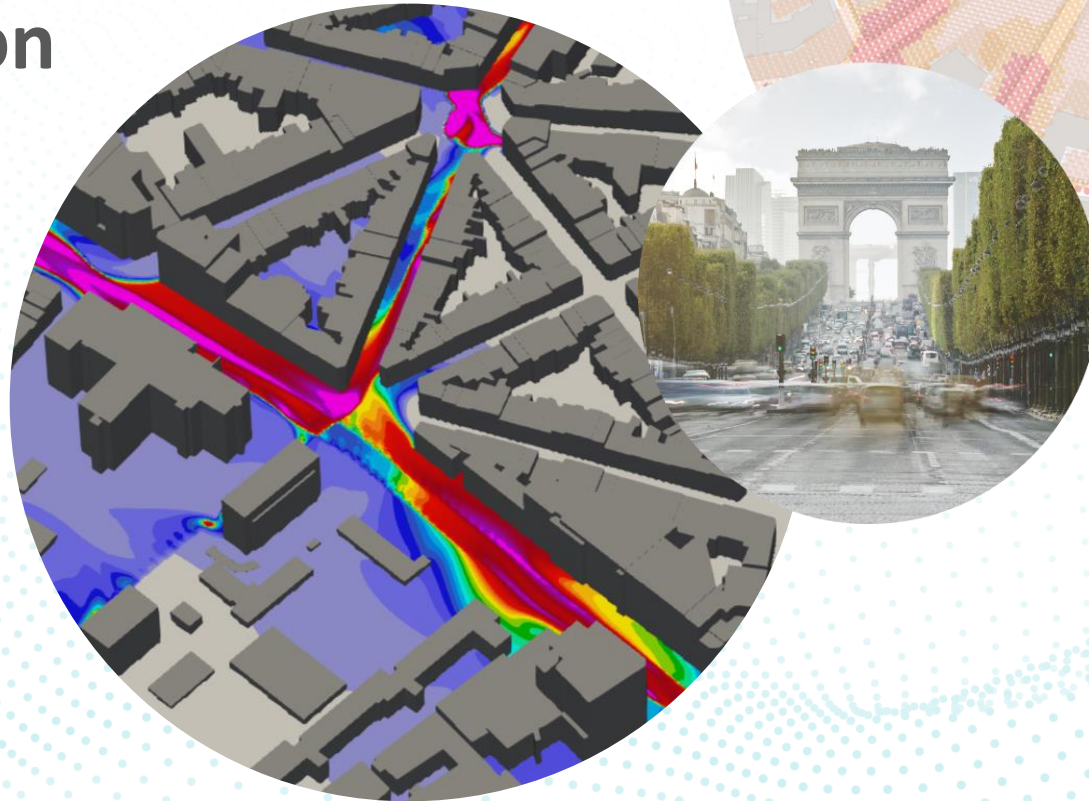


Modélisation de la pollution atmosphérique urbaine :

De la mécanique des fluides numérique (CFD) aux perspectives offertes par l'intelligence artificielle

*Séminaires du département mécanique, ICUBE
12 décembre 2024*

*Dr. Nicolas Reiminger
nreiminger@air-d.fr
www.reiminger.fr*





Directeur scientifique
Chef de projets modélisations numériques
Depuis 2020



Enseignant vacataire M2
Unités d'enseignement « Pollution atmosphérique » et
« Intelligence artificielle pour l'environnement »
Depuis 2021



Chercheur associé
Thématiques : qualité de l'air, îlots de chaleur
urbains, modélisation, intelligence artificielle
Depuis 2022



Membre forum FAIRMODE (Forum for AIR quality MODELing)
Groupe de travail 4 – Modélisation micro-échelle
Depuis 2022



Membre du comité de la recherche
Prochainement

1. Mise en contexte : la qualité de l'air en France et dans le monde
2. La mécanique des fluides numérique (CFD), un outil pertinent et efficace
3. Quelles perspectives pour le futur de la modélisation CFD de la qualité de l'air en ville ?
4. Les perspectives offertes par l'intelligence artificielle

Mise en contexte :

La qualité de l'air en France et dans le monde

 [changer de localité](#)

[accueil](#) [émissions](#) [menu](#)

[Accueil](#) > [Bretagne](#) > [Ille-et-Vilaine](#) > [Rennes](#)

"Ciel laiteux", particules fines... Les fumées des méga-feux du Canada observées en Bretagne



Le ciel à Rennes, mardi 27 juin. • © FTV

 **Article France 3 Bretagne – 27 juin 2023**

<https://france3-regions.francetvinfo.fr/bretagne/ille-et-vilaine/rennes/ciel-laiteux-particules-fines-les-fumees-des-mega-feux-du-canada-observees-en-bretagne-2803478.html>

LaProvence.

Le ciel breton teinté de jaune à cause des feux de forêt au Canada

Par La Provence

Publié le 19/08/24 à 16:54



📌 Article La Provence – 19 août 2024

<https://www.laprovence.com/article/ecoplanete/4481070588217514/le-ciel-breton-teinte-de-jaune-a-cause-des-feux-de-foret-au-canada>

le journal de québec

» MONDE

Les feux de forêt de l'Ouest canadien atteignent la Bretagne

PARTAGE



AGENCE QMI

Lundi, 19 août 2024 13:09

MISE À JOUR Lundi, 19 août 2024 13:09

Il n'y a pas que le Québec qui a été touché par la fumée des feux de forêt qui brûlent en Alberta puisque les particules fines ont aussi traversé l'océan Atlantique jusqu'à atteindre les côtes de la Bretagne, en France.

📌 Article Le journal du Québec – 19 août 2024

<https://www.journaldequebec.com/2024/08/19/les-feux-de-foret-de-louest-canadien-atteignent-la-bretagne>



📍 Le grand smog de Londres (1952) (<https://www.theverge.com/>)

Smog indo-pakistanaï
(octobre/novembre 2024) ➡



Quelques chiffres

- En 2016, approximativement **8 millions de décès prématurés** des suites à une exposition à la pollution de l’air (7,6 % de tous les décès)¹. En particulier, 4,2 millions causés par une mauvaise **qualité de l’air extérieur** et 3,8 par une mauvaise **qualité de l’air intérieur**.
- En 2018, 50 % de la population mondiale vit en zone urbaine (76 % en Europe), et atteindra **68 % en 2050** d’après les prévisions².
- **9 personnes sur 10** vivent dans des lieux où les concentrations en polluants de l’air excèdent les niveaux acceptables¹.
- L’espérance de vie peut baisser de **15 mois en moyenne en milieu urbain** contre environ 9 mois en moyenne en milieu rural³.

¹ d’après l’Organisation mondiale de la santé
² d’après l’Organisation des nations unies
³ d’après Santé publique France

Réglementation

Recommandations OMS depuis 2006
Révisées en 2017 puis 2021

Smog indo-pakistanaï
2024 : 950 µg/m³ PM2,5

Directive 2008/50/CE relative à la qualité de l’air
Révisée en 2024 (Directive 2024/2881 relative à la qualité de l’air)

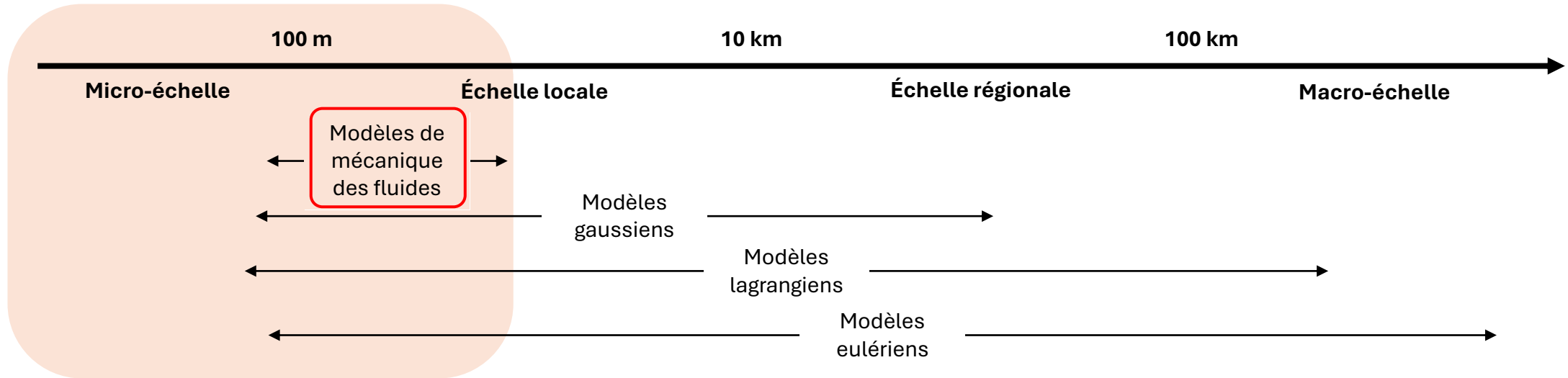
Polluant	Périodicité	Type de norme	Norme en vigueur		Norme révisée adoptée pour 2030	Dépassements autorisés	Valeurs guides de l'OMS (2021)
PM _{2,5}	Annuelle	Valeur limite	25 µg/m³	➔	10 µg/m³	-	5 µg/m³
	24h	Valeur limite	pas de norme	↓	25 µg/m³	18 fois/an	15 µg/m³
PM ₁₀	Annuelle	Valeur limite	40 µg/m³	➔	20 µg/m³	-	15 µg/m³
	24h	Valeur limite	50 µg/m³	➔	45 µg/m³	18 fois/an	45 µg/m³
O ₃	Moy.jour. max. sur 8h	Valeur cible	120 µg/m³	➔	120 µg/m³	18 j/an (moy. sur 3 ans)	100 µg/m³
	Moy.jour. max. sur 8h	Objectif à long terme	120 µg/m³	➔	100 µg/m³**	3 j./an	
NO ₂	Annuelle	Valeur limite	40 µg/m³	➔	20 µg/m³	-	10 µg/m³
	24h	Valeur limite	pas de norme	↓	50 µg/m³	18 fois/an	25 µg/m³
	1h	Valeur limite	200 µg/m³	➔	200 µg/m³	3 fois/an	-

Besoin des villes et collectivités

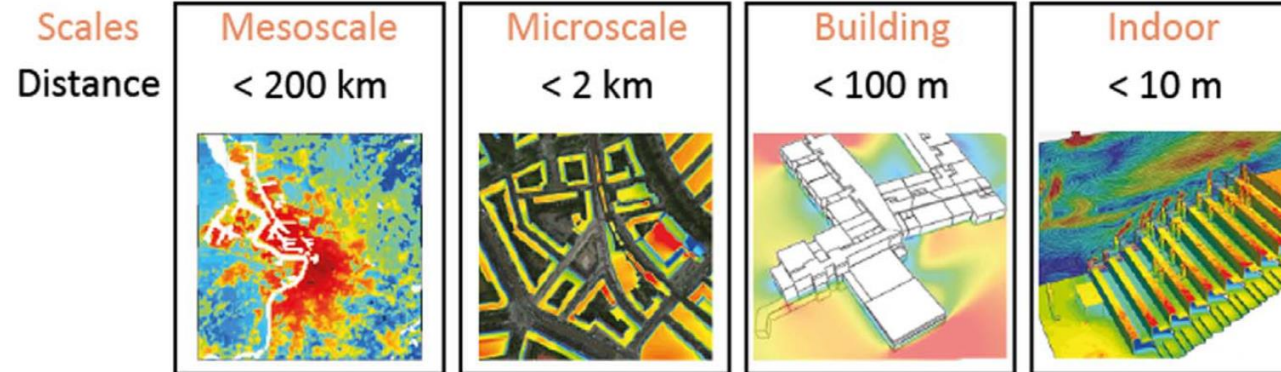
Être en mesure d’évaluer les concentrations en polluants atmosphériques

🕒 Evolution des normes européennes (CITEPA : https://www.citepa.org/fr/2024_04_a04/)

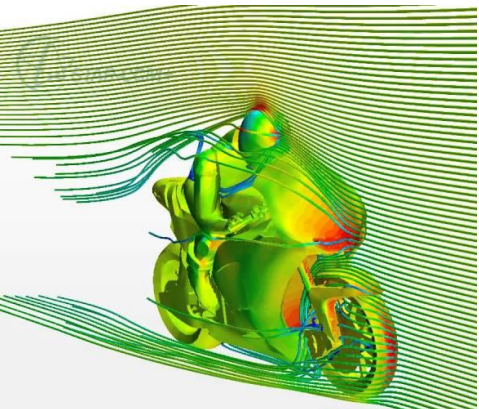
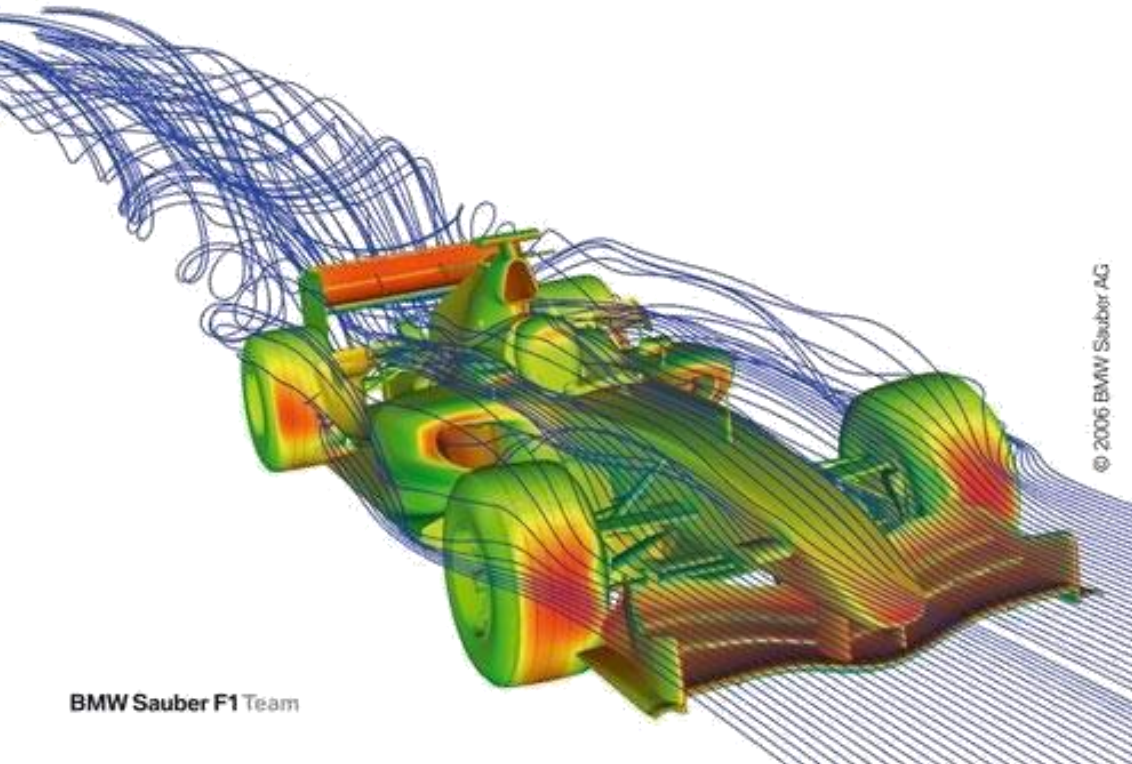
La mécanique des fluides numérique (CFD), un outil pertinent et adapté au contexte urbain



Michelot, N., Carrega, P., & Rouil, L. (2015). Panorama de la modélisation de la dispersion atmosphérique. *POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE*, 9.

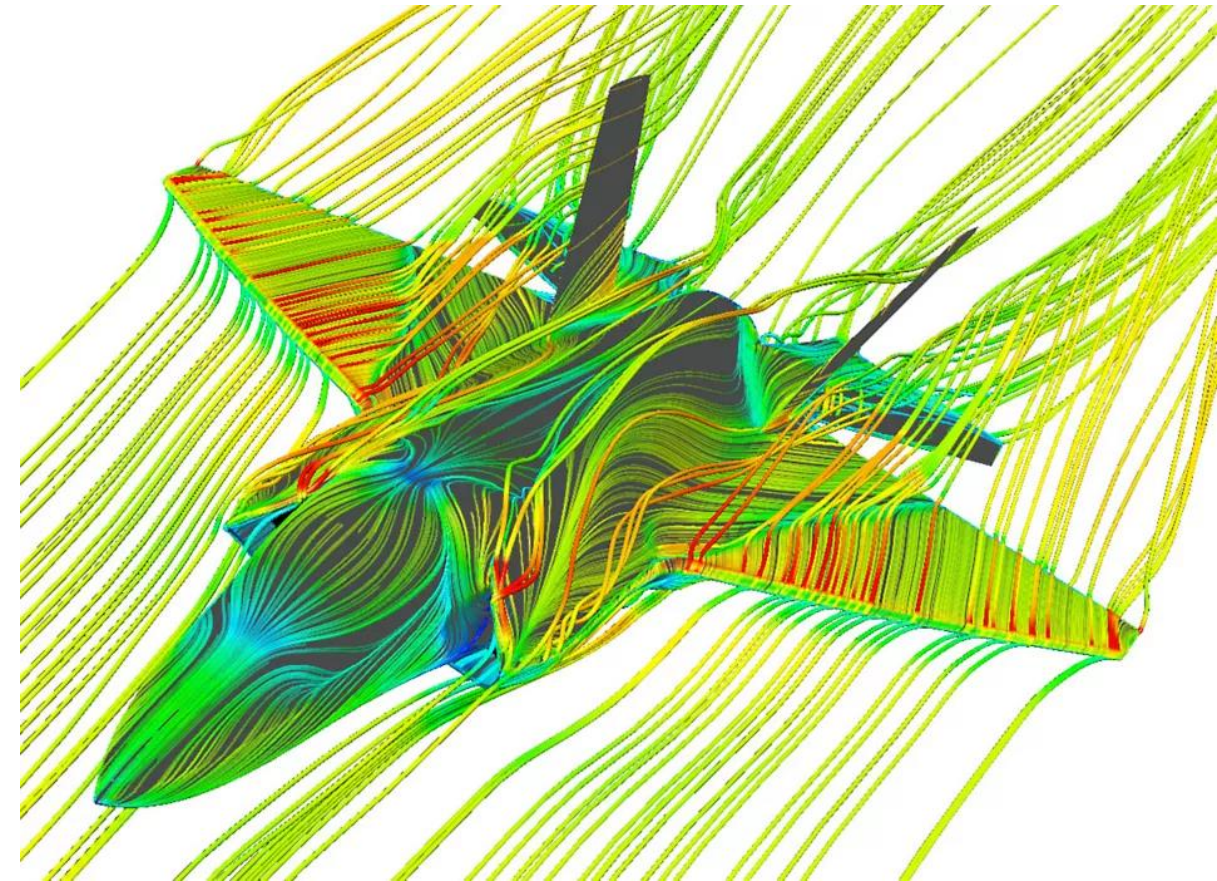


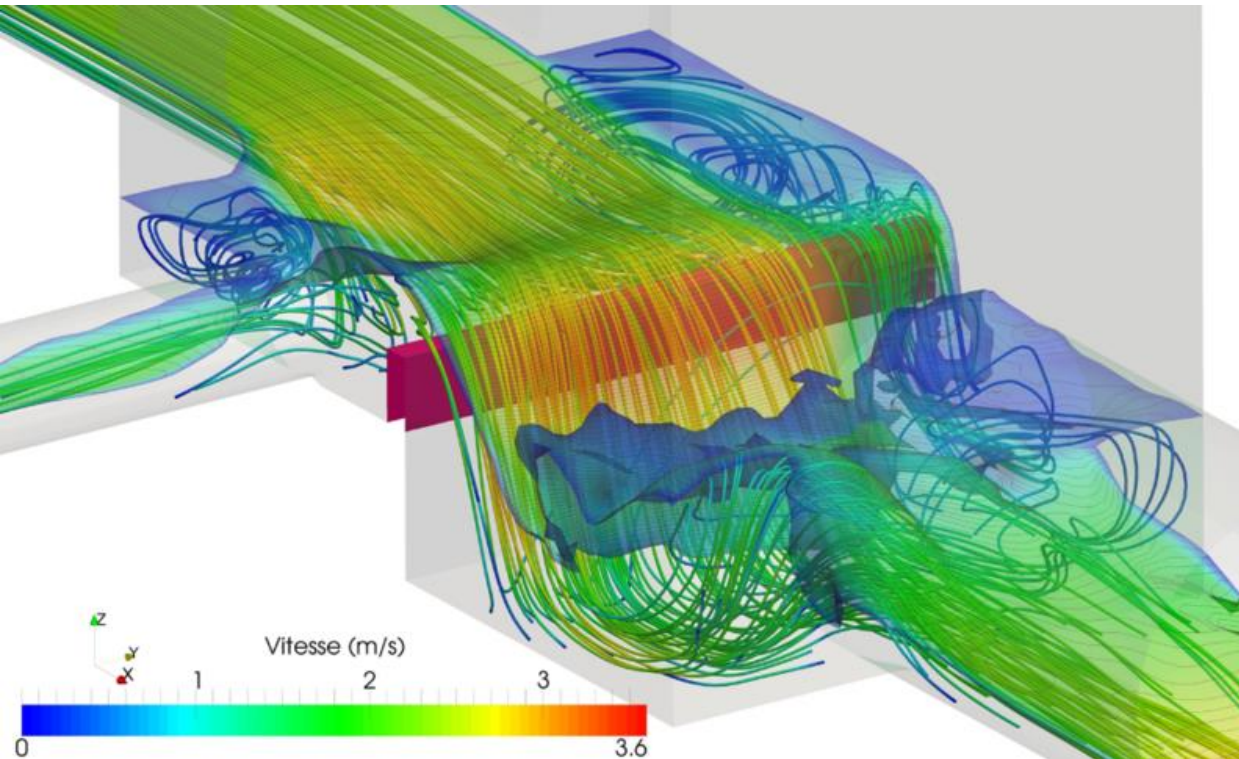
Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., & van Heijst, G. J. F. (2017). A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1613–1640. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.248>



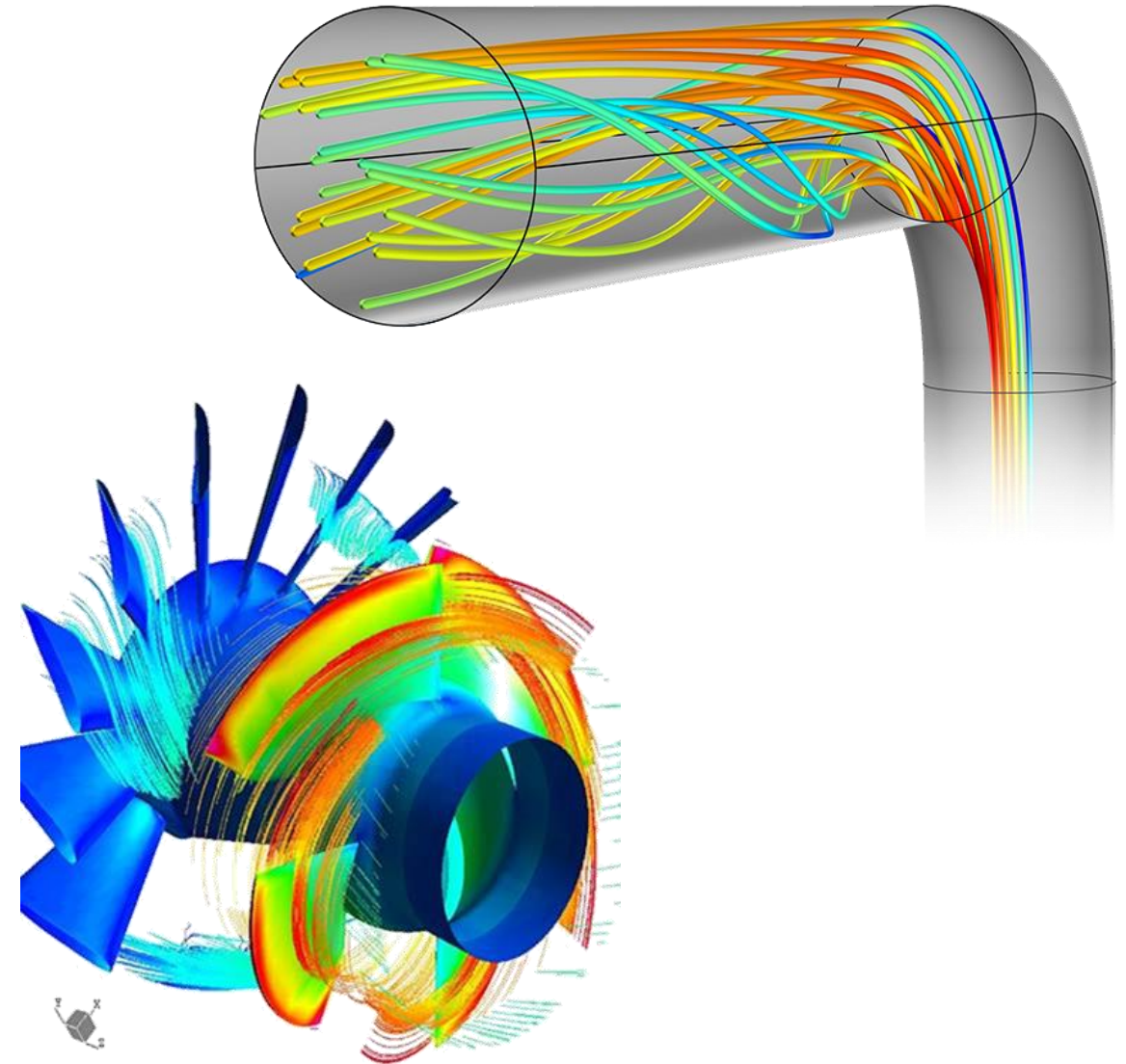
Très utilisé dans tous les domaines touchant à l'aérodynamisme...

Résolution numérique des équations régissant le mouvement de fluides (équations d'Euler, de Navier-Stokes, de Boltzmann, etc.)





...mais pas uniquement



$$\nabla \cdot \mathbf{U} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot (\nabla \mathbf{U}) = -\frac{1}{\rho} \nabla P + \nu \Delta \mathbf{U}$$

Equation de Navier-Stokes (sans énergie), fluide incompressible...

Méthode RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes)

Modèles de turbulence isotropiques à deux équations : k-ε standard et variantes (RNG, realizable, ...)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0$$

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \left(2\mu_{eff} D(\mathbf{u}) \right) - \nabla \cdot \left(\frac{2}{3} \mu_{eff} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \right) + \rho \mathbf{g}$$

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} e) + \frac{\partial \rho K}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} K) + \nabla \cdot (\mathbf{u} p) = \nabla \cdot (\alpha_{eff} \nabla e) + \rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{u}$$

Equation de Navier-Stokes (**avec** énergie), fluide **compressible**...

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C \mathbf{U}) - \nabla \cdot (D \nabla C) = 0$$

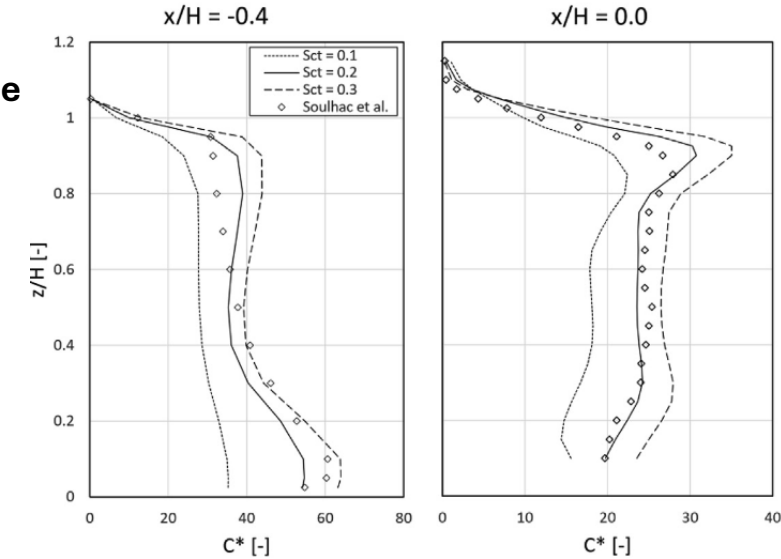
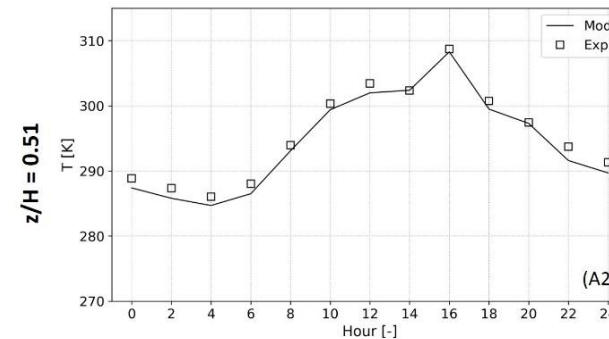
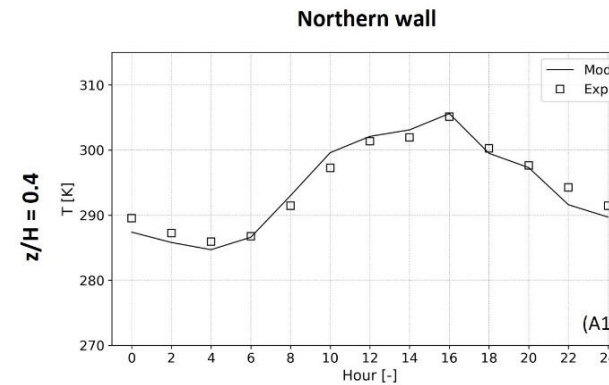
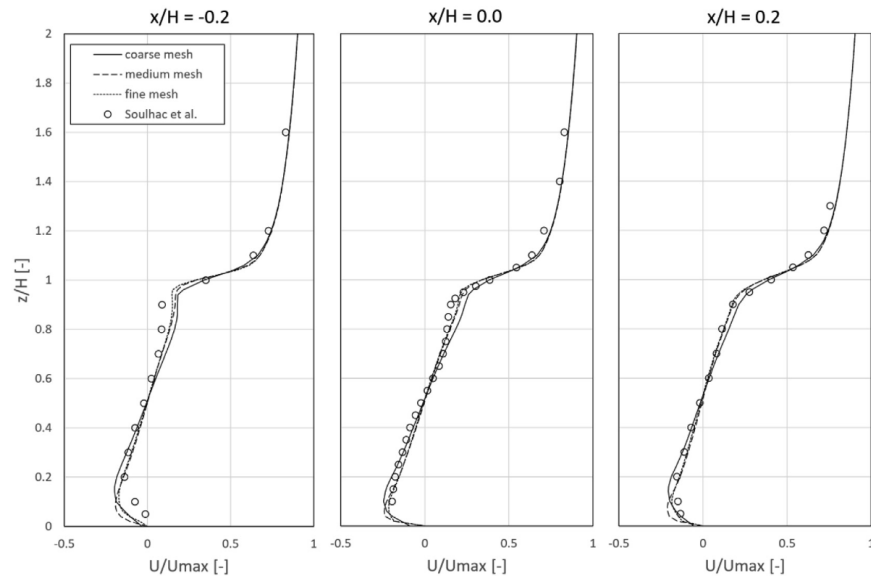
$$D = D_m + D_t = \frac{\nu}{Sc} + \frac{\nu_t}{Sc_t}$$

Equation d'advection-diffusion turbulente d'un polluant inerte

Pas de modèle adapté disponible en libre accès, développement d'un nouveau modèle sous OpenFOAM :



Validation préalable des modèles contre données expérimentales issues d'expériences en soufflerie

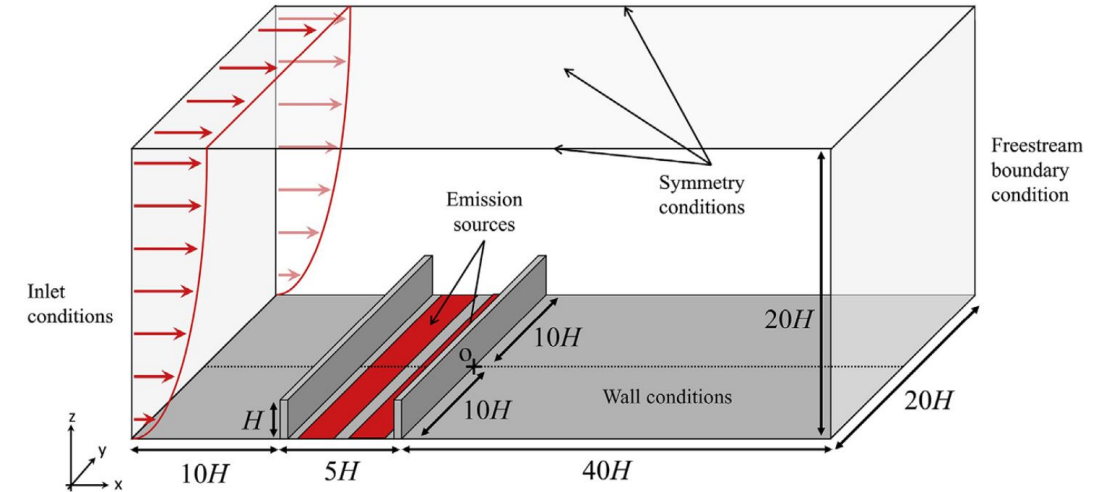
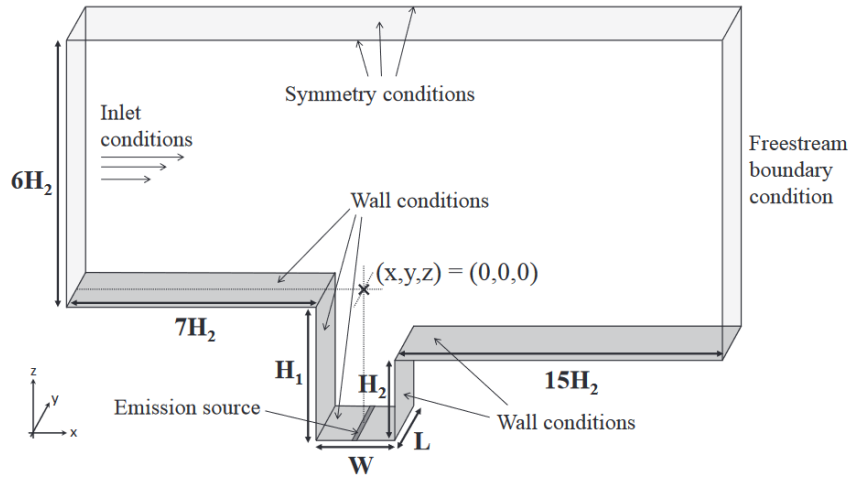


Reiminger, N., Vazquez, J., Blond, N., Dufresne, M., & Wertel, J. (2020). CFD evaluation of mean pollutant concentration variations in step-down street canyons. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 196, 104032. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.104032>

Reiminger, N., Jurado, X., Maurer, L., Vazquez, J., Wemmert, C. (N/A). Advancing Urban Air Quality Modeling with Solar Radiation-included Computational Fluid Dynamics Simulations. Submitted to Atmospheric Pollution Research (under minor revision).

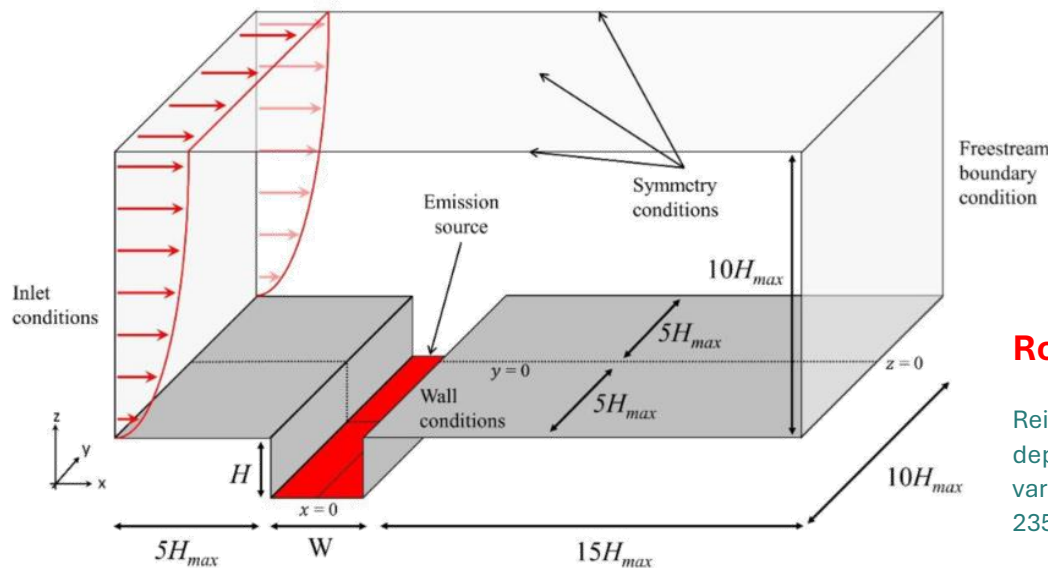
Reiminger, N., Vazquez, J., Blond, N., Dufresne, M., & Wertel, J. (2020). CFD evaluation of mean pollutant concentration variations in step-down street canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 196, 104032. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2019.104032>

Rues canyon



Reiminger, N., Jurado, X., Vazquez, J., Wemmert, C., Blond, N., Dufresne, M., & Wertel, J. (2020). Effects of wind speed and atmospheric stability on the air pollution reduction rate induced by noise barriers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 200, 104160. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104160>

Murs antibruit



Routes encaissées

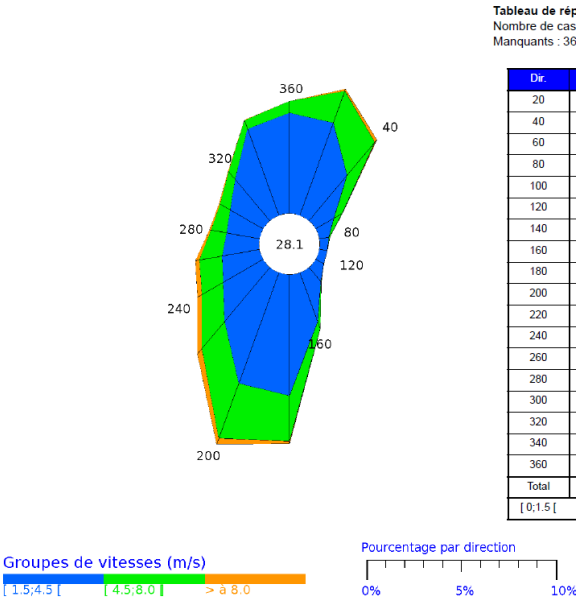
Reiminger, N., Jurado, X., Maurer, L., Vazquez, J., & Wemmert, C. (2023). Influence of depressed road configuration on downwind pollutant concentrations: A CFD study under various thermal stability conditions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 235, 105361. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2023.105361>

La météorologie, une problématique importante

Combien de directions modéliser ?

Quelles vitesses de vent ?

Comment faire pour calculer des moyennes annuelles tout en limitant les temps de calcul ?



Dir.	[1.5;4.5[	[4.5;8.0[	> 8.0 m/s	Total
20	5.2	1.8	0.1	7.1
40	3.1	2.3	0.2	5.6
60	1.1	0.5	+	1.6
80	0.5	+	0.0	0.6
100	0.4	+	0.0	0.4
120	0.5	0.0	0.0	0.5
140	1.0	+	0.0	1.0
160	2.7	0.4	+	3.1
180	6.4	2.4	0.1	8.9
200	6.2	3.1	0.3	9.6
220	3.7	1.8	0.4	6.0
240	2.4	1.3	0.3	4.0
260	2.0	1.2	0.2	3.4
280	1.8	0.8	+	2.7
300	2.0	0.6	+	2.7
320	2.8	0.6	+	3.4
340	4.8	0.5	+	5.3
360	5.3	0.6	+	5.9
Total	52.1	17.9	1.9	71.9
[0;1.5[				28.1

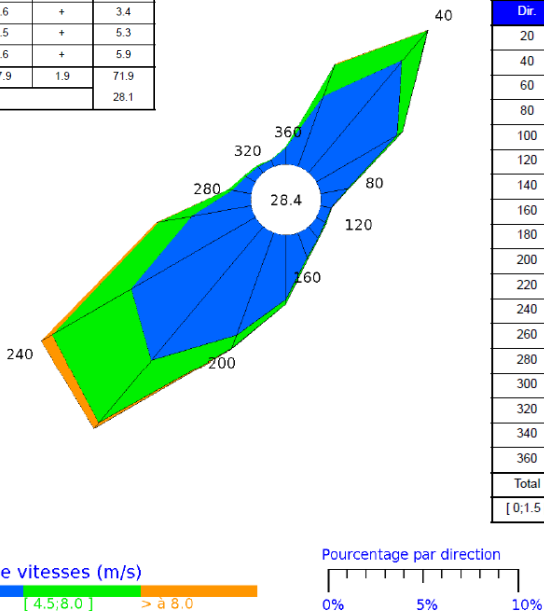


Tableau de répartition
Nombre de cas étudiés : 58440
Manquants : 294

Dir.	[1.5;4.5[	[4.5;8.0[	> 8.0 m/s	Total
20	3.9	1.7	+	5.7
40	7.7	2.1	+	9.8
60	4.9	0.3	0.0	5.2
80	1.5	+	0.0	1.5
100	0.6	+	0.0	0.6
120	0.5	+	0.0	0.6
140	0.8	+	0.0	0.9
160	1.4	+	0.0	1.5
180	3.4	0.3	0.0	3.7
200	5.7	0.8	+	6.5
220	9.2	4.3	0.4	13.9
240	7.5	4.8	0.6	13.0
260	3.2	1.8	0.1	5.1
280	1.0	0.2	+	1.2
300	0.6	0.1	0.0	0.7
320	0.4	0.1	0.0	0.5
340	0.4	+	0.0	0.4
360	0.9	+	0.0	0.9
Total	53.5	16.8	1.3	71.6
[0;1.5[				28.4

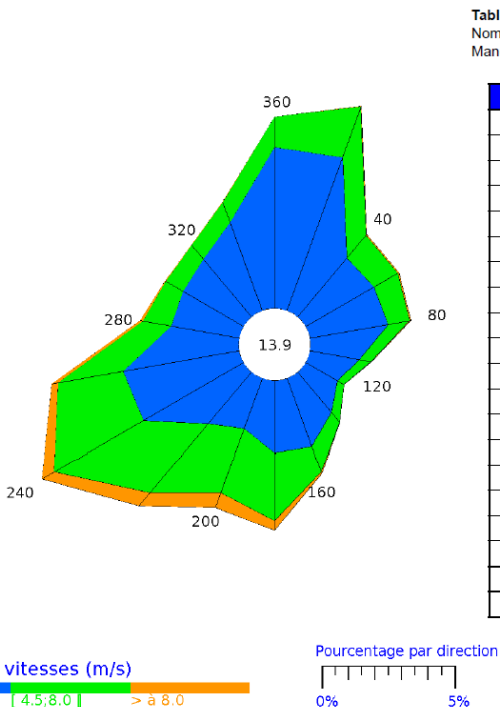
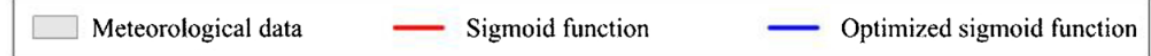
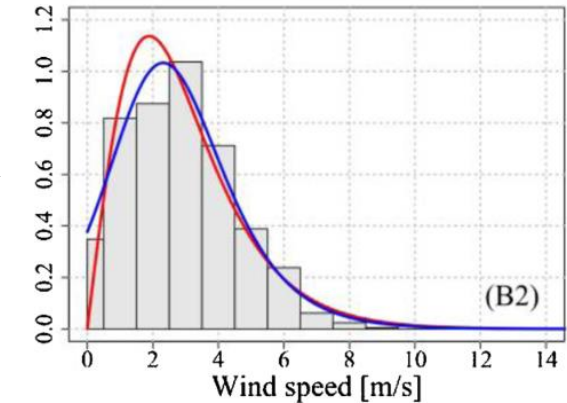
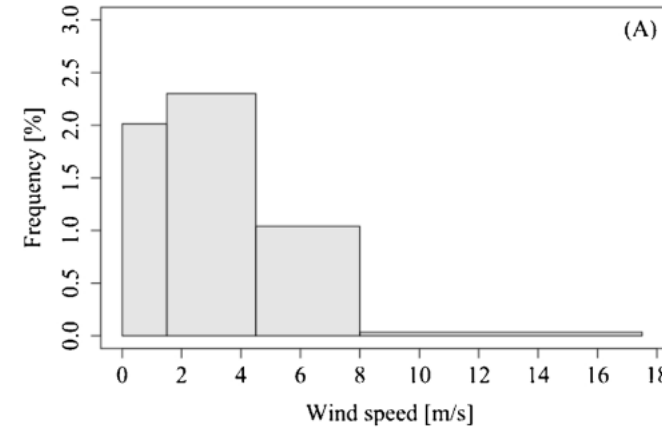
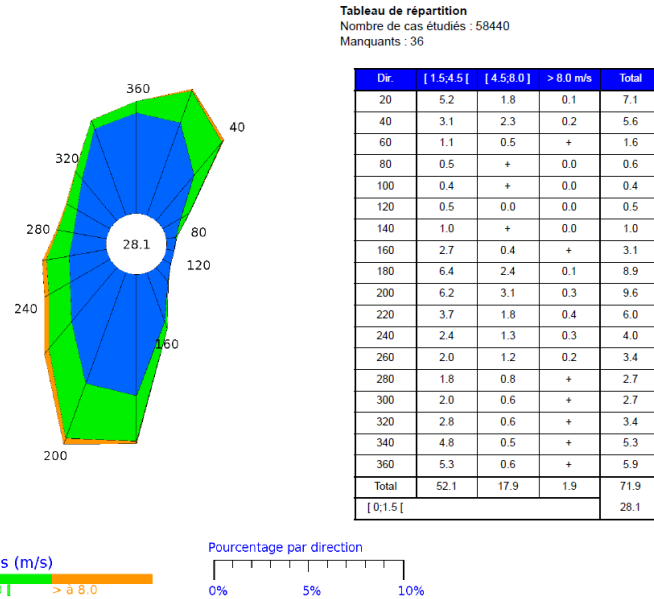


Tableau de répartition
Nombre de cas étudiés : 58440
Manquants : 35

Dir.	[1.5;4.5[	[4.5;8.0[	> 8.0 m/s	Total
20	6.1	2.0	+	8.2
40	2.9	1.1	+	4.0
60	3.0	1.0	+	4.1
80	3.0	0.8	+	3.9
100	1.9	0.4	+	2.4
120	1.4	0.3	0.0	1.7
140	2.0	0.5	+	2.5
160	2.7	1.0	+	3.8
180	2.7	2.5	0.4	5.6
200	2.0	2.6	0.6	5.2
220	2.5	3.4	0.7	6.6
240	4.3	3.9	0.5	8.8
260	4.4	2.5	0.3	7.2
280	2.6	1.1	0.1	3.8
300	2.6	0.7	+	3.4
320	2.8	0.7	+	3.5
340	3.5	0.8	+	4.4
360	6.1	1.1	+	7.2
Total	56.6	26.6	2.9	86.1
[0;1.5[				13.9

COMMENT MODÉLISER LA ROSE DES VENTS INTÉGRALEMENT ?



Lien entre concentrations et vitesses du vent incident :

$$C_{U_1} \times U_1 = C_{U_2} \times U_2 \rightarrow C_U = \frac{C_{U_{ref}} \times U_{ref}}{U}$$

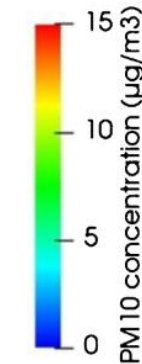
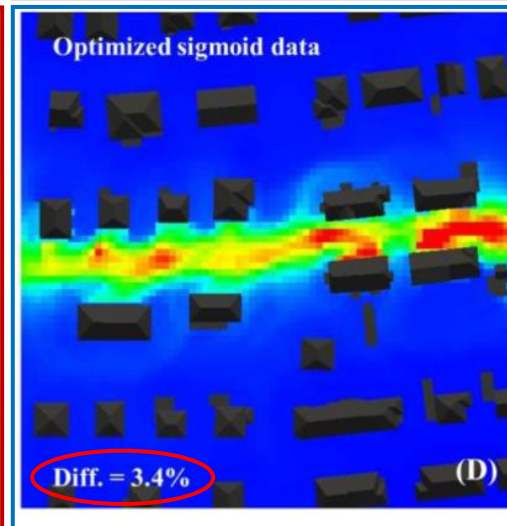
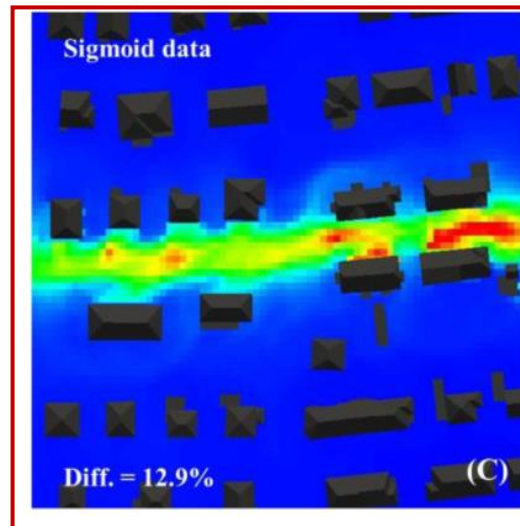
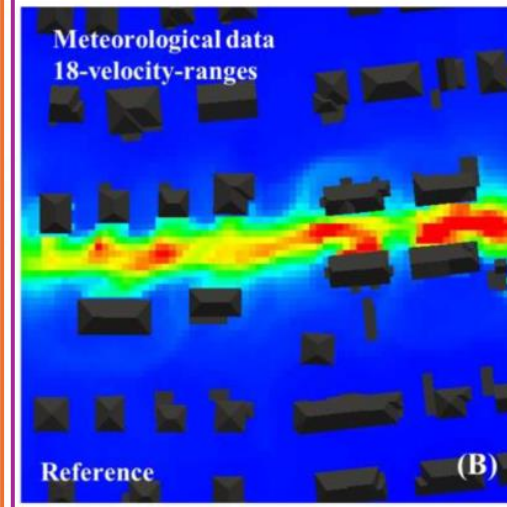
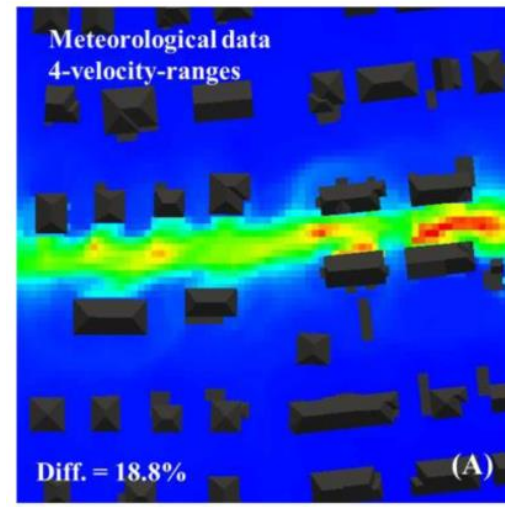
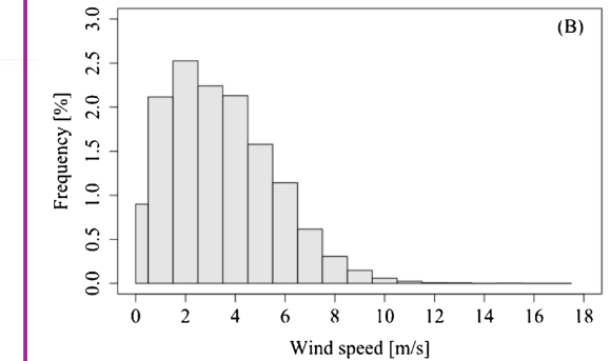
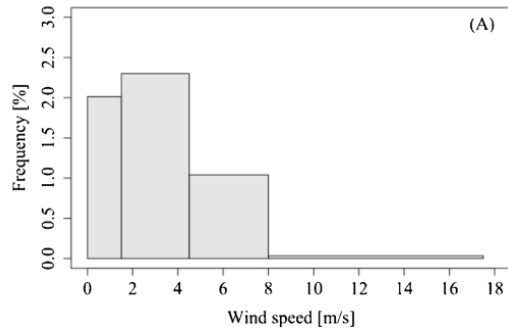
Reiminger, N., Jurado, X., Vazquez, J., Wemmert, C., Blond, N., Dufresne, M., & Wertel, J. (2020). Effects of wind speed and atmospheric stability on the air pollution reduction rate induced by noise barriers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 200, 104160. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104160>

Interpolation continue des roses des vents discrètes :

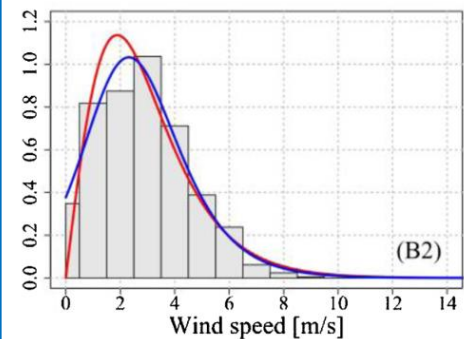
$$f(v) = \alpha \cdot \left(-1 + \frac{1}{1 + \beta_1 \cdot e^{-\gamma_1 \cdot v}} + \frac{1}{1 + \beta_2 \cdot e^{\gamma_2 \cdot v}} \right)$$

Reiminger, N., Jurado, X., Vazquez, J., Wemmert, C., Blond, N., Wertel, J., & Dufresne, M. (2020). Methodologies to assess mean annual air pollution concentration combining numerical results and wind roses. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102221. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102221>

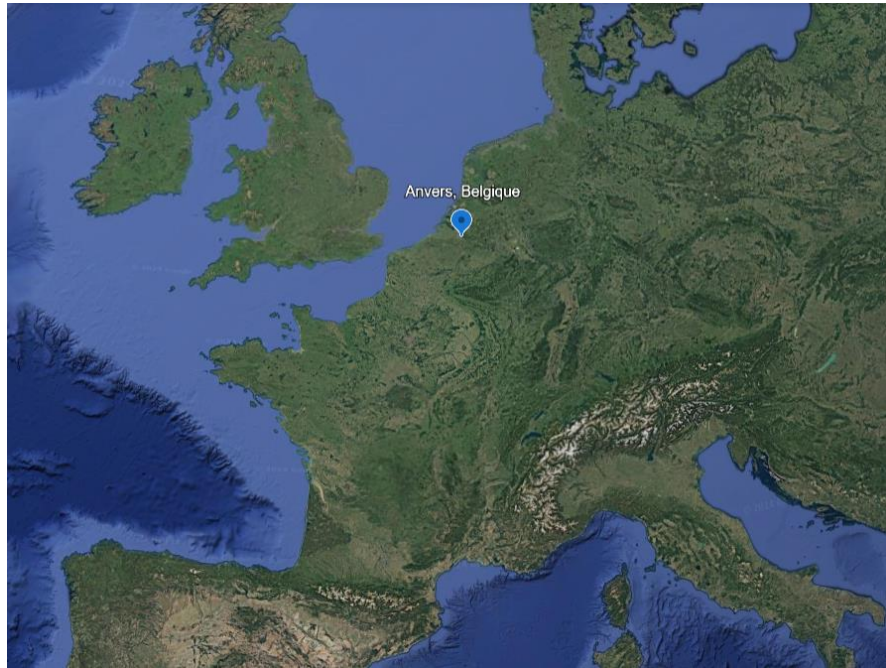
COMMENT MODÉLISER LA ROSE DES VENTS INTÉGRALEMENT ?



Erreur de la méthode : 3,4 %



Reiminger, N., Jurado, X., Vazquez, J., Wemmert, C., Blond, N., Wertel, J., & Dufresne, M. (2020). Methodologies to assess mean annual air pollution concentration combining numerical results and wind roses. Sustainable Cities and Society, 59, 102221. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102221>



Google Earth



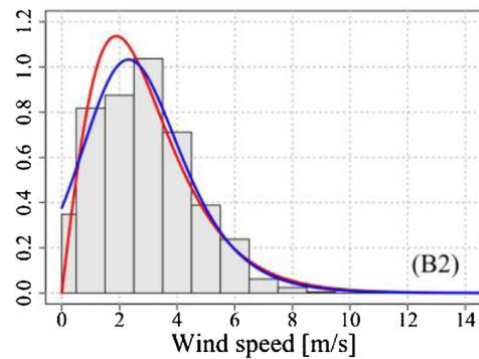
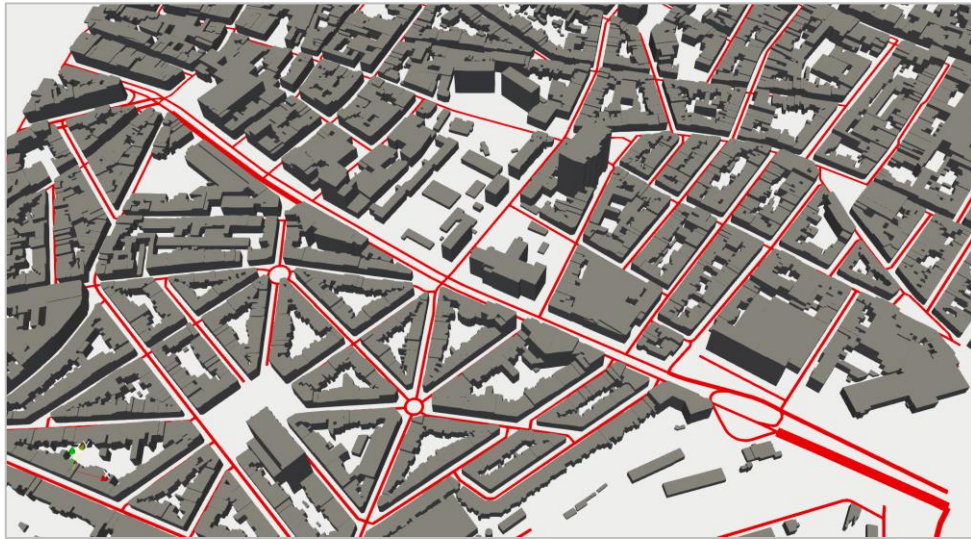
Google Earth

Cas test en conditions réelles :

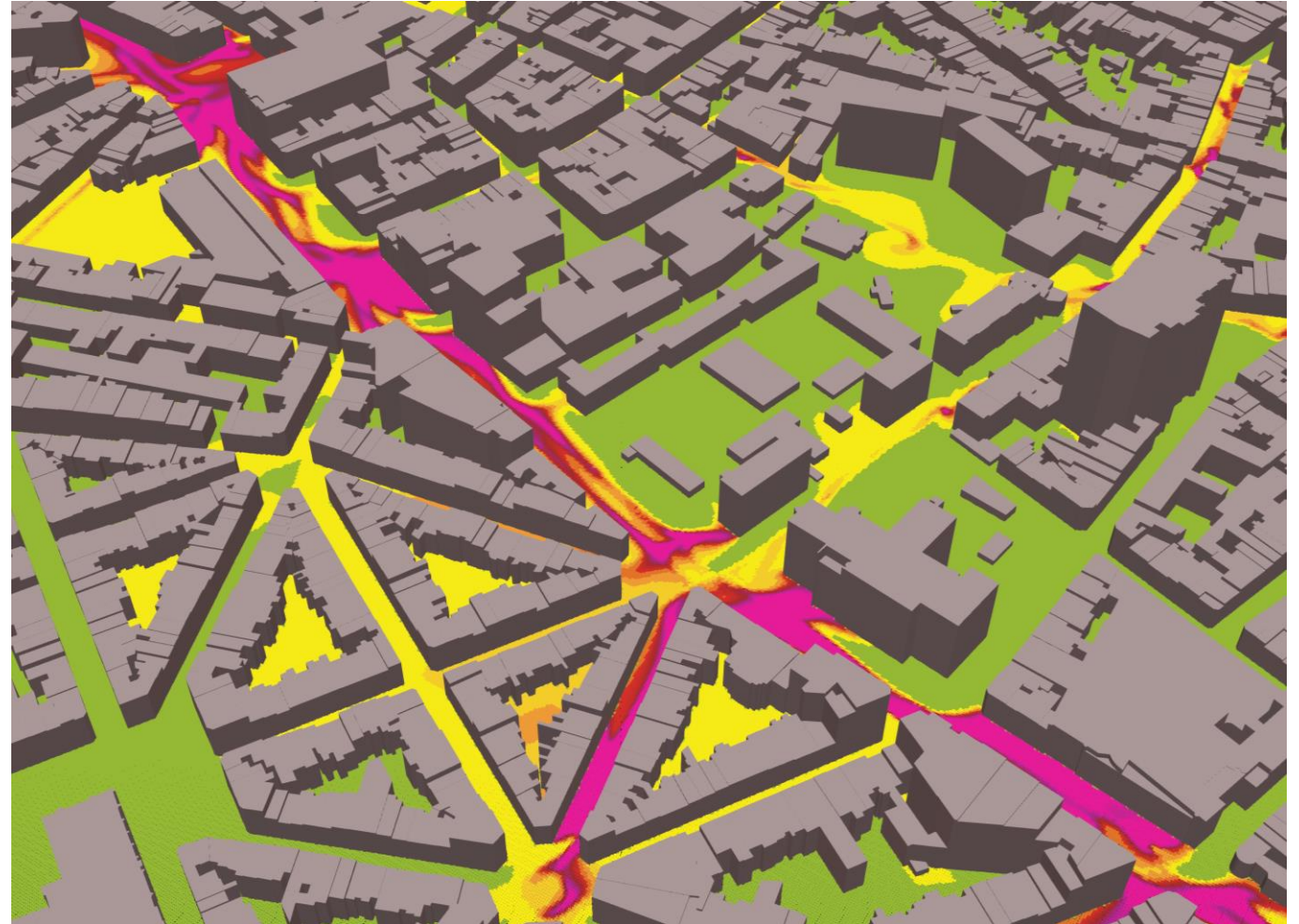
Anvers, Belgique

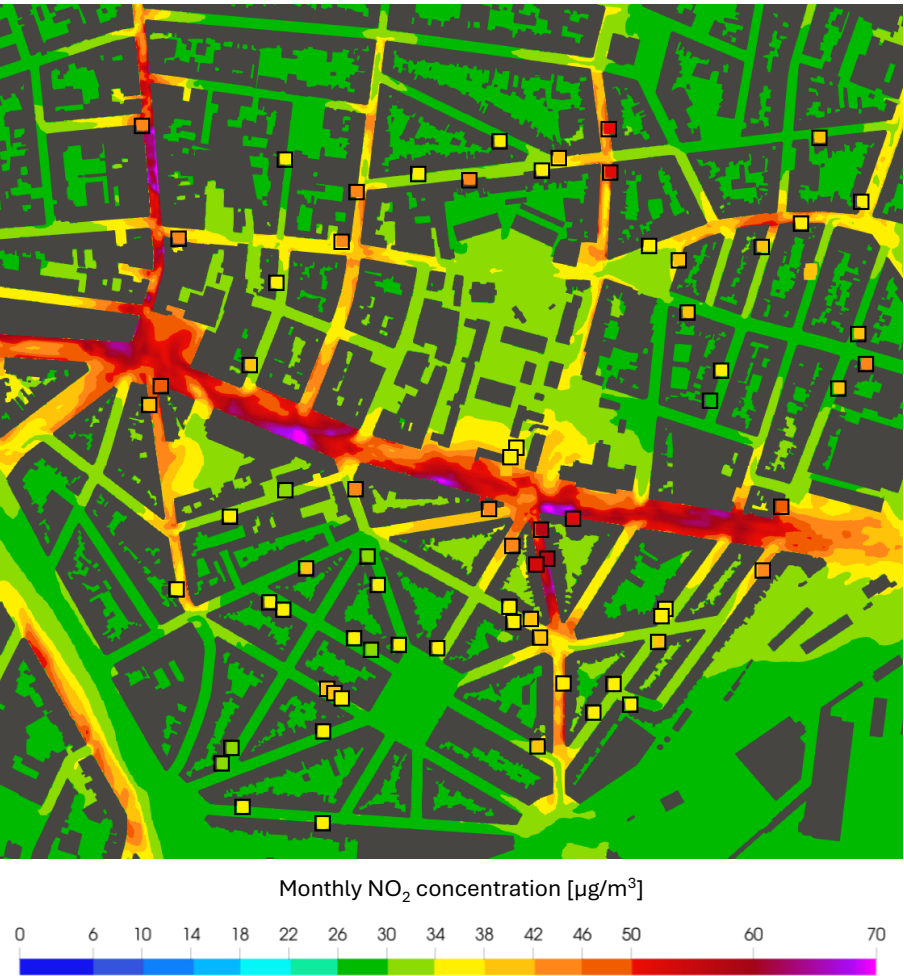
800 x 800 m² / +70 capteurs (moyenne mensuelle)

QU'EN EST-IL SUR UN CAS RÉEL ? LE CAS D'ANVERS, BELGIQUE



$$f(v) = \alpha \cdot \left(-1 + \frac{1}{1 + \beta_1 \cdot e^{-\gamma_1 \cdot v}} + \frac{1}{1 + \beta_2 \cdot e^{\gamma_2 \cdot v}} \right)$$





Calculation decomposition	NO _x /NO ₂ model	<i>FAC2</i>	<i>FB</i>	<i>MFB</i>	<i>MFE</i>	<i>NMSE</i>	<i>MRE</i>	<i>R</i>	<i>NSD</i>	<i>Target</i>
	PSS	1.00	0.28	0.38	0.38	0.11	0.33	0.78	0.85	1.34
Hourly, NO _x background, eq. (15)	Derwent and Middleton	1.00	0.43	0.56	0.56	0.21	0.41	0.77	1.59	3.22
	Bächlin et al.	1.00	0.34	0.42	0.42	0.14	0.55	0.77	1.45	2.56
Hourly, NO ₂ background, eq. (16)	PSS	1.00	0.05	0.08	0.15	0.02	0.14	0.78	0.80	0.67
	Derwent and Middleton	1.00	0.09	0.11	0.15	0.02	0.14	0.78	1.04	0.84
Averaged, NO _x background, eq. (17)	Derwent and Middleton	1.00	0.09	0.11	0.15	0.02	0.14	0.78	1.11	0.90
	Bächlin et al.	1.00	0.25	0.30	0.30	0.08	0.29	0.77	1.11	1.55
Averaged, NO ₂ background, eq. (18)	Derwent and Middleton	1.00	0.38	0.48	0.48	0.17	0.46	0.78	1.45	2.69
	Bächlin et al.	1.00	0.03	0.06	0.15	0.02	0.14	0.78	0.76	0.64
	Derwent and Middleton	1.00	0.03	0.05	0.14	0.02	0.13	0.76	0.89	0.68
	Bächlin et al.	1.00	0.03	0.05	0.14	0.02	0.13	0.76	0.89	0.68
Metrics' best value		1	0	0	0	0	0	1	1	0

Erreur tolérée sur les concentrations annuelles en NO₂ :

Directive 2008/50/CE : **30 %**

Erreur globale du modèle : < 15 % / **Max : 26 %**

Directive 2024/2881 : **8,4 µg/m³**

Erreur globale du modèle : ~ 5 µg/m³ / **P90 : 8,35 µg/m³** / **Max : 9,6 µg/m³**

Reiminger, N., Jurado, X., Maurer, L., Vazquez, J., & Wemmert, C. (2024). Modeling NO2 concentrations in real urban areas using computational fluid dynamics: A comparative analysis of methods to assess NO2 concentrations from NOx dispersion results. Sustainable Cities and Society, 103, 105286. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105286>



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



Using dispersion models at microscale to assess long-term air pollution in urban hot spots: A FAIRMODE joint intercomparison exercise for a case study in Antwerp

F. Martín^{a,*}, S. Janssen^b, V. Rodrigues^c, J. Sousa^b, J.L. Santiago^a, E. Rivas^a, J. Stocker^d, R. Jackson^d, F. Russo^e, M.G. Villani^e, G. Tinarelli^f, D. Barbero^f, R. San José^g, J.L. Pérez-Camanyo^g, G. Sousa Santos^h, J. Bartzisⁱ, I. Sakellarisⁱ, Z. Horváth^j, L. Környei^j, B. Liskai^j, Á. Kovács^j, X. Jurado^k, N. Reiminger^{k,1}, P. Thunis^m, C. Cuvelier^m

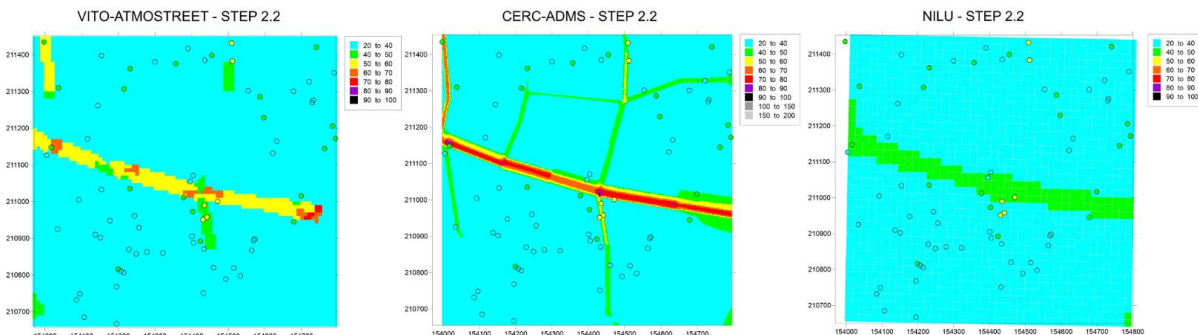
Martín, F., Janssen, S., Rodrigues, V., Sousa, J., Santiago, J. L., Rivas, E., Stocker, J., Jackson, R., Russo, F., Villani, M. G., Tinarelli, G., Barbero, D., José, R. S., Pérez-Camanyo, J. L., Santos, G. S., Bartzis, J., Sakellaris, I., Horváth, Z., Környei, L., ... Cuvelier, C. (2024). Using dispersion models at microscale to assess long-term air pollution in urban hot spots: A FAIRMODE joint intercomparison exercise for a case study in Antwerp. *Science of The Total Environment*, 925, 171761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171761>

Quels sont les modèles les plus adaptés **au contexte urbain** ?

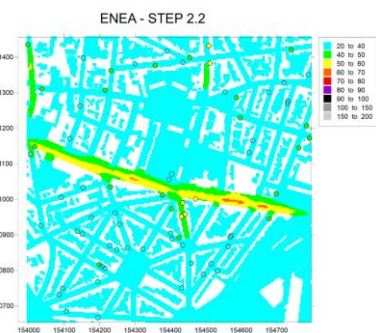


EXERCICE D'INTERCOMPARAISON EUROPÉEN (FAIRMODE)

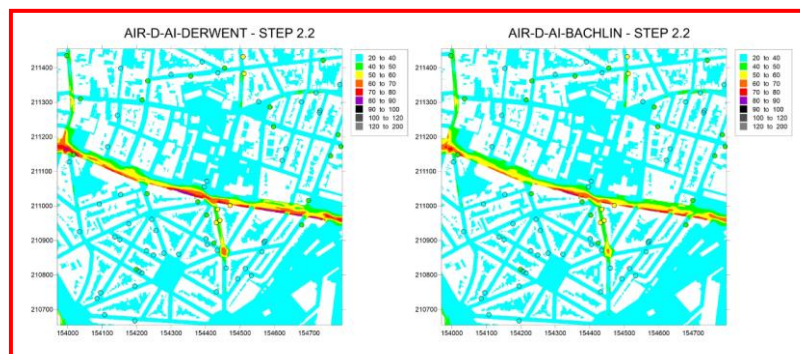
Modèles gaussiens



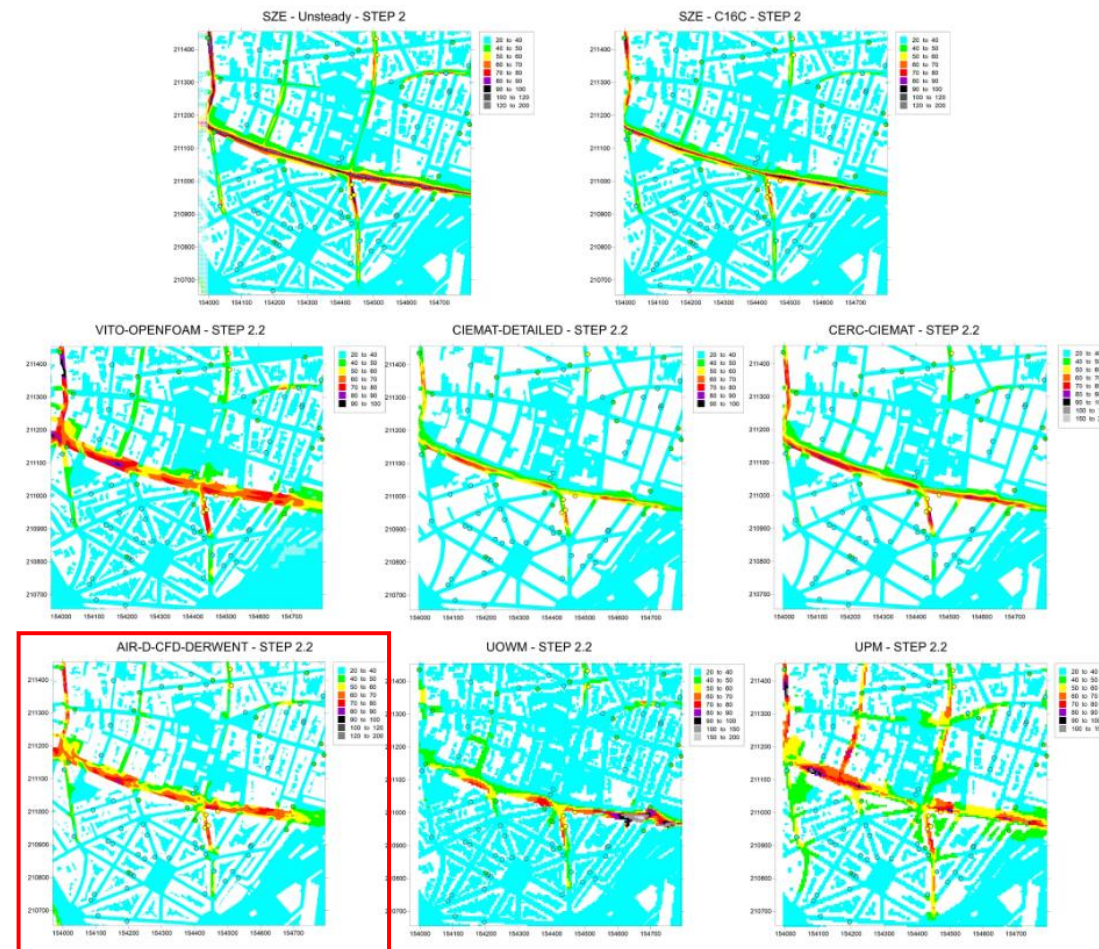
Modèle lagrangien



Modèle IA



Modèles CFD



Modèles CFD **les plus adaptés**

Modèles gaussiens **à éviter en ville**

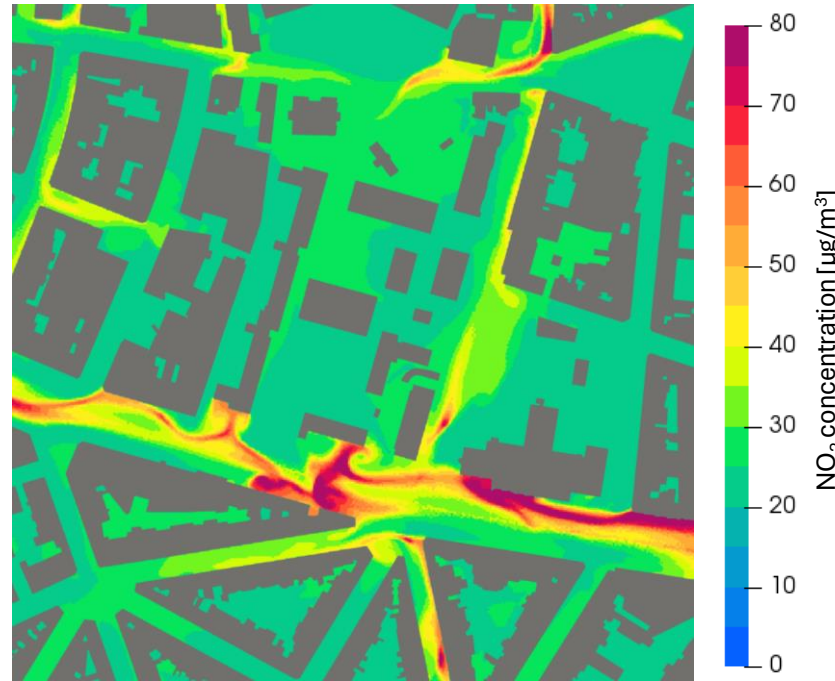
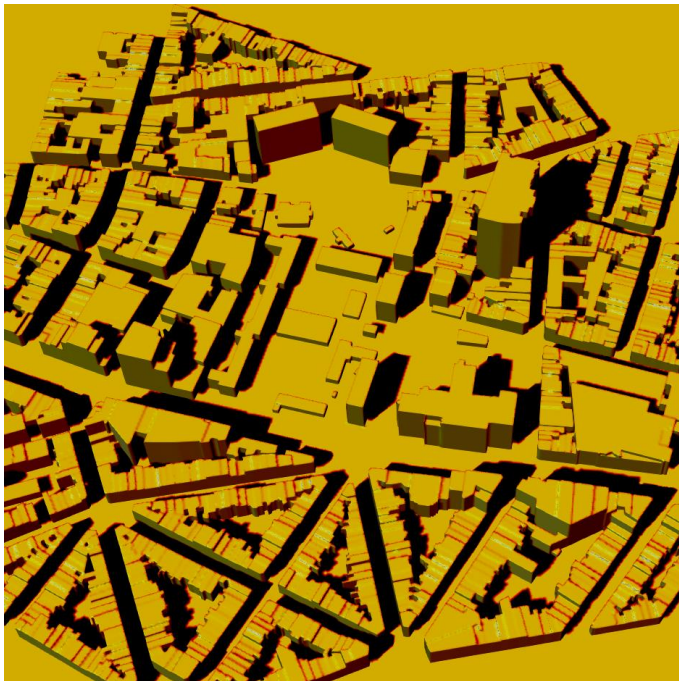
Conditions neutres adaptées **pour les moyennes mensuelles**

Martín, F., Janssen, S., Rodrigues, V., Sousa, J., Santiago, J. L., Rivas, E., Stocker, J., Jackson, R., Russo, F., Villani, M. G., Tinarelli, G., Barbero, D., José, R. S., Pérez-Camanyo, J. L., Santos, G. S., Bartzis, J., Sakellaris, I., Horváth, Z., Környei, L., ... Cuvelier, C. (2024). Using dispersion models at microscale to assess long-term air pollution in urban hot spots: A FAIRMODE joint intercomparison exercise for a case study in Antwerp. Science of The Total Environment, 925, 171761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171761>

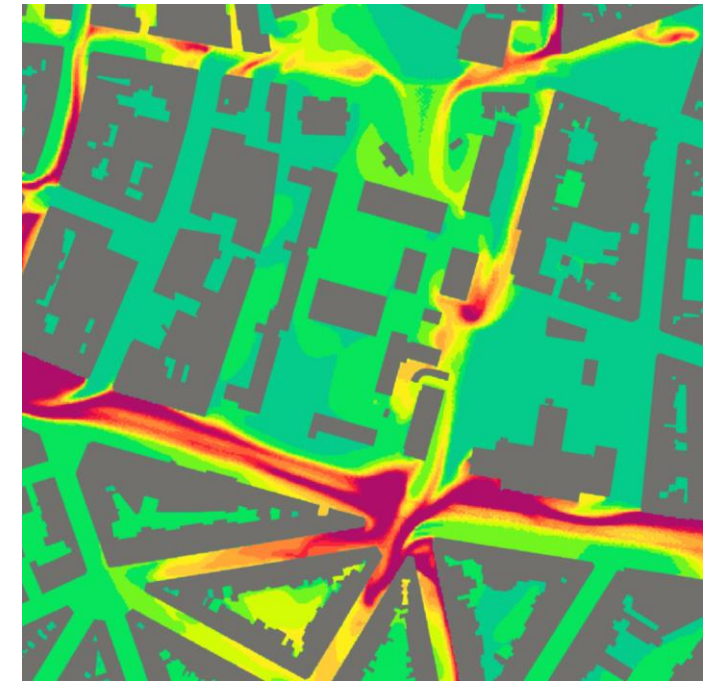
Quelles perspectives pour le futur de la modélisation CFD de la qualité de l'air en ville ?

Conditions neutres adaptées pour les moyennes mensuelles (et plus), **et pour les concentrations horaires ?**

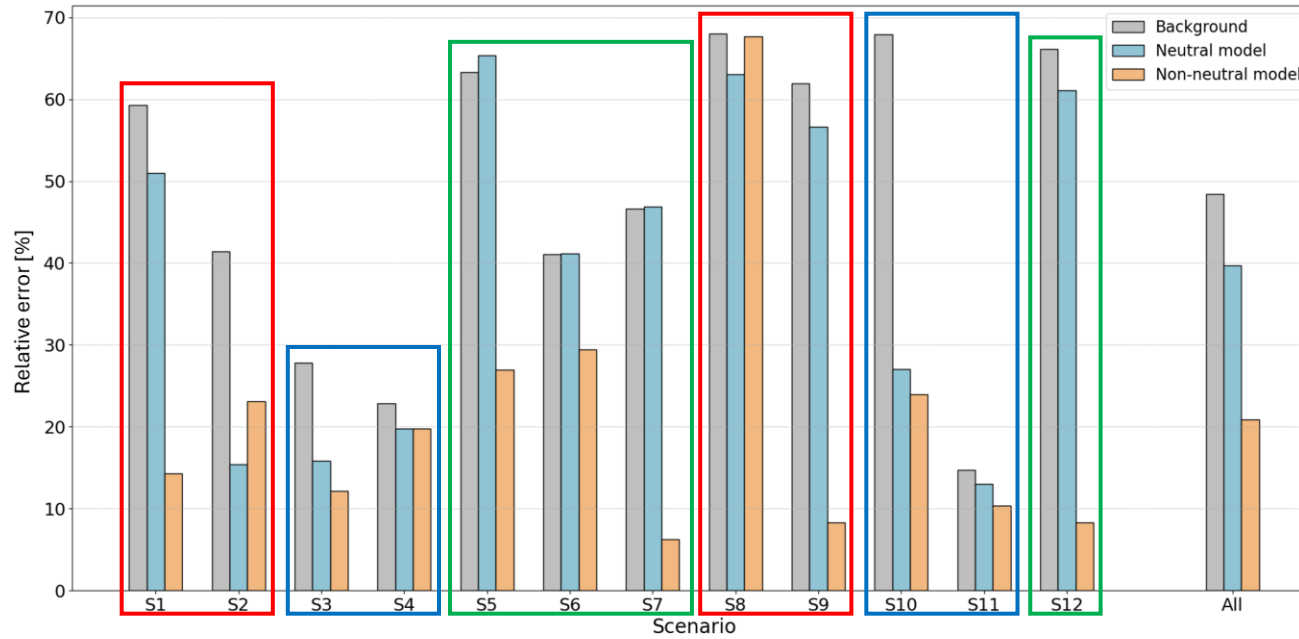
Conditions réelles (CLA instable dû à l'ensoleillement)



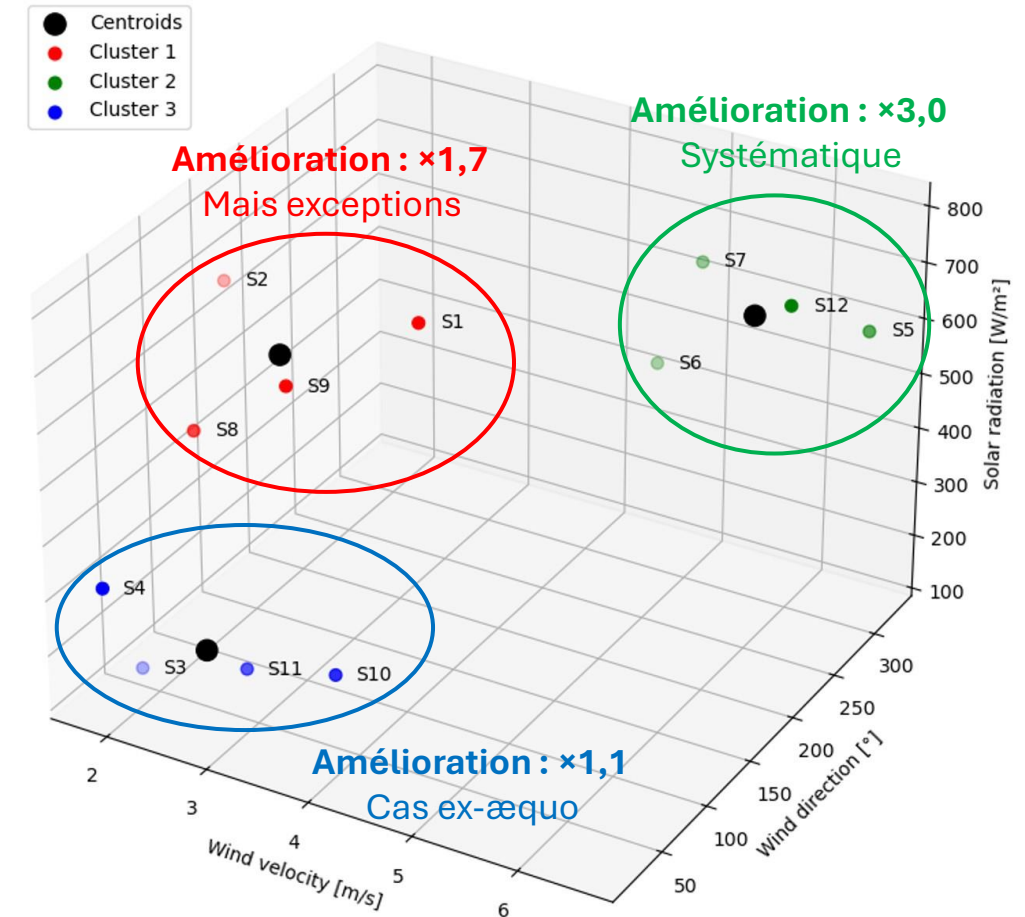
Conditions neutres



Reiminger, N., Jurado, X., Maurer, L., Vazquez, J., Wemmert, C. (N/A). Advancing Urban Air Quality Modeling with Solar Radiation-included Computational Fluid Dynamics Simulations. Submitted to Atmospheric Pollution Research (under minor revision).



Prise en compte des effets thermiques en situation réelle : **principale piste d'amélioration** des modèles CFD de qualité de l'air extérieur



Reiminger, N., Jurado, X., Maurer, L., Vazquez, J., Wemmert, C. (N/A). Advancing Urban Air Quality Modeling with Solar Radiation-included Computational Fluid Dynamics Simulations. Submitted to Atmospheric Pollution Research (under minor revision).

Les perspectives offertes par l'intelligence artificielle (IA)

Limites actuelles de la CFD :

Temps de calcul longs

Pas adapté à la de la modélisation horaire

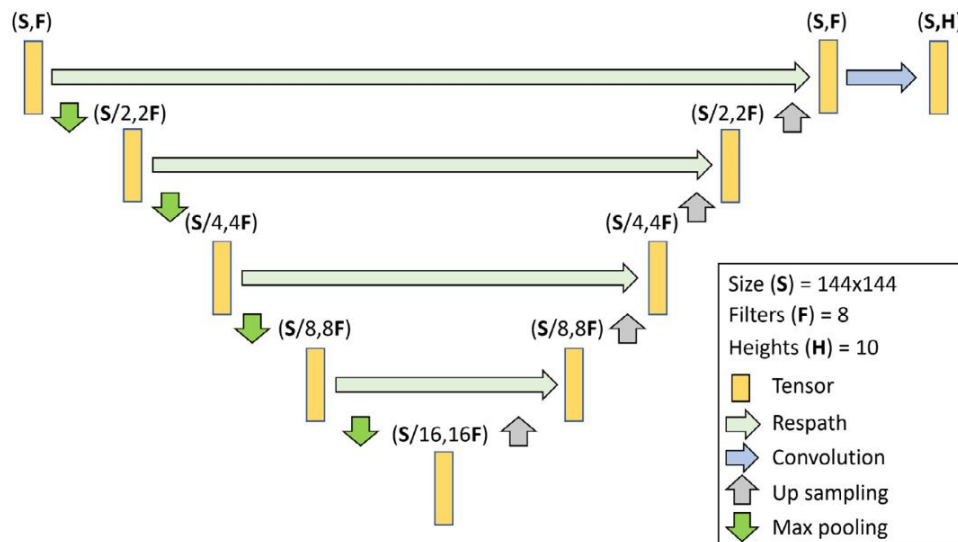
Pas adapté à l'aide à la décision/évaluation des politiques publiques

Solution : nouveau modèle

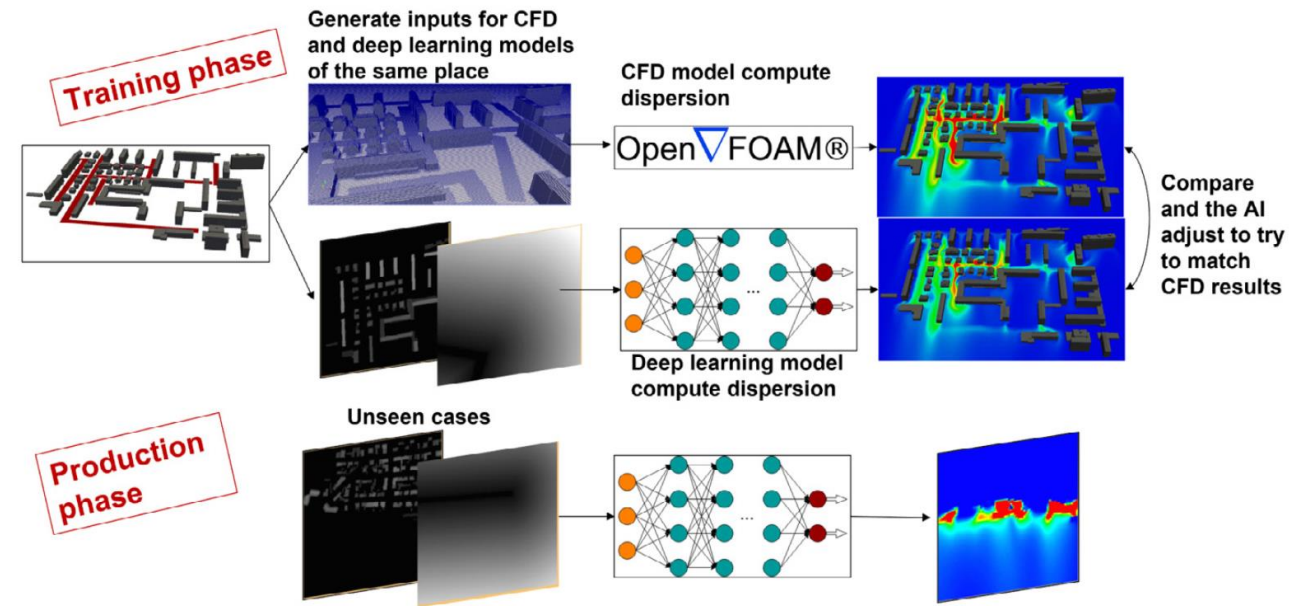
Reproduire la précision des résultats CFD

Approcher les temps de calcul des modèles gaussiens

Choix d'une architecture type CNN

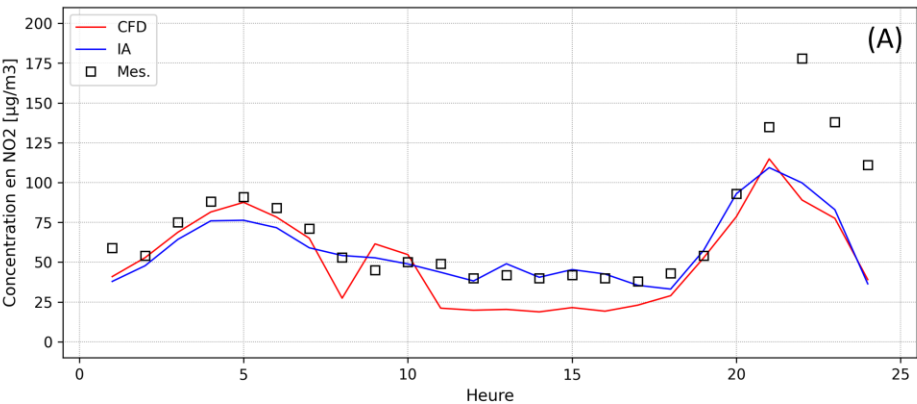


Jurado, X., Reiminger, N., Benmoussa, M., Vazquez, J., & Wemmert, C. (2022). Deep learning methods evaluation to predict air quality based on Computational Fluid Dynamics. Expert Systems with Applications, 203, 117294. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117294>



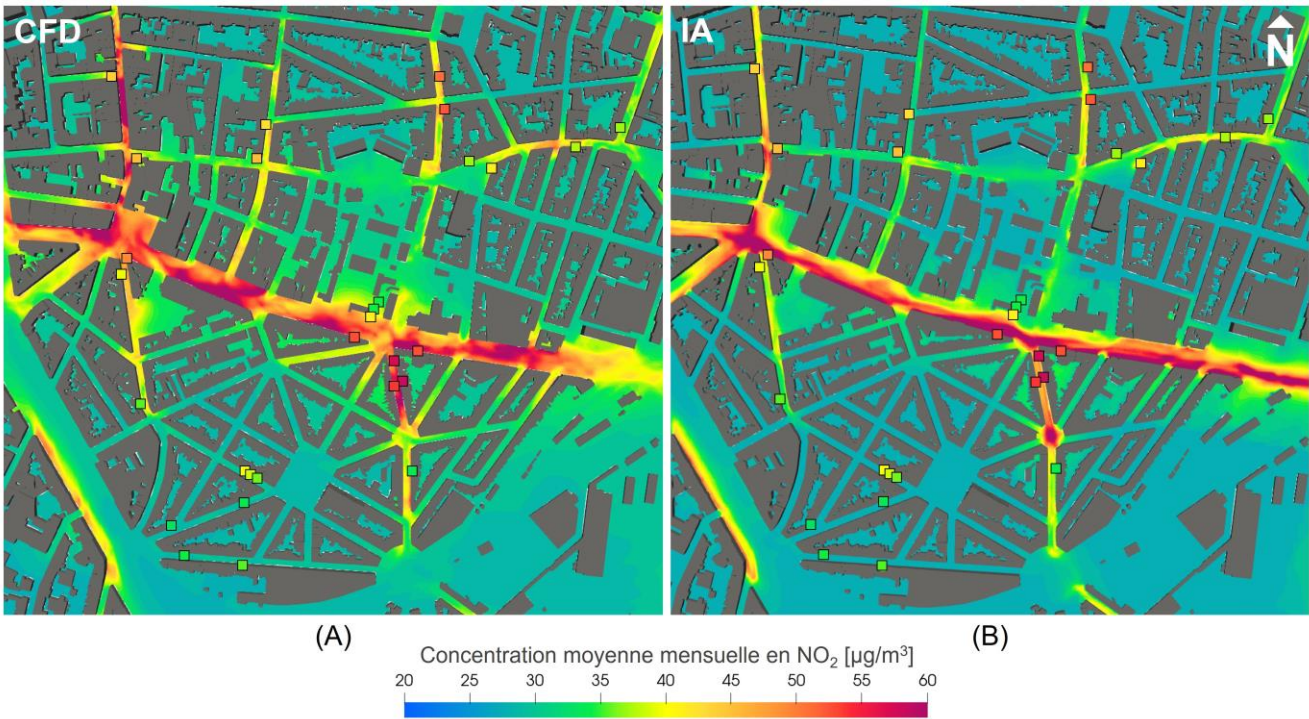
Jurado, X., Reiminger, N., Maurer, L., Vazquez, J., & Wemmert, C. (2023). Assessment of a deep learning model for monitoring atmospheric pollution: Case study in Antwerp, Belgium. Sustainable Cities and Society, 99, 104951. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104951>

Comparaison concentrations horaires



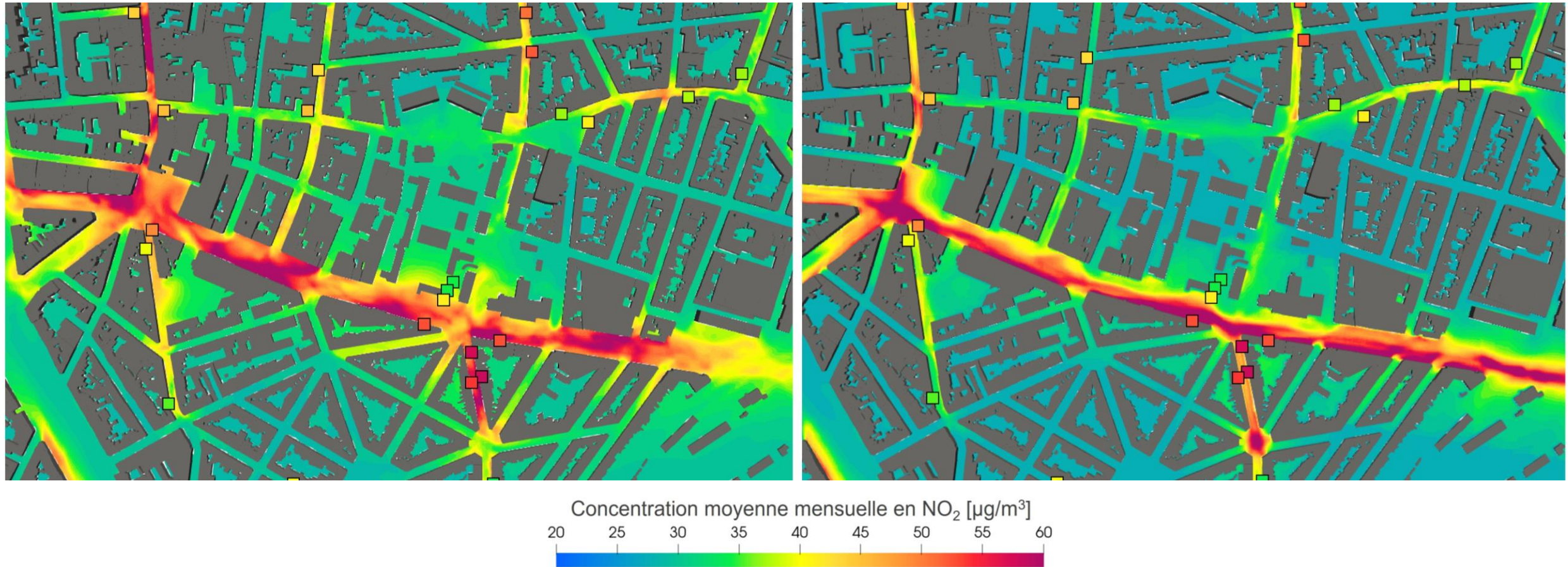
Modèle	FAC2	MFE	NMSE	MRE	R	NSD	Target
CFD	1,00	0,39	0,25	0,31	0,77	0,76	0,83
IA	1,00	0,20	0,17	0,17	0,81	0,58	0,73
Objectif	> 0,5*	–	< 1,5*	< 0,5***	> 0,65**	–	< 0,80**
Valeur parfaite	1	0	0	0	1	1	0

Comparaison concentrations mensuelles



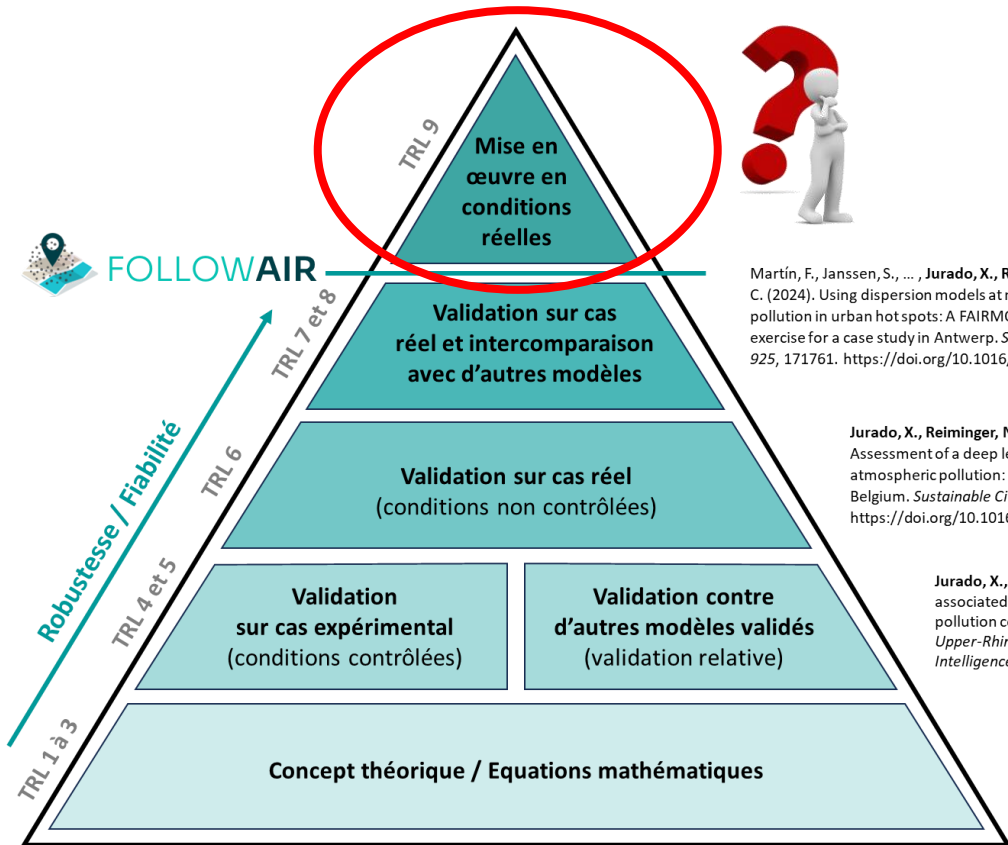
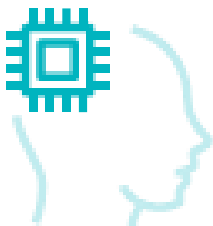
Modèle	FAC2	MFE	NMSE	MRE	R	NSD	Target
CFD	1,00	0,14	0,02	0,13	0,76	0,89	0,68
IA	1,00	0,17	0,06	0,18	0,72	0,82	1,20
Objectif	> 0,5*	–	< 1,5*	< 0,3***	> 0,65**	–	< 0,80**
Valeur parfaite	1	0	0	0	1	1	0

Reiminger, N., & Jurado, X. (2024). Modélisation micro-échelle de la qualité de l'air en milieu urbain par méthodes CFD et IA. Techniques Sciences Méthodes, 9, 41–53. <https://doi.org/10.36904/20240941>



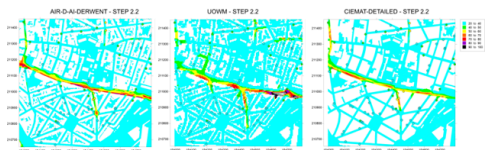
Accélération permise par l'IA : x 1 000 à x 10 000

Reiminger, N., & Jurado, X. (2024). Modélisation micro-échelle de la qualité de l'air en milieu urbain par méthodes CFD et IA. Techniques Sciences Méthodes, 9, 41–53. <https://doi.org/10.36904/20240941>

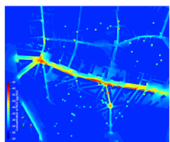


FOLLOWAIR

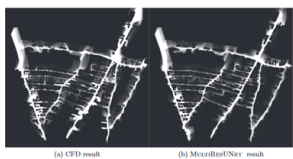
Martín, F., Janssen, S., ..., Jurado, X., Reiminger, N., Thunis, P., Cuvelier, C. (2024). Using dispersion models at microscale to assess long-term air pollution in urban hot spots: A FAIRMODE joint intercomparison exercise for a case study in Antwerp. *Science of The Total Environment*, 925, 171761. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171761>



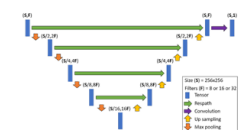
Jurado, X., Reiminger, N., ..., Wemmert, C. (2023). Assessment of a deep learning model for monitoring atmospheric pollution: Case study in Antwerp, Belgium. *Sustainable Cities and Society*, 99, 104951. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104951>



Jurado, X., Reiminger, ..., Wemmert, C. (2021). Deep Learning associated with Computational Fluid Dynamics to predict pollution concentration fields in urban areas. *UR-AI 2021 The Upper-Rhine Artificial Intelligence Symposium - Artificial Intelligence: Application in Life Sciences and Beyond*, 252.



Jurado, X., Reiminger, N., ..., Wemmert, C. (2022). Deep learning methods evaluation to predict air quality based on Computational Fluid Dynamics. *Expert Systems with Applications*, 203, 117294. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117294>



AERMOD
CALPUFF ADMS

Modèles gaussiens

MISKAM ANSYS FLUENT CODE SATURNE OpenFOAM

Modèles CFD

MISKAM OpenFOAM
FOLLOWAIR ANSYS FLUENT CODE SATURNE

Modèle IA

Modèles CFD

Précision/Justesse

AERMOD
CALPUFF ADMS

FOLLOWAIR

Modèles gaussiens

Modèle IA

Rapidité/Frugalité

Publié le : 26.06.2024 - Actualisé le : 12.07.2024

TRANSITION ÉCOLOGIQUE

ENVIRONNEMENT

MOBILITÉ

Accueil, Actualité

POLD LAURÉAT DE L'APPEL À PROJETS DIAT

POLD lauréat de l'appel à projets "Démonstrateurs d'IA frugale au service de la transition écologique dans les territoires" (DIAT).

<https://www.parisouestladefense.fr/pold-laureat-de-lappel-a-projets-diat/>



PARIS OUEST
LA DÉFENSE



CITEPA



les objectifs du projet Predict'Al'r

Predict'Al'r vise à créer un observatoire et prédicteur dynamique de la mobilité et de ses impacts sur l'air et le climat en exploitant l'intelligence artificielle pour extraire de la connaissance des données de bornage téléphonique et aider les pouvoirs publics à atteindre leurs objectifs de réduction d'impact de la mobilité.

Modélisation CFD (RANS)

- Adapté à l'évaluation de la dispersion des polluants atmosphériques
- Meilleur type de modèle pour le contexte urbain
- En accord avec les demandes de la directive européenne actuelle
- Adapté au calcul des concentrations moyennes annuelles
- Peu frugal (temps de calcul longs)
- Peu adapté à l'évaluation rapide de la qualité de l'air (pas de temps horaire)
- À continuer d'améliorer pour respecter la prochaine directive européenne

Points non abordés mais existants : Végétation, turbulence induite par les véhicules...

Pistes de développement principales : Stabilité atmosphérique, radiations solaires

Modélisation IA (CNN)

- Également adapté à l'évaluation de la dispersion des polluants atmosphériques
- Excellent compromis précision/rapidité
- Adapté au calcul des concentrations quel que soit le pas de temps (horaire et moins)
- Limité par son mode de conception (base de données CFD préalablement réalisée)
- Réticences à l'usage de l'intelligence artificielle

Pistes de développement principales : Stabilité atmosphérique, radiations solaires, autre base de données d'apprentissage, autres types d'architectures d'IA (PINNs)

Support de présentation et articles disponibles sur :

www.reiminger.fr

Merci !