solutions aménagements proposés pour préserver la population des pollutions serait souhaitable.

Il est intéressant de noter l'effet latent suivant dû au jardin-forêt : **plus la forêt se charge en polluants, plus les vents qui passeront au travers en ressortiront avec de fortes concentrations de polluants**. C'est ce que l'on observe entre le cas n°1 et le cas n°2 : les polluants sont concentrés au niveau de la forêt et se déversent derrière. **Il y a alors un paramétrage de la densité, la profondeur et la distance à la source d'émission à effectuer afin de ne pas perdre l'effet barrière que peut avoir le jardin-forêt.**

Ensuite, la **composition de la forêt** joue également un rôle important sur la dispersion : une forêt constituée de charmes adultes uniquement, par exemple, ne représenterait pas un obstacle aux polluants dans l'espace situé avant les premières branches entre 4 et 5 m de hauteur. **Ce « trou » dans la végétation au niveau des troncs des arbres aurait pour effet de créer un couloir aérien horizontal au niveau du sol**. Dans ce cas spécifique (cas n°2 sur les cartes ci-contre), les polluants venant de l'autoroute seraient donc transportés via ce couloir vers le secteur de l'Abreuvoir sur une centaine de mètres. Pour lutter contre cet effet, il est donc nécessaire de **végétaliser la forêt sur toute sa hauteur**, notamment grâce à des haies végétales/bosquets/espèce en croissance/etc. C'est le cas n°3 simulé, où l'on observe bien une nette diminution de la pénétration des polluants par rapport au cas n°2, qui ne se dispersent plus que sur une cinquantaine de mètres.

Un point de vigilance est à apporter : **si le projet de jardin-forêt ne se fait pas, il faudra quand même végétaliser correctement aux limites de propriété du projet en place pour essayer de freiner la propagation des polluants**. Pour de telles concentrations, l'effet dilution n'est pas suffisant.

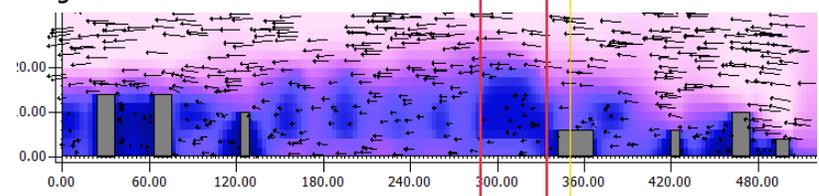
Cas 1 : sans jardin-forêt



Vitesse de vent (m/s)

Concentrations PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

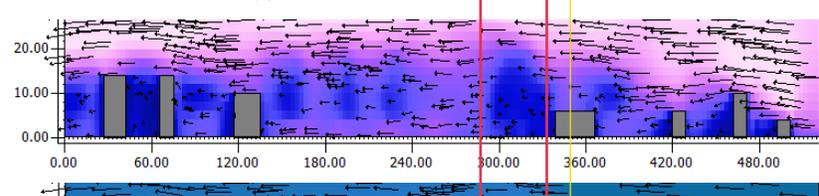
Cas 2 : avec jardin-forêt, sans végétation dense au sol



Vitesse de vent (m/s)

Concentrations PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Cas 3 : avec jardin-forêt, avec végétation dense au sol sur la 1^{ère} bande (cas considéré durant le rapport)



Vitesse de vent (m/s)

Concentrations PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Résultats PM_{2,5}

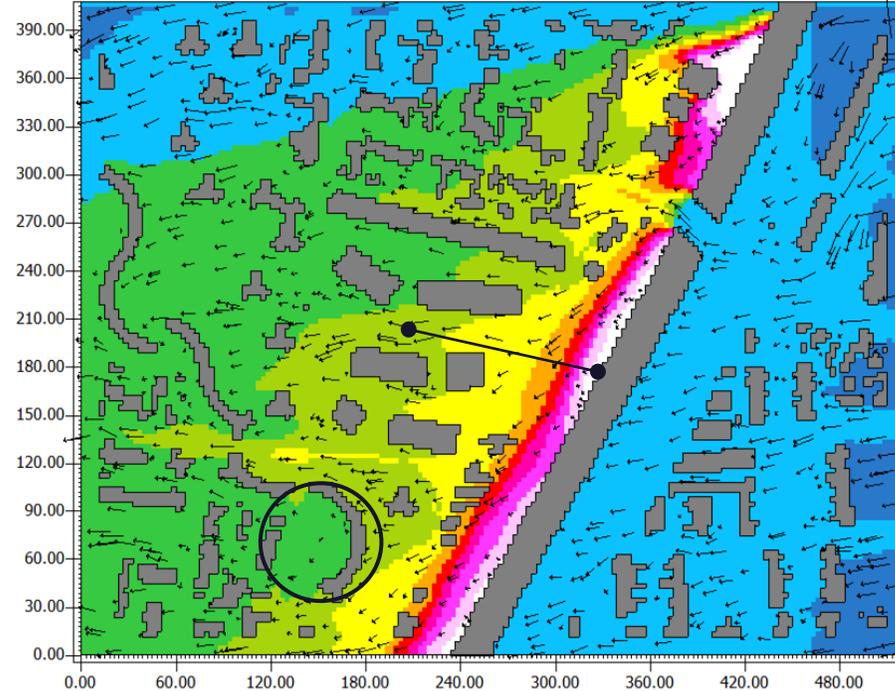
Scénario 2 : IMGP + Vic Transport

Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

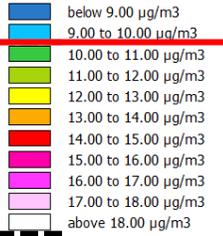
Scénario au fil de l'eau



Scénario 2



PM_{2,5} Concentration



Min: 9.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Max: 20.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

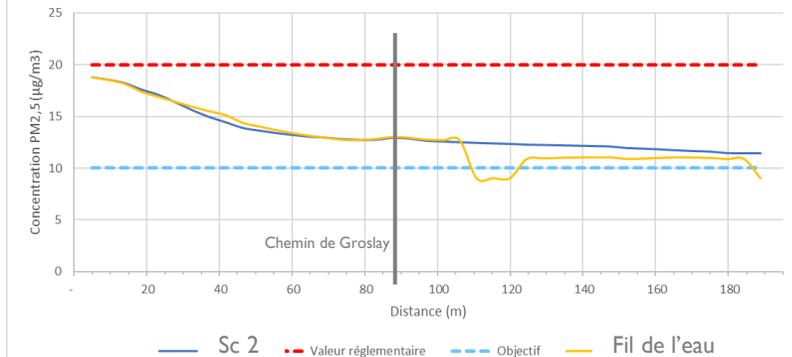
- Red line: Objectif de qualité
- Dashed line: Valeur limite réglementaire
- Black circle: Droite analysée sur le graphique



Direction de vent (vent d'été)

On peut observer le même effet que celui décrit pour le scénario 1 : à cause des couloirs d'air, les valeurs dépassent les $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jusqu'à 100 mètres de l'autoroute et dépassent les $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'ensemble de la parcelle et même au-delà. Les habitants du secteur Washington sont plus exposés que des habitants de la zone entourée en noir (valeur inférieure à $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) alors que cette zone est proche de l'autoroute, à 90 mètres.

Evolution de la concentration de PM_{2,5} depuis l'A3 jusqu'au milieu du secteur Washington

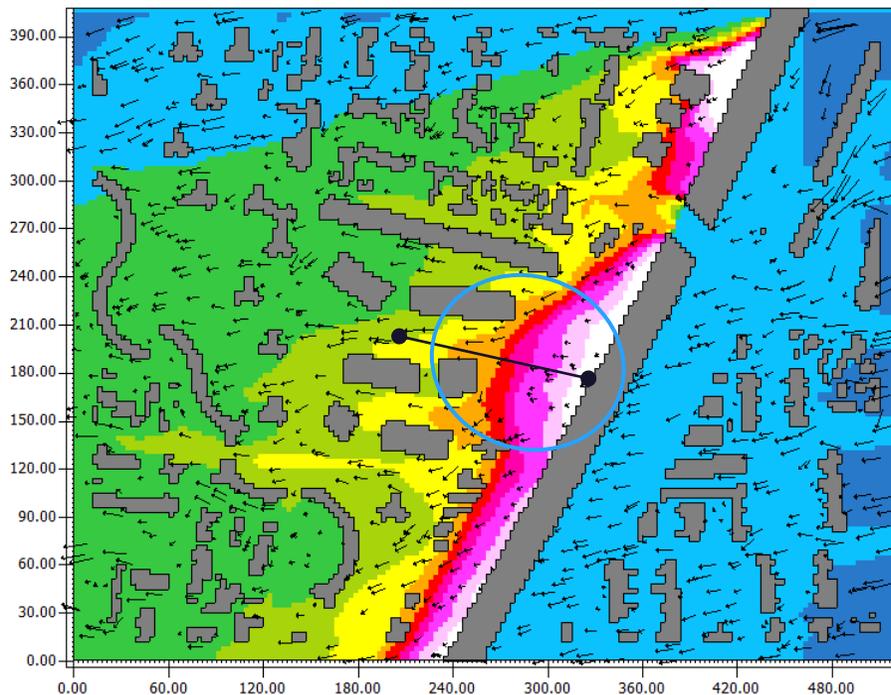


Résultats PM_{2,5}

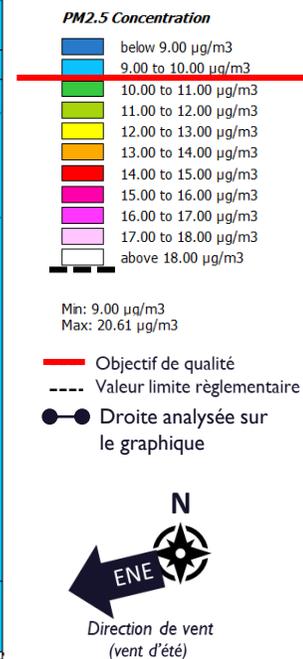
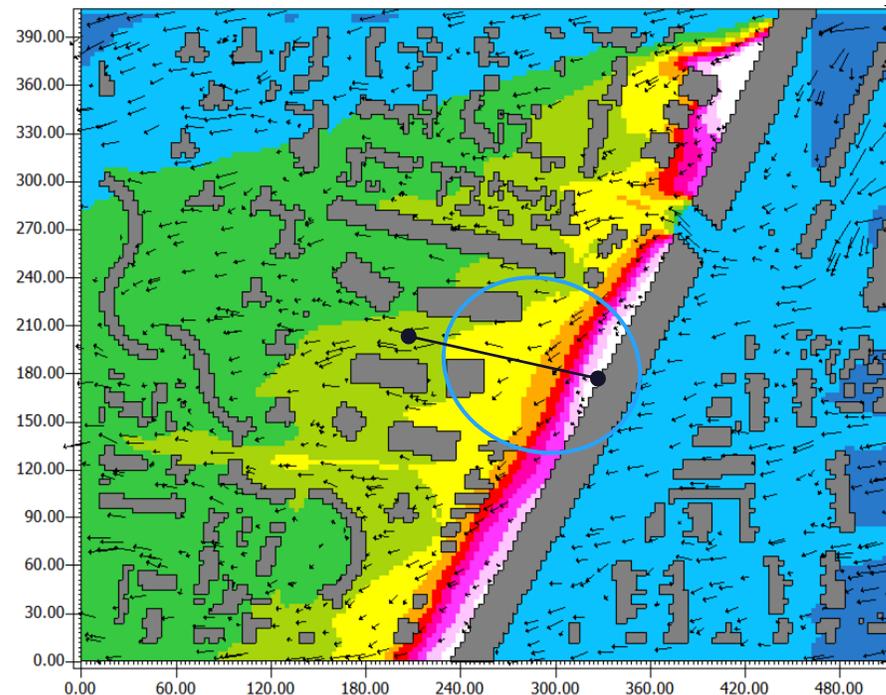
Comparaison scénarios 1 et 2

Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

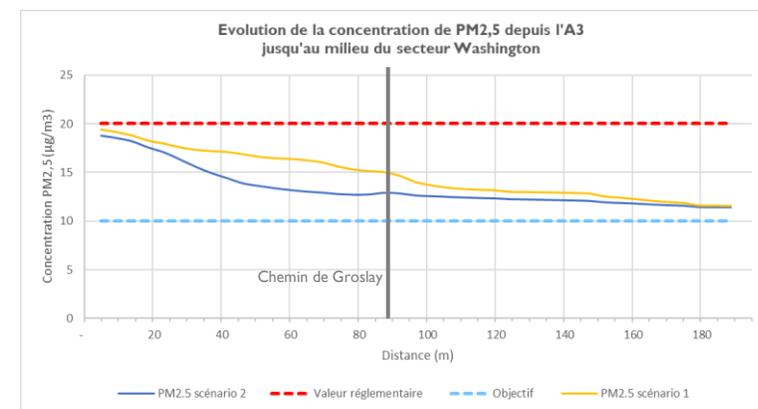
Scénario 1 : IMGP + jardin-forêt



Scénario 2 : IMGP + Vic Transport



- On observe au niveau de la zone bleue l'effet de la mise en place du jardin-forêt sur les concentrations au niveau du chemin de Groslay (voir focus jardin-forêt en page 11). Les concentrations y sont plus élevées de 1 à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne.
- L'analyse de la décroissance de la concentration en polluants en fonction de la distance à l'autoroute permet de montrer qu'au-delà du chemin de Groslay, les concentrations dans les deux scénarios redeviennent proches (graphique ci-contre).

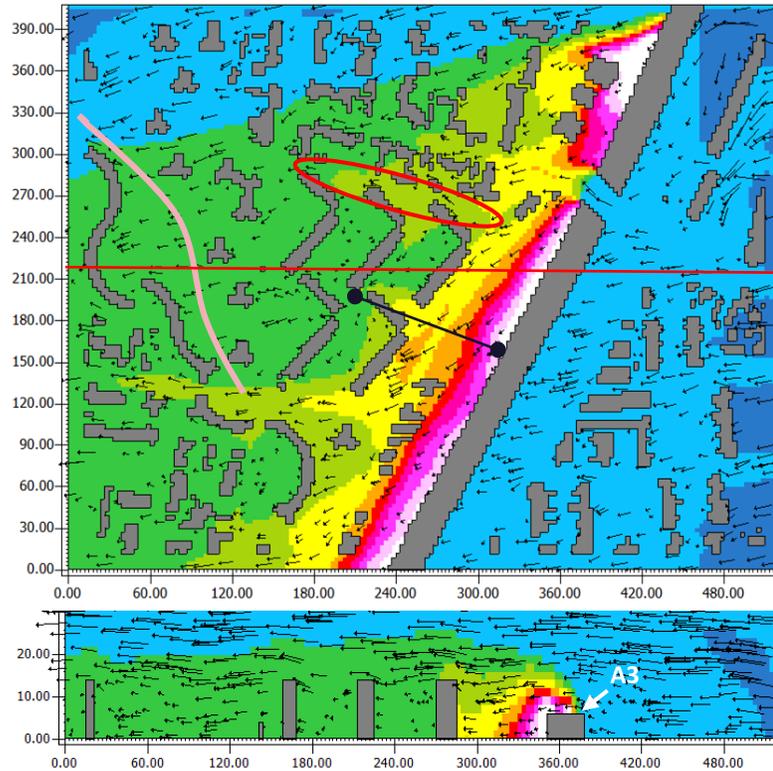


Résultats PM2,5

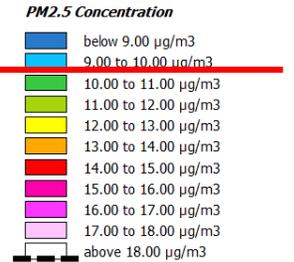
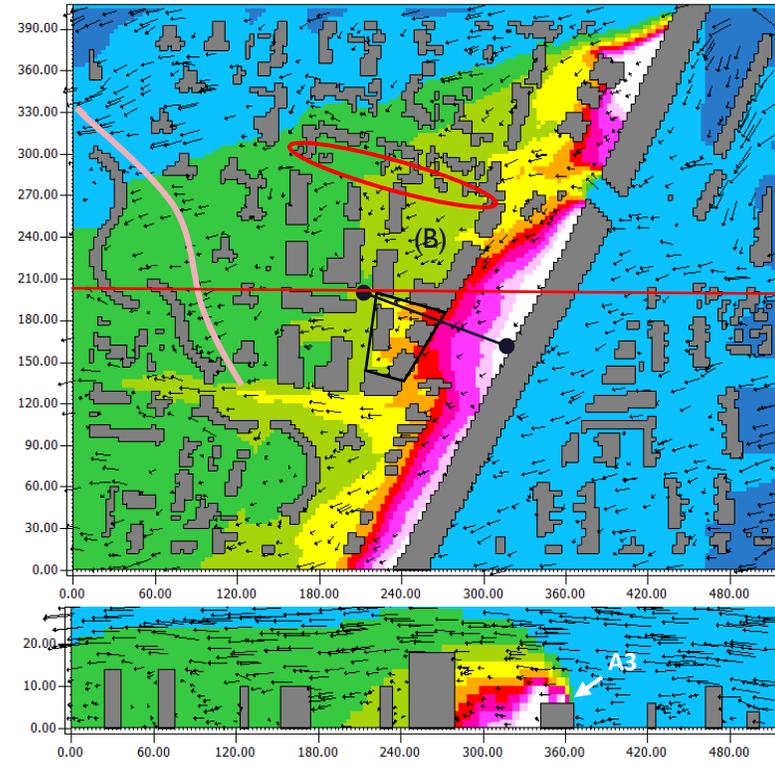
Scénario 3 : plan guide + jardin-forêt

Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Scénario au fil de l'eau



Scénario 3



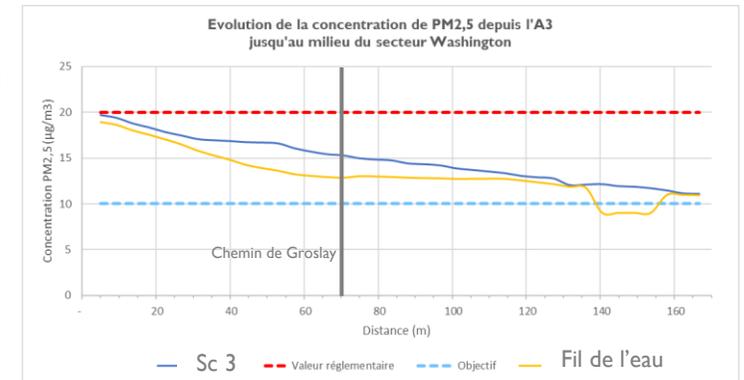
Min: 9.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Max: 20.61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

— Objectif de qualité
- - - Valeur limite réglementaire
● Droite analysée sur le graphique



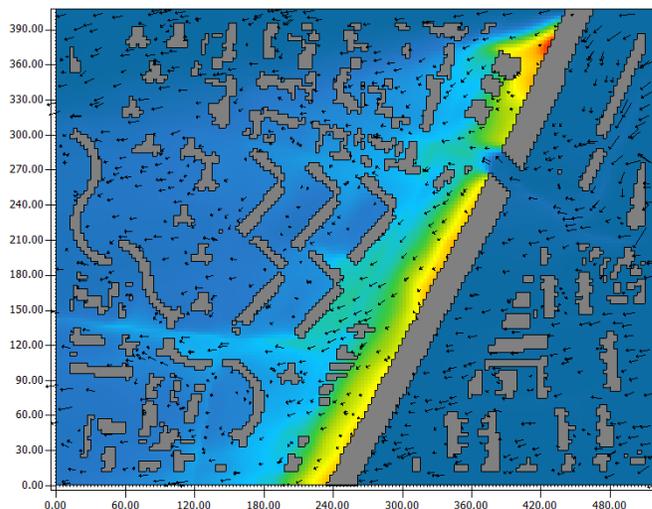
Direction de vent
(vent d'été)

- ▶ Comme pour le premier scénario, la mise en place du jardin-forêt augmente les concentrations sur toute la surface entre le secteur Washington et l'autoroute. Cependant, on peut voir ici que la morphologie proposée dans le scénario 3 reprend le principe de bâtiment écran qu'il y a actuellement sur le secteur Washington, et permet de faire barrière à la pollution. Il faudra privilégier au maximum des activités tertiaires ou des services dans les étages inférieurs de ces bâtiments qui restent très exposés à la pollution de l'A3.
- ▶ Alors que les valeurs atteignaient les $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ jusqu'à 120m de l'autoroute sur le scénario 1, ici on n'atteint ces valeurs que jusqu'à 80m de l'autoroute à un unique endroit. Une surconcentration est présente dans la zone entourée en noire dans le scénario 3. Les accès piétons de ces bâtiments devront donc être orientés autant que possible vers l'intérieur du quartier.
- ▶ Avec ce scénario 3, la rue d'Helsinki ne débouche plus sur le chemin de Groslay mais est fermée par le lot B. Il n'y a alors plus de couloir d'air à cet endroit : les polluants pénètrent moins profondément en cœur de quartier (cercle rouge).

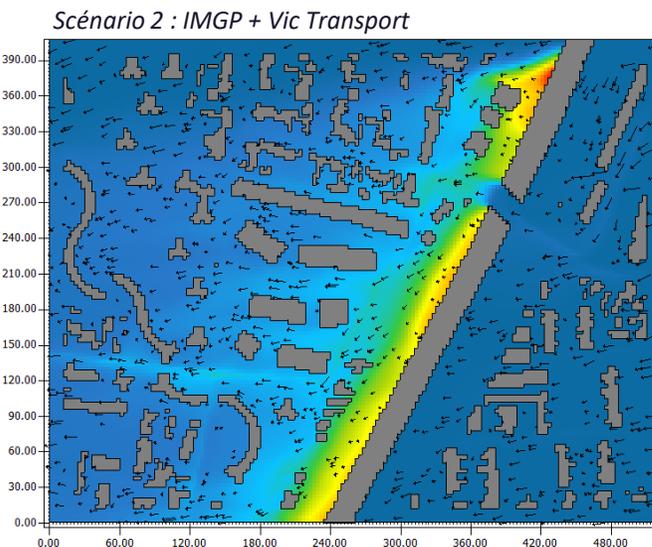


Résultats PM10

Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Scénario 1 : IMGP + jardin-forêt

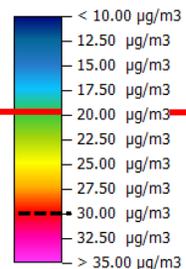


Scénario 2 : IMGP + Vic Transport



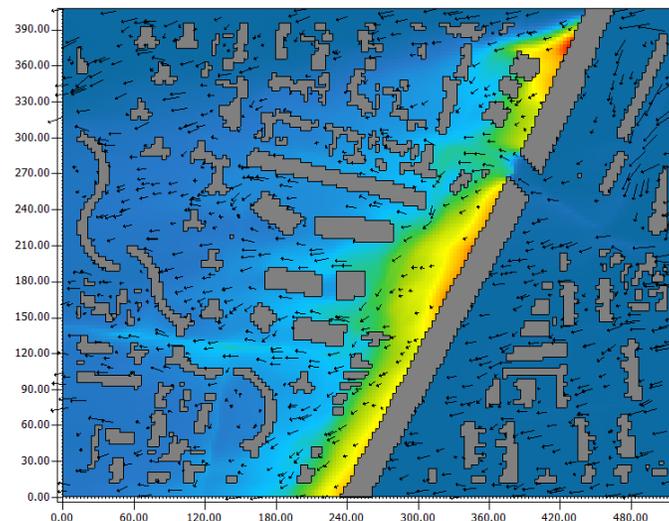
Direction de vent
(vent d'été)

PMcoarse Concentration



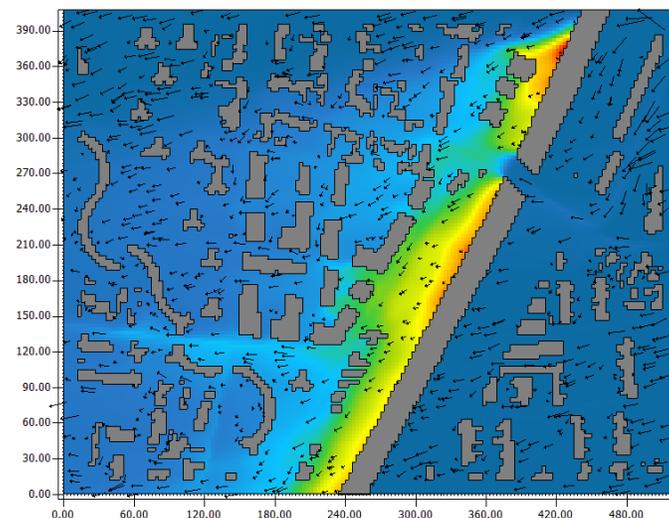
— Objectif de qualité

- - - Valeur limite réglementaire



Scénario 3 : plan guide + jardin-forêt

- ▶ Bien que les concentrations en PM10 soient moins éloignées que les PM2,5 de l'objectif de qualité fixé par l'OMS, les concentrations restent élevées aux abords de l'autoroute A3 et dépassent l'objectif de qualité de la réglementation française : $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. **Pour rappel, les nouveaux seuils fixés par l'OMS sont de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui fait basculer l'ensemble des zones en bleu ciel au-dessus de ces nouveaux objectifs de qualité.**
- ▶ L'ensemble des analyses des phénomènes de dispersion de polluants réalisées pour les PM2,5 sont donc également valables pour les PM10.

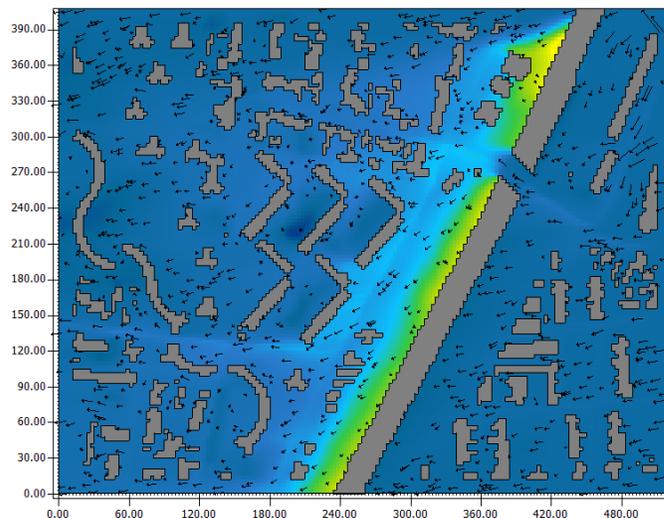


Résultats NO2



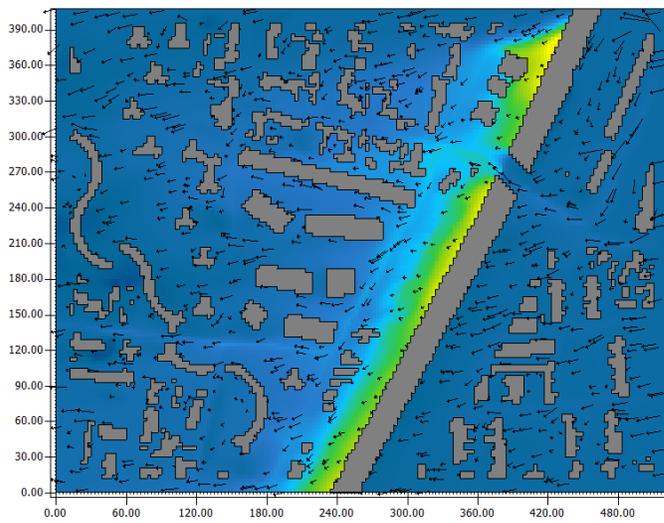
Résultats NO2

Concentrations moyennes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

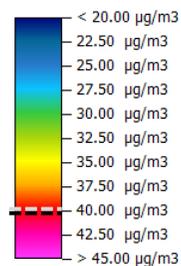


Scénario fil de l'eau

Scénario 2 : IMGP + Vic Transport

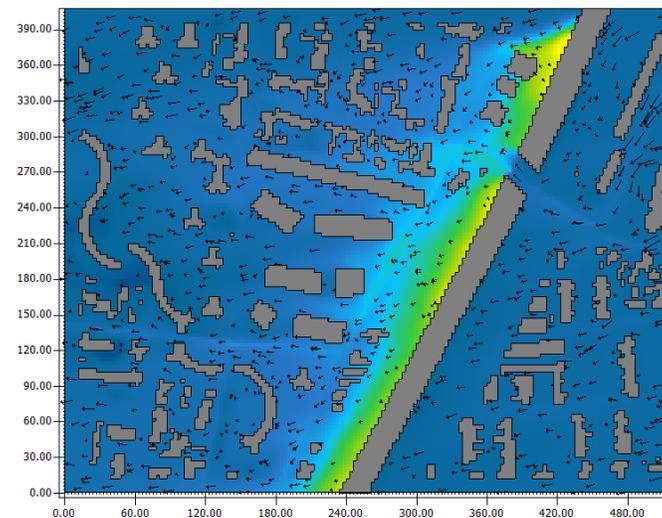


NO2 Concentration



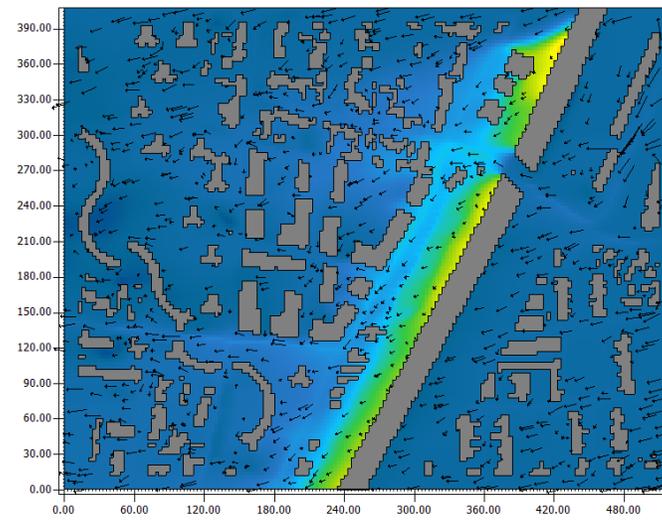
--- Objectif de qualité
- - - Valeur limite réglementaire

► La constitution du parc automobile couplée à la baisse du trafic global due à l'amélioration de l'offre de transport en commun autour du secteur font que les concentrations en NO_2 chutent par rapport à l'état existant. Sur l'ensemble des scénarios, les valeurs de concentration ne dépassent les $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ qu'au niveau de l'autoroute et sont donc toutes inférieures aux objectifs de qualité de la réglementation française. **Pour rappel, les nouveaux seuils fixés par l'OMS sont de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'ensemble du secteur dépasse cette valeur, quel que soit le scénario.**



Scénario 1 : IMGP + jardin-forêt

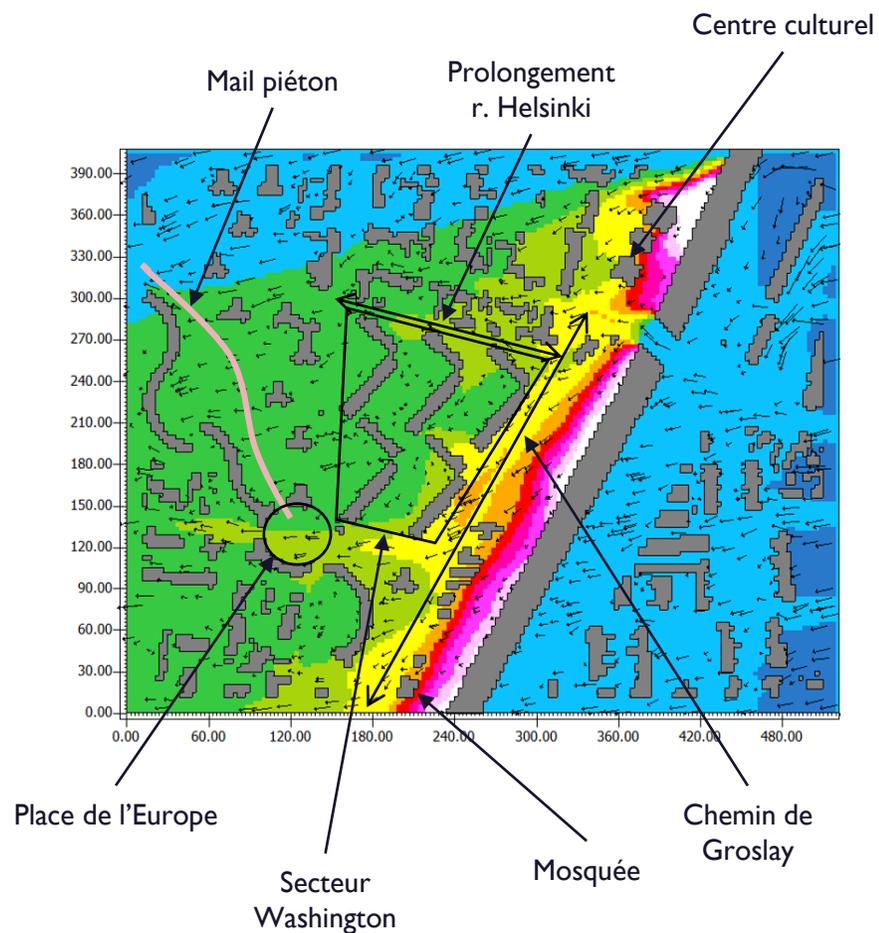
Scénario 3 : plan guide + jardin-forêt



Synthèse



Synthèse



IMPACT DES DIFFERENTS SCENARIOS SUR LES ZONES A ENJEUX POUR LE SECTEUR ETUDIE					
Zone	Scénario	Impact			Commentaire
		+	=	-	
Mail piéton	1			X	Le mail piéton n'est pas fortement atteint par les concentrations venant de l'autoroute, mais tout projet ouvrant des couloirs d'air dans le secteur Washington y dégrade la qualité de l'air.
	2			X	
	3		X		
Place de l'Europe	1			X	Sur les trois projets, le cœur de la place de l'Europe est un peu plus exposé aux polluants de l'autoroute. Il y a un enjeu ici à essayer de freiner ou rediriger les polluants pour ne pas qu'ils s'enfoncent le long de la rue de Varsovie, notamment via la végétalisation du croisement avec le chemin de Groslay.
	2			X	
	3			X	
Mosquée	1		X		La mosquée se trouvant hors de la zone nouvellement aménagée ne subit aucun impact du projet.
	2		X		
	3		X		
Centre culturel	1		X		Le centre culturel hors de la zone nouvellement aménagée ne subit aucun impact du projet. Il est cependant très exposé aux polluants provenant de l'autoroute.
	2		X		
	3		X		
Secteur Washington	1			X	Les couloirs d'air permettent de réduire les fortes concentrations de polluants aux abords du secteur mais augmentent les concentrations en son sein, chose que ne fait pas le scénario 3, qui reprend le principe de bâtiment écran déjà existant et qui permet de préserver au mieux le coeur du secteur.
	2			X	
	3		X		
Prolongement de la rue d'Helsinki	1		X		Le scénario 3 permet de clôturer le couloir d'air initialement présent et entraîne de fait une diminution des concentrations de polluants dans les jardins des logements le long de la rue Etienne Dolet.
	2		X		
	3	X			
Chemin de Groslay	1			X	Comme décrit dans la présentation du jardin-forêt, sa mise en place fait apparaître une zone à forte concentration le long du chemin de Groslay ainsi qu'au sein même de ce dernier. Ces espaces ne devront pas accueillir de population sensible ou devront justifier de la prise en compte de ces enjeux via des études spécifiques.
	2	X			
	3			X	

Pour rappel :

- Scénario 1 : IMGP + jardin-forêt
- Scénario 2 : IMGP + VIC Transport
- Scénario 3 : plan-guide + jardin-forêt

Annexes

3

Méthodologie & hypothèses

Méthodologie

Rappel de l'objectif : Modéliser et calculer la Qualité de l'Air Extérieur de la situation prévisionnelle à l'année 2030 sur les périmètres définis. Elle est définie par des conditions météorologiques et de trafic typiques, **représentatives d'un fonctionnement standard** hors épisodes spéciaux (ex : confinement, épisodes caniculaires etc).

1. Définition de la situation de référence
2. Modélisation des données trafic de référence 
3. Conditions météorologiques de référence 
4. Facteurs d'émissions trafic - HBEFA
5. Intégration et simulation numérique sur le logiciel ENVI-MET 4.4.6

Méthodologie & hypothèses

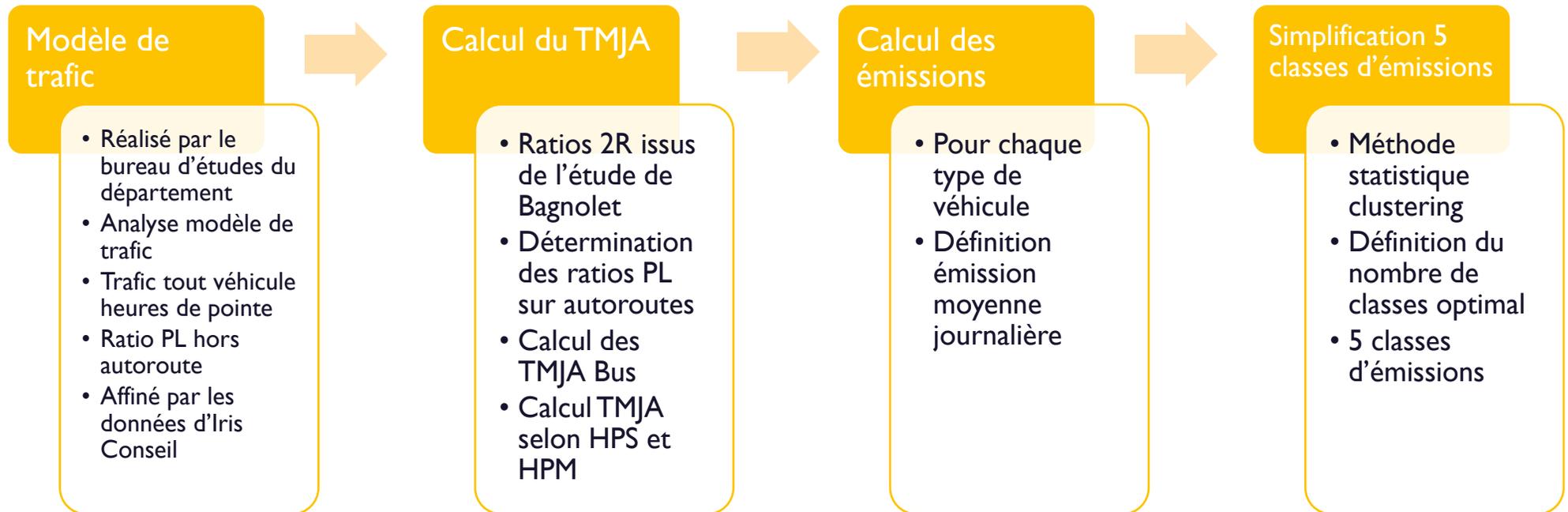
1. Situation de référence

- ▶ Modélisation d'une situation typique de l'année d'après des modèles prévisionnels, afin d'obtenir une tendance des phénomènes de dispersion sur les différents scénarios d'aménagement et une vue d'ensemble de la qualité de l'air à l'année sur ces quartiers.
- ▶ Des **données météo typiques** ont été construites pour établir une situation moyenne annuelle (voir pages 30 à 32).
- ▶ Les données trafic ont été traitées statistiquement afin d'en **extraire un trafic moyen journalier annuel**. Elles sont issues d'un modèle de trafic du département et de l'étude d'impact du projet de renouvellement urbain du quartier Edouard Vaillant menée par Iris Conseil.



Méthodologie & hypothèses

2. Modélisation du trafic



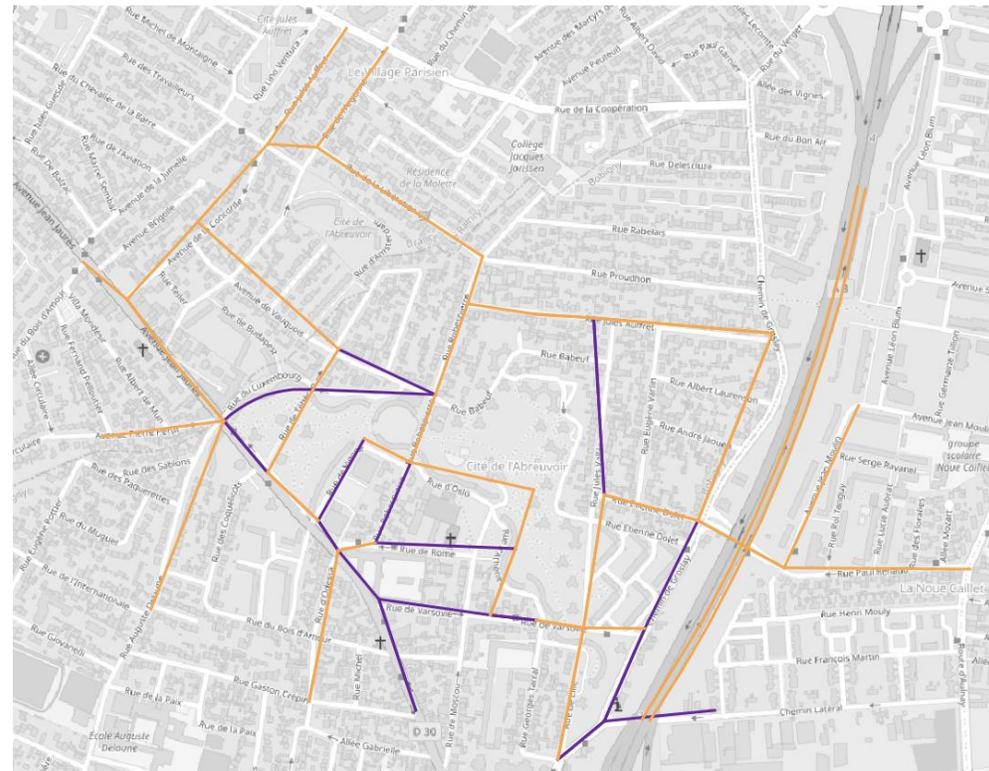
Méthodologie & hypothèses

2. Modélisation du trafic

Modèle de trafic

- Réalisé par le bureau d'études du département
- Analyse modèle de trafic
- Trafic tout véhicule heures de pointe
- Ratio PL hors autoroute
- Affiné par les données d'Iris Conseil

- Les données de trafic utilisées sont issues du modèle réalisé par le bureau d'études trafic du département. L'étude d'impact menée par Iris Conseil a permis d'affiner le modèle sur certains tronçons car correspond à une étude plus précise de l'impact des futurs projets urbain sur le secteur de l'Abreuvoir. Les deux sources fournissent aux heures de pointes (soir et matin) le nombre de véhicules passant sur chaque tronçon de route et le modèle indique le ratio de poids lourds sur toutes les routes hormis l'autoroute.



Données retenues fournies par Iris Conseil (violet) et le département (orange)

Méthodologie & hypothèses

2. Modélisation du trafic

Calcul du TMJA

- Ratios 2R issus de l'étude de Bagnolet
- Détermination des ratios PL sur autoroutes
- Calcul des TMJA Bus
- Calcul TMJA selon HPS et HPM

- ▶ Les ratios entre le nombre de deux roues et le nombre total de véhicules ont été récupérés par typologie de route sur une précédente étude concernant le secteur de la porte de Bagnolet.
- ▶ Le TMJA des bus a été déterminé à partir des itinéraires et des horaires de bus passant sur les secteurs et ont été **considérés inchangés par rapport au modèle de 2020**. Ces données ont également été recoupées avec un fichier QGIS de tracés des lignes de bus issu de data.gouv⁽¹⁾.
- ▶ Si l'on avait les ratios de poids lourds sur l'ensemble des routes communales, il a fallu aussi déterminer les ratios pour les autoroutes. Pour cela, les données de comptage sur la porte de Bagnolet nous ont permis d'établir un ratio de poids lourds sur les portions d'autoroute qui a ensuite été repris pour cette étude.
- ▶ Les TMJA sont calculés à partir des valeurs de trafic aux heures de pointes, le soir (HPS) et le matin (HPM). La méthode est $TMJA = R * (HPS + HPM)$ avec R un facteur dépendant du type de route : R = 5 pour les routes communales et R = 7,5 pour les routes départementales et les autoroutes (source : bureau d'étude trafic du département 93).

Méthodologie & hypothèses

2. Modélisation du trafic

Calcul des émissions

- Pour chaque type de véhicule
- Définition émission moyenne journalière

- ▶ On définit une émission moyenne par tronçon de route et par catégorie de polluant en croisant le trafic moyen journalier donné par catégorie de véhicule avec les valeurs d'émissions journalières par catégorie de véhicule issues de la base de donnée européenne prévisionnelle HBEFA, considérant l'état du parc automobile à l'horizon 2030 :

		Annuel (g/km/j)
NOx g/km/j	2R	0.027
	Bus	0.782
	PL	2.098
	VL	0.232

		Annuel (g/km/j)
PM g/km/j	2R	0.042
	Bus	0.557
	PL	0.456
	VL	0.039

Méthodologie & hypothèses

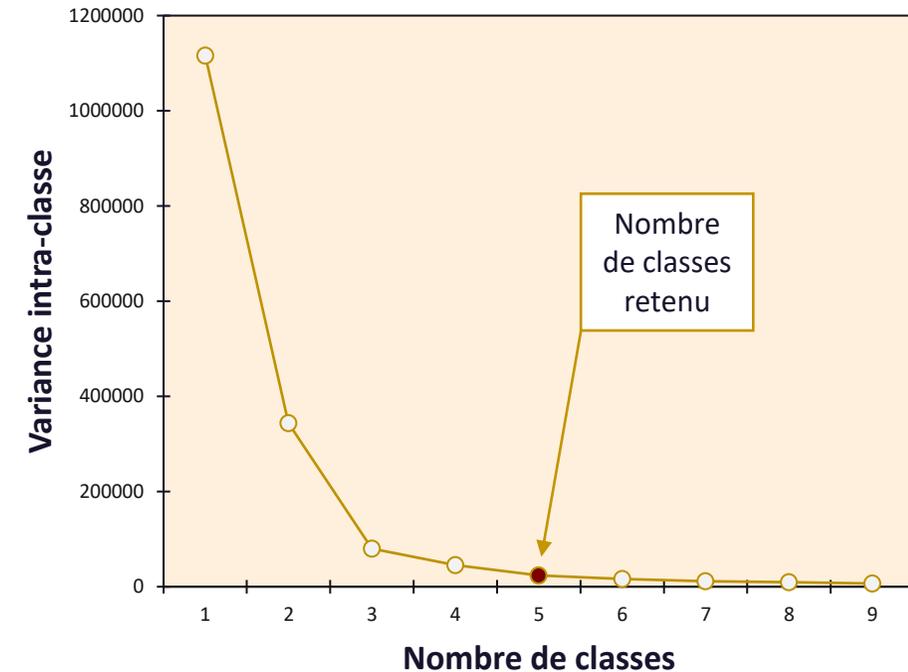
2. Modélisation du trafic

Simplification 5 classes d'émissions

- Méthode statistique clustering
- Définition du nombre de classes optimal
- 5 classes d'émissions

- ▶ La modélisation de la dispersion faisant entrer en jeu des phénomènes physiques multiples interagissant entre eux, des simplifications sont nécessaires afin d'obtenir un modèle stable. C'est en ce sens qu'une simplification des données d'émissions a été faite.
- ▶ **Une méthode statistique de clustering** a été utilisée afin de définir un nombre optimal de classes d'émissions via la méthode du coude.
- ▶ Meilleur compromis pour une précision optimale : 5 classes.
- ▶ Chaque tronçon de route est ensuite affecté à l'une de ces classes.

Variance des clusters en fonction du nombre de classes (méthode du coude)



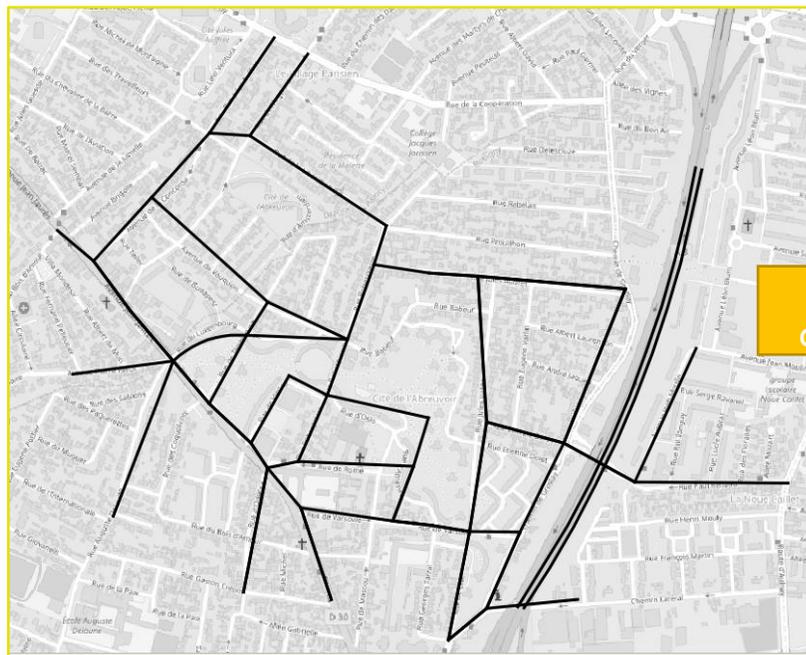
Méthodologie & hypothèses

2. Modélisation du trafic

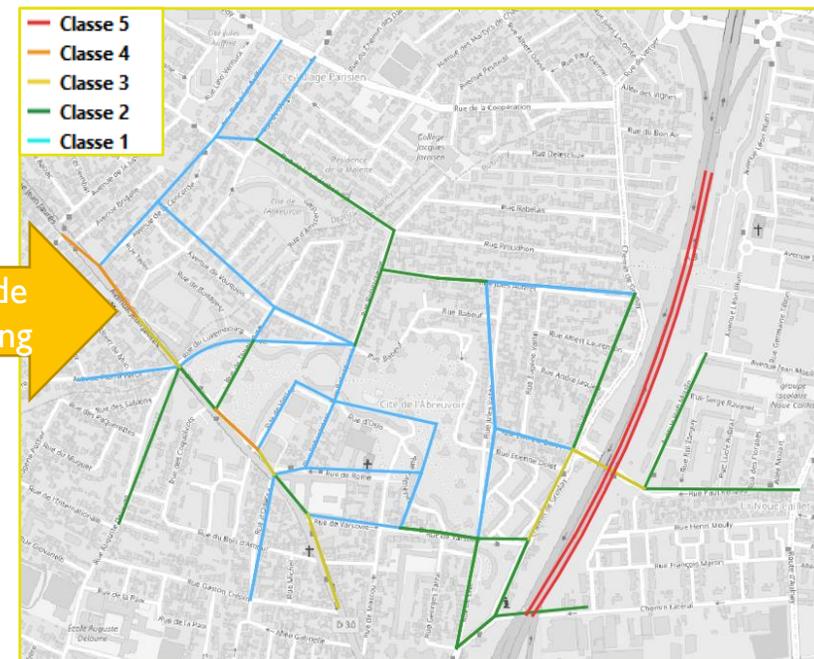
Simplification 5 classes d'émissions

- Méthode statistique clustering
- Définition du nombre de classes optimal
- 5 classes d'émissions

Données trafic Maquette QGIS



Classes d'émissions modélisées



Méthode clustering

Méthodologie & hypothèses

2. Modélisation du trafic

Simplification 5 classes d'émissions

- Méthode statistique clustering
- Définition du nombre de classes optimal
- 5 classes d'émissions

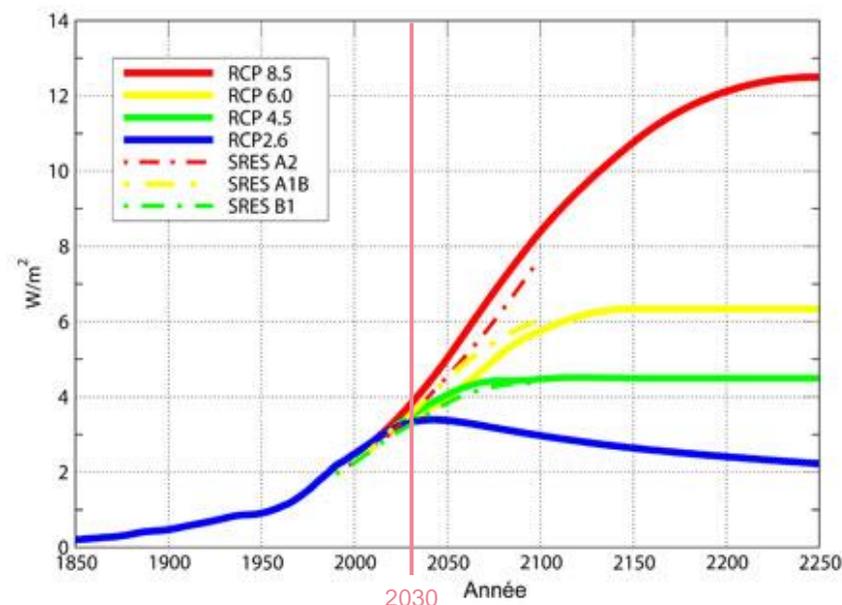
Secteur Abreuvoir 2030					
Classe	Emissions NO ($\mu\text{g}/\text{m.s}$)	Emissions PM10 ($\mu\text{g}/\text{m.s}$)	Emissions NO2 ($\mu\text{g}/\text{m.s}$)	Emissions PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m.s}$)	
1	2	0,3	0,5	0,2	
2	8	2	2	1	
3	15	3	4	2	
4	23	8	7	6	
5	188	63	53	44	

Valeurs d'émissions par type de polluants et par classe.

Méthodologie & hypothèses

3. Conditions météorologiques

- ▶ Modélisation de la situation moyenne annuelle, avec des conditions météorologiques spécifiques.
- ▶ Le jeu de données météorologiques « annuel » est issu de **Meteonorm V8** pour la station Paris Le Bourget, selon le scénario futur RCP 4,5 établi par le GIEC et extrait pour l'année 2030.
- ▶ Les différents scénarios et leurs températures sont principalement basés sur les prévisions de niveaux de radiations au niveau du sol. Les prévisions de ces scénarios permettent d'établir des données météorologiques jusqu'à l'horizon 2300.



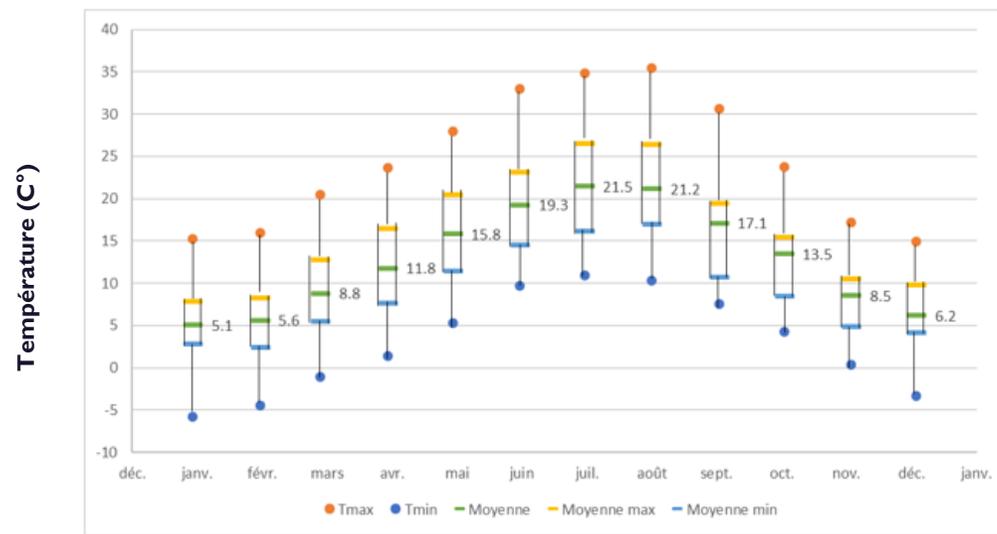
Méthodologie & hypothèses

3. Conditions météorologiques

Températures & humidité

- Les températures et humidités moyennes ont été calculées sur la base du fichier horaire Météonorm station Paris Le Bourget, selon le scénario RCP 4,5 présenté précédemment.

	Moyenne Annuelle
Températures retenues	12,9°C
Humidités retenues	72%



	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
● Tmax	15.2	16	20.5	23.6	27.9	33	34.8	35.4	30.6	23.7	17.2	14.9
● Tmin	7.8	8.3	12.7	16.5	20.4	23.1	26.5	26.4	19.5	15.4	10.5	9.8
— Moyenne	5.1	5.6	8.8	11.8	15.8	19.3	21.5	21.2	17.1	13.5	8.5	6.2
— Moyenne max	2.8	2.4	5.5	7.6	11.5	14.5	16.1	17.0	10.7	8.5	4.8	4.2
— Moyenne min	-5.8	-4.5	-1.1	1.4	5.3	9.7	10.9	10.3	7.5	4.3	0.4	-3.3

Température moyennes **diurnes** annuelles – Station Le Bourget / Données météonorm v8

Méthodologie & hypothèses

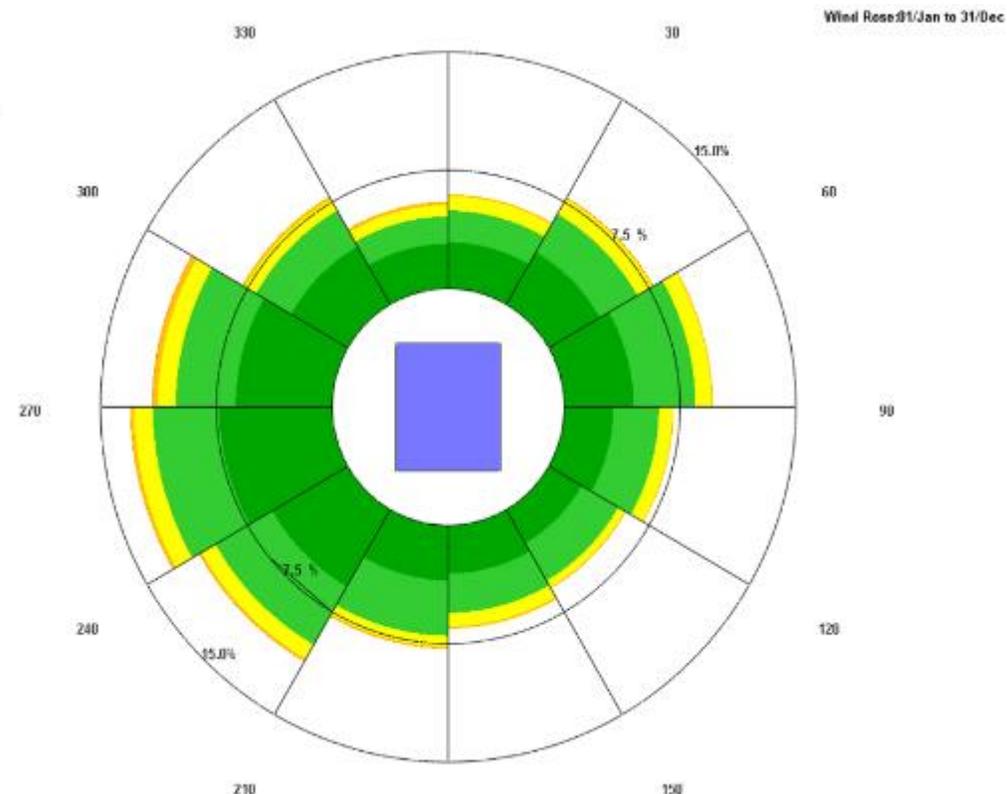
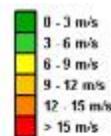
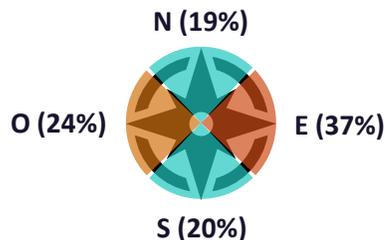
3. Conditions météorologiques

Conditions aérauliques

- L'étude de la rose des vents a permis de calculer les directions de vent majoritaires et les vitesses moyennes de vent associées. **On retient comme vent pour la simulation la seconde direction de vent majoritaire, soit un vent d'ENE, correspondant à un vent d'été.**

Les données aérauliques sont identiques entre 2020 et 2030.

	Vent retenu (Eté)
Direction majoritaire	ENE
Vitesse moyenne (m/s)	3,37 m/s



Rose des vents annuelle – Station Le Bourget / Données météonorm v8

Méthodologie & hypothèses

4. Facteurs d'émissions trafic

- Les émissions journalières de chaque catégorie de véhicule sont tirées du référentiel **HBEFA, V4.1 (Handbook Emissions Factors for Road Transport)**. Ce référentiel a été développé en partenariat avec les agences de protection de l'environnement d'Allemagne, Autriche, Suisse, Suède, Norvège, et de France (ADEME).
- Le modèle utilise un scénario 2030 pour la composition du parc automobile français, avec un trafic en situation urbaine moyen.

MICET

Umwelt Bundesamt (Germany) | Umweltbundesamt (Austria) | Swissair (Switzerland) | TRAFIKVERKET (Sweden) | ADEME (France) | s|ft: (Norway)

Manuel informatisé des coefficients d'émission du trafic routier

MICET

Version: 4.1 | Date: 1.11.2019

Case de la langue: Fr | Case du pays: FI

Programme développé par: INFRAS CH

Données mises à disposition par: AVL MTC SE, EMPA CH, IFEU DE, I'STITAR F, IVL SE, JRC, LAT/Emisia GR, Statistics N, TNO NL, TU Graz A, HSDAC DE, WSI* SL

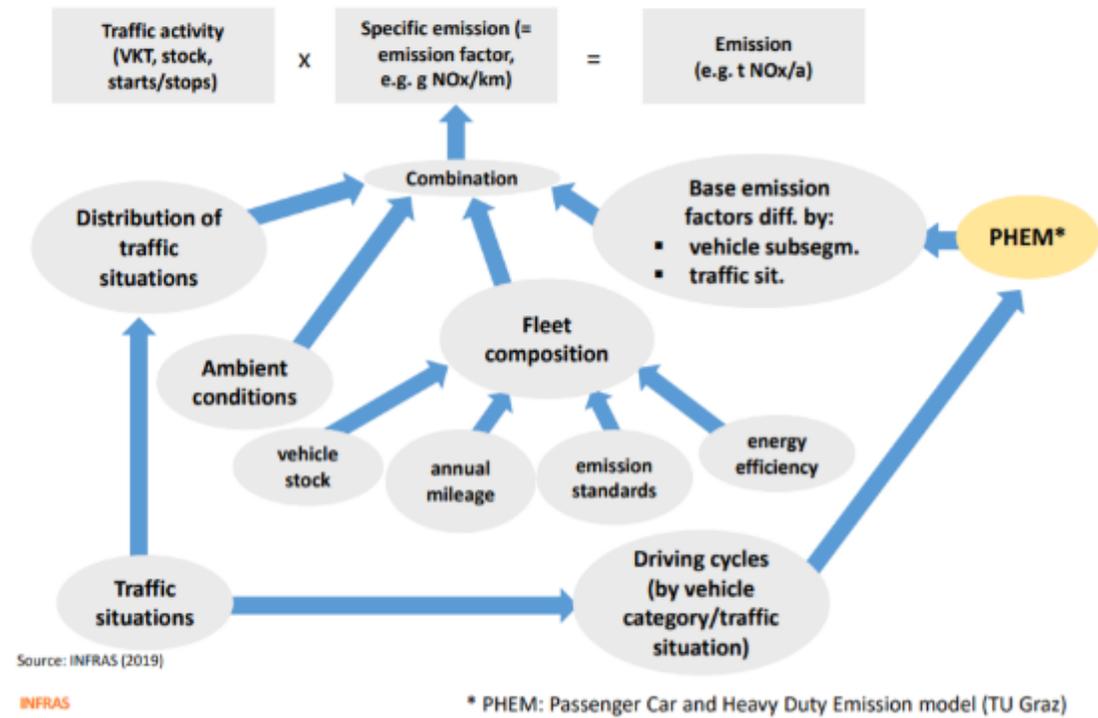
Méthodologie & hypothèses

4. Facteurs d'émissions trafic

- ▶ **HBEFA** fournit les facteurs d'émissions par **catégorie de véhicules, en g/km/j** pour les polluants réglementés (NO_x, PM, O₃, HC)
- ▶ Le modèle utilisé permet de calculer des facteurs d'émissions en fonction de conditions de trafic prédéfinies, et ce pour chaque catégorie de véhicules (VL, 2R, PL*, Bus).
- ▶ 4 principaux paramètres entrent en jeu dans le modèle :
 - ▶ Le type de zone (urbaine ou rurale)
 - ▶ Le type de voies (autoroutes, nationales, routes secondaires ou locales)
 - ▶ La vitesse limite
 - ▶ Les conditions de circulation correspondant à la fluidité du trafic (dense, saturé, congestionné, fluide, etc) et à la distance moyenne parcourue (pour les émissions à froid)

*VL : Véhicules Légers, 2R : deux roues, PL : Poids Lourds

Basic structure of HBEFA



4. Facteurs d'émissions trafic

Les résultats des modélisations HBEFA donnent les facteurs d'émissions suivants par catégorie de véhicules pour les prévisions 2030 :

		Annuel (g/km/j)
NOx g/km/j	2R	0.027
	Bus	0.782
	PL	2.098
	VL	0.232

		Annuel (g/km/j)
PM g/km/j	2R	0.042
	Bus	0.557
	PL	0.456
	VL	0.039

Méthodologie & hypothèses

5. Modélisation ENVIMET

- ▶ L'étude a été réalisée sur le logiciel de modélisation microclimat et de dispersion ENVIMET 4.4.6
- ▶ Le logiciel permet de prendre en compte les échanges complexes entre l'atmosphère, les différentes sources de pollutions, la végétation et les conditions météorologiques du site. Les simulations ont donc intégré les éléments suivants :
 - ▶ Modélisation 3D du projet et de son environnement proche.
 - ▶ Intégration des conditions météorologiques du site (humidité, températures, vent, radiations solaires, ...).
 - ▶ Calcul de l'écoulement des vents selon la rugosité du terrain et de la géométrie urbaine selon un modèle Eulérien par résolution des équations de Navier-Stokes.
 - ▶ Intégration d'un modèle de turbulence atmosphérique, et de l'interaction des particules avec les surfaces et la végétation.



Modèles Envi-met du secteur Washington pour le scénario « au fil de l'eau » servant de référentiel pour l'étude

**ENVI
_MET**

Méthodologie & hypothèses

5. Modélisation ENVIMET

POLLUTION DE FOND

Pour rappel, la pollution de fond correspond à des niveaux de pollution minimaux représentatifs de la qualité de l'air d'un large secteur géographique. En plus des polluants émis par le trafic, elle englobe les polluants atmosphériques issus de toutes sources d'émissions naturelles et anthropiques.

Les objectifs du PREPA (Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques) ont permis de définir les concentrations de fond pour l'année 2030. Le PREPA fixe des objectifs en termes de réduction des émissions de polluants aux années 2020 et 2030 par rapport aux émissions relevées en 2005. Les objectifs de 2020 ont été atteints et les prévisions montrent que ceux de 2030 le seront également. Néanmoins, les réductions affichées prennent en compte les réductions d'émissions dues au trafic. Nous avons alors déterminé la part de ces émissions sur le total pour les déduire des réductions prévues par le PREPA : 48% pour les NOx et 16% pour les PM.

Alors, avec les concentrations de fond de 2020 et les pourcentages de réduction des émissions attendus en 2030 déduits du trafic, on peut estimer les concentrations de fond attendues en 2030 :

Polluants	Valeur 2020 (µg/m ³)	Réduction calculée entre 2020 et 2030	Réduction calculée hors trafic entre 2020 et 2030	Valeur 2030 (µg/m ³)
Dioxydes d'azote (NO ₂)	28	-38%	-20%	23
Particules fines (PM10)	20	-41%	-34%	13
Particules fines < 2.5µm (PM2,5)	14	-41%	-34%	9

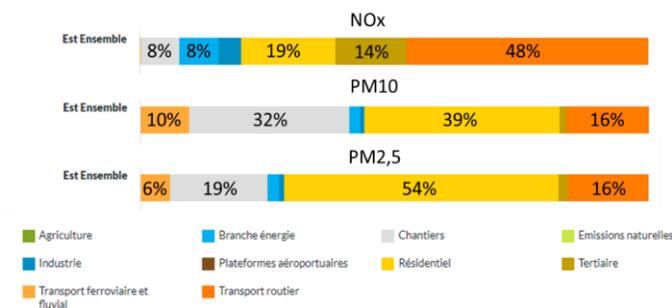
On notera que les valeurs d'O₃ n'ont pas varié significativement dans les 15 dernières années et seront donc considérées égales aux simulations de 2020, soit une valeurs de fond de 47 µg/m³ (voir annexe).

RÉDUCTION
DES ÉMISSIONS
PAR RAPPORT À 2005



POLLUANT	À partir de 2020	À partir de 2030
Dioxyde de soufre (SO ₂)	-55 %	-77 %
Oxydes d'azote (NOx)	-50 %	-69 %
Composés organiques volatils (COVNM)	-43 %	-52 %
Ammoniac (NH ₃)	-4 %	-13 %
Particules fines (PM _{2,5})	-27 %	-57 %

Objectif de réduction d'émissions de polluants du PREPA
(source : ecologie.gouv)



Répartition des secteurs d'émission pour les différents polluants
(source : AirParif)

5. Modélisation ENVIMET

RATIO NO₂/NO_x

Les logiciels de calcul de dispersion ne permettant pas de calculer directement les NO₂ mais seulement les NO_x : un ratio issu du rapport d'Airparif « évaluation prospective de la qualité de l'air à l'horizon 2020 en IDF », de 2017 a été pris.

Ainsi, un ratio **NO₂/NO_x = 0.22** a été considéré dans la modélisation pour les émissions du trafic.

RATIO PM_{2,5}/PM₁₀

- ▶ Les logiciels de calcul de dispersion ne permettant pas de calculer directement les PM_{2,5} mais seulement les PM₁₀, l'hypothèse de 70% de proportion des PM_{2.5} par rapport aux PM₁₀ a été considérée.
- ▶ Cette estimation est basée sur les résultats de la campagne de comptage que Greenaffair a réalisé du 02 au 12 mars 2021 sur le secteur du Pont de Bondy.

RESOLUTION

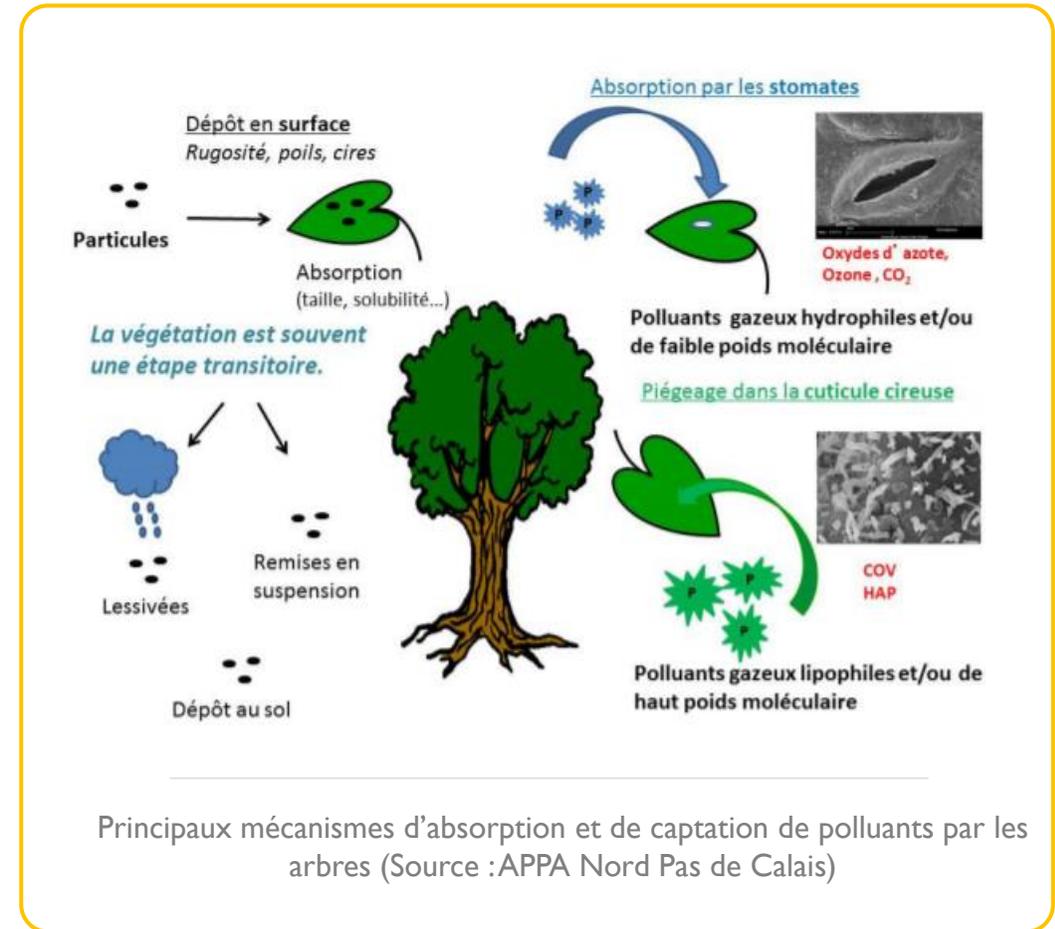
- ▶ L'étendue du périmètre d'étude implique un très grand nombre de cellules de calcul. Le maillage impactant directement les temps de calcul et la qualité des résultats présentés, il a été calibrée à 3m sur le plan horizontal, contre 2m en vertical. Sur le plan vertical, une précision sur les premiers mètres de simulation a été apportée en divisant la première maille (0-2m) en cinq. A l'inverse, à partir de la pointe du plus haut bâtiment de chaque secteur, on applique un telescoping afin d'agrandir la taille des mailles en hauteur, nécessitant moins de précision, permettant ainsi d'alléger à nouveau la simulation.

Méthodologie & hypothèses

5. Modélisation ENVIMET

VEGETATION

- ▶ **La végétation** a également été modélisée (arbres et espaces végétalisés des parcs)
- ▶ Elle peut en effet intervenir dans les phénomènes de dispersion de polluants à travers les mécanismes suivants :
 - ▶ **Captation par le feuillage** des arbres pour les PM puis lessivage et dépôt au sol lors de précipitations
 - ▶ **Absorption** via les stomates des NO_x et de l'O₃ et par les racines des légumineuses
 - ▶ Modification de l'écoulement du vent



Méthodologie & hypothèses

6. Présentation des scénarios

Pour l'ensemble des scénarios, on considèrera 3 mètres pour la hauteur d'un étage et des arbres de type charmes de 15 à 25m au feuillage dense car ils sont indigènes à la région Ile-de-France et facilement adaptables au sol.

SCENARIO « FIL DE L'EAU »

- Le scénario au fil de l'eau décrit la situation future si aucun aménagement urbain n'est fait, à échéance 10 ans (2030). Seules les données trafic et météorologiques définissent la situation future.

SCENARIO D'AMENAGEMENT I : IMGP + JARDIN FORET

- Ce scénario est décrit par le croquis d'intention fourni par Est Ensemble ci-contre, interprété par Greenaffair sur le schéma, dessous. Les rues intérieures du secteur Washington sont remplacées par des cheminements piétons et l'ensemble des bâtiments sont déconstruits pour créer un nouveau parc de logements, du R+2 au R+6. La parcelle de 3000m² à l'Est de la parcelle est aménagée comme un jardin-forêt avec trois niveaux de végétalisation : du plus dense au plus proche de l'autoroute au moins dense le long du chemin de Groslay. Un focus sur ce jardin forêt est fait juste après.



Croquis d'intention d'aménagement urbain
(source : IMGP)



Interprétation du scénario par Greenaffair

Méthodologie & hypothèses

6. Présentation des scénarios

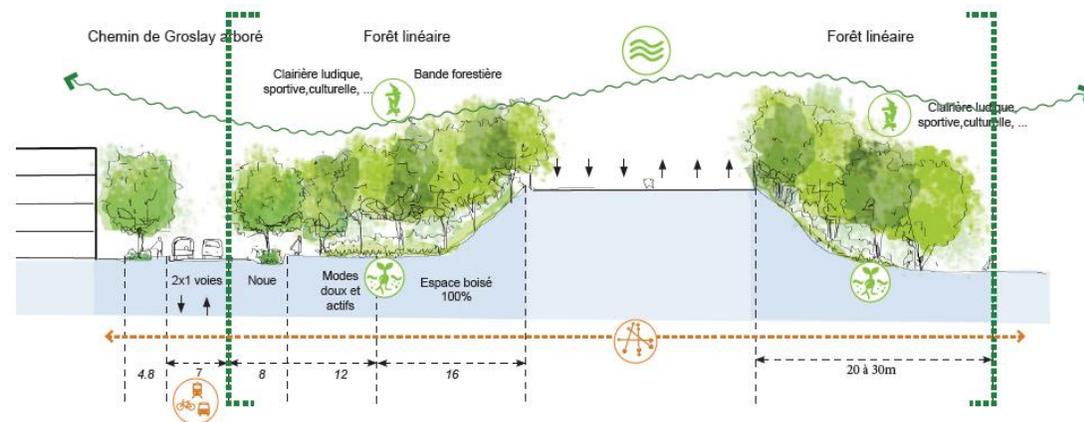
FOCUS JARDIN-FÔRET

Le projet de jardin-forêt s'inscrit dans la démarche d'Est Ensemble de développer un quartier durable et agréable à vivre.

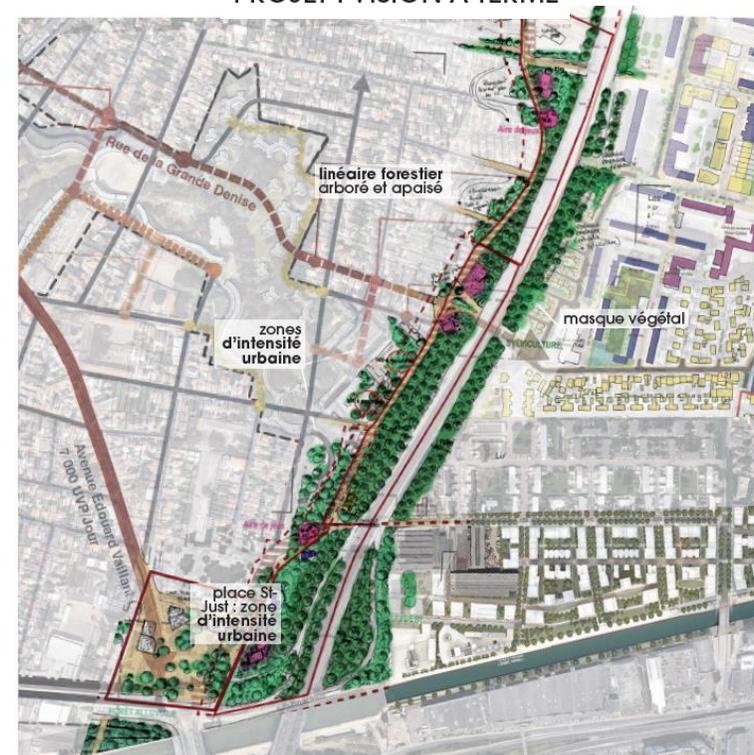
Il consiste à planter **densément une forêt linéaire** le long de l'A3, près du secteur Washington, sur une parcelle de 3000 m², selon un schéma en trois couches différentes : un espace 100% boisé, accolé à l'autoroute sur 16 mètres, puis un espace moins dense, favorisant les modes de déplacements doux et actifs sur 12m (marche, vélo) et enfin une rangée d'arbre séparant la route de ce mail de mobilité douce de la route.

L'espace de forêt dense coté autoroute a été modélisé avec de la végétation dense **sur toute sa hauteur** (buissons, haies et arbres) **afin de limiter au maximum le passage des polluants** (voir focus en page 11).

COUPE DE PRINCIPE ET ENJEUX ÉCOLOGIQUES



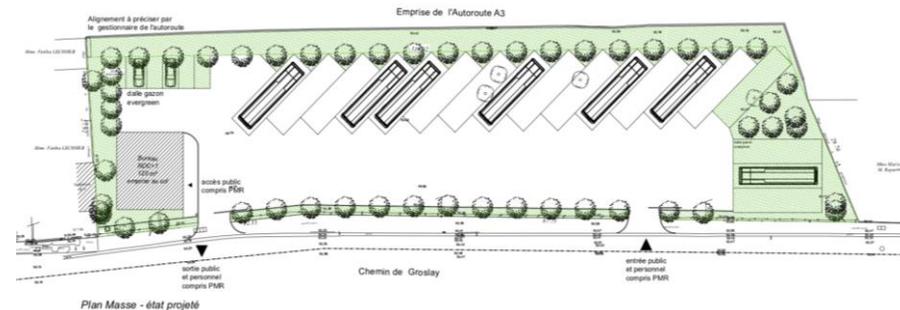
PROJET : VISION À TERME



6. Présentation des scénarios

SCENARIO D'AMENAGEMENT 2 : IMGP + VIC TRANSPORT

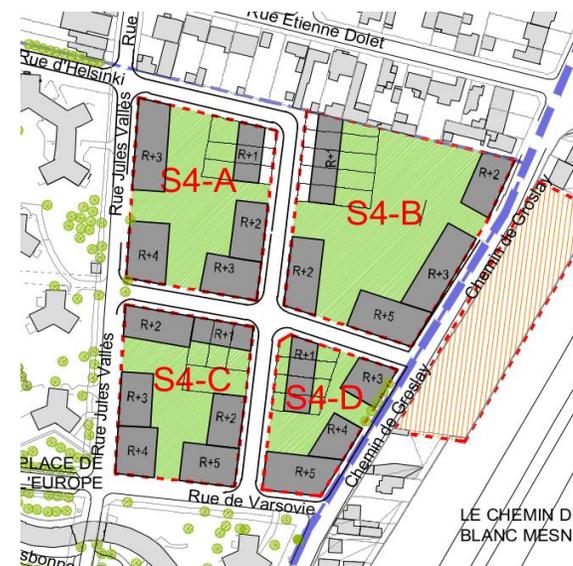
- Le second scénario d'aménagement reprend l'aménagement urbain du premier à l'intérieur du secteur Washington. La différence entre les deux scénarios est la façon dont est exploitée la parcelle de 3000m². Dans ce scénario, la parcelle est utilisée pour l'implantation de la société Vic Transport, selon le plan ci-contre. Un parking de bus et un petit bâtiment remplaceraient alors le projet de jardin-forêt.



Plan d'implantation de la société Vic Transport
(source : Est Ensemble)

SCENARIO D'AMENAGEMENT 3 : PLAN GUIDE + JARDIN FORET

- Le dernier scénario d'aménagement est issu du plan guide de l'étude urbaine du PRU de l'Abreuvoir. Il reprend le projet de jardin-forêt du scénario I, la différence se fait au niveau de l'organisation de la parcelle Washington. Le secteur est divisé en quatre sous-secteurs et des rues sont créées pour les séparer. Le prolongement de la rue d'Helsinki au nord de la parcelle est coupé au milieu, au niveau du sous-secteur B. Les bâtiments de logements sont organisés sous forme d'îlots avec une zone centrale végétalisée, du R+1 au R+5.



Plan d'aménagement de la parcelle Washington selon le plan guide
(source : Est Ensemble)

Enjeux sanitaires

Seuils réglementaires français

La réglementation française en termes de qualité de l'air s'appuie principalement sur des **directives européennes**, conçues en tenant compte des **recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de 2005** : Elle détermine les seuils à ne pas dépasser pour une vingtaine de polluants en fonction de leur impact sur la santé. Elle est transcrite dans le code de l'Environnement aux articles L. 220-1 pour la partie législative et R. 221-2 pour la partie réglementaire.

Les valeurs de référence de l'OMS ayant évolué fortement à la baisse en septembre 2021 (voir slide suivante), il est légitime de penser que ces seuils réglementaires français vont également être amenés à diminuer dans les mois à venir.

Les normes de qualité retenues au niveau national par polluants (article R. 221-1 du Code de l'Environnement) fixent des objectifs de qualité, des valeurs limites, des valeurs cibles et de seuils de recommandation et d'information et des seuils d'alerte.

NO2	PM10	PM2,5	
40 µg/m ³	30 µg/m ³	10 µg/m ³	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 sur son ensemble
		20 µg/m ³	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
40 µg/m ³	40 µg/m ³		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
200 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 18 h/an	50 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 35 j/an	25 µg/m ³	
200 µg/m ³ (moyenne horaire)	50 µg/m ³ (moyenne journalière)		Seuil de recommandation et d'information 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 nécessaire l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.
400 µg/m ³ dépassé sur 3h consécutives			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.
200 µg/m ³ si dépassement de ce seuil la veille et risque de dépassement le lendemain	80 µg/m ³ en moyenne journalière		

Risque sanitaire d'une exposition à long terme

Risque sanitaire d'une exposition à court terme

Enjeux sanitaires

Recommandations de l'OMS

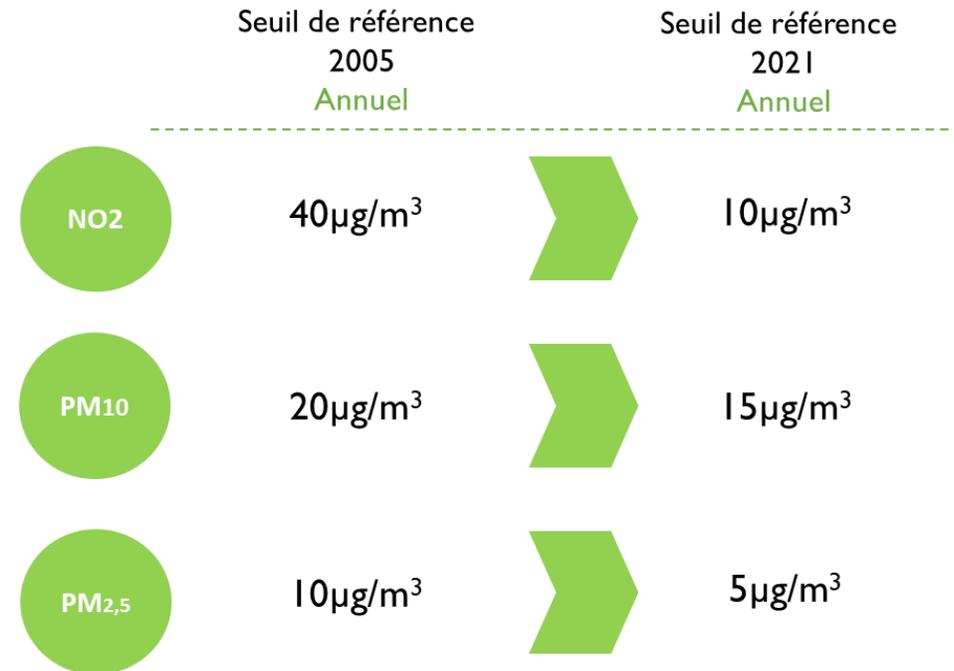
L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a publié le 22 septembre 2021 de nouveaux seuils de référence pour les principaux polluants atmosphériques.

Pour rappel, sur la base des nombreuses données scientifiques actuellement disponibles, les lignes directrices de l'OMS indiquent les niveaux de qualité de l'air nécessaires pour protéger la santé des populations au niveau mondial.

Depuis la précédente édition des lignes directrices (2005), la quantité et la qualité des données scientifiques montrant une incidence de la pollution atmosphérique sur différents aspects de la santé ont sensiblement augmenté. Elles ont ainsi permis de comprendre que **la pollution atmosphérique s'avère néfaste à des concentrations encore plus faibles que les seuils fixés en 2005 et à fortiori que les seuils réglementaires français** existants aujourd'hui.

C'est pourquoi la **majorité des seuils de référence de l'OMS ont été abaissés par rapport à ceux établis il y a 15 ans**.

Les polluants les plus problématiques en Île-de-France sont les particules PM10 et PM_{2,5} et le dioxyde d'azote (NO₂). L'évolution la plus marquée entre les seuils de référence de 2005 et de 2021 concerne le dioxyde d'azote, avec un abaissement de 40 µg/m³ à 10 µg/m³ pour la moyenne annuelle. Pour rappel, le dioxyde d'azote est principalement émis par le trafic routier en Île-de-France, représentant 53% des émissions totales d'oxydes d'azote.



Enjeux sanitaires

Principaux polluants

Dioxyde d'Azote (NO₂)

Description & sources

Le dioxyde d'azote (à des températures inférieures à 20°C) est un gaz liquéfié très volatil peu coloré ou lorsqu'il est concentré, c'est un gaz rouge brun plus lourd que l'air, d'odeur très irritante, perceptible dès 0,11 ppm.

La principale source d'oxydes d'azote provient de la combustion des combustibles fossiles (véhicules à moteur, centrales thermiques, etc.), faisant de ce polluant un bon indicateur du trafic routier.

Risque pour la santé

Le dioxyde d'azote est une substance fortement irritante des voies respiratoires. Les effets sur la fonction respiratoire sont des bronchites, obstructions bronchiques, toux persistantes, respiration sifflante récurrente ou encore des essoufflements. Chez les enfants, il provoque une altération du développement pulmonaire.

A des concentrations dépassant les 200 µg/m³, sur de courtes durées, le NO₂ devient toxique provoquant des inflammations importantes des voies respiratoires.

Particules fines PM_{2,5} et PM₁₀

Description & sources

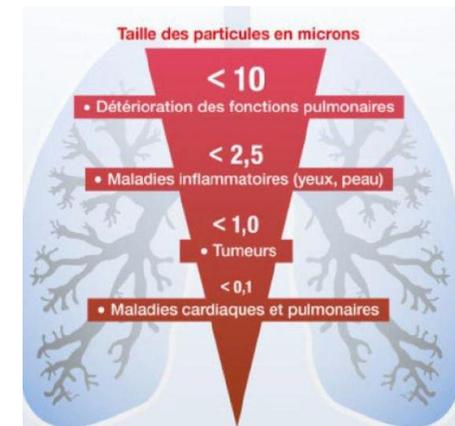
Les particules sont des petites portions de matière (PM) en suspension dans l'air de natures très variées (pollens, poussières naturelles, produits de combustion...).

Les particules sont classiquement différenciées en fonction de leur taille. On retrouve ainsi les PM₁₀ et les PM_{2,5} particules de diamètre aérodynamique médian respectivement inférieur à 10 et 2,5 µm.

Elles sont majoritairement causées par le trafic routier, les industries et le chauffage domestique.

Risque pour la santé

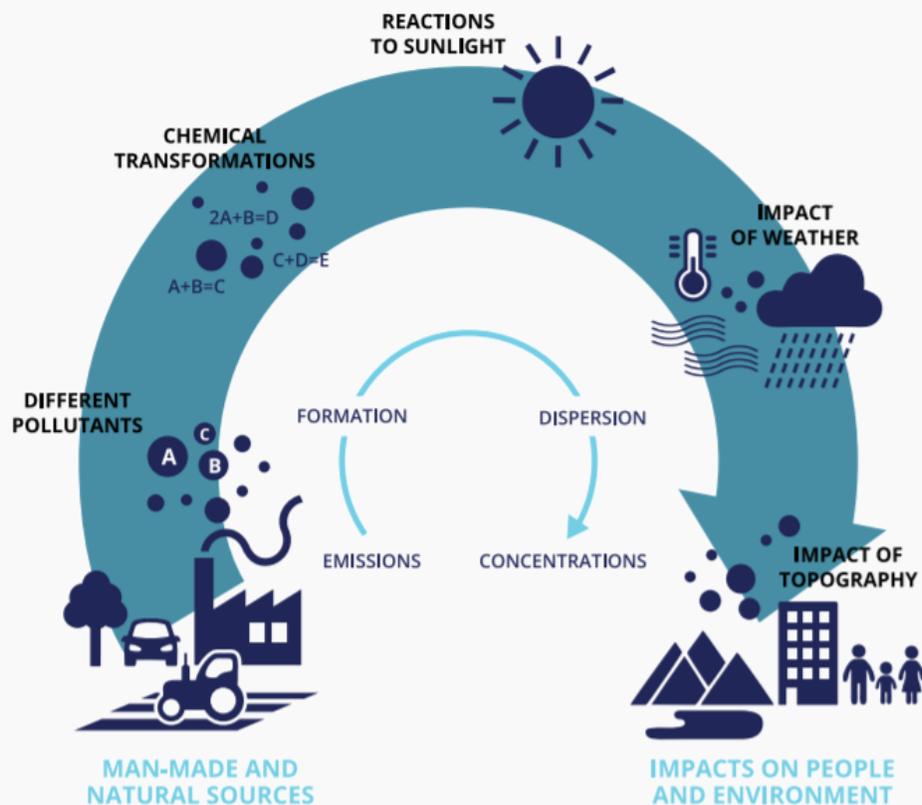
Le dépôt et la persistance des particules dans l'appareil respiratoire dépendent de leur taille : plus elles sont fines, plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire. Les PM₁₀ se répartissent dans toutes les régions de l'arbre respiratoire. Les PM_{2,5} se localisent de manière privilégiée dans les régions bronchiolaire et alvéolaire.



Facteurs clés

Principaux mécanismes

Facteurs intervenants dans la dispersion



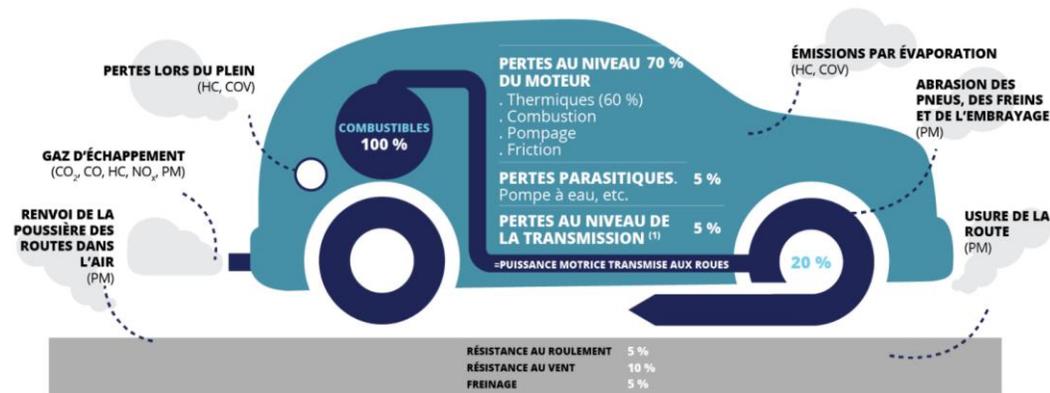
Source: Agence Européenne de l'environnement

► Les principaux facteurs liés à la pollution routière (objet de cette étude, en dehors des autres sources d'émissions) et à sa dispersion dans l'air sont représentés sur ces deux schémas.

► Les actions possibles pour réduire les concentrations de polluants se déclinent selon deux axes :

1. **Réduire les émissions à la source** grâce à la réduction du trafic, à l'amélioration des conditions de circulations et des modes de conduite ou à la transformation du parc automobile vers des véhicules propres.
2. **Favoriser la dispersion des polluants** grâce à un travail sur la morphologie et la programmation urbaine ainsi qu'à des aménagements spécifiques pour lutter contre la pollution localement : cœurs d'îlots préservés, ventilation naturelle de l'espace public, implantation d'équipement ne recevant pas de populations sensibles dans les zones exposées, barrières anti-bruit, haies végétales, sensibilisation des populations, etc.

Mécanismes de pollution liés au trafic



Source: Agence Européenne de l'environnement

Facteurs clés

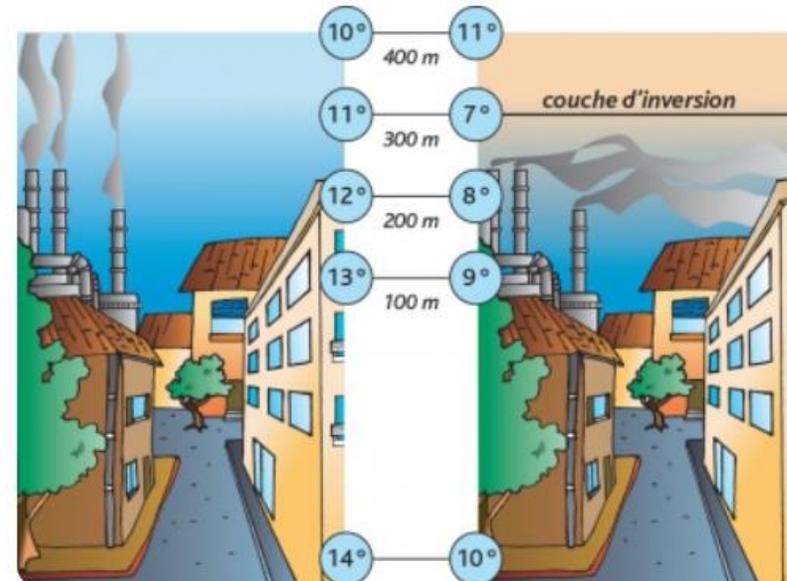
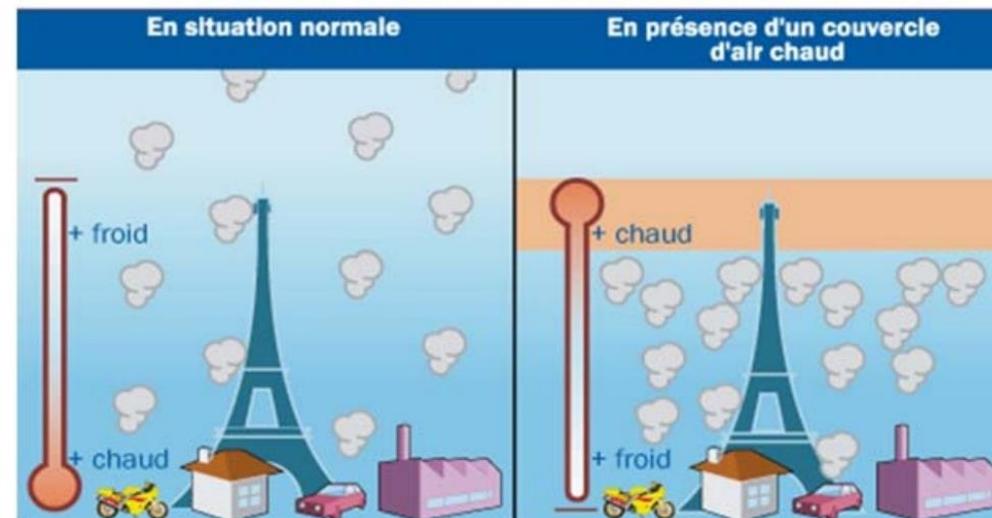
Période hivernale

Facteurs clés intervenants dans la qualité de l'air en hiver

En hiver, différents phénomènes interviennent pouvant aggraver la qualité de l'air extérieur.

- ▶ Tout d'abord, les **émissions des NOx en hiver sont supérieures d'environ 30% pour les véhicules léger (HBEFA)** qu'en moyenne sur l'année. Cela est principalement dû au temps de mise en chauffe allongé des moteurs et à la moins bonne efficacité des pots catalytiques par temps froids.
- ▶ Un phénomène météorologique appelé « **inversion de température** » peut également être à l'origine d'un épisode de pollution. Il intervient lorsque l'atmosphère est stable avec un temps clair. Dans ces conditions, la température nocturne au niveau du sol devient plus froide que dans les couches supérieures de l'atmosphère. L'air est ainsi piégé dans cette couche, en même temps que les polluants s'y trouvant.
- ▶ Enfin, la **pollution liée aux particules s'avère plus importante l'hiver** du fait de la mise en fonctionnement des **chauffages résidentiel et tertiaire** au bois (responsables pour 33% des émissions de PM10 et 49% des PM2,5 en 2015 d'après le rapport Airparif 2015).

L'inversion de température

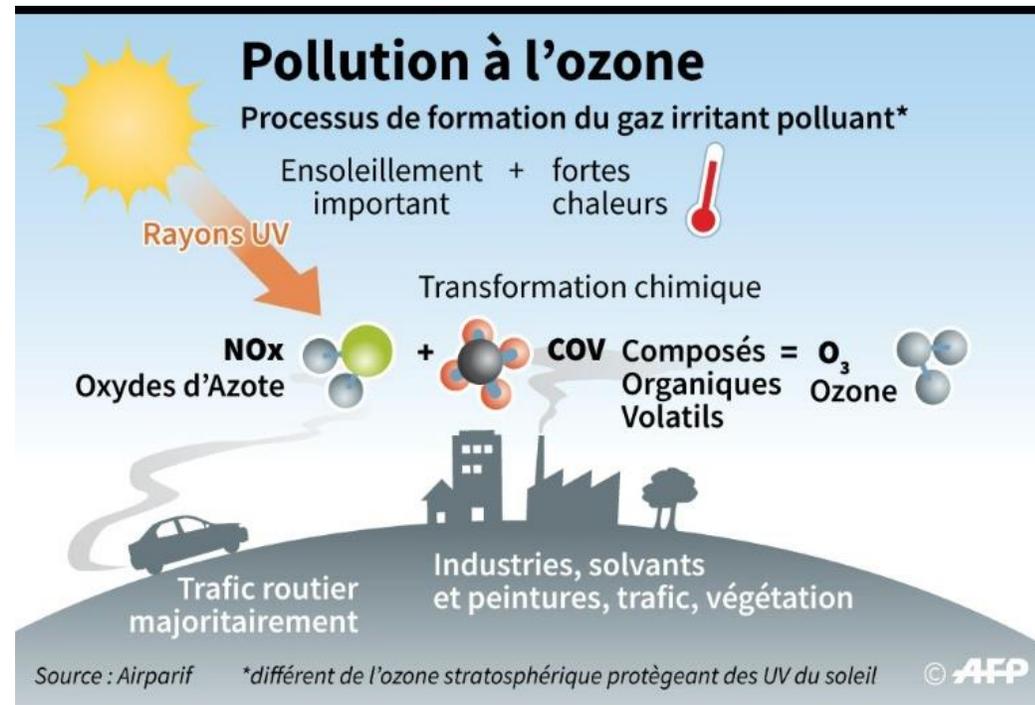


Facteurs clés

Période estivale

Facteurs clés intervenants dans la qualité de l'air en été

- ▶ Les émissions des **NOx** en été sont inférieures d'environ **25%** pour les véhicules léger (HBEFA) qu'en moyenne sur l'année. La température extérieure permet une meilleur combustion et moins d'émissions à froid des véhicules.
- ▶ En été, les épisodes de pollution sont souvent liés aux conditions météorologiques. De fortes températures associées à d'importants rayonnements solaires entraînent la formation d'ozone à partir du NO₂ émis par le trafic routier. Le rayonnement solaire joue ainsi le rôle de catalyseur dans la réaction photochimique de formation de l'ozone, provoquant ainsi des pics de pollution lors des épisodes caniculaires.

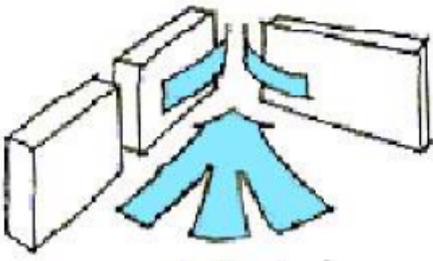
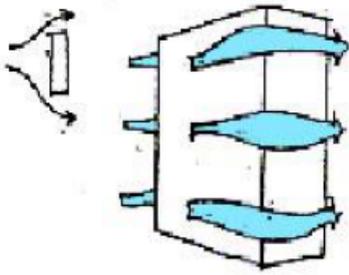
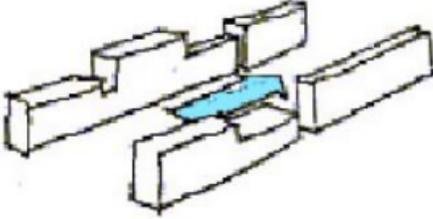
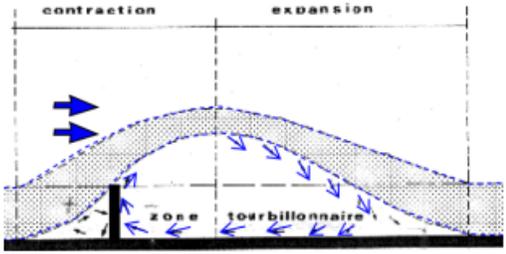


Facteurs clés

Influence de l'écoulement du vent

Mécanismes en jeu

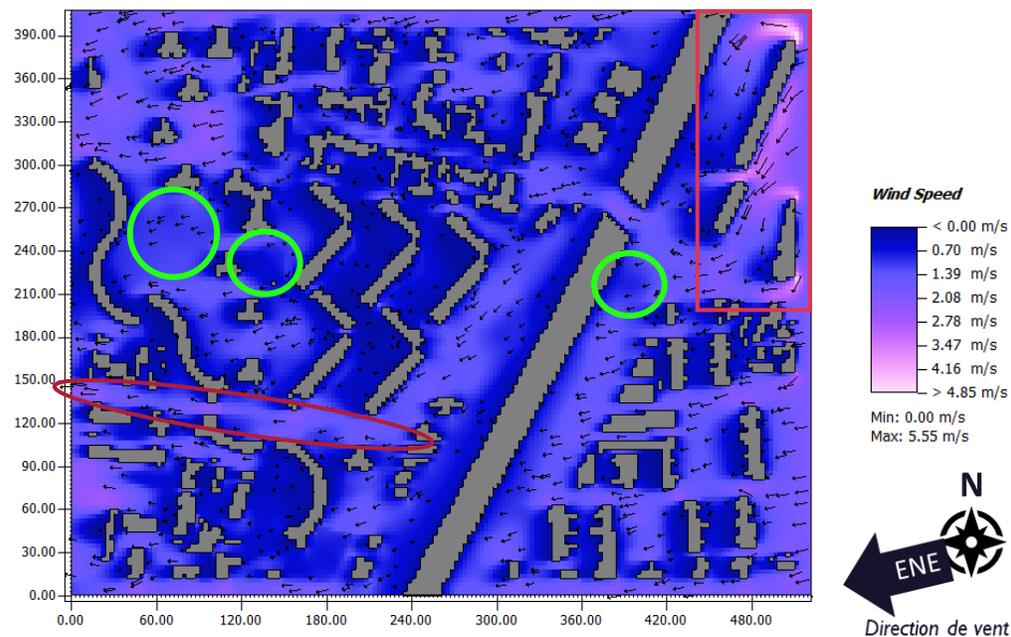
La vitesse et la direction du vent sont des facteurs ayant une grande influence sur la dispersion de la pollution atmosphérique. La morphologie urbaine impacte directement cet écoulement et certaines dispositions de bâtiments peuvent favoriser ainsi l'accumulation de polluants (cas des rues « canyons »). Les exemples ci-dessous illustrent les problématiques rencontrées.

Effet venturi	Effet de coin	Effet de canalisation	Effet d'un obstacle
 <p>Disposition relative de 2 bâtiments formant un collecteur de flux, le rétrécissement du passage a pour effet d'augmenter la vitesse pour un débit identique. L'espacement de 2 à 3 fois la hauteur des constructions (hauteur moyenne de 45m) formant le venturi entraîne une augmentation de la vitesse de 60%.</p>	 <p>Phénomène d'accélération localisée à l'angle d'un bâtiment, dû à un gradient très élevé du champ de pression sur un espace limité entre la façade exposée et celle qui se situe en dépression. L'effet est proportionnel à la hauteur de l'angle: la vitesse peut augmenter de 1,2 à plus de 2 fois son état initial pour des bâtiments de grande hauteur.</p>	 <p>Ceci correspond à une configuration classique d'une rue délimitée par des constructions en continu de chaque côté. Cette disposition entretient et prolonge tout phénomène situé au début de la rue. Il est entretenu pour un espacement de deux fois la hauteur moyenne de la rue. L'effet venturi et l'effet de canalisation sont le plus souvent combinés, entraînant une accélération importante du flux.</p>	 <p>Les écarts de pression en amont et en aval sont importants, entraînant :</p> <ul style="list-style-type: none">- l'existence d'un tourbillon amont.- Des retombées de flux en sillage- l'existence d'une zone morte <p>La mise en place d'un obstacle entraîne une bonne efficacité sur de courtes distances et pour une zone de protection peu étendue</p>

Facteurs clés

Influence de l'écoulement du vent

- La dispersion des polluants peut-être favorisée par des vitesses de vent élevées en zone découverte. Les zones « mortes » avec de faibles circulations d'air sont propices à la stagnation des polluants. **Les zones en bleu foncé doivent donc faire l'objet d'une attention particulière si les concentrations de polluants relevées y sont élevées.**
- La présence d'arbres diminue aussi les vitesses de vent de 30 à 50%, comme on peut l'observer sur les zones entourées **en vert**.
- Les zones tirant sur le violet à forte vitesse s'expliquent majoritairement à cause des effets d'accélération du vent dus à la direction du vent et à la morphologie urbaine (effets décrits en page précédente). Le fait que la zone encadrée soit sur le bord de la zone simulée augmente artificiellement les effets décrits précédemment (effet de bord), mais sans impacter le reste de la simulation.
- Les couloirs d'air créés par la morphologie urbaine permettent ainsi au vent de circuler avec une vitesse plus élevée (**cercle rouge**) et ainsi de **dispenser mieux les polluants**. Cependant, **ce même effet peut aussi conduire les polluants dans des zones plus préservées et sensibles**.
- Le vent étant le principal facteur de dispersion des polluants, **l'organisation des bâtiments dans les différents scénarios par rapport à la direction du vent et l'effet de la végétalisation vont définir l'intérêt, ou non, des scénarios.**



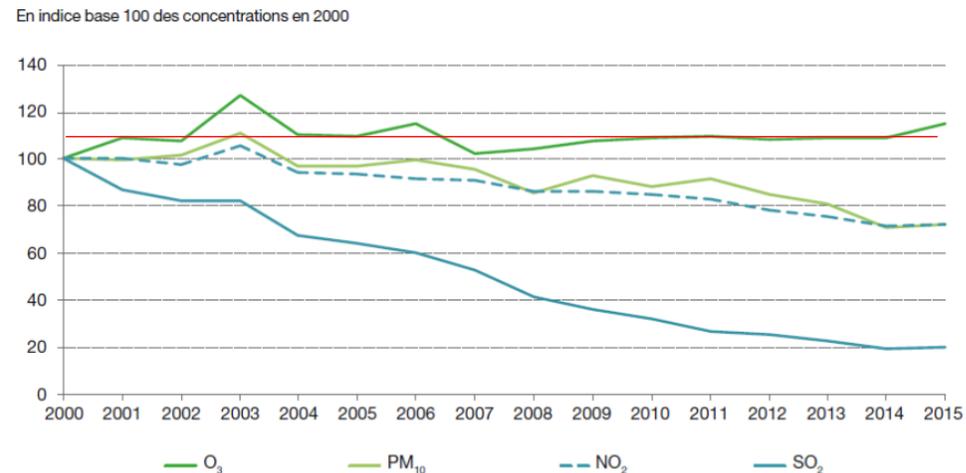
Concentrations de fond

O3

Entre les années 2000 et 2015, les valeurs d'ozone troposphérique n'ont pas évolué de manière significative. Avec l'année 2000 en référence, la concentration moyenne d'O3 dans l'atmosphère n'a changé que de 10% avec des variations peu importantes, hormis en 2003.

En comparaison avec les valeurs de PM10 et de NO2, modélisées pour ces simulations, ces dernières ont baissé de 30% en 15 ans de manière linéaire.

On peut alors considérer que la concentration de fond en 2030 sera à peu près la même qu'en 2020, c'est pour ça que l'on a considéré ici la valeur comme égale à celle déterminée pour la modélisation de l'état existant.





Immeuble CINCO
5 Place de Marivel
92310 Sèvres

01 46 03 80 10
www.greenaffair.com



innover
pour un monde
durable