

Estimation bayésienne des concentrations de NO_x et PM_{10} à Paris en utilisant des simulations numériques à haute résolution et des mesures de surface



Delphy Rodriguez

Journée AppliBUGS,

Le 11/06/2020

En Visioconférence

Étude de la pollution de l'air à l'échelle urbaine

Santé

- **6600 décès prématurés/an** à la **Métropole du Grand Paris** dus aux particules fines $PM_{2.5}$ (Pascal *et. al*, 2016)
- **87% de la population urbaine de l'UE** respire des niveaux de particules fines $PM_{2.5}$ >recommandations OMS
- **Effets jusqu'à 300 à 500m** des grands axes

Coût économique

- 101,3 milliard €/an** en France (rapport Sénat, 2015)
- Santé
 - Environnement



Mieux caractériser l'exposition de la population

État de l'art : exposition homogène vs. *pollution air hétérogène, mobilité de la population, « effet cocktail »*

Pollution de l'air à différentes échelles

Échelles

Globale



Régionale



Urbaine (quartier)



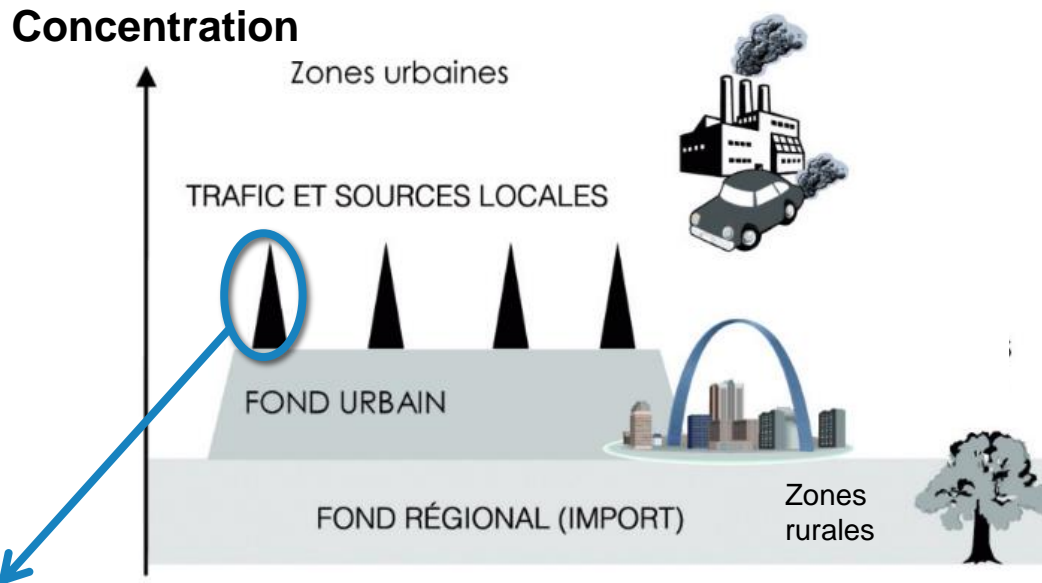
Individuelle



Principaux polluants surveillés et réglementés (2008/50/CE et 2004/107/CE) :

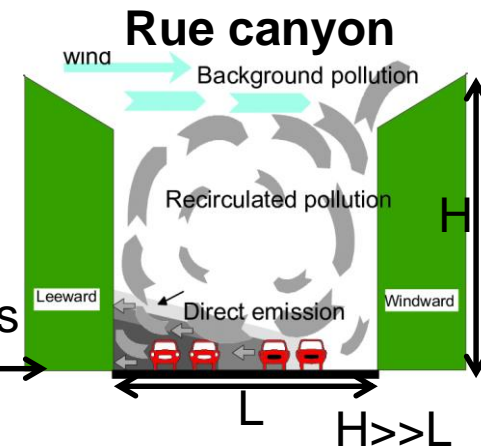
- PM_{10} : particule en suspension de diamètre $<10\mu m$
- $PM_{2.5}$: diamètre $<2.5\mu m$
- NO_2 : dioxyde d'azote
- O_3 : ozone
- Benzène
- BaP : Benzo(a)pyrène
- CO : Monoxyde de carbone
- SO_2 : Dioxyde de soufre (PM_1 , à venir)

Enjeux de la pollution à l'échelle locale



(GHERS *et al.* 2012)

- **Variabilité de la pollution à l'échelle locale :**
 - Sources de polluants
 - Saisons
 - Météo : favorise +/- dilution et dispersion des polluants
 - Chimie rapide et dispersion des émissions près des sources
 - Bâtiments : rues canyons / tourbillon



- **Quelle approche utiliser pour décrire au mieux la variabilité de la pollution de l'air à cette échelle ?**

Polluants étudiés : NO_x et PM_{10}

- Observatoire de surveillance de la qualité de l'air : AASQA, AIRPARIF (IDF)

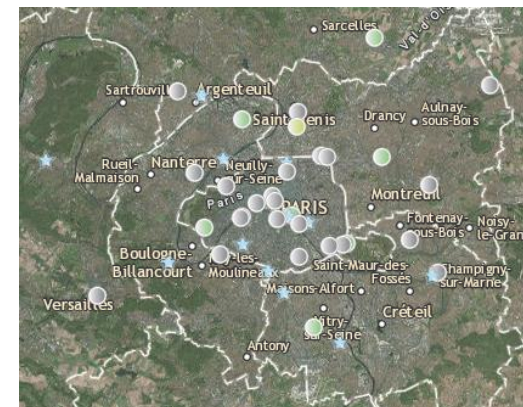
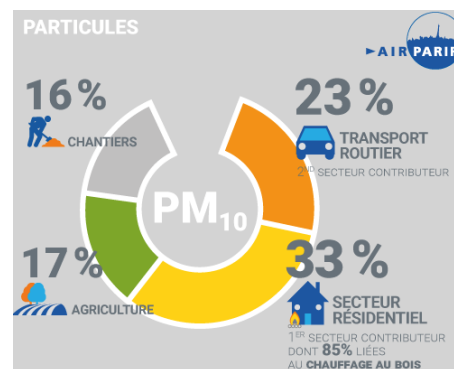
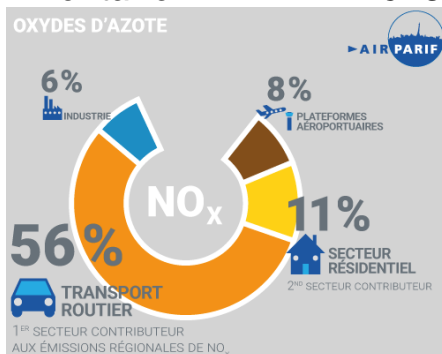
- **Polluants étudiés :**

NO_x (= $\text{NO}_2 + \text{NO}$) : sources anthropiques

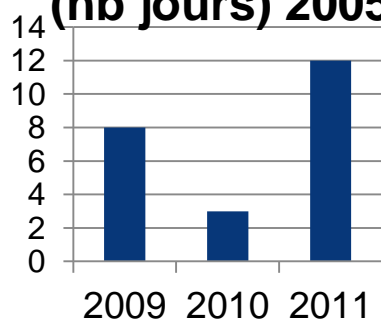
PM_{10} : sources naturelles et anthropiques

- **Répartition des sources d'émission anthropiques**

en IDF *inventaire AIRPARIF 2015*



PM_{10} : dépassements de seuils (nb jours) 2005-2015



Baisse des émissions de PM_{10}

- 29%

BAISSE DES ÉMISSIONS DE PM_{10} ENTRE 2005 ET 2015



Plan

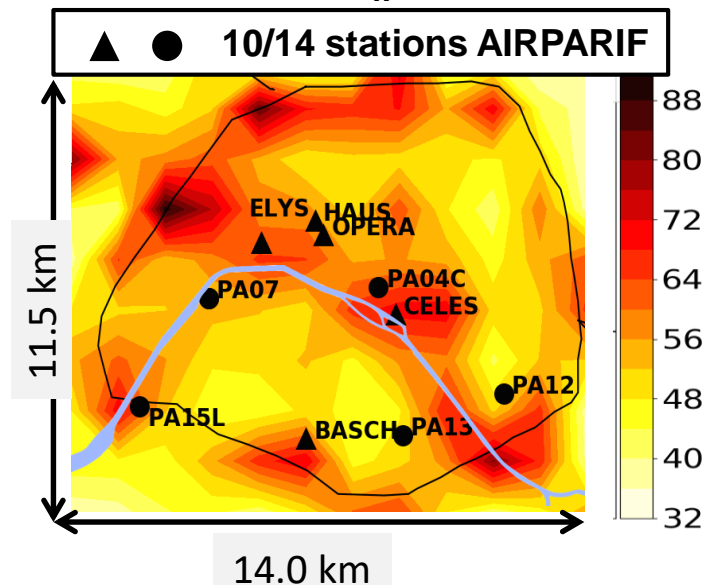
- Outils : simulations numériques haute résolution et mesures de surface AIRPARIF
- Description du modèle bayésien et sa paramétrisation à l'endroit de la station
- Méthodologie pour propager la mesure de la station à proximité de la station, notion de « représentativité spatiale »
- Conclusion et perspectives

Outils utilisés



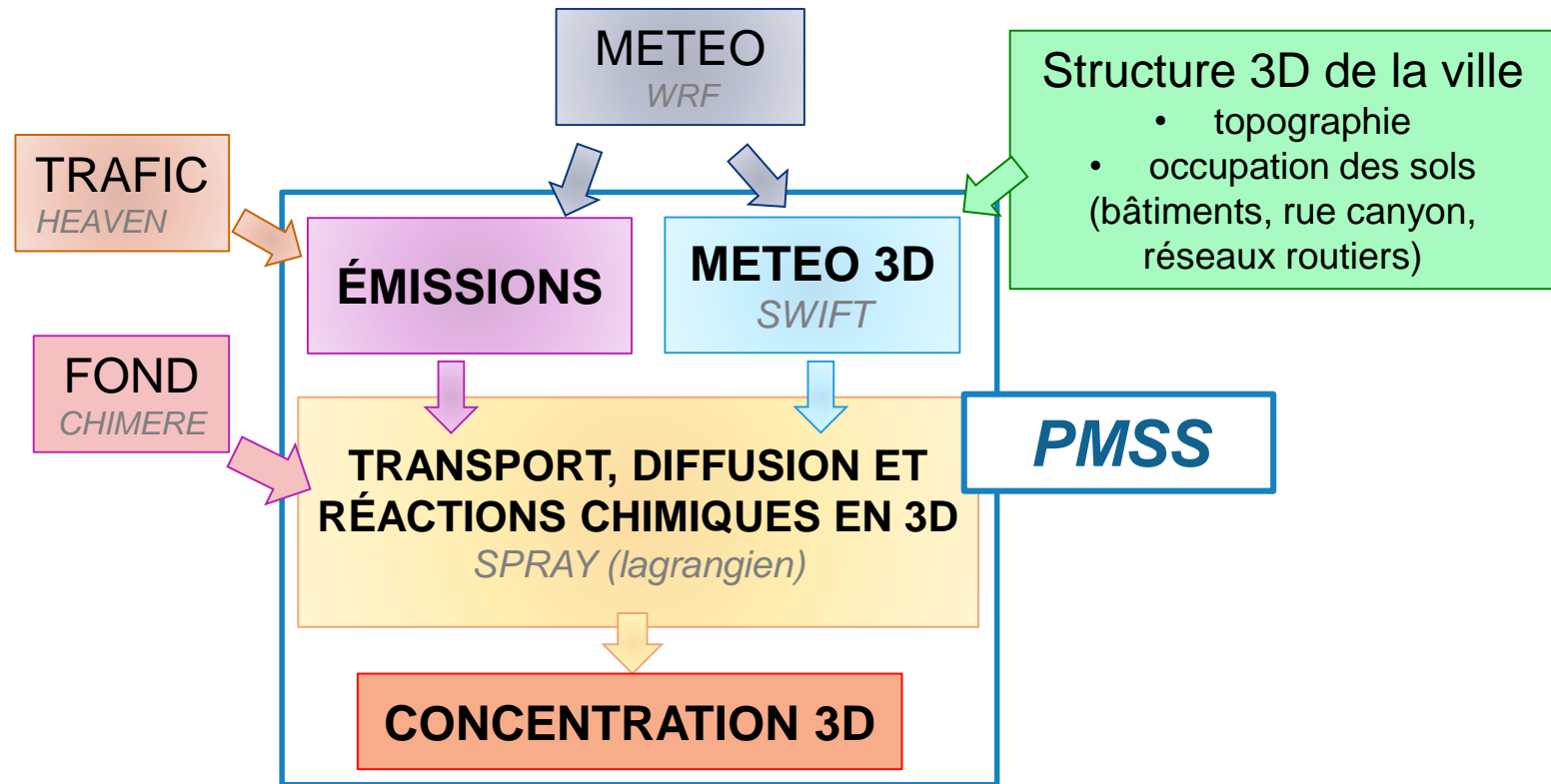
- Mesures de NO_x et PM_{10} de 10 stations AIRPARIF
- Champs de concentration des NO_x et PM_{10} simulés par le modèle PMSS à 3 m de résolution, 10 jours en mars 2016

Concentrations de NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) moyennées sur 10 jours de Mars 2016



Simulations fournies par Aria Technologies
dans le cadre du projet MoUVie
Mobilité et qualité de vie en milieu urbain

Modèle PMSS : Parallel Micro-SWIFT-SPRAY avec une résolution horizontale de 3 mètres



😊 **Atouts** : très haute résolution, processus fines échelles (tourbillons), géométrie des bâtiments

😞 **Limites** : mécanismes chimiques simplifiés, incertitudes (trafic et météo), accessibilité aux données 3D (bâti), temps de calcul

Mesures des stations AIRPARIF



★ TRAFIC ★ FOND URBAIN

Avenue des Champs-Élysées



ELYS (NO_x, PM₁₀)

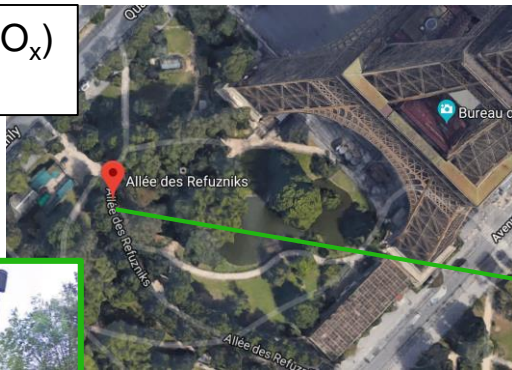


Place de l'Opéra



OPERA (NO_x, PM₁₀)

PA07 (NO_x)
Square



HAUS (NO_x, PM₁₀)
Bld Haussmann



PA04C (NO_x, PM₁₀)
Place Igor Stravinsky

CELES (NO_x)
Quai de Seine

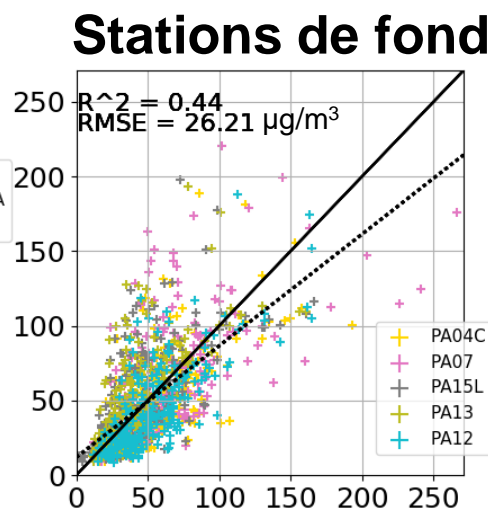
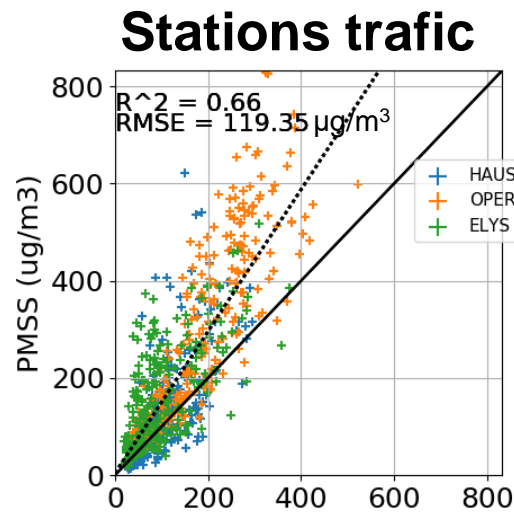
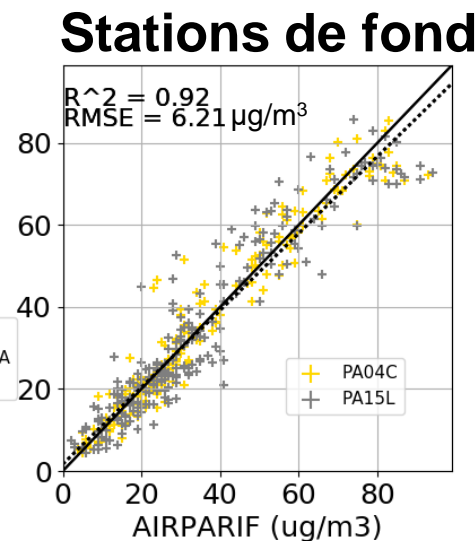
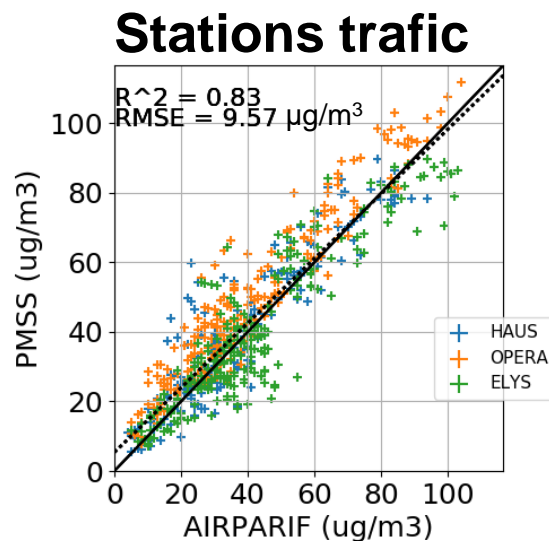
PA12 (NO_x)
Cour d'école

PA15L (NO_x, PM₁₀)
Stade Lenglen

BASCH (NO_x, PM₁₀)
Place Victor Basch

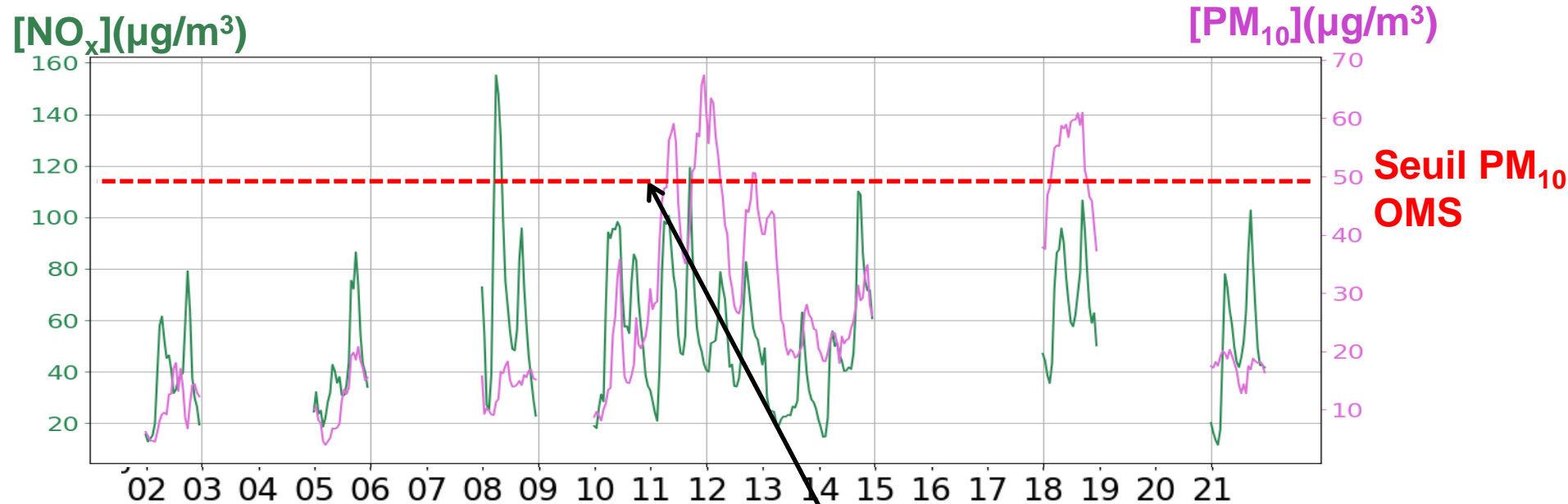
PA13 (NO_x)
Parc de Choisy

Comparaison mesures AIRPARIF et simulations PMSS, 10 jours en mars 2016

NO_x**PM₁₀**

Caractéristiques des 10 jours de simulations PMSS

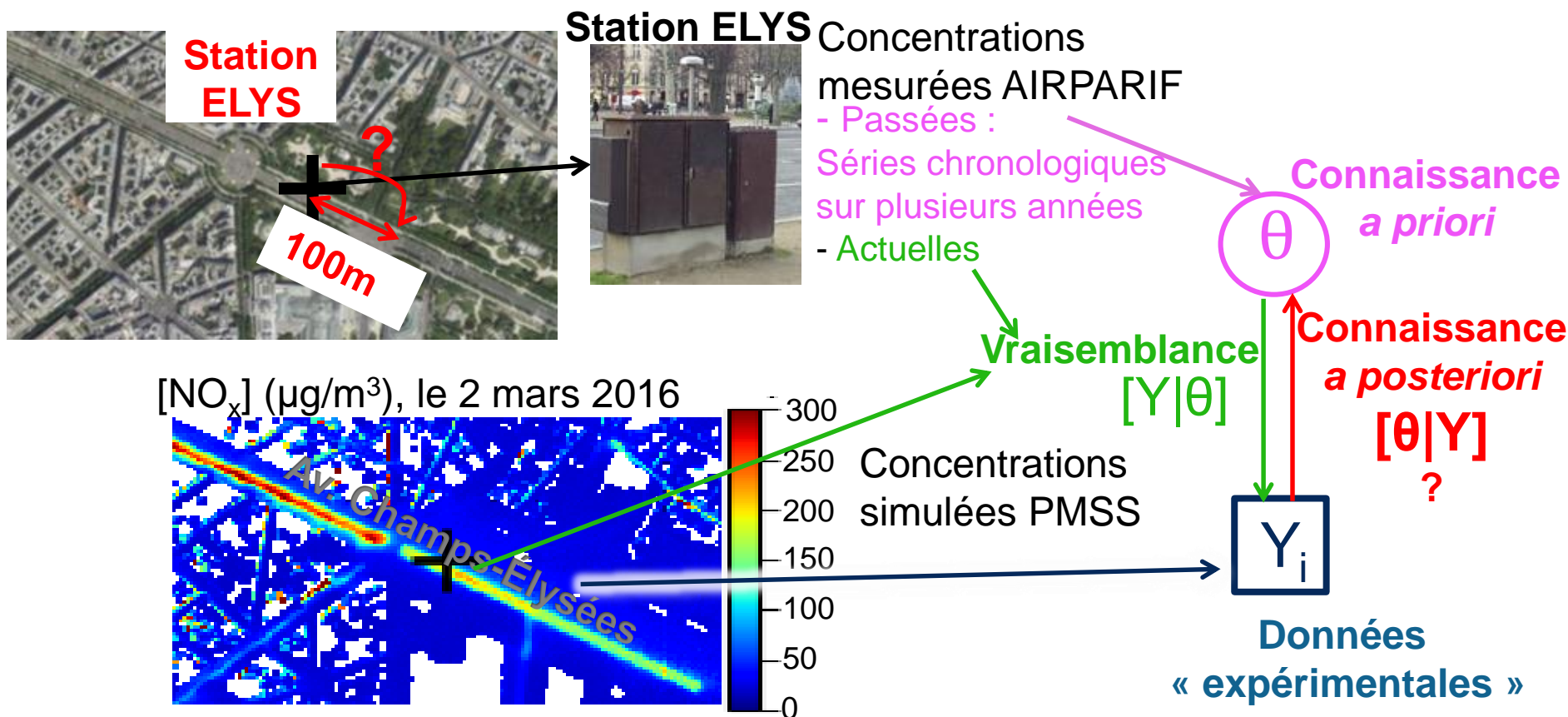
Concentrations des NO_x et PM_{10} simulées au-dessus de Paris en mars 2016



Début épisode de pollution aux PM_{10}
conditions anticycloniques :
{vent faible + P_{atm} élevée}

Approche bayésienne

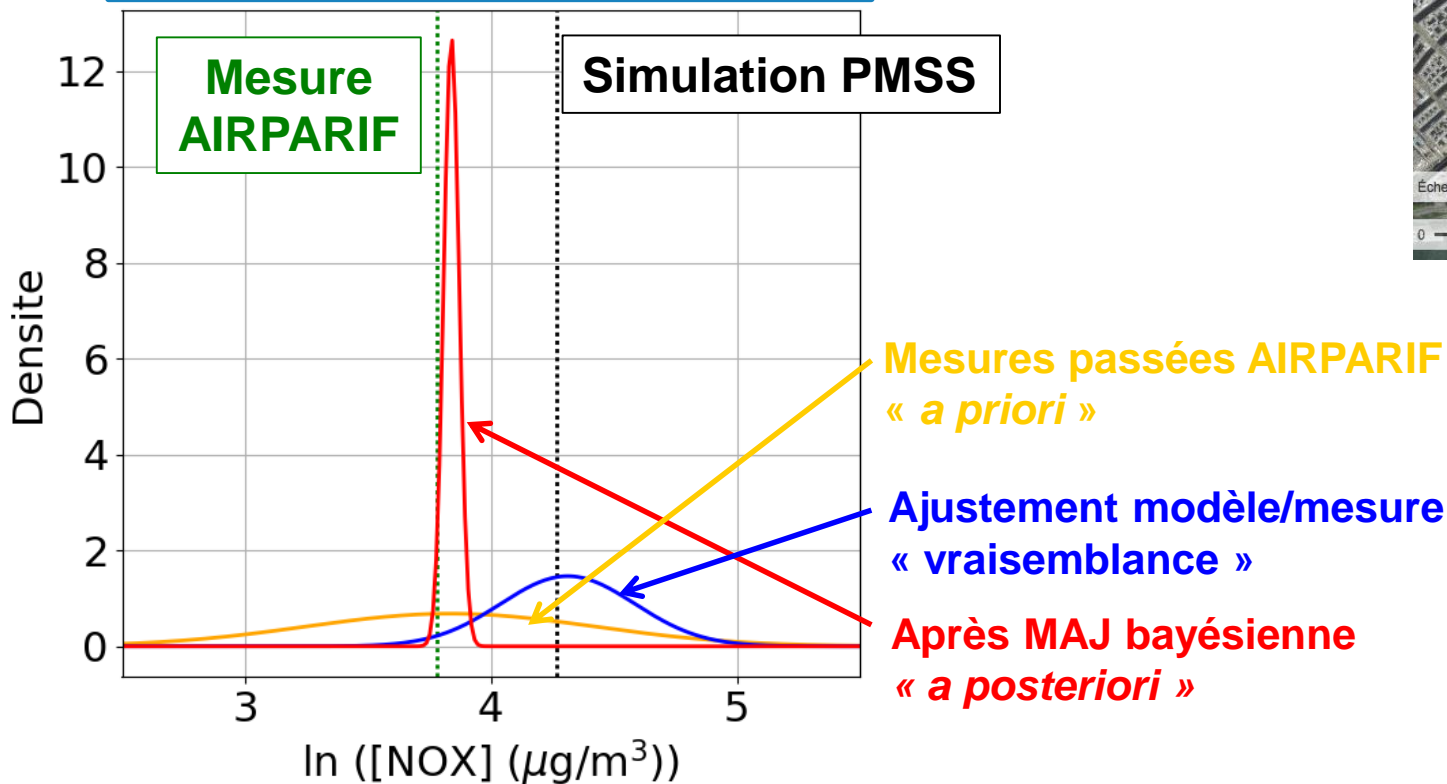
Objectif : améliorer les sorties du modèle PMSS au niveau de la station et propager la mesure au-delà de la station AIRPARIF



Paramétrisation du modèle au niveau de la station (Prior, Vraisemblance)

Mise à jour bayésienne des concentrations de la station av. des Champs-Élysées

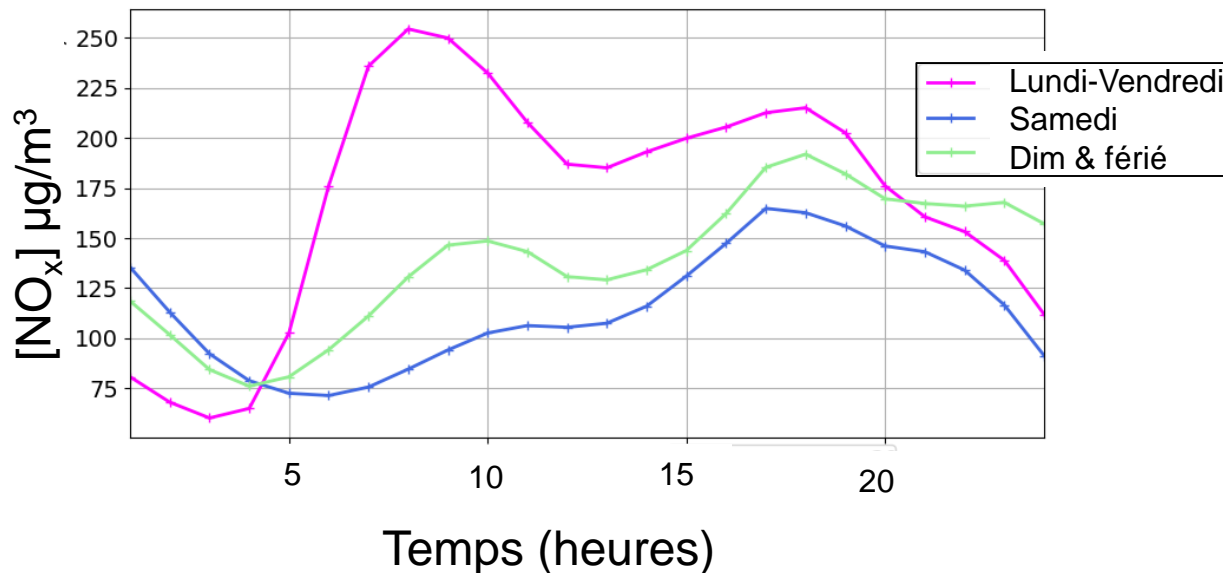
NO_x, le mardi 08/03/2016 à 2h



Choix du prior

- Comment classer les mesures passées d'AIRPARIF pour prédire au mieux les concentrations à venir ? Que sait-on de la variabilité du polluant ?
 - tests : trafic et météo
 - **Prior retenu** : par station, heure, type de jours = prior « trafic »
- ➔ Prior idem NO_x et PM_{10} : méthode unifiée

Moyenne des concentrations *a priori* de NO_x , station av. des Champs-Élysées



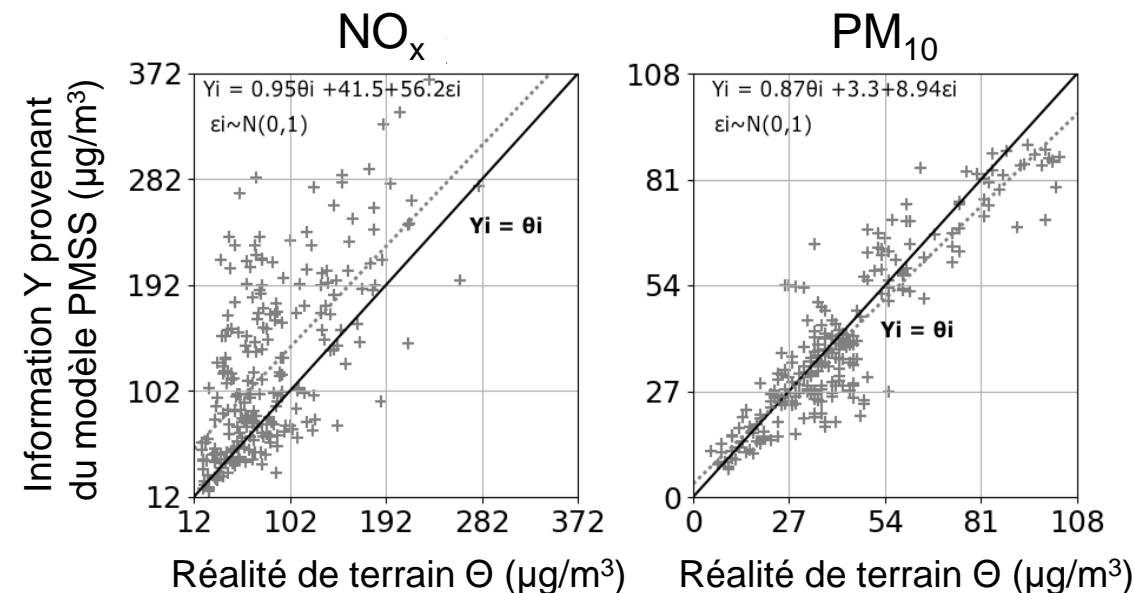
Choix de la vraisemblance

- Quelles sont les sources d'incertitudes du modèle PMSS ?
- Quel modèle probabiliste permet de reproduire au mieux les **mesures AIRPARIF** à partir des **simulations PMSS** pour les 10 jours de mars 2016 ?
- $Y_{\text{PMSS}} = a * \theta_{\text{Airparif}} + b + \text{stderr} * \varepsilon$

Régressions linéaires sur l'ensemble des données, station av. des Champs-Élysées

- **tests** : par jour, tranches de 2h, 3h, 4h, 6h, 8h, 12h pour les 10 jours

- **Vraisemblance retenue** : par station, tranches 2h pour les 10 jours



Amélioration des concentrations au niveau des stations AIRPARIF

- **Modèle optimal** : prior « trafic » et vraisemblance par tranches de 2h

NO_x

Place de l'Opéra

Cour d'école

Code station	RMSE initial (µg/m ³)	RMSE initial – RMSE après MAJ (%)
OPERA	108.6	-72%
PA12	20.1	-31%

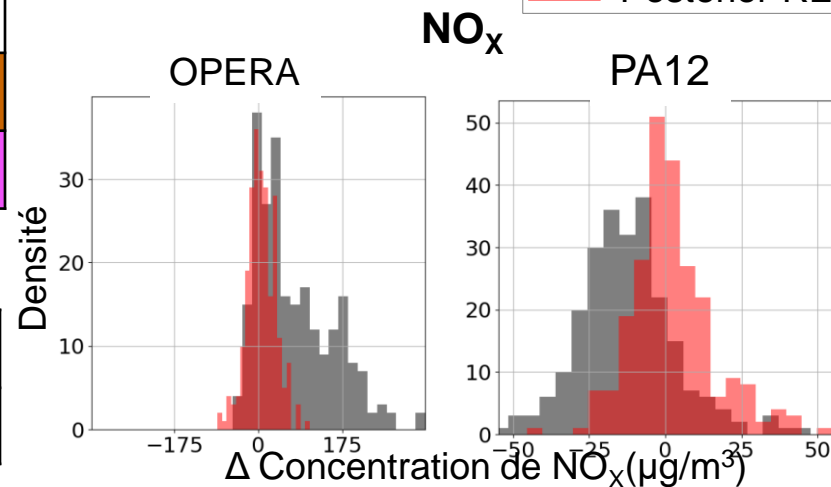
PM₁₀

Stade

OPERA	10	-38%
PA15L	7	-8%

- **Correction du biais simulations/mesures**

■ Initial-REF
■ Posterior-REF



Étape 1 :

Amélioration des concentrations au niveau des stations avec modèle bayésien optimal paramétrisé à l'endroit de la station



Étape 2 :

Comment propager spatialement la mesure de la station AIRPARIF ?

Représentativité spatiale des stations AIRPARIF à partir des simulations haute résolution

Av. des Champs-Élysées



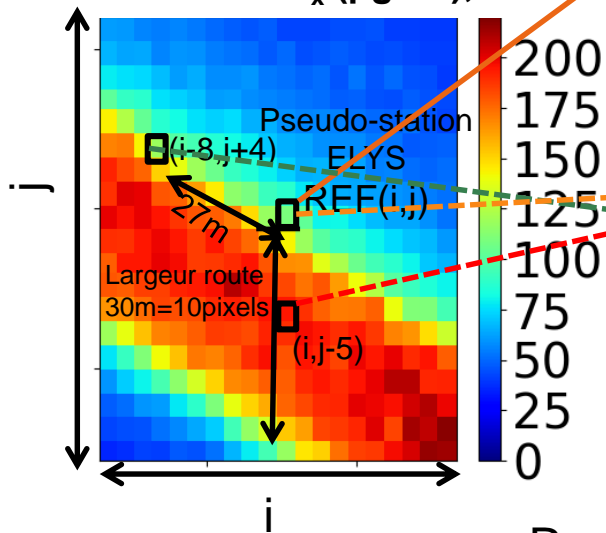
Représentativité spatiale des stations AIRPARIF à partir des simulations haute résolution

Av. des Champs-Élysées

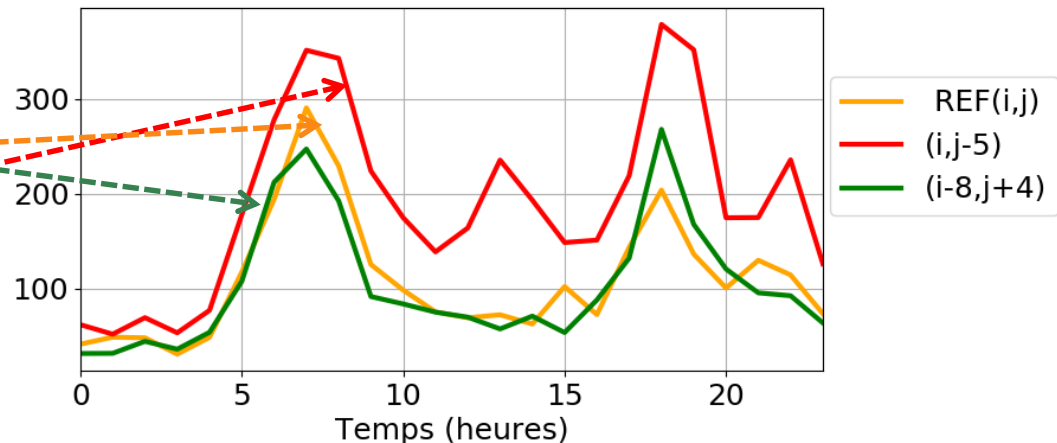


REF=« pseudo-mesure » :
concentration simulée par le
modèle au niveau de la
station

Concentration de NO_x (µg/m³), le 2 mars 2016



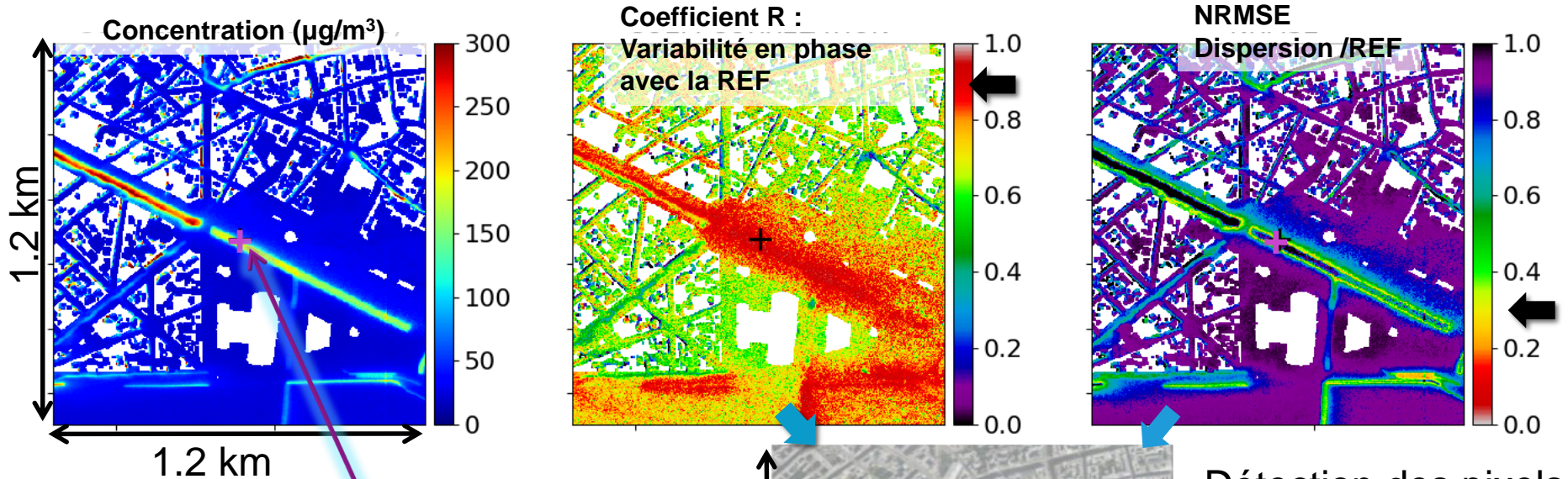
Concentration de NO_x (µg/m³), le 2 mars 2016



Représentativité => critères intégrant variabilité du signal

Critères : {Coefficient R & NRMSE}

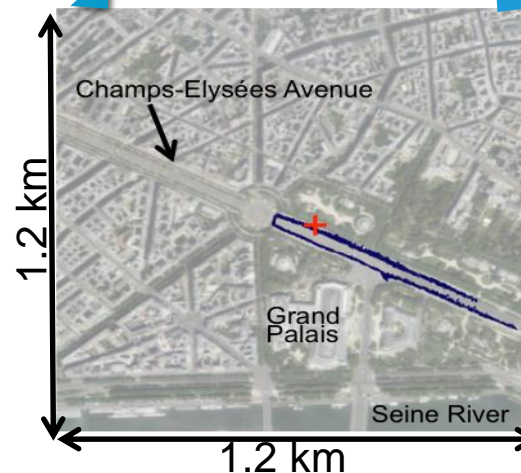
- Av. des Champs-Élysées : NO_x, le 2 mars 2016



REF=« pseudo-mesure »

- Seuils retenus pour les critères

Polluants	R	NRMSE
NO _x	0.7	0.45
PM ₁₀	0.75	0.3



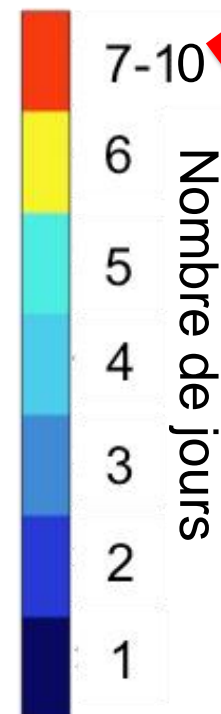
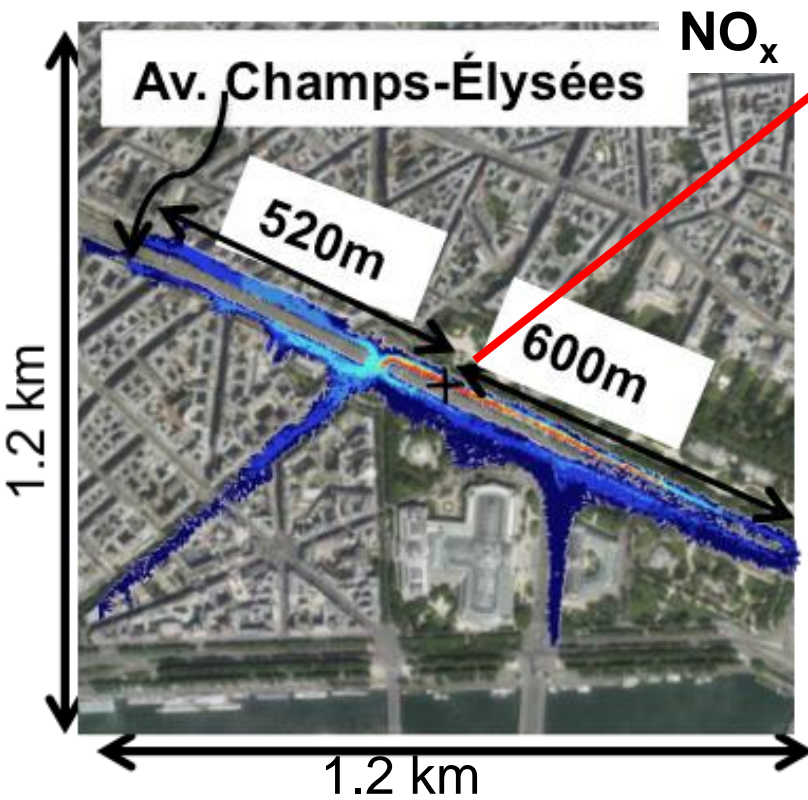
Détection des pixels connectés

Aires de représentativité station ELYS

Avenue des Champs-Élysées



Aire de représentativité la + probable



Représentativité spatiale des stations

- Aires de ressemblance à la station déterminées à partir des simulations haute résolution affectées d'une probabilité de ressemblance
- Pour plus d'informations sur la méthode de représentativité



On the spatial representativeness of NO_x and PM₁₀ monitoring-sites in Paris, France

Delphy Rodriguez^{a,*}, Myrto Valari^b, Sébastien Payan^a, Laurence Eymard^a

<https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100010>

- Comment exploiter ces aires selon leur probabilité de ressemblance à la station pour propager la mesure de la station ?

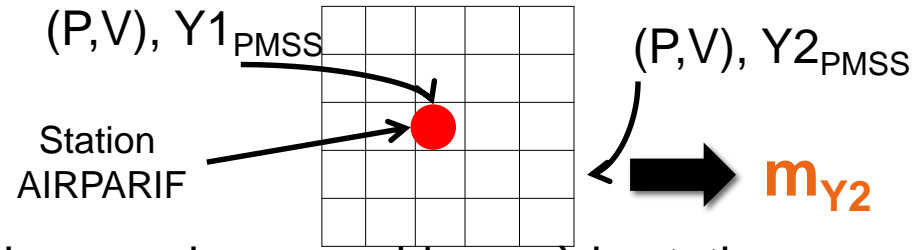


Propagation de la mesure dans les zones de représentativité

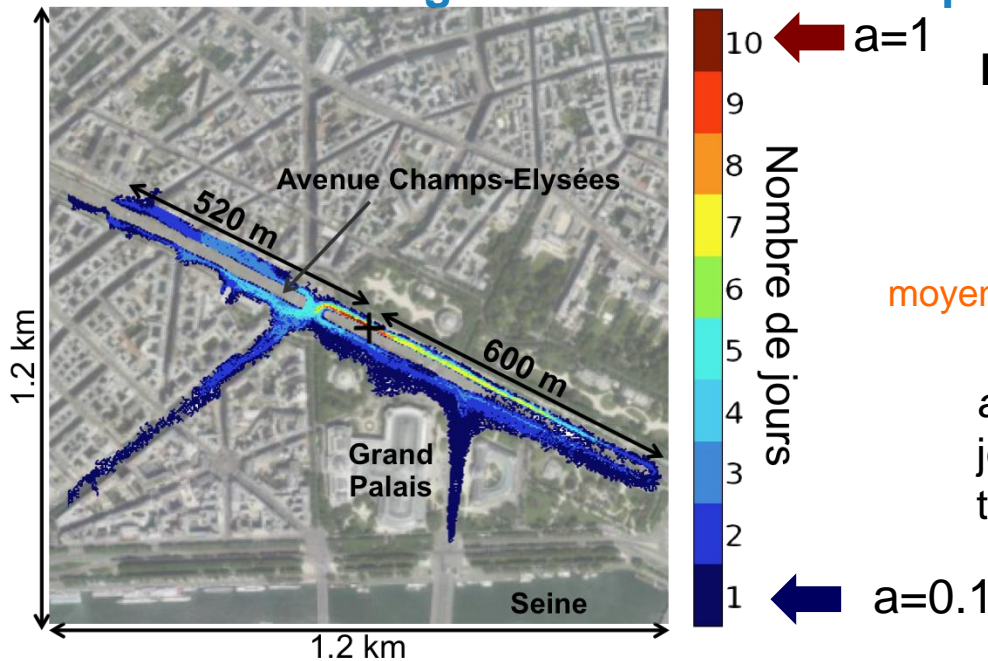
- Paramétrisation du modèle bayésien

P : prior, V : vraisemblance

- Application du modèle bayésien dans la zone de ressemblance à la station « aire de représentativité de la station »



- Comment intégrer la différence de représentativité entre chaque pixel ?



Équation de pondération

$$C_{finale} = a * m_Y + (1-a) * Y_{PMSS}$$

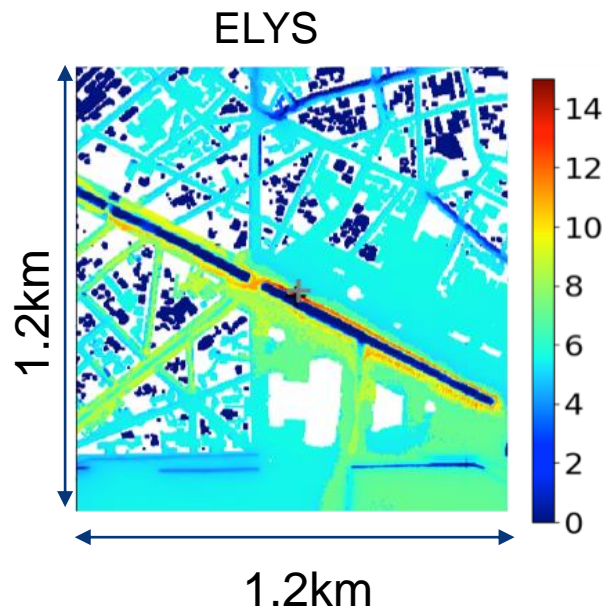
concentration initiale PMSS

moyenne des concentrations *a posteriori*

a : coefficient de pondération = nombre de jours de représentativité / 10 (=nombre total de jours)

Modification des concentrations après MAJ bayésienne et pondération – PM₁₀ station av. des Champs-Élysées

| δ Concentrations PM₁₀ | moyennée sur les 10 jours de mars 2016 (%)



δ Concentrations = Conc. Initiale_{simulée PMSS} – conc. finale_{obtenue par pondération}

Propagation de la mesure dans zone de représentativité la + probable

NO_x

	Code station	RMSE initial –RMSE après MAJ (%)
Stations trafic	OPERA	-46%
	ELYS	-20%
Stations de fond	PA15L	-22%
	PA04C	-17%

PM₁₀

	Code station	RMSE initial –RMSE après MAJ (%)
Stations trafic	OPERA	-18%
	HAUS	-8%
Stations de fond	PA15L	-10%
	PA04C	-5%



Atmospheric Environment: X

Available online 17 June 2019, 100038

In Press, Accepted Manuscript



NO_x and PM₁₀ Bayesian concentration estimates using high-resolution numerical simulations and ground measurements over Paris, France

<https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100038>

Conclusion

- Combinaison mesures stations AIRPARIF & simulations PMSS
- Choix du modèle optimal : prior « trafic » et vraisemblance par tranches de 2h, adapté aux NO_x et PM_{10}
 - ✓ Diminution erreurs modèle/mesures au niveau des stations
- Intégration de la « représentativité spatiale » de la station et pondération de la concentration *a posteriori*
 - ✓ Propagation de la mesure au-delà de la station

 Avantages et limites de l'approche bayésienne :

Encodage des connaissances avec incertitudes associées, travailler avec peu de données, modèle écrit \neq boîte noire, calcul rapide

 Optimisation du modèle prend du temps et nécessite expertise

Perspectives






Aller plus loin...

- Déterminer les zones de représentativité en chaque point du modèle

- (1) optimiser le déploiement des stations AIRPARIF
- (2) étalonner un réseau de capteurs fixes

- Classifier la pollution selon le jour de la semaine et météo

-  déplacement virtuel d'un individu sur chaque point du modèle
-  analyse + détaillée de l'exposition
-  impact de la pollution sur la santé d'un individu

Contact : delphy.rodriguez@gmail.com

