

URBHEALTH

Territoires URBanisés: influence des Hétérogénéités spatiales et des sources de pollution atmosphérique sur la santé

Coordination: Karine Sartelet¹, Gaëlle Uzu⁴

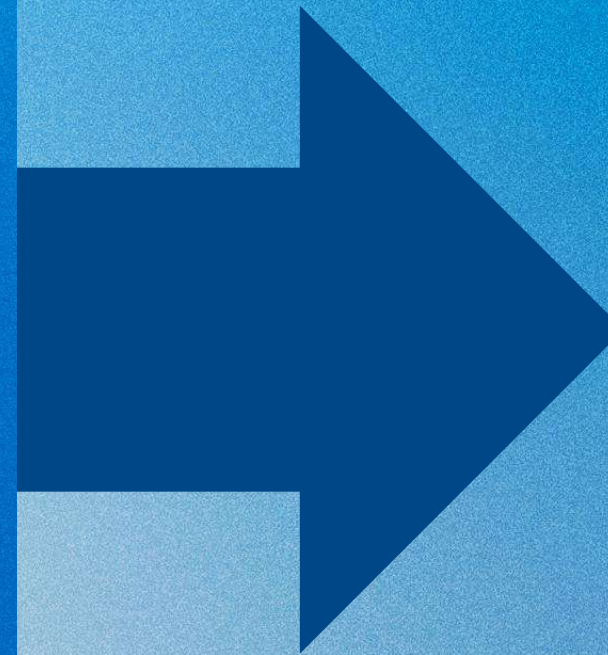
WP Leaders: Isabelle Coll⁸, Gilles Forêt⁸, Emeline Lequy³, Lya Lugon¹, Sandrine Mathy², Yelva Roustan¹, Myrto Valari⁵

Chef de projet: Misha FABER

Déroulé

01

Quelques rappels autour des enjeux en lien avec la pollution atmosphérique en ville



02

Comment le projet URBHEALTH permet-il d'adresser ces enjeux : présentation des WP

QUELQUES RAPPELS AUTOUR DES ENJEUX EN LIEN AVEC LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE EN VILLE

01

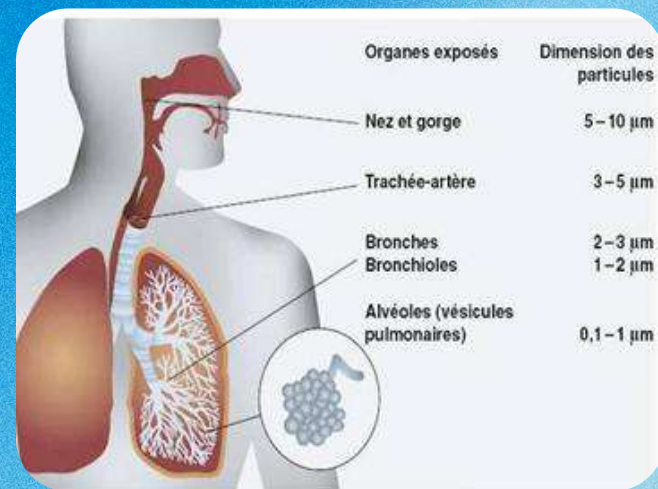


Les défis liés à la pollution atmosphérique

Impacts sur la santé

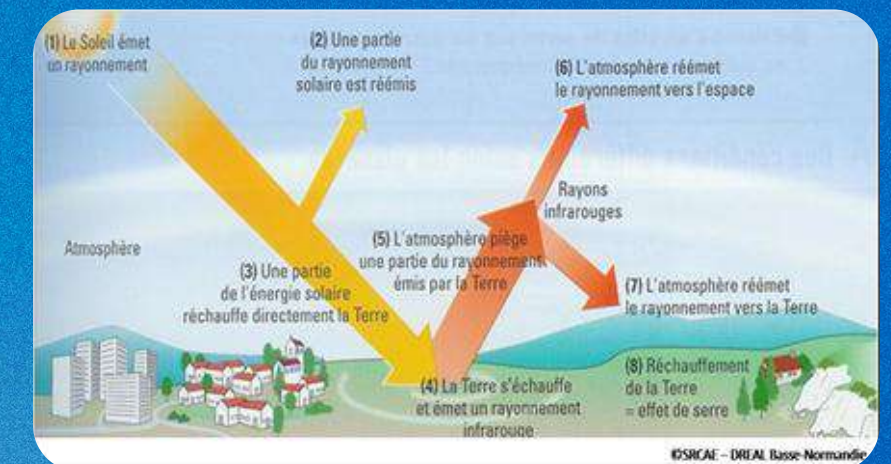
Particules fines PM2.5

Gaz : NO₂, O₃...



Changement climatique

Gaz à effet de serre (CO₂, CH₄...)



Physique et chimie de l'atmosphère

Détérioration du bâti et des écosystèmes

Acides nitrique et sulfurique (issus du NO₂ et du SO₂)

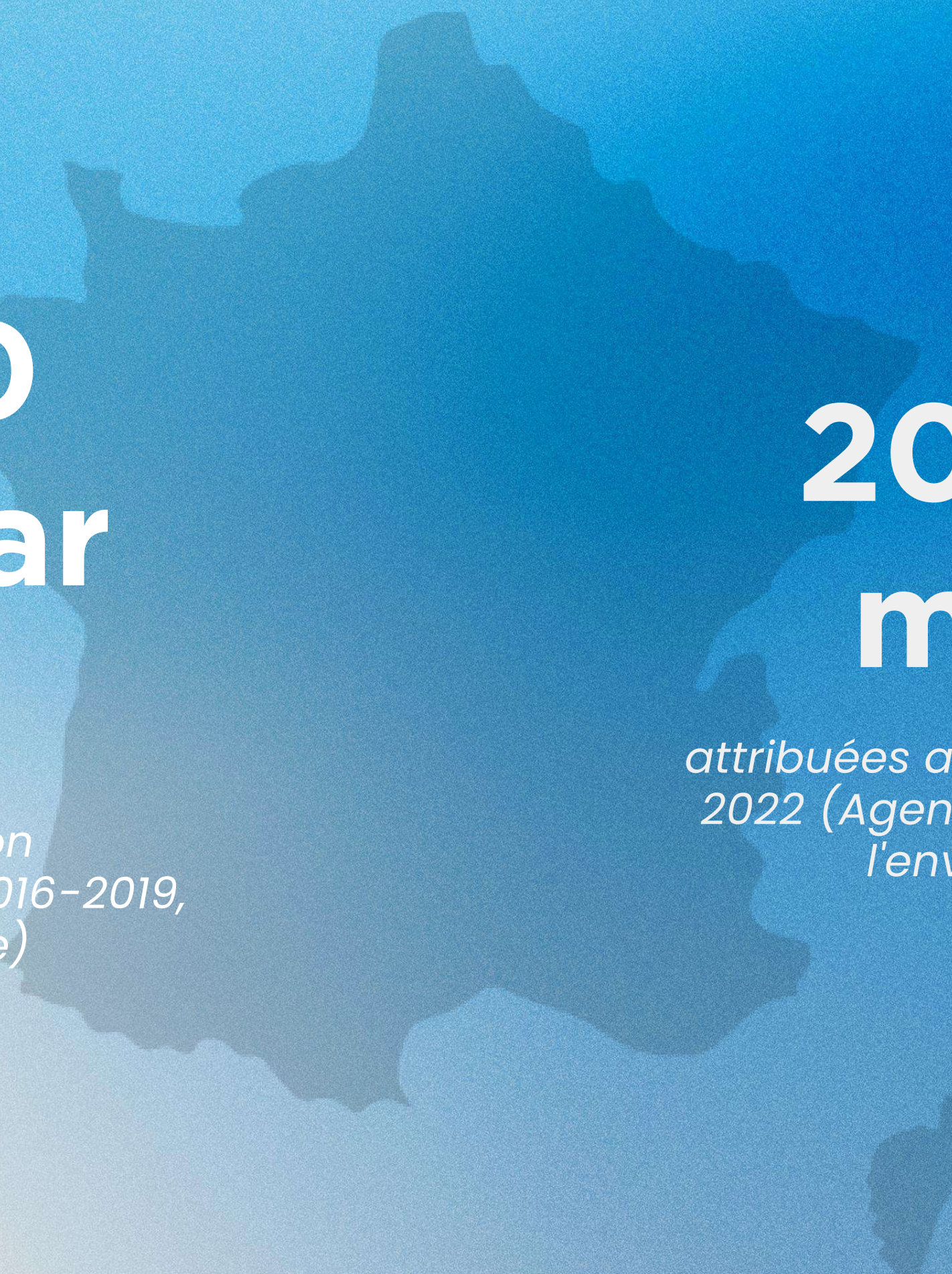


Visibilité réduite

Particule



Impact sanitaire

A faint, light blue silhouette of the map of France is centered in the background of the slide, serving as a geographical reference for the statistics presented.

**40 000
morts par
an**

*attribuées à la pollution
atmosphérique extérieure (2016-2019,
Santé publique France)*

**20 700
morts**

*attribuées aux particules fines en
2022 (Agence européenne pour
l'environnement)*

Impact sanitaire

**7 900
morts
évitables**

*En respectant les recommandations
de l'OMS, selon une étude (2022) de
l'Observatoire Régional de Santé Île-
de-France (ORS) et Airparif*

Effets sur la santé

Conséquences sur la mortalité, mais aussi sur la morbidité, notamment :

Maladies respiratoires

asthme, bronchopneumopathie chronique obstructive, cancer du poumon

Maladies cardiovasculaires

infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral

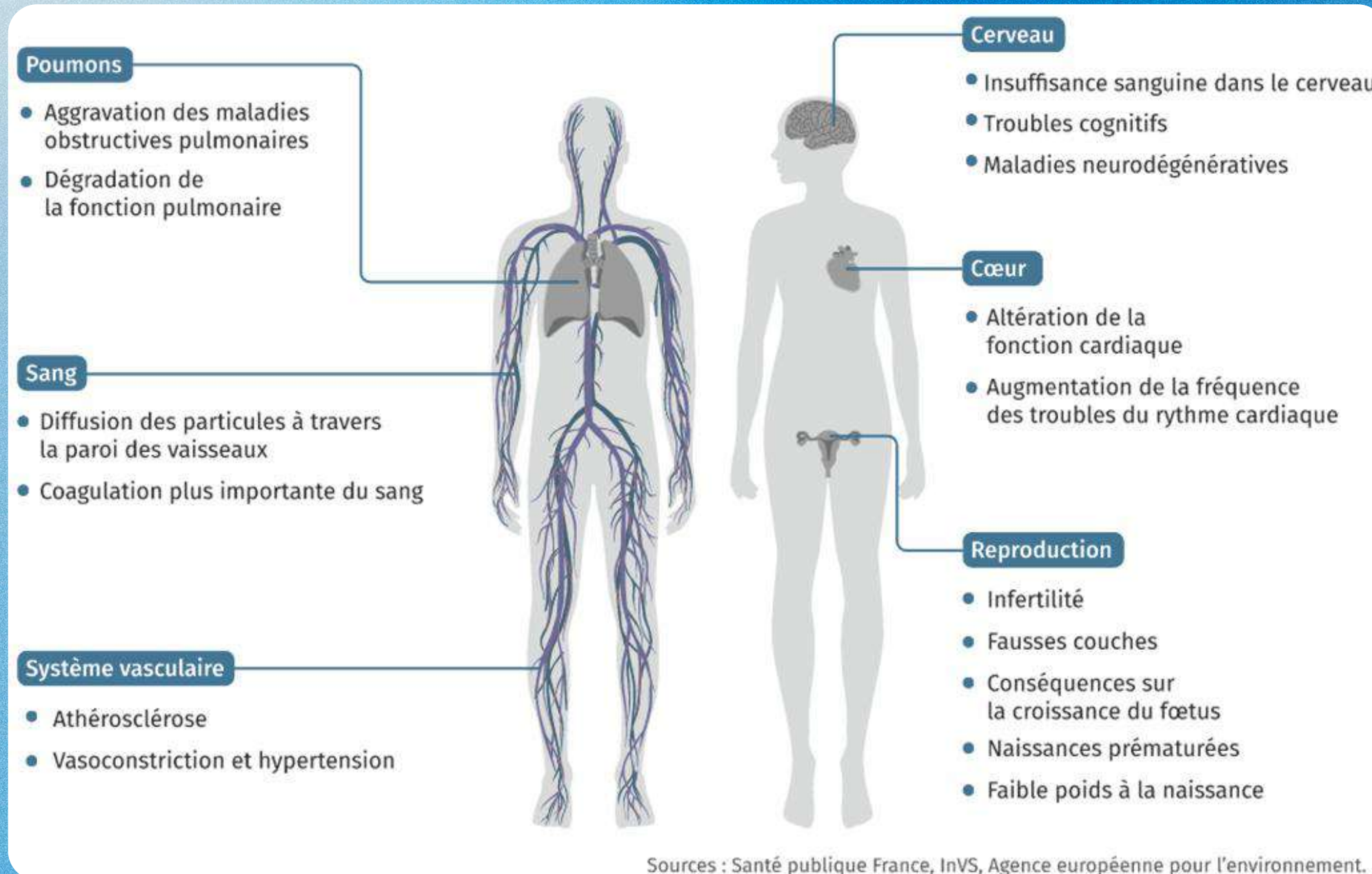
Maladies métaboliques

diabète

Maladies neurologiques

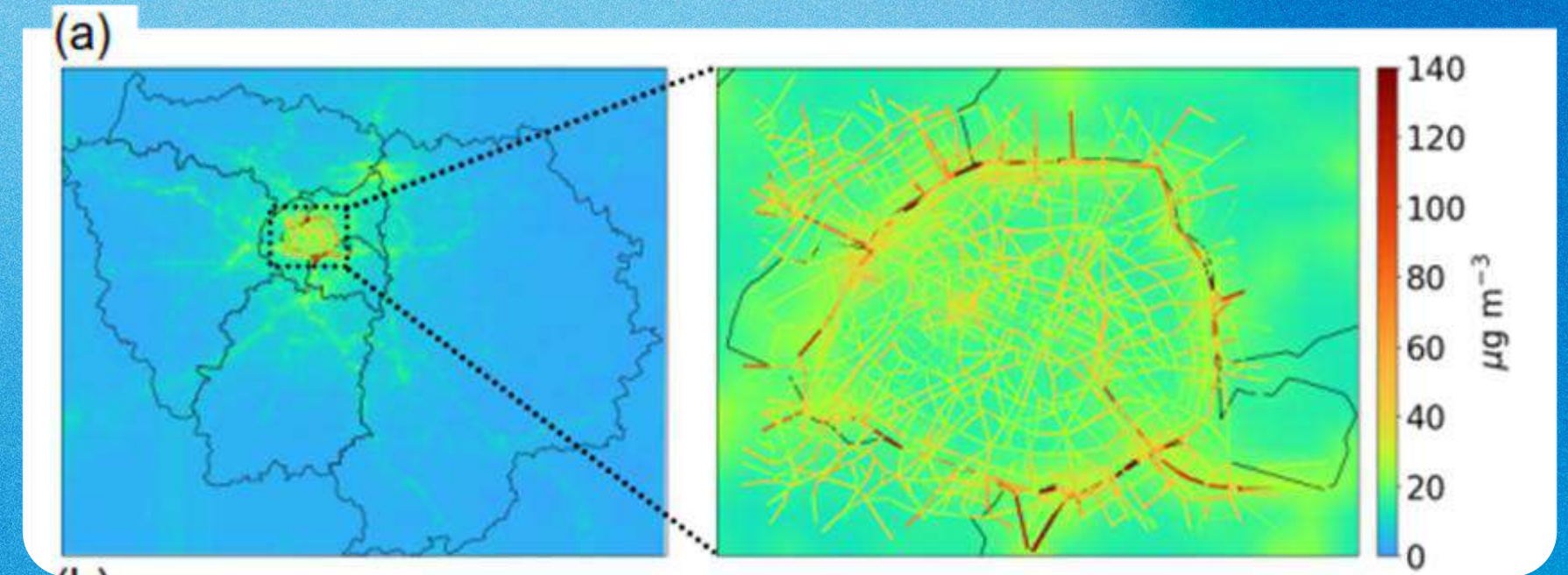
démence

Effets sur le système
faible poids à la naissance
reproductif

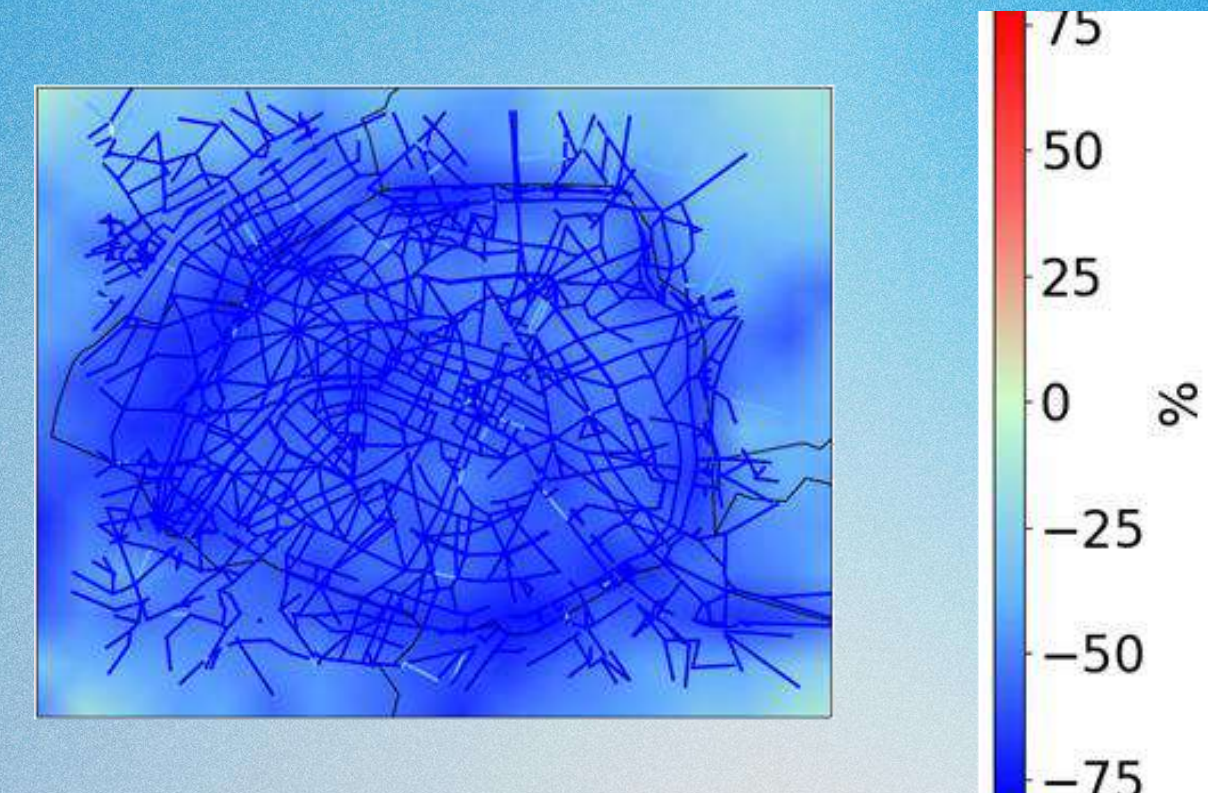


Le NO₂

- Fortement influencé par les émissions polluantes du trafic routier
- Concentrations élevées dans les zones urbaines
- Forte variabilité intra-urbaine

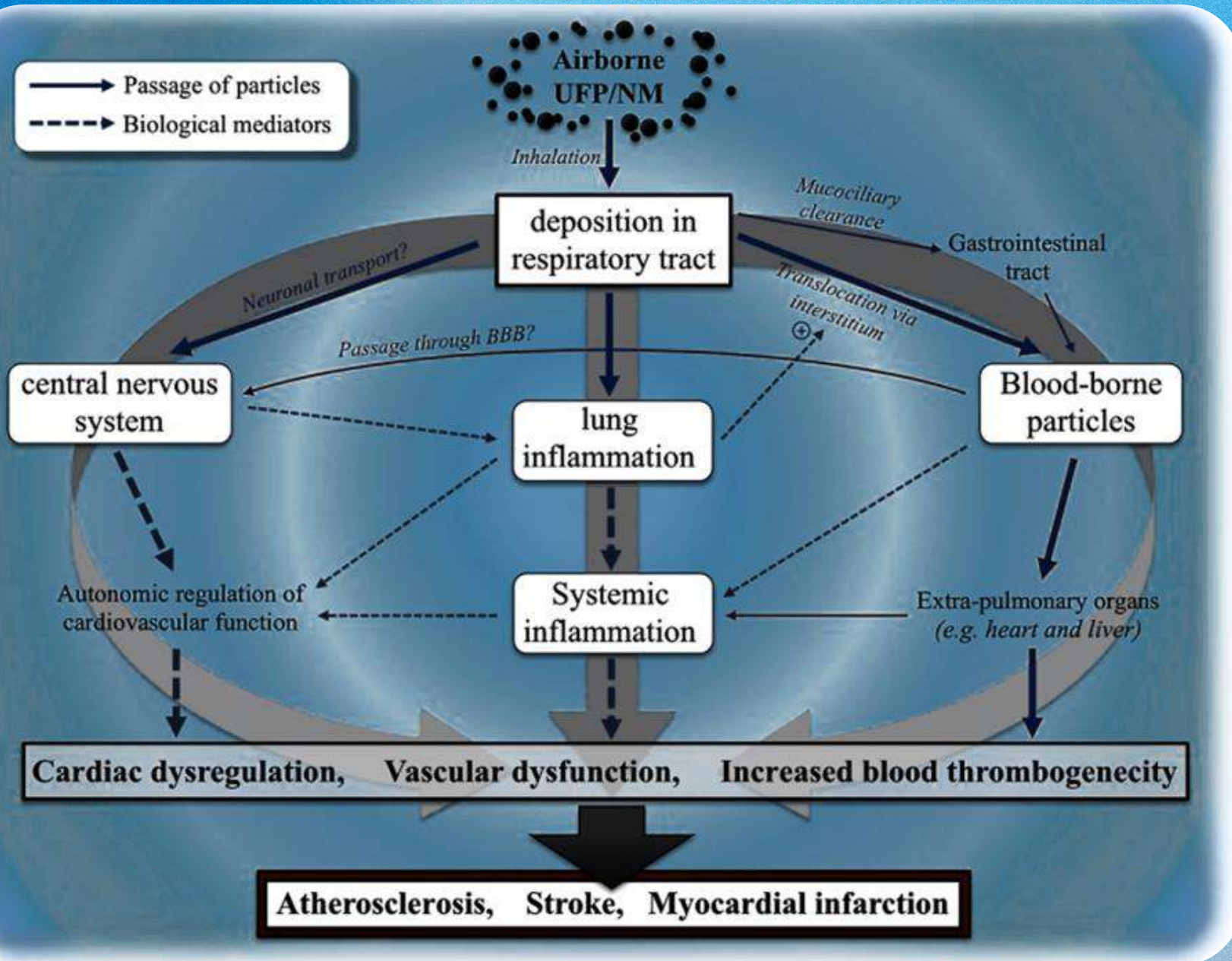


Concentrations de NO₂ en Île-de-France et à Paris en juin/juillet 2022 [Source : Park et al., Atmos. Chem. Phys. 2025]



Réduction des concentrations de NO₂ à Paris grâce au remplacement de l'ensemble du parc automobile par des véhicules électriques [Source : Lugon et al., Sci. Tot. Env., 2025]

Influence des particules fines

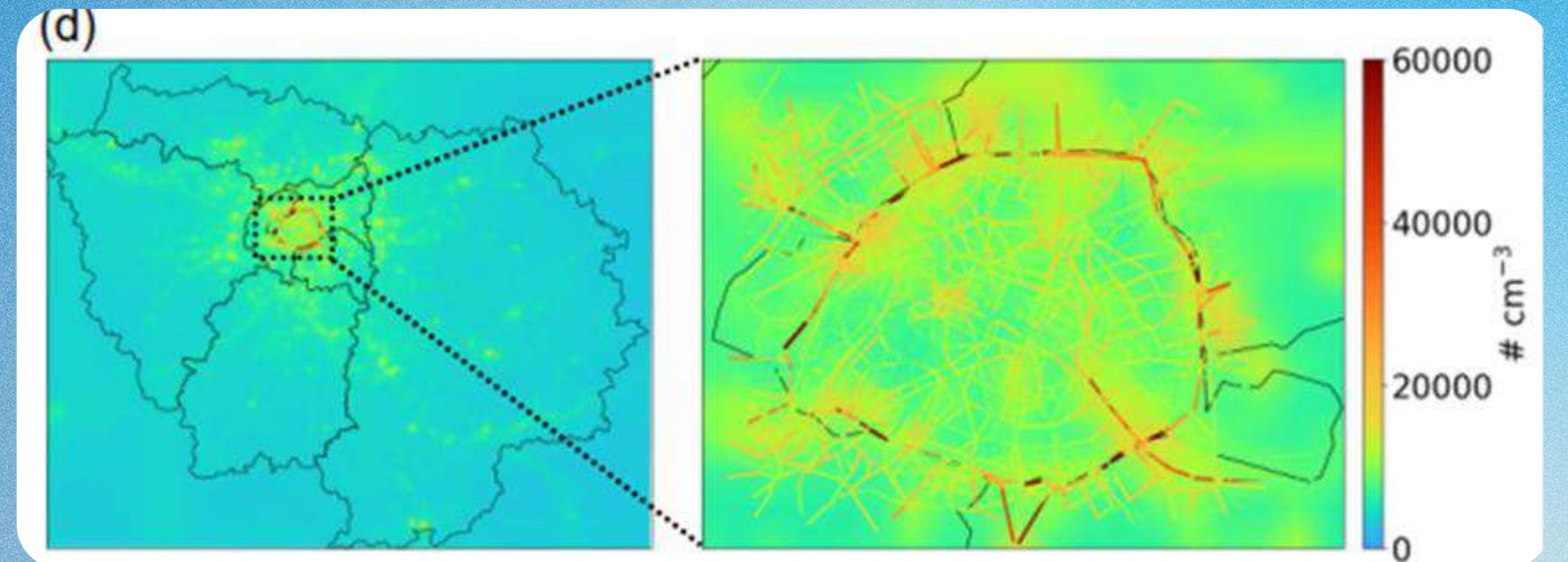
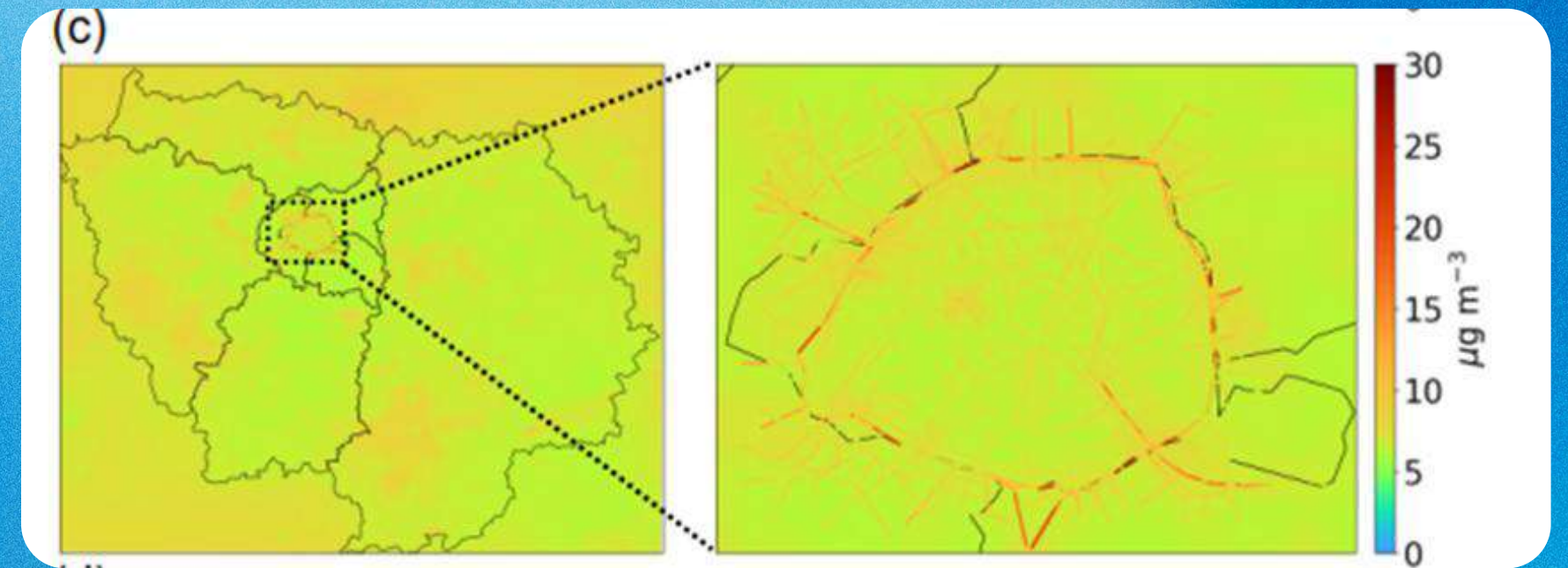


- Fort impact des particules fines (PM_{2,5}), dont la masse est réglementée
- Les particules ultrafines (PUF < 100 nm) ont une faible masse (< 1 ou 2 % de celle des PM_{2,5}). Elles ne font actuellement l'objet d'aucune réglementation
- Les PUF peuvent franchir les barrières biologiques, atteindre la circulation sanguine et le cerveau

Schematic illustrating some of the key mechanisms through which inhaled ultrafine particles (UFPs) may influence secondary organs and systemic tissues (Stone et al. Environ. Health Perspect. 2017)

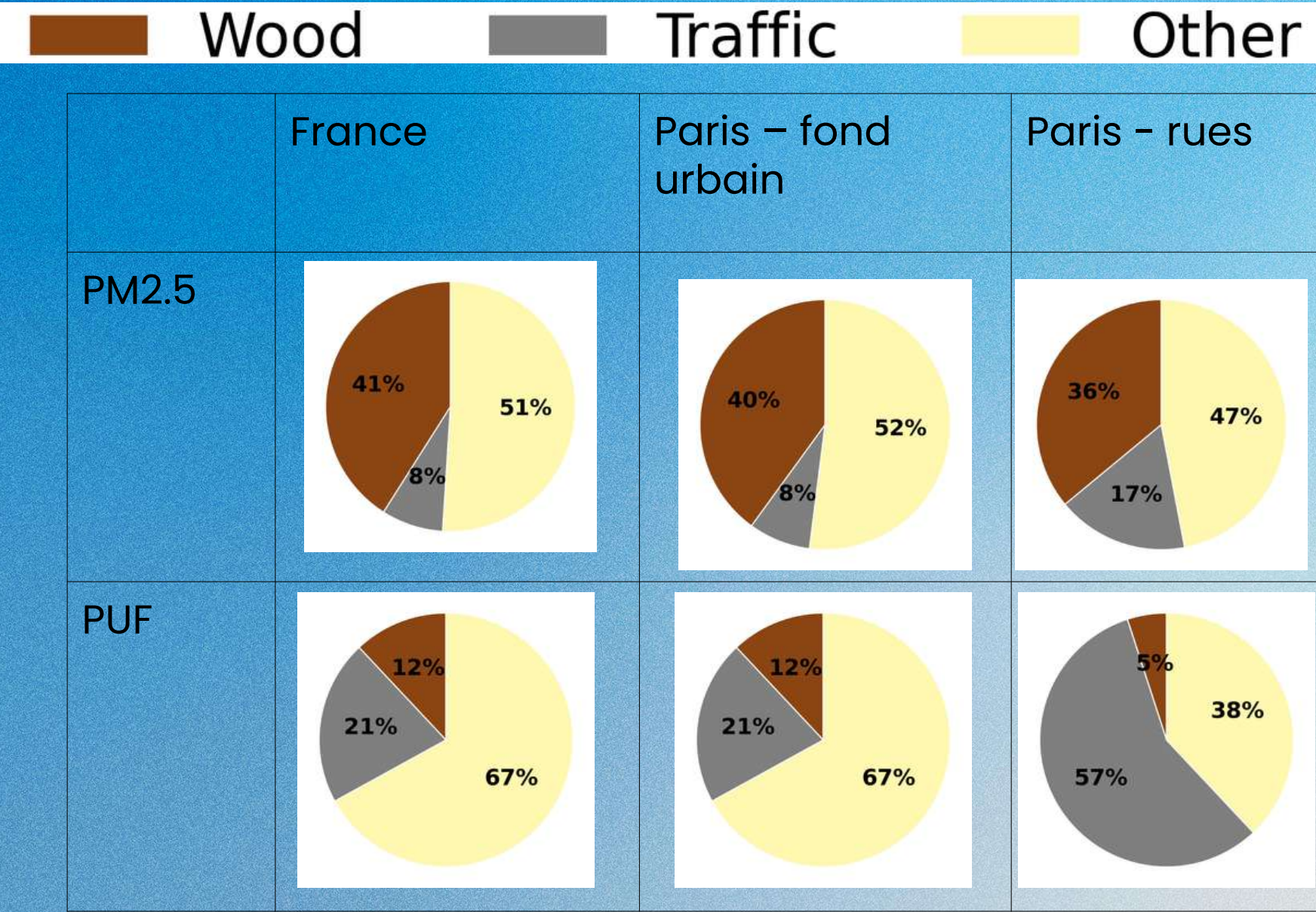
Les particules

- Concentrations élevées dans les zones urbaines
 - Pour les particules fines (PM_{2,5}), les gradients de concentration sont moins marqués que pour le NO₂
 - Des gradients de concentration très marqués pour les particules ultrafines



Les principales sources

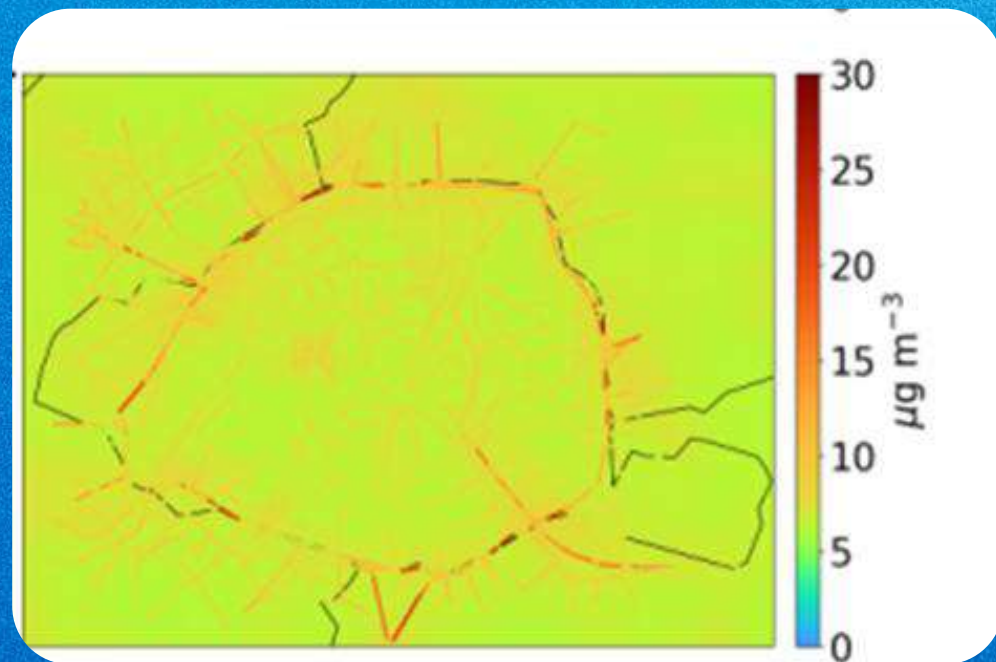
- Le trafic influence fortement les concentrations de NO₂, PUF, carbone suie
- Le chauffage au bois influence fortement les concentrations de PM2.5 et carbone suie



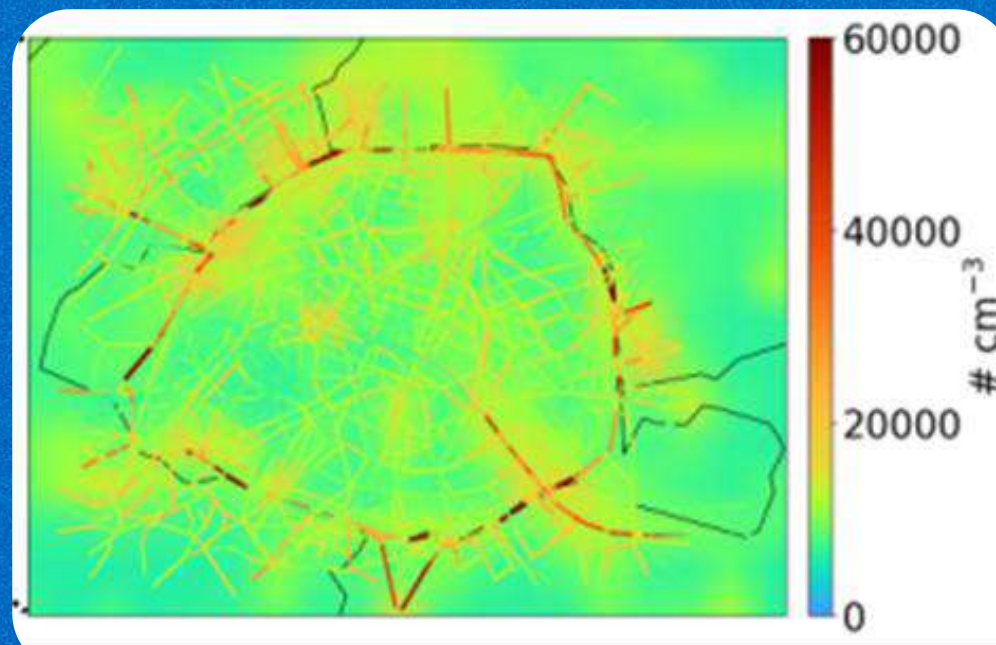
[Lugon et al. J Hazard. Mat
2026]

Influence trafic et chauffage au bois pour l'hiver
2020/2021
Lugon et al. J Hazard. Mat 2026

Hétérogénéité spatiale des concentrations de polluants urbains



Le NO_2 , le carbone suie et les particules ultrafines présentent des contrastes de concentration plus marqués en milieu urbain que la masse des particules.



=> Quelles en sont les conséquences sur la santé ? Les gradients de concentration urbaine contribuent-ils aux inégalités en matière de santé ?

Concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ (en haut) et de PUF (en bas) au cours de l'été 2022 [Source : Park et al., Atmos. Chem. Phys. 2025]

Concentrations de polluants atmosphériques réglementés ayant une incidence sur la santé

Nouvelle directive européenne en octobre 2024 :

- Valeurs limites révisées à respecter d'ici 2030
 - « Nouveaux » polluants à surveiller
- ⇒ Meilleure caractérisation des particules, de leurs propriétés et de leurs précurseurs (particules ultrafines, carbone suie, potentiel oxydant des particules)

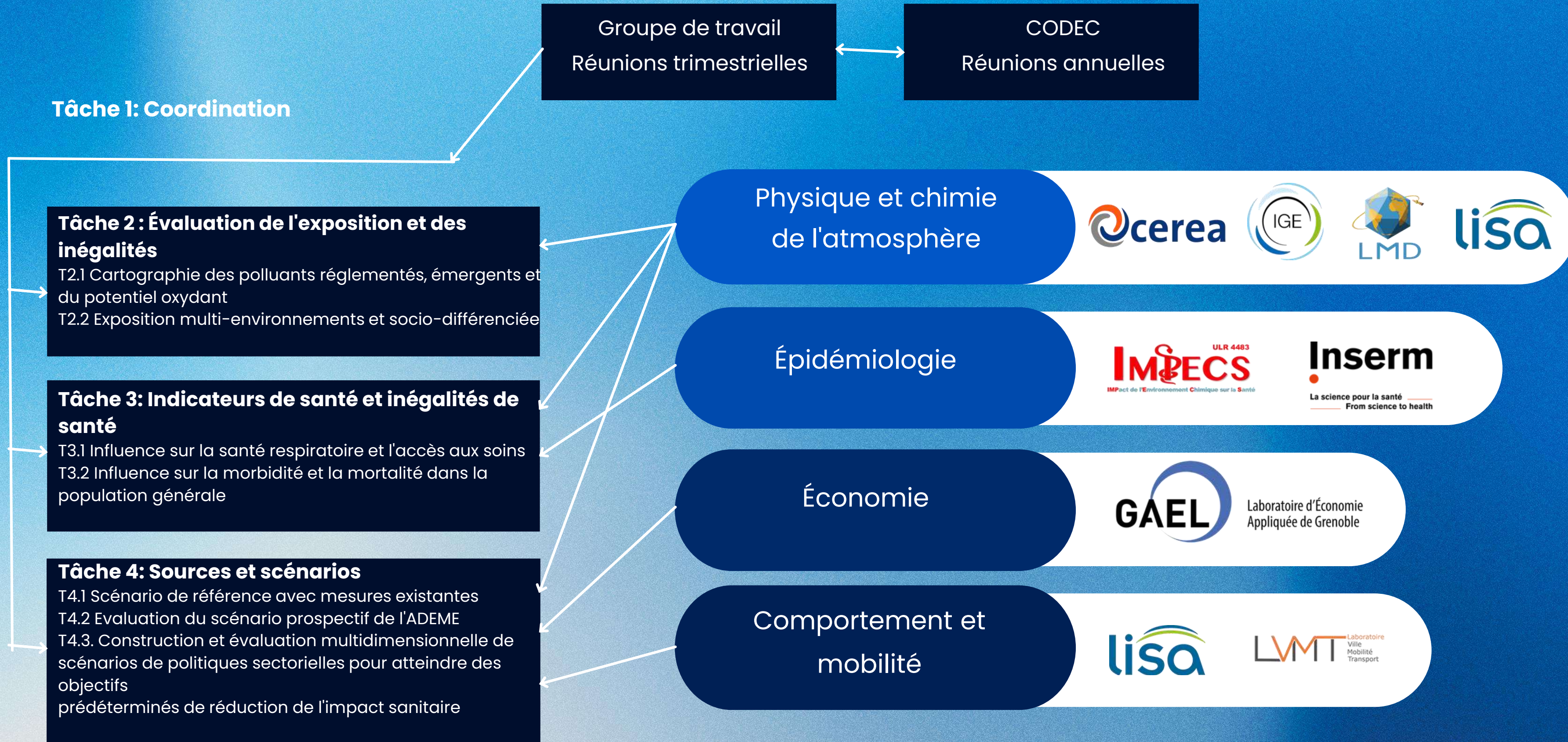
Polluant	Valeur limite actuelle	Valeur limite cible pour 2030	OMS (2021)	Nature de la valeur limite
NO2	40 µg/m ³	20 µg/m ³	10 µg/m ³	Concentration moyenne annuelle
		50 µg/m ³ (18)	25 µg/m ³	Concentration moyenne journalière (nombre de dépassements autorisés)
PM2.5	25 µg/m ³	10 µg/m ³	5 µg/m ³	Concentration moyenne annuelle
		25 µg/m ³ (18)	15 µg/m ³	Concentration moyenne journalière (nombre de dépassements autorisés)

COMMENT LE PROJET URBHEALTH PERMET-IL D'ADRESSER CES ENJEUX : PRÉSENTATION DES WP

02



Programme de travail et disciplines mobilisées



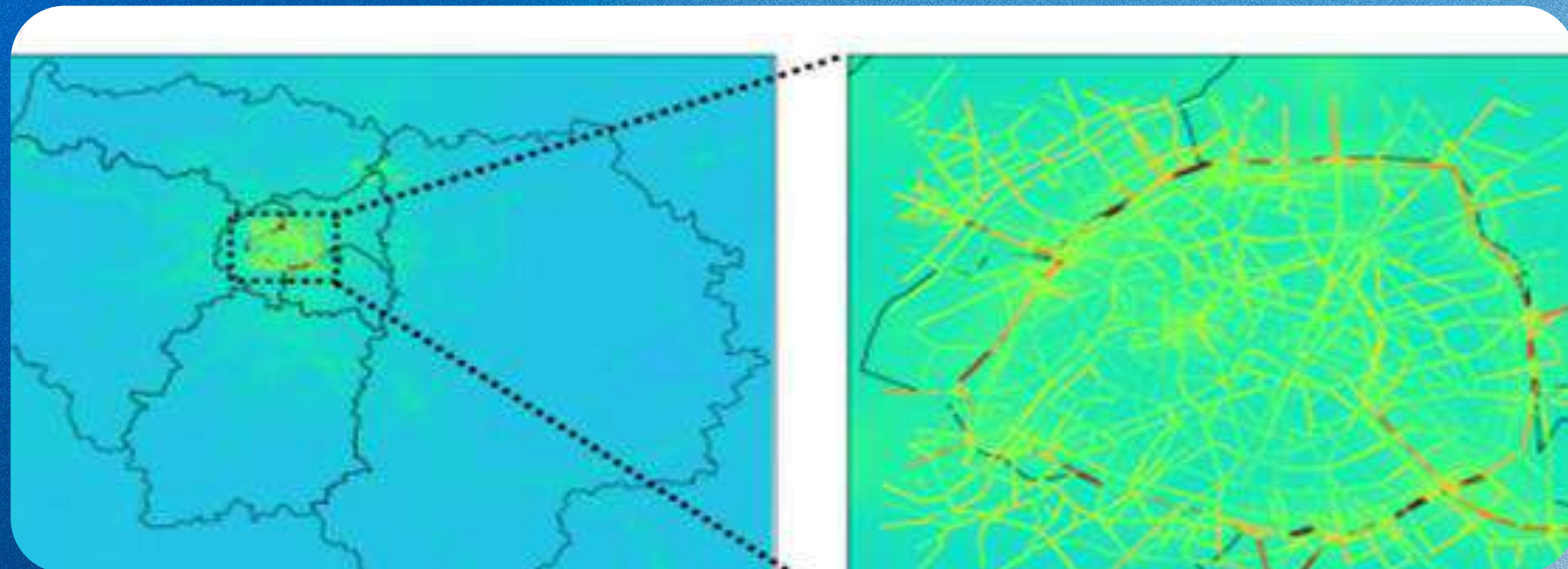
WP2.1 Modélisations multi-échelles des polluants réglementés & émergents

Expertise

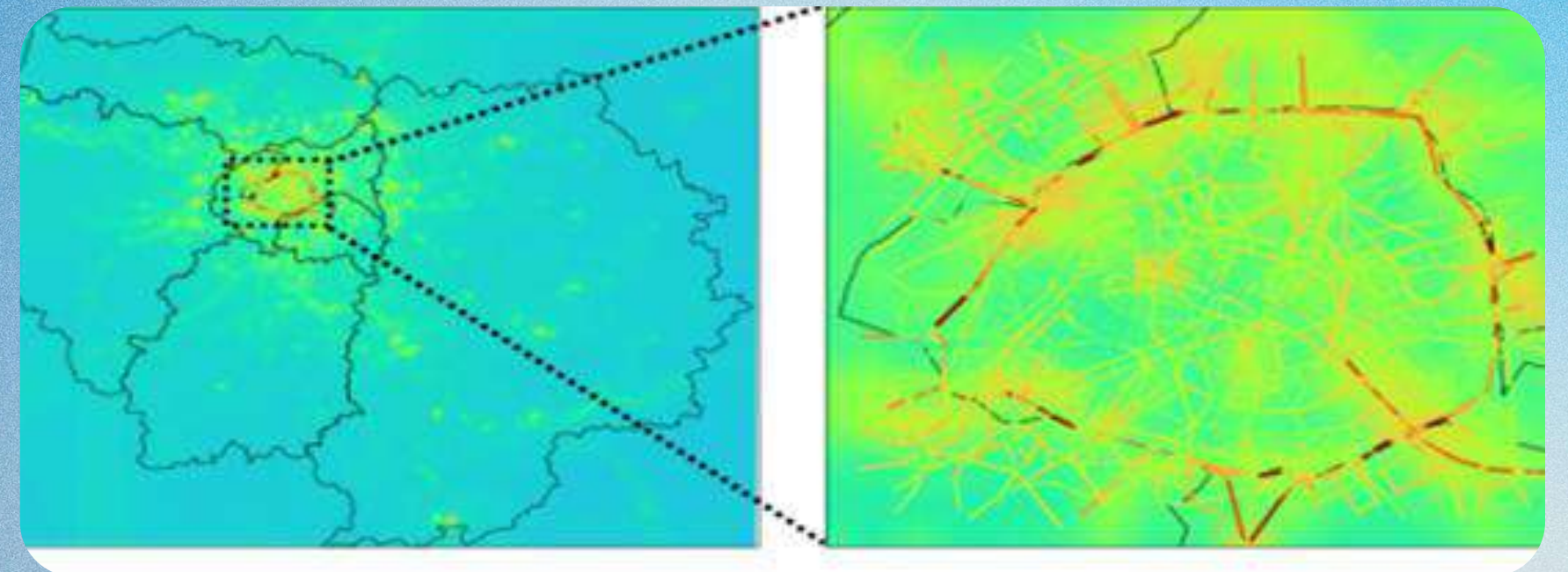
- Modélisation des transformations physico-chimiques
- Modélisation des émissions des particules ultrafines
- Modélisation multi-échelle des concentrations des polluants réglementés et émergents jusqu'à l'échelle de la rue
- Représentation de la distribution spatiale et temporelle des concentrations

Résultats précédents

Concentrations moyennes du **BC** en été



Concentrations moyennes des **PUF** en été



[Sartelet et al. Environ. Int. 2005]



Youngseob
KIM



Lya
LUGON



Karine
SARTELET



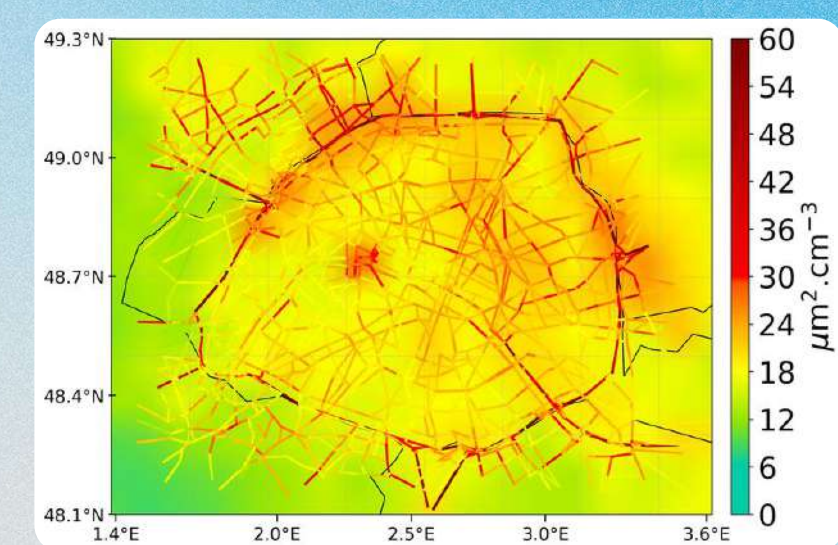
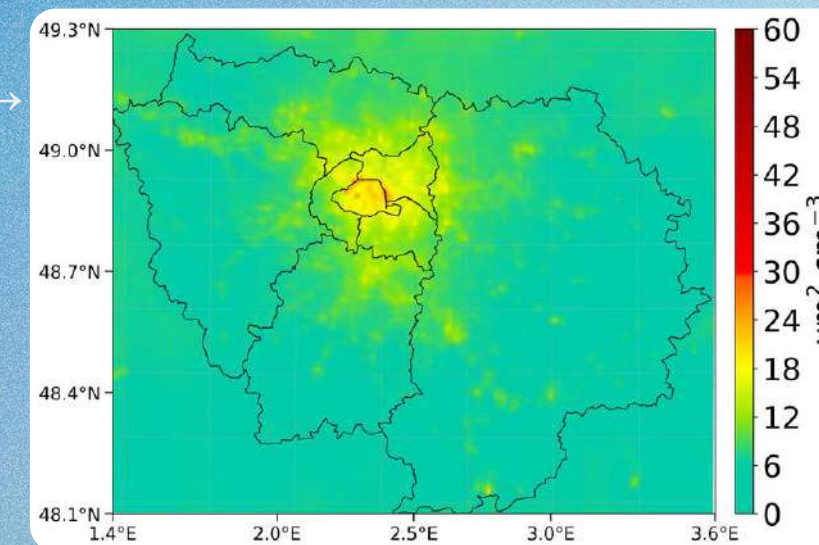
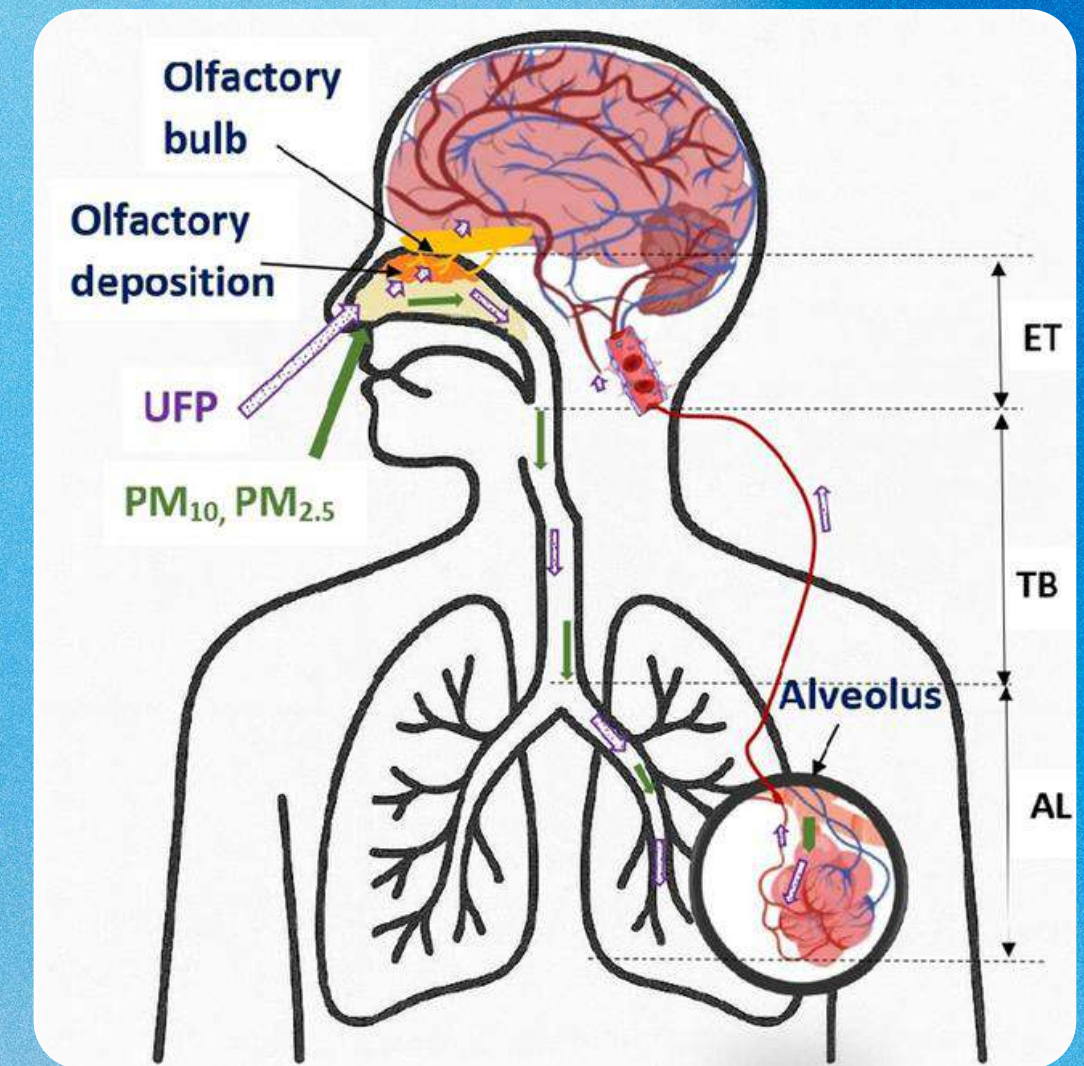
Yelva
ROUSTAN



Myrto
VALARI

WP2.1 Lung-deposited surface area

- L'exposition présentant un risque pour la santé dépend de l'endroit où les particules se déposent dans les voies respiratoires => LDSA mesure la surface des particules susceptible de se déposer dans les différentes régions du système respiratoire
- Le LDSA capture le danger des PUF : Les PUF ont une masse quasi négligeable, mais elles représentent une part importante de la surface déposée.
- **Dépôt alvéolaire (LDSAAL)** : translocation potentielle des particules ultrafines (UFP) à travers la barrière épithéliale → circulation systémique → organes secondaires
- **Dépôt olfactif (LDSAOLF)** : transport neuronal des particules ultrafines (UFP) le long des nerfs olfactifs → exposition directe du cerveau
- Les particules ultrafines qui se déposent dans la région olfactive peuvent atteindre le cerveau beaucoup plus efficacement que les autres



LDSA pour l'hiver 2020/2021 et contribution trafic et chauffage au bois, [Sartelet et al. Environ. Sci & Tech 2026]

WP2.1 Mesures du potentiel oxydant et de composition chimique des PM à Paris



Gaëlle
UZU



Anouk
MARSAL

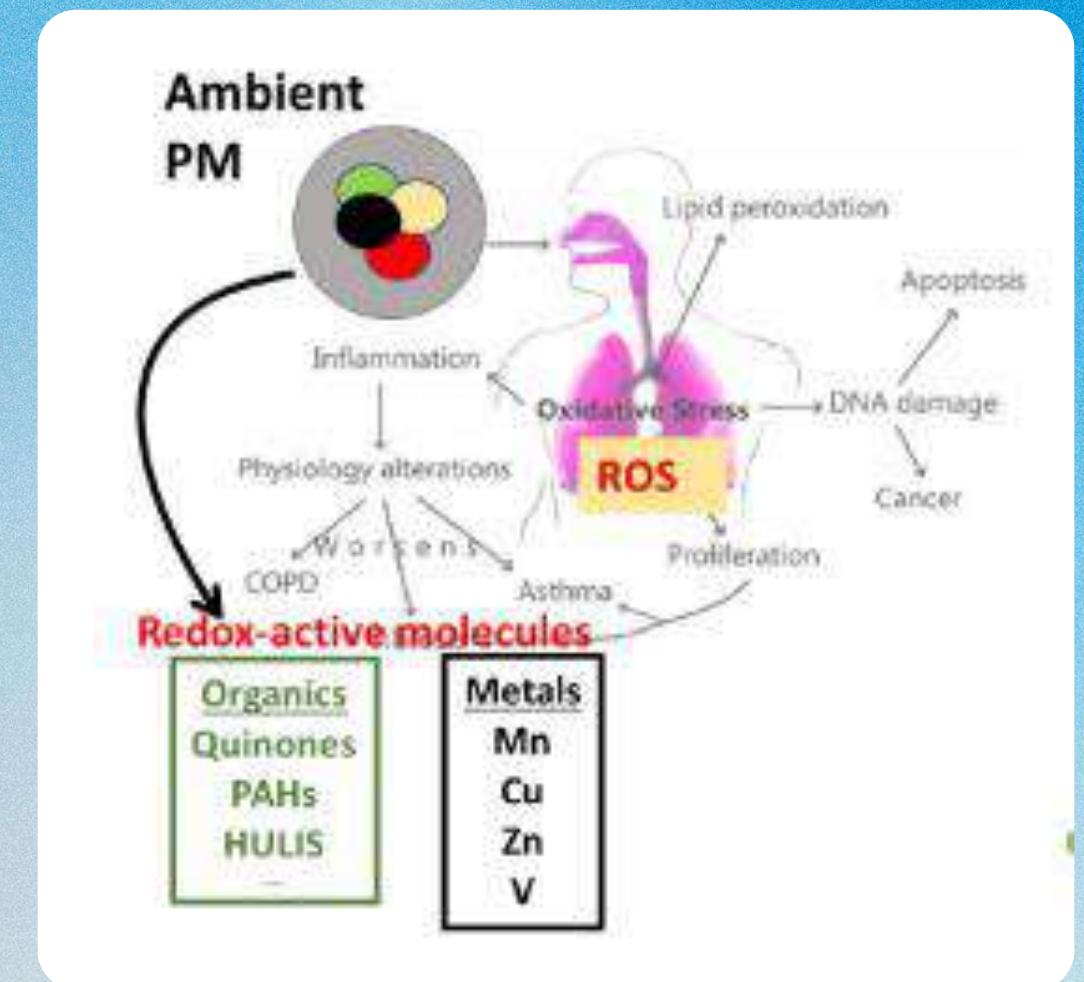
Potentiel Oxydant représente la capacité des particules à induire un stress oxydatif

Le stress oxydatif est l'un des principaux mécanisme biologique impliqué dans les effets néfastes des PM sur la santé

Le PO est une métrique intégrant plusieurs paramètres des PM en un seul indicateur (solubilité, taille, réactivité...)

Expertise

- Analyses du suivi des niveaux PO ambiants en lien avec la composition chimique
- Liens sources d'émission-PO-santé



WP2.1 Modélisation du potentiel Oxydant (PO) et des métaux associés



Gilles
FORET



Guillaume
SIOUR



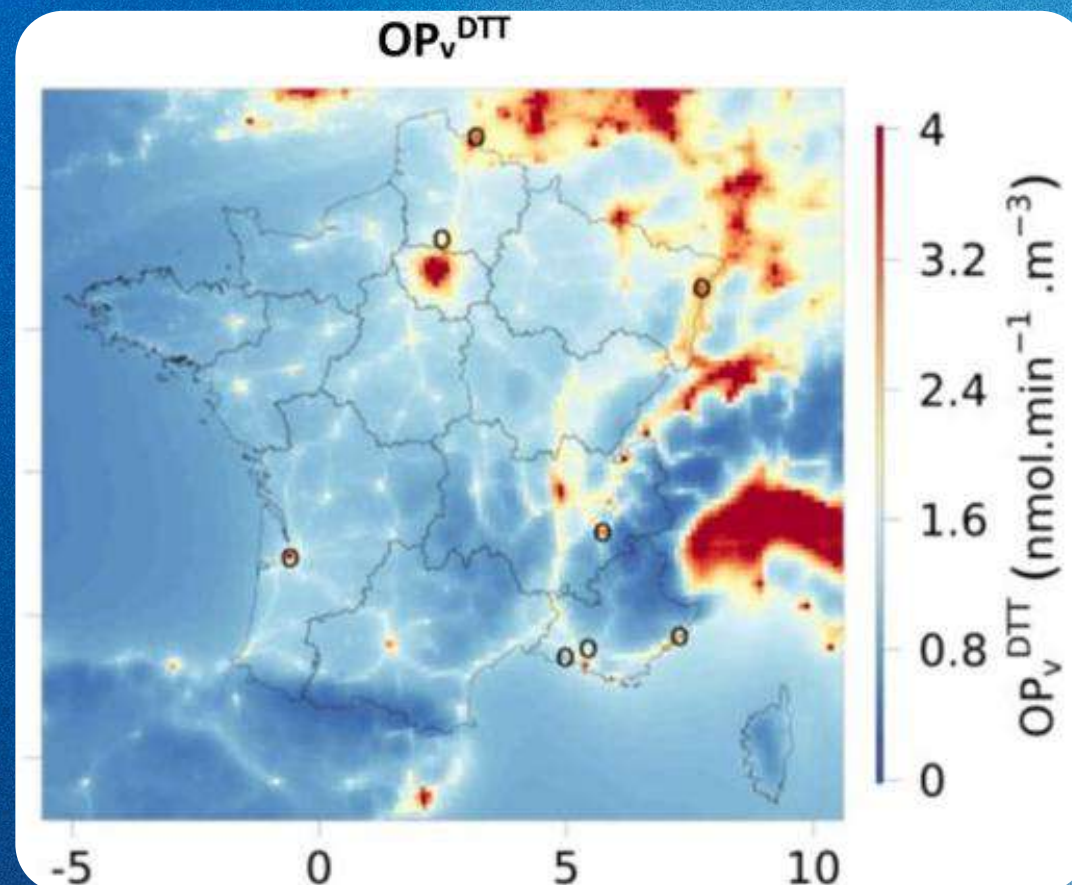
Matthias
BEEKMANN

Expertise

- Modélisation du PO semi-empirique (à partir des obs.)
- Inventaire et modélisation (continentale) des métaux associés (Cu, Fe, Mn)

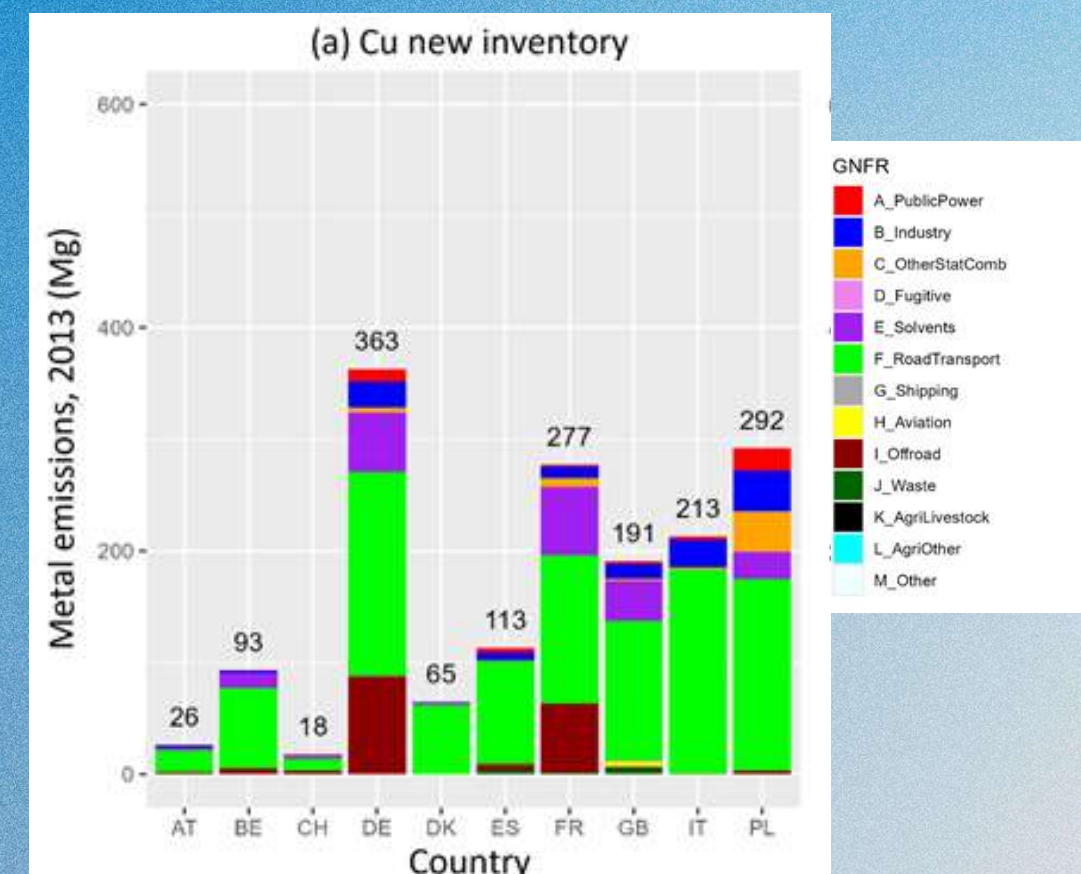
Résultats précédents

Modélisation du PO avec CHIMERE

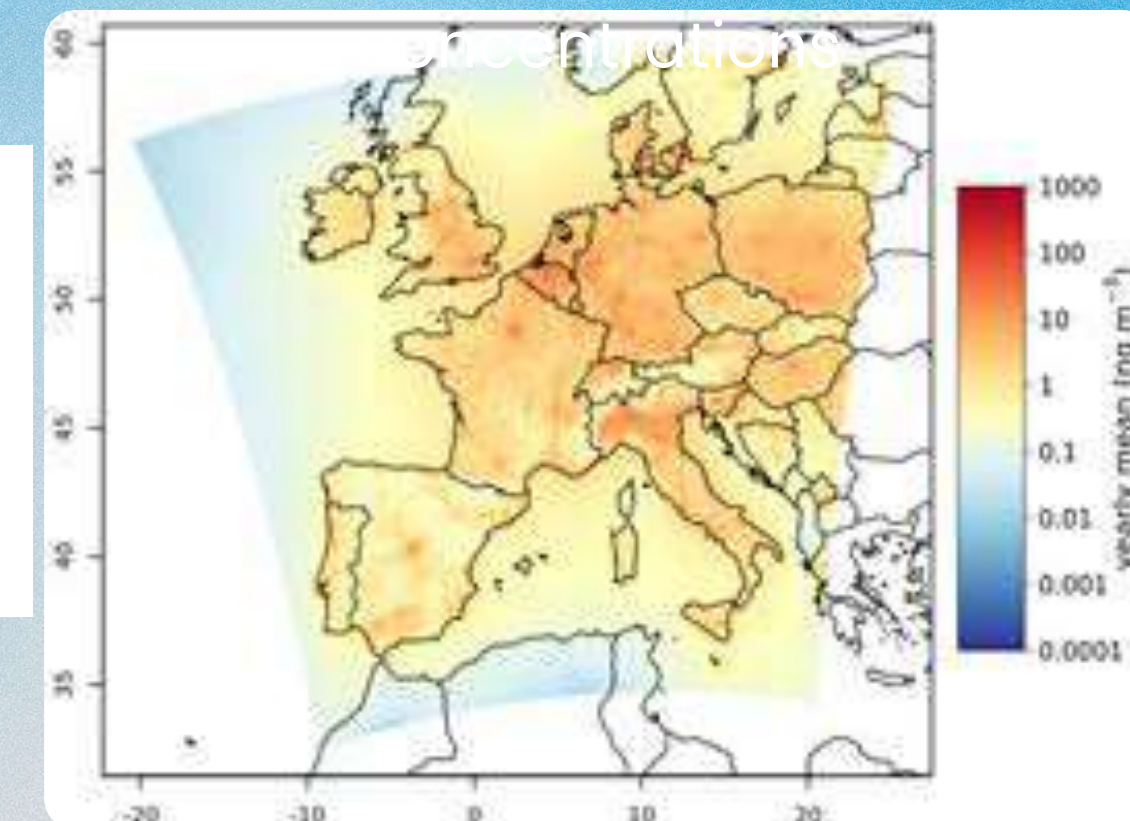


Vida et al, 2025

Cu emissions



Cu



Dubois et al, subm

WP2.2 Exposition multi-environnements



Arthur
ELESSA ETUMAN



Isabelle
COLL



Taos
BENOUSSAID



Myrto
VALARI



Alexis
POULHES

Expertise

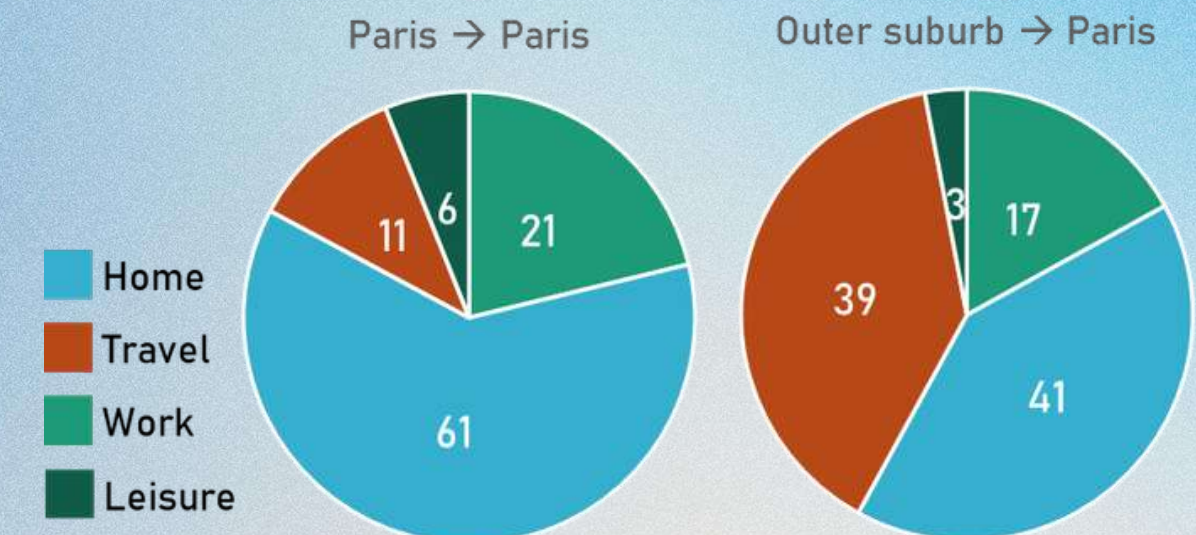
- Modélisation de l'activité et de la mobilité des individus
- Caractérisation de la qualité de l'air dans les micro-environnements I/E
- Modélisation des profils diurnes d'exposition

Résultats précédents

- Cartographie du risque d'exposition par type de micro-environnement
- Exposition pendant la mobilité
- Modélisation de l'exposition dynamique des individus



Exposition des piétons pendant leur déplacement (Poulhes et al. 2025)



Contribution des activités à l'exposition journalière, par profil de mobilité [Benoussaid et al., 2024, AQ conference]

WP2.2 Exposition socio-différenciée



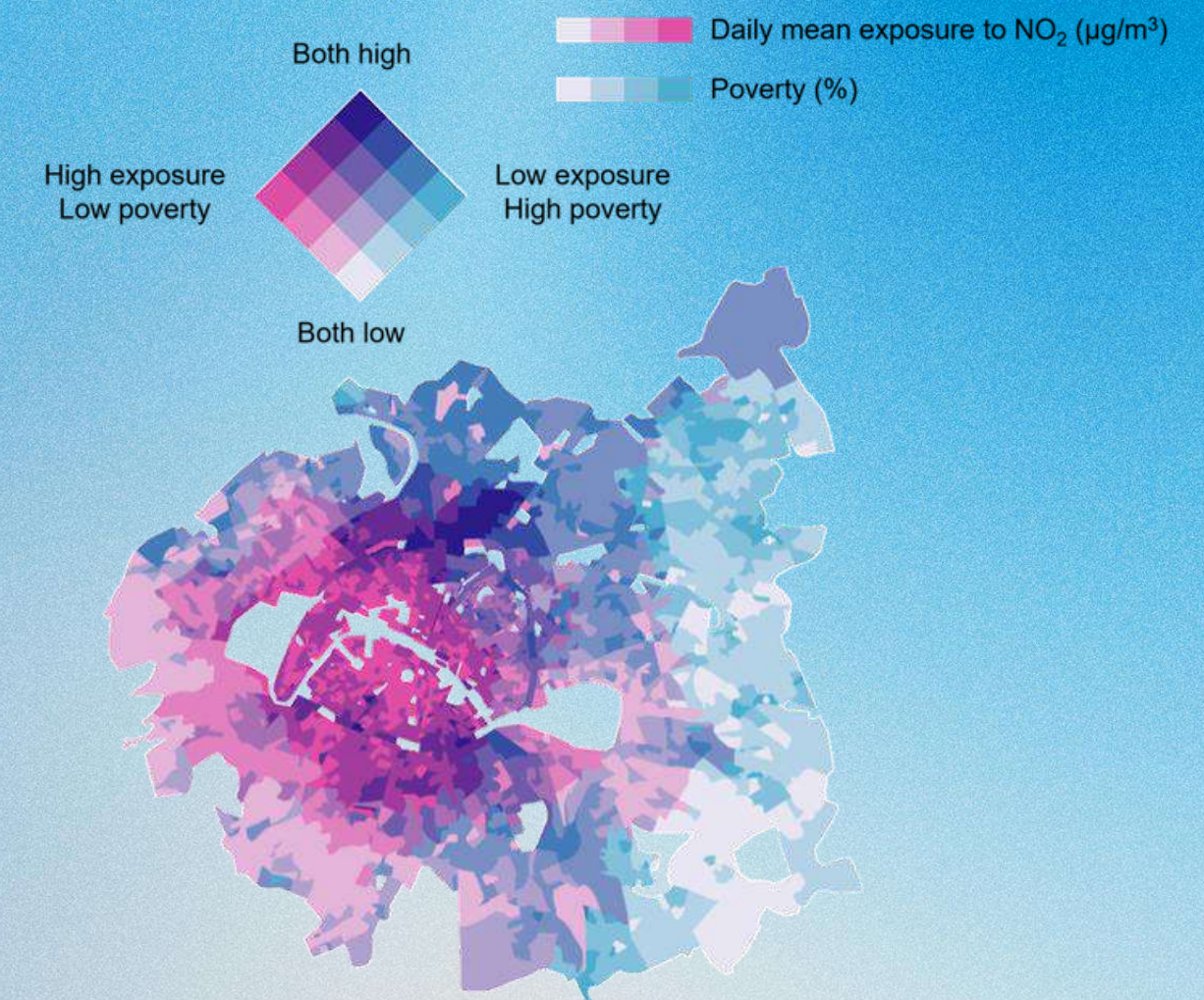
Taos
BENOUSSAID

Expertise

- Modélisation de profils socio-démographiques complexes
- Modélisation de comportements de mobilité socio-différenciés
- Indicateurs de vulnérabilité sociale

Résultats précédents

- Exposition dynamique des populations par profil socio-démographique
- Caractérisation d'inégalités et de vulnérabilités environnementales



Analyse socio-spatiale du risque d'exposition [Benoussaïd et al., 2025, subm.]

WP2.2 Echange air intérieur/extérieur



Myrto
VALARI



Thierno
DIALLO



Bernard
COLLIGNAN



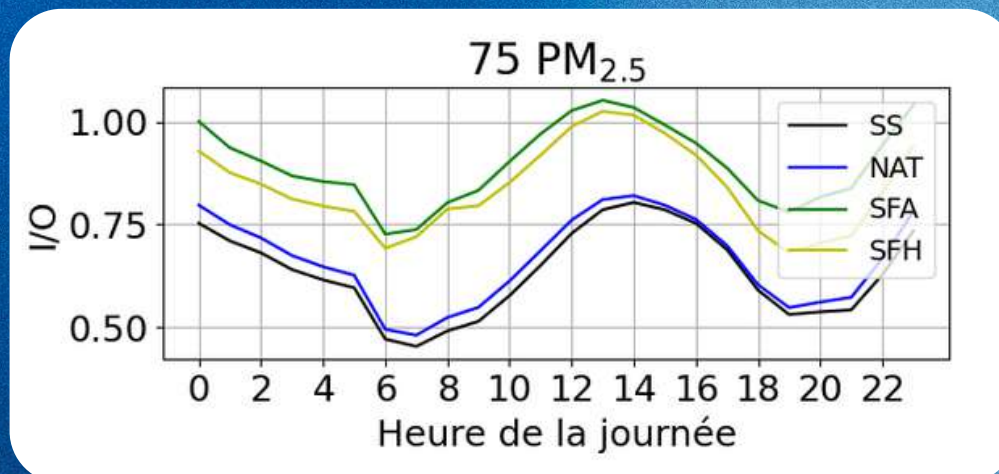
Karine
SARTELET

Expertise

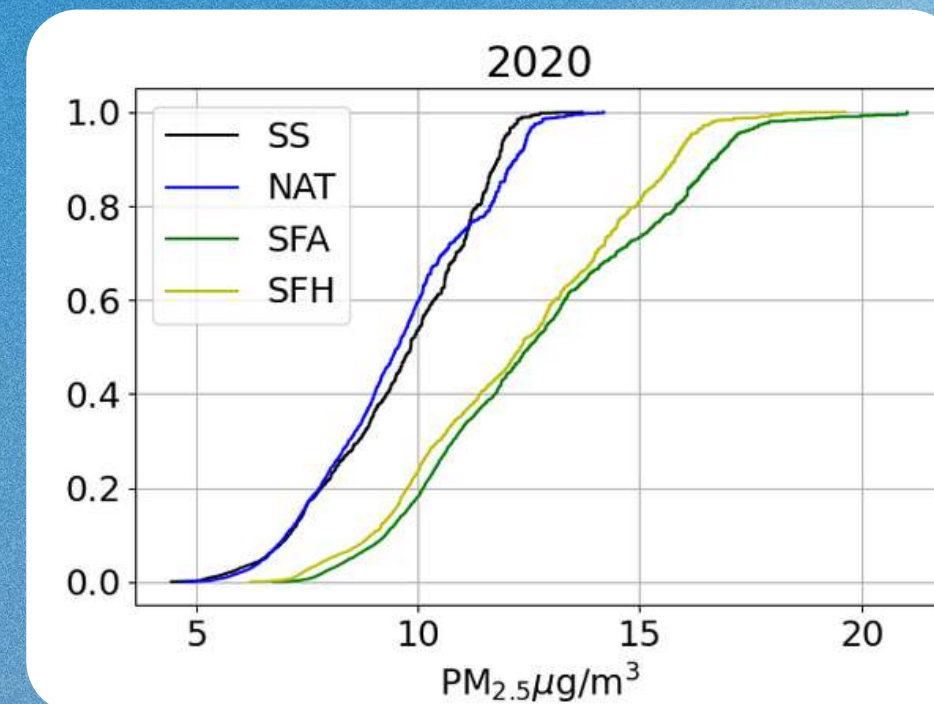
- Evaluation de la qualité de l'air intérieur
 - Transfert des polluants à travers l'enveloppe des bâtiments
 - Echange d'air intérieur/extérieur grâce à la ventilation
 - Sources intérieures

Résultats précédents

Concentration intérieur/extérieur en fonction de la ventilation

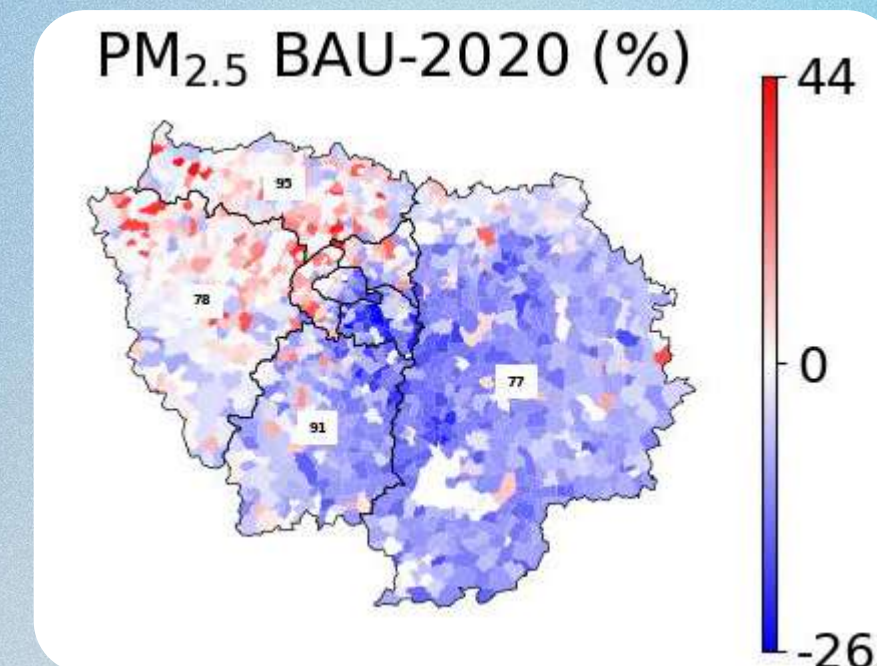


Exposition en fonction de la ventilation



[Valari et al.]

Différence d'exposition entre deux scénarios d'évolution des bâtiments et du climat à horizon 2050



WP3.1 Épidémiologie avec la cohorte

CONSTANCES



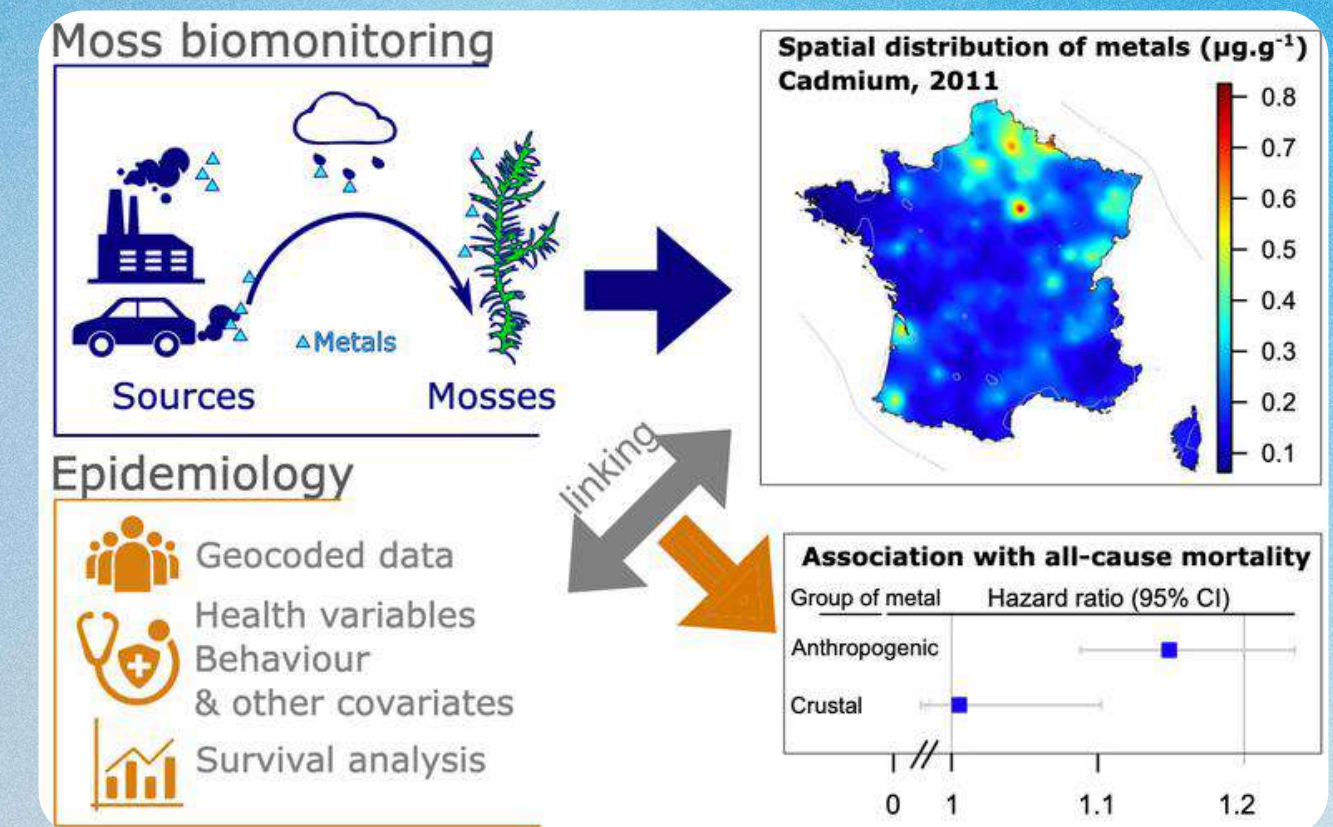
Emeline
LEQUY

Expertise

- **Épidémiologie environnementale** => Cohorte en population générale Constances (220 000 volontaires / $\approx$ 37k franciliens, âgés entre 18-69 / 1 questionnaire annuel + visite médicale / 4 ans)

Résultats précédents

- Associations entre différentes expositions environnementales, dont la qualité de l'air, et différents problèmes de santé dans la cohorte Constances et sa 'petite sœur' la cohorte Gazel



WP3.2 Impacts sanitaires



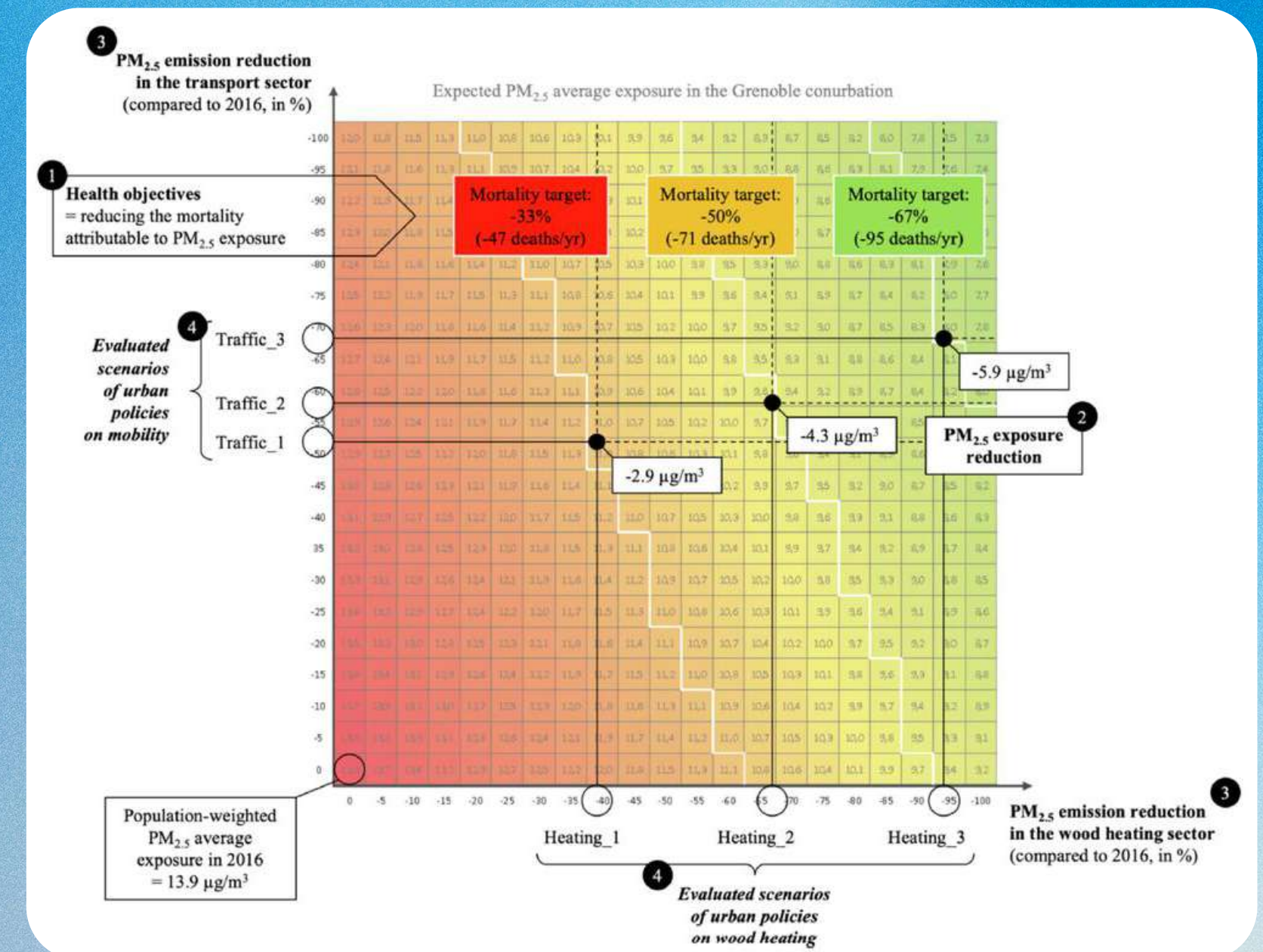
Stephan
GABET

Expertise

- Epidémiologie évaluative en santé-environnement
- Evaluation quantitative d'impact sanitaire (EQIS) de scénarios de transition mobilitaire

Résultats précédents

- EQIS des PM2.5 anthropiques à l'échelle de la métropole de Grenoble (MobilAir)
- Identification et évaluation de scénarios basés sur le trafic et le chauffage au bois et visant à réduire l'impact sanitaire des PM2.5



WP4. Analyse d'impact de scénarios prospectifs

Expertise

- Analyse de scénarios ADEME transition 2050
- Analyse de scénarios véhiculaires (multi-échelle et multi-polluants)

Résultats précédents

- Cartographies à l'échelle de la rue des impacts sur la qualité de l'air et distribution de l'exposition



Myrto
VALARI



Lya
LUGON



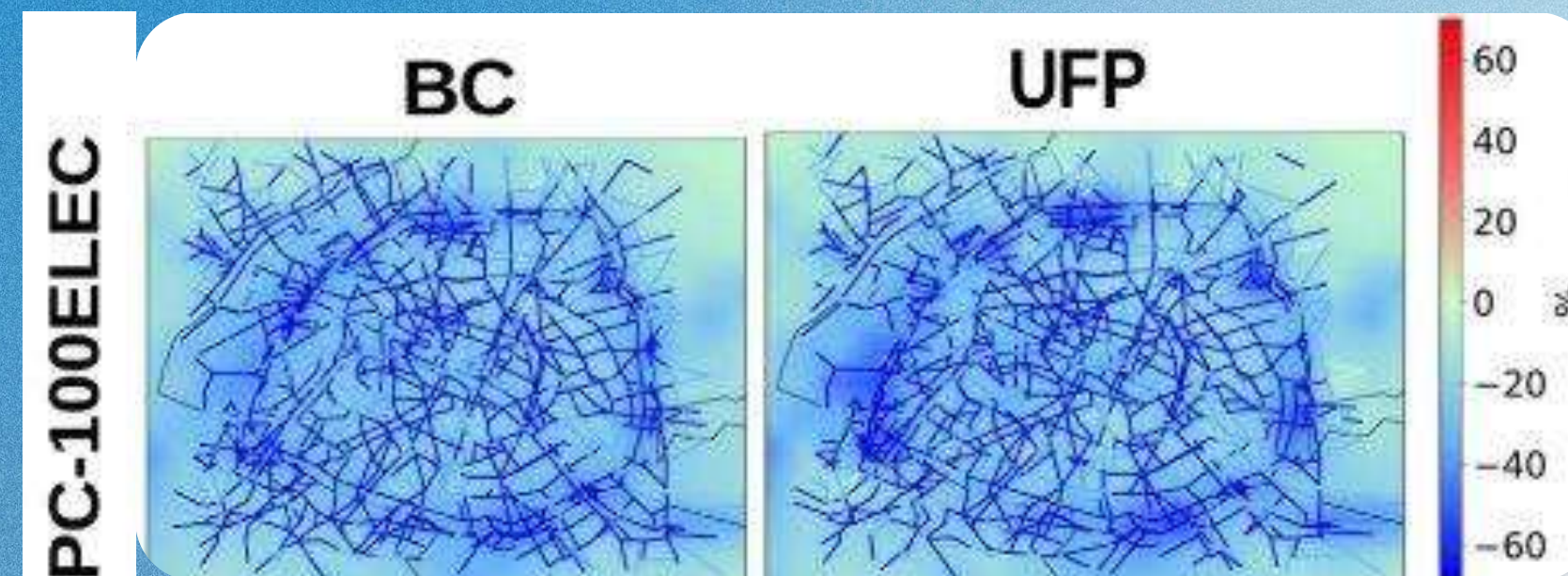
Karine
SARTELET



Arthur
ELESSA ETUMAN



Yelva
ROUSTAN



Réductions relatives des concentrations évaluées en basculant l'ensemble des véhicules particuliers vers des motorisations électriques [Lugon et al., Sci. Tot. Environ. 2025]

WP4. Scénarios de mobilité

Expertise

- Modélisation de la vulnérabilité face aux politiques de mobilité
- Modélisation des émissions dans des scénarios de contrôle des mobilités



Sandrine
MATHY



Alexis
POULHES



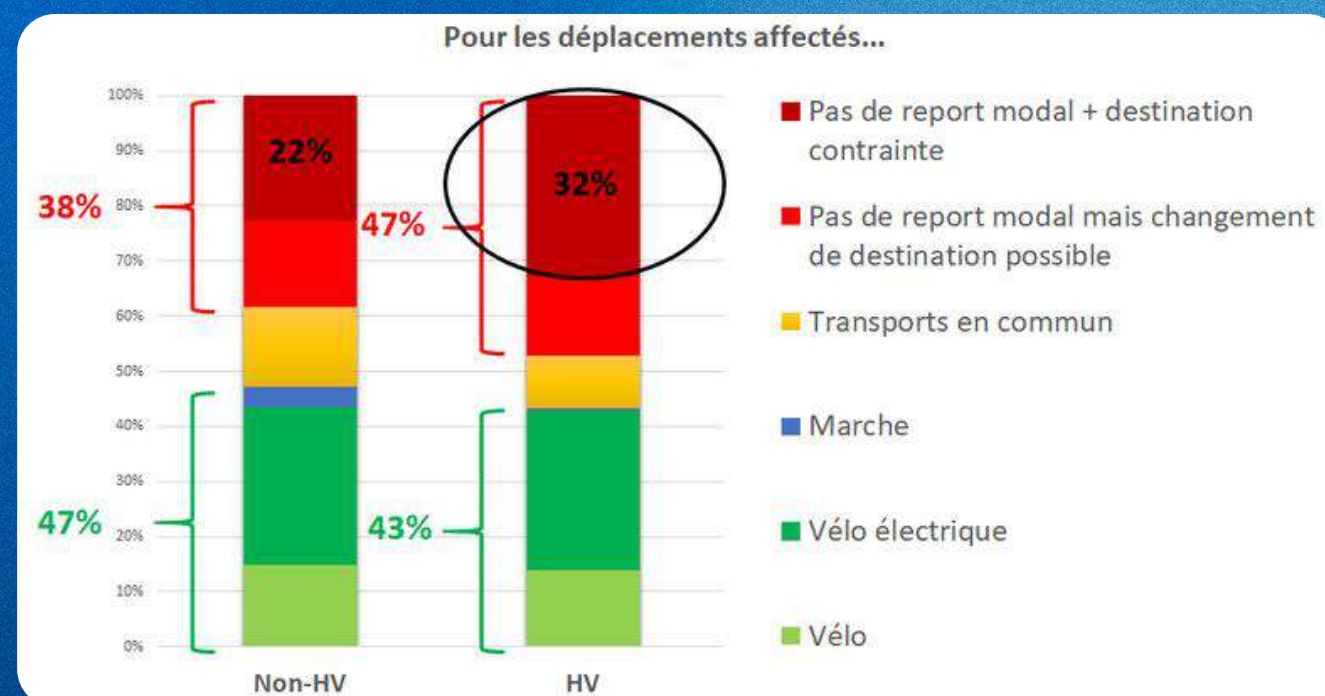
Arthur
ELESA ETUMAN



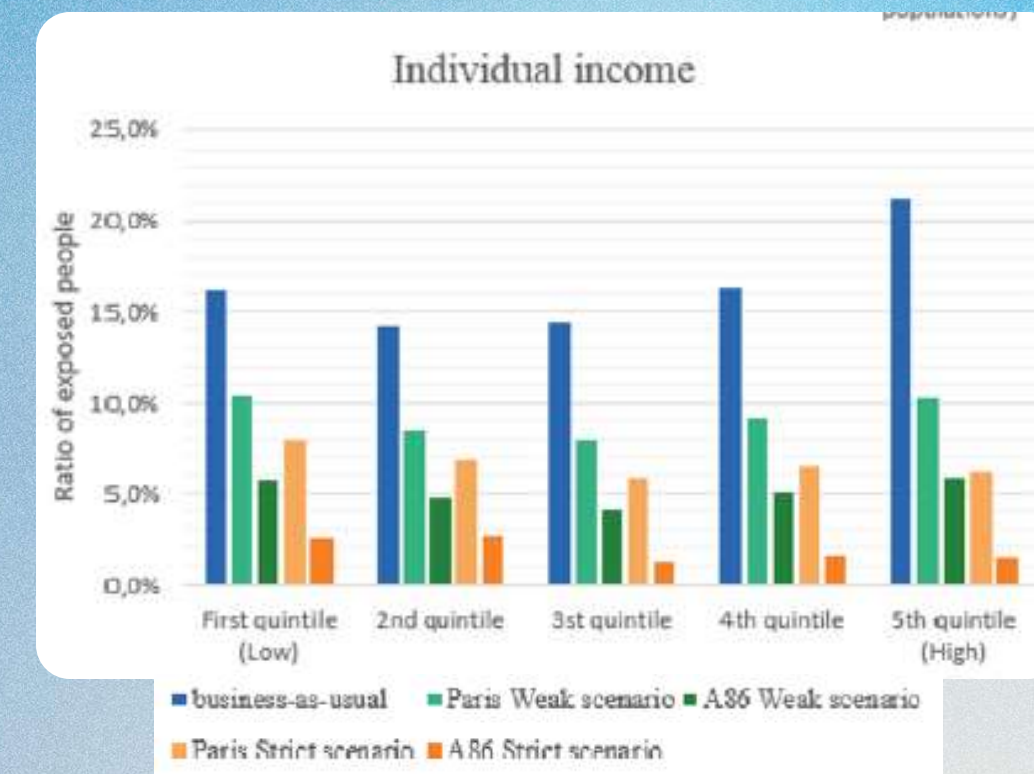
Isabelle
COLL

Résultats précédents

- Évaluation intégrée des scénarios (pollution, exposition, inégalités, vulnérabilités, coûts – bénéfices) pour guider l'action publique



Solutions d'adaptation à la ZFE pour les ménages vulnérables (HV) ou non (non-HV) [Blandin et al., 2025]



Qui bénéficie le plus de la ZFE parisienne ?
[Poulhes et al., 2024]

WP4. Co-construction des scénarios prospectifs



Besoins et attentes des collectivités

- Quels indicateurs d'impact sanitaire (morbidité, mortalité)
- Sur quelles sources souhaitez vous travailler ?
- À quel horizon temporel ?



Expertise des Agences

- Santé : discussions autour des indicateurs d'impact sanitaire et choix des RR de référence
- Cadre législatif en lien avec la qualité de l'air
- Données : émissions, scénarios prospectifs 2030 et 2035

Scénarios du projet URBHEALTH :

Explorer des mesures envisagées / expérimentales par les collectivités dans des scénarios avec des approches sectorielles et des analyses coût-bénéfices => politique publique de réduction de la pollution atmosphérique avec des objectifs réalistes mais ambitieux

WP4. Evaluation scénarios

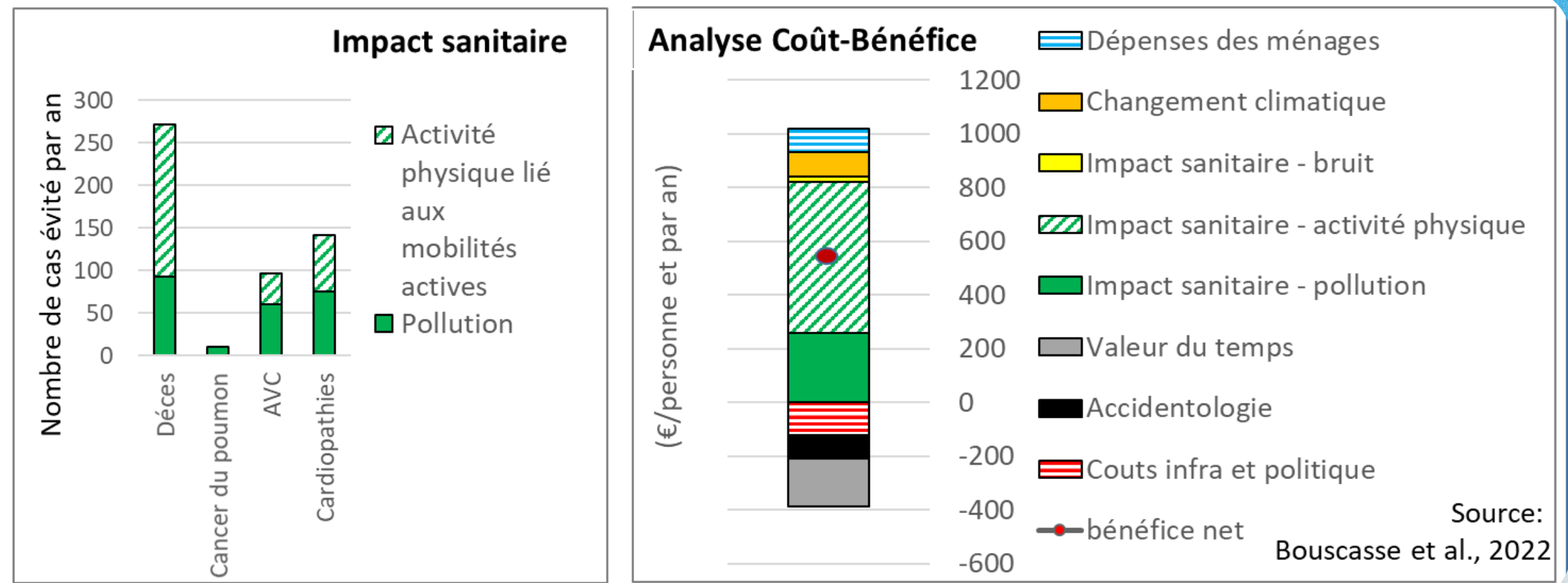


Sandrine
MATHY

Expertise

- Co-construction des scénarios
- Évaluation des coûts des mesures sectorielles et des bénéfices (notamment sanitaires et autres externalités)
- Évaluation de l'impact des politiques sur les inégalités sociales et d'exposition

Résultats précédents



Conclusion

La nouvelle directive européenne impose des réductions importantes des émissions de polluants réglementés d'ici 2030. Elle introduit l'étude de polluants émergents (BC, PUF) du Potentiel oxydant, une métrique pour estimer la toxicité des PM.

En ville, les gradients de concentration sont essentiels pour comprendre à la fois les impacts sur la santé et les inégalités d'exposition à la pollution.

Le projet URBHEALTH a pour objectif d'adresser ces enjeux en caractérisant dans un premier temps de manière plus précise à l'aide de la modélisation fine échelle, multi-environnements et dynamique l'exposition de la population de l'IDF à la pollution et les effets sanitaires associés.

Les résultats obtenus dans le cadre du projet et les questionnements des parties prenantes (collectivités et agences) permettront ensuite d'explorer des scénarios avec l'objectif de mettre en place des politiques publiques pour réduire la pollution atmosphérique.

Pour plus d'informations :



Site web



Linkedin

Merci pour votre attention !

Misha FABER

Chef de projet

misha.faber@ipsl.fr

Karine SARTELET

Coordinatrice scientifique

karine.sartelet@enpc.fr