



Pollution atmosphérique et santé: potentiel oxydant des particules atmosphériques

11 Décembre 2025

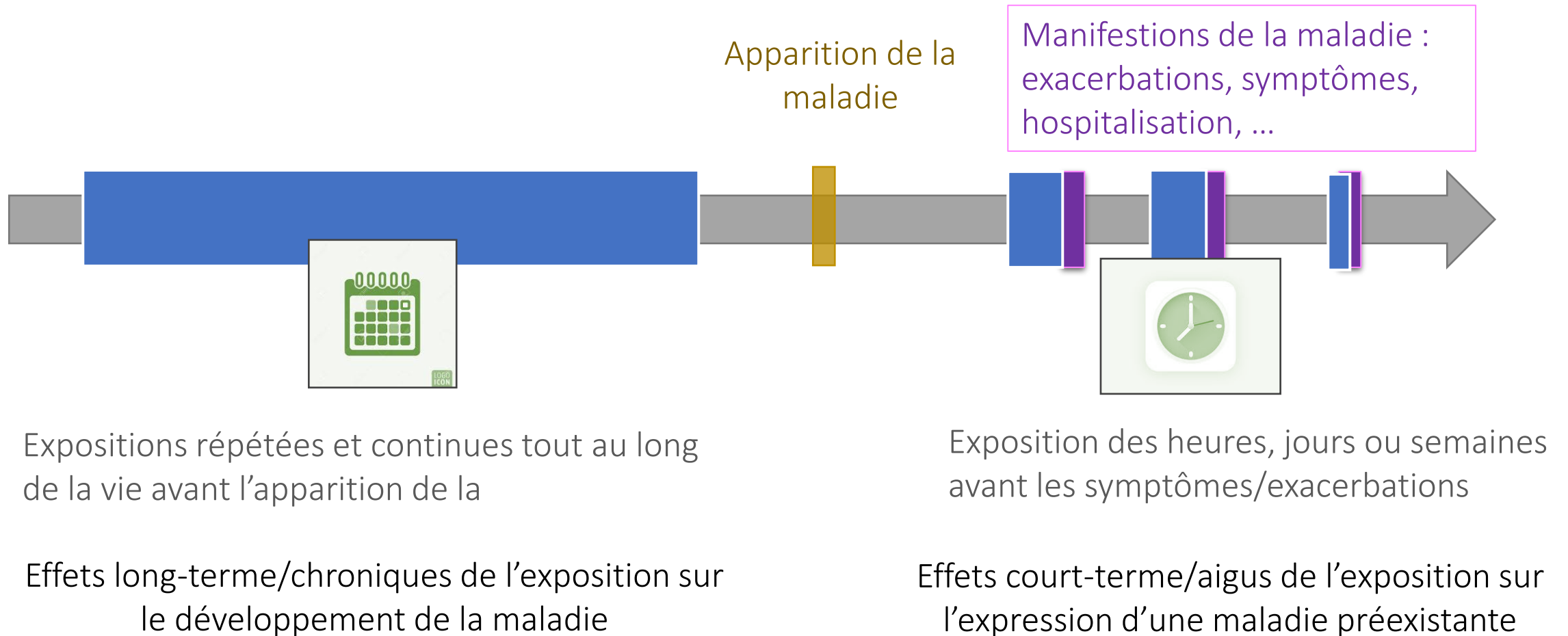
Gaelle.uzu@univ-grenoble-alpes.fr

Directrice de recherche à l'institut des Géosciences de l'environnement,
Grenoble

+ Equipe IGE: C.Tassel, A.Marsal, E. Di Antonio, R. El Azzouzi, S. Darfeuil, JL.,
Jaffrezo



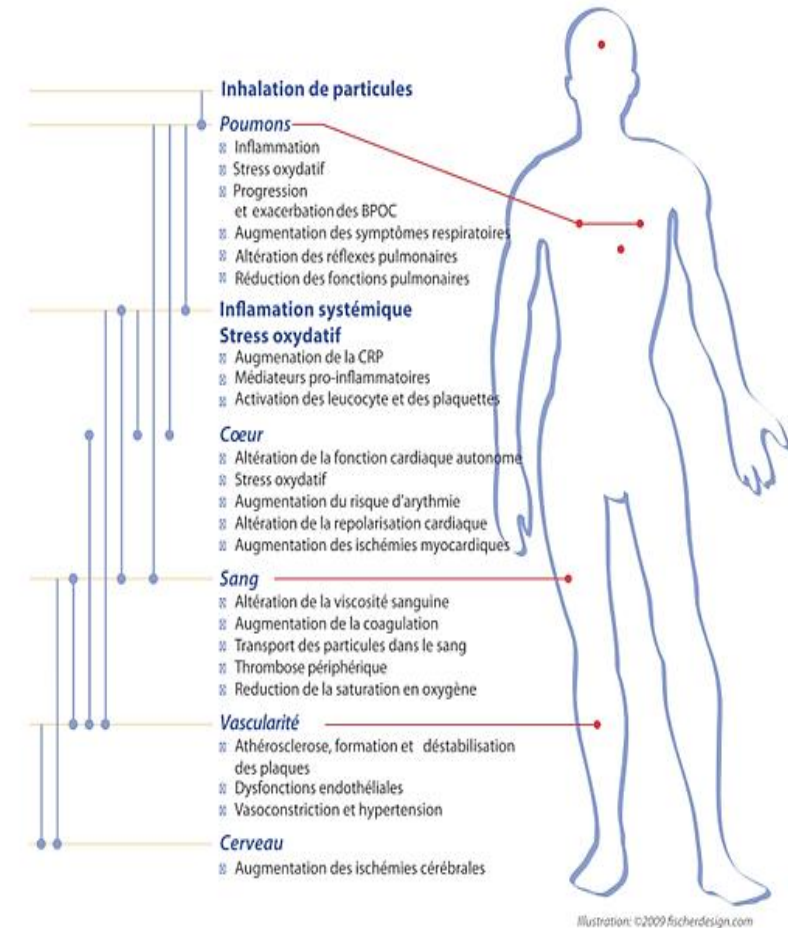
Pollution de l'air : exposition à court et long terme et effets sur la santé



Pollution de l'air et santé

40 000

personnes décèdent chaque
année de la pollution de l'air
en France



Airparif, d'après Pope & dockery, 2006

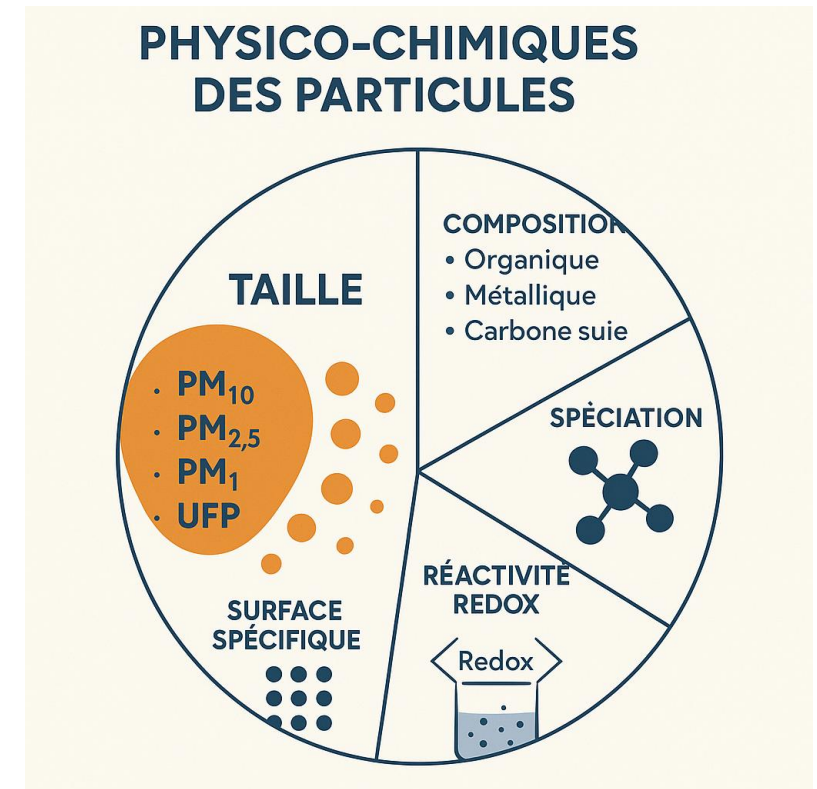
La pollution atmosphérique n'est pas un choix de mode de vie, mais implique une exposition environnementale involontaire et omniprésente qui peut toucher 100 % de la population, quel que soit le groupe d'âge concerné.

Réglementation actuelle UE et exposition aux PM

Les PM_{2.5/10} responsables de 75-90% of la mortalité prématurée attribuable à la pollution de l'air
Pas d'effet seuil

Polluant	Périodicité	Type de norme	Norme en vigueur		Norme révisée adoptée pour 2030
PM _{2,5}	Annuelle	Valeur limite	25 µg/m ³	↘	10 µg/m ³
	24h	Valeur limite	<i>pas de norme</i>	↓	25 µg/m ³
PM ₁₀	Annuelle	Valeur limite	40 µg/m ³	↘	20 µg/m ³
	24h	Valeur limite	50 µg/m ³	↘	45 µg/m ³

La toxicité des PM dépend de nombreux paramètres



[PM] peu adaptée à la prédiction événements de santé court terme (Who 2013)

La masse n'est très certainement pas le meilleur outil pour estimer les effets sanitaires,

Potentiel oxydant et directive 2024/2881/CE

- La directive européenne 2008 relative à la qualité de l'air a été révisée en 2022 et adoptée en octobre 2024.



Article 10: Monitoring supersites

1. Each Member State shall establish at least **one monitoring supersite per 10 million inhabitants** at an urban background location. Member States that have fewer than 10 million inhabitants shall establish at least one monitoring supersite at an urban background location.

.....

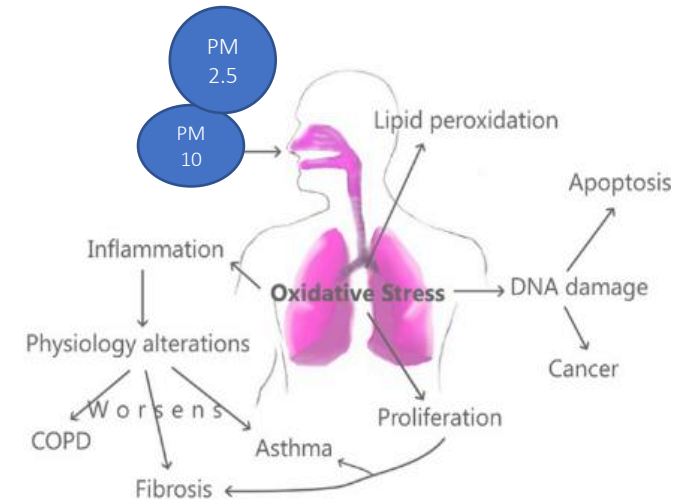
5. Measurements at all monitoring supersites at urban background locations shall include fixed or indicative measurements of BC, ammoniac, size distribution of **ultrafine particles** and **particulate matter oxidative potential**

- La création de ces supersites conduira à la production de series temporelles de ces nouvelles variables pour leur couplage avec des données de santé

Comment améliorer l'évaluation de l'exposition sanitaire?

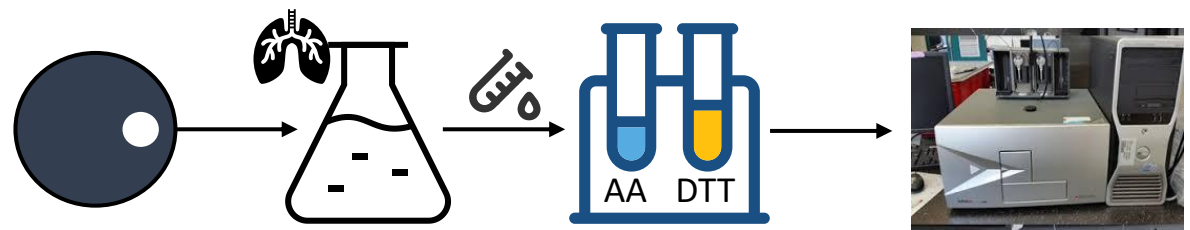
Un nouvel indicateur : LE POTENTIEL OXYDANT

- PM portent/induisent des espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui déséquilibrent le milieu pulmonaire => stress oxydatif
- Capacité intrinsèque des particules à induire un stress oxydant
- Stress oxydant est un des mécanismes majeurs de toxicité
- Pertinent pour les effets aigus des aérosols (*Daellenbach, Uzu, Nature, 2020*)



Mesure

- Quantité d'antioxydant consommée par les PM
- Offline à partir de filtres atmosphériques
- Analyse par spectrophotométrie
- Acellulaire, non invasif, peu cher
- Intégratif des propriétés de taille, composition
- IGE: pionnier en France et EU, plus large base de données connue en EU



OP_m (nmol min⁻¹μg⁻¹): Intrinsic OP of 1μg PM

OP_v (nmol min⁻¹m⁻³): PM-derived OP per m⁻³ of air

Axes de recherches sur le potentiel qui vont être favorisés par la mise en place des super sites

But:

- Validation du PO comme une métrique pertinente de l'exposition sanitaire aux particules atmosphériques

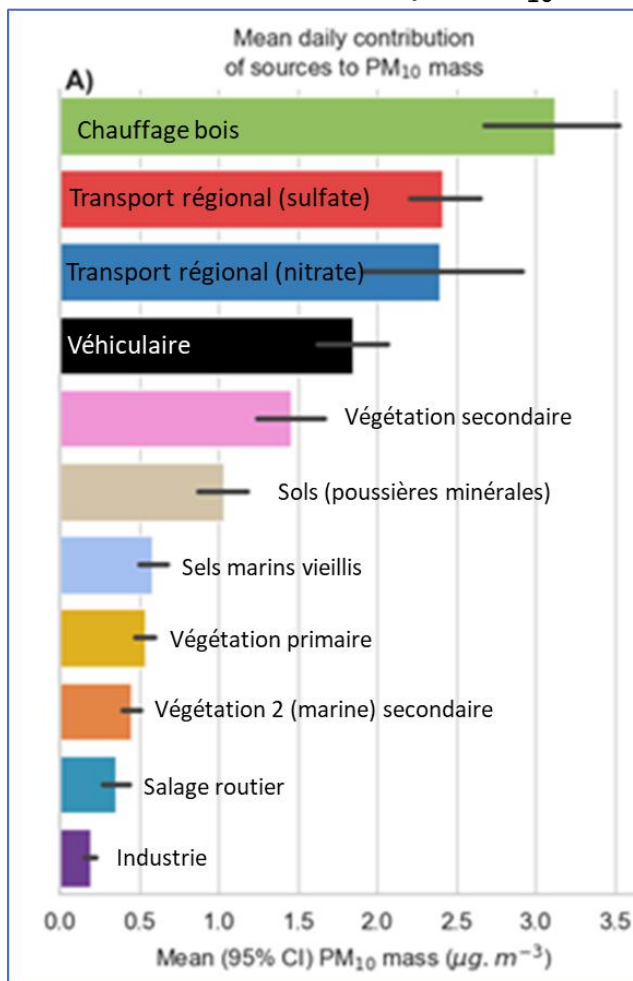




QQ Résultats PO-Sources Supersites Frenes

MobilAir

Concentration massique PM₁₀



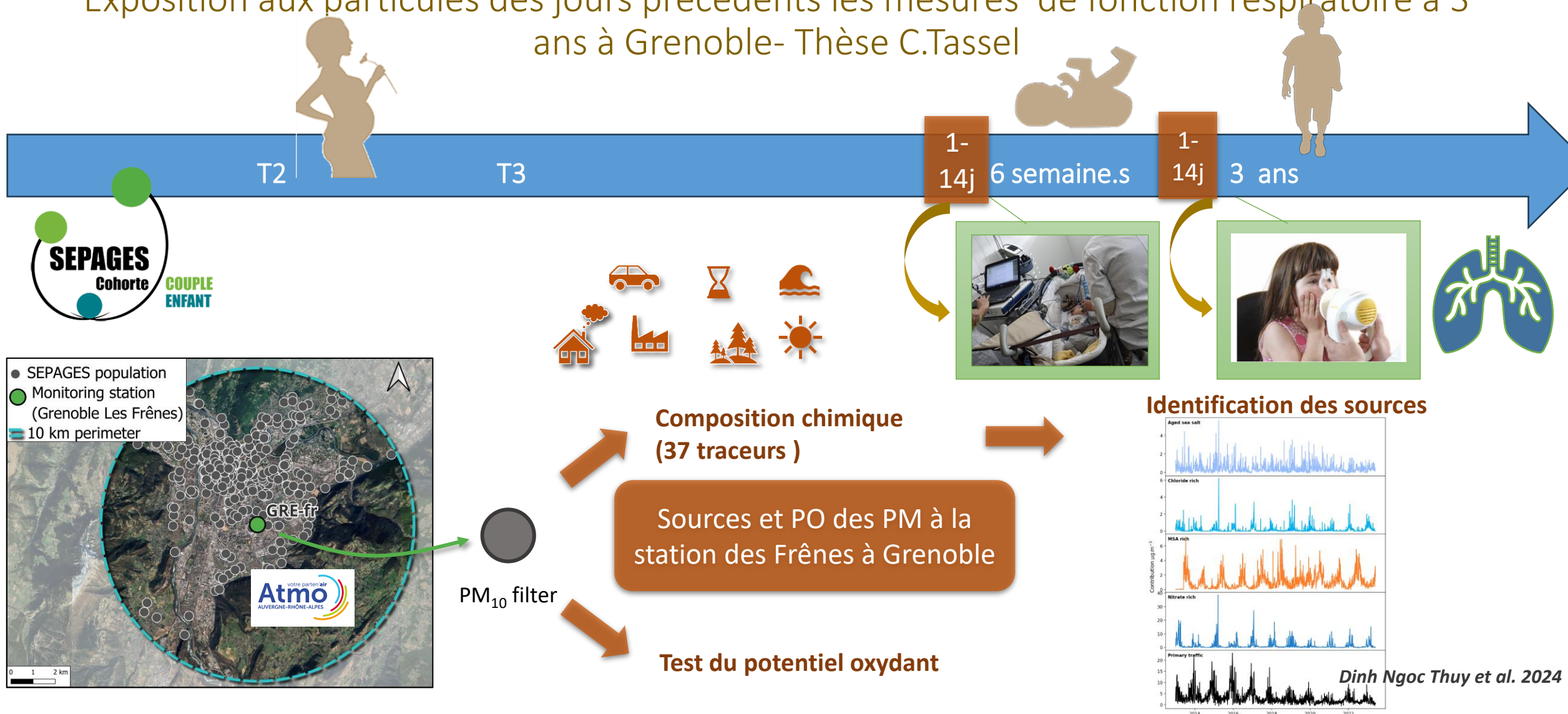
2 métriques de l'exposition comparées pour les 3 sites moyennées

- **Concentration PM**: 4 sources majeures
- **PO** : Chauffage bois et trafic routier sont les deux sources les plus oxydantes.
- **Autre étude européenne**: Importance du trafic et des émissions diffuses (freins)
- Vision très différente des sources en fonction de la métrique utilisée

➔ Pour faire diminuer les concentrations massiques et les niveaux de PO, les **sources cibles** sont le **chauffage au bois non performant et le véhiculaire**

Quelques résultats PO-santé utilisant des supersites

Exposition aux particules des jours précédents les mesures de fonction respiratoire à 3 ans à Grenoble- Thèse C.Tassel



Principales sources des particules associées à la fonction ventilatoire des enfants?



	Exposure	6 weeks	3 years
	Primary traffic	⊖	⊖
	Industrial	⊖	⊘
	Biomass burning	⊘	⊖
	Nitrate rich	⊘	⊕
	Chloride rich	⊘	⊘
	Sulfate rich	⊘	⊘
	Mineral dust	⊘	⊕
	Aged sea salt	⊘	⊘
	MSA rich	⊘	⊘
	Primary biogenic	⊘	⊖

Exposure	6 weeks	3 years
Total PM ₁₀	⊘	⊕
OP _m ^{AA}	⊘	⊖
OP _m ^{DTT}	⊘	⊘
OP _v ^{AA}	⊖	⊖
OP _v ^{DTT}	⊘	⊘
Thermal inversions	-	⊖

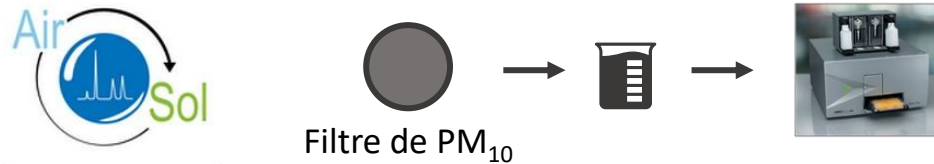
- ⊖ Tendence pour un effet délétère
- ⊕ Tendence pour un effet protecteur
- ⊘ Pas de tendance

Article

Oxidative potential of atmospheric particles in Europe and exposure scenarios

nature

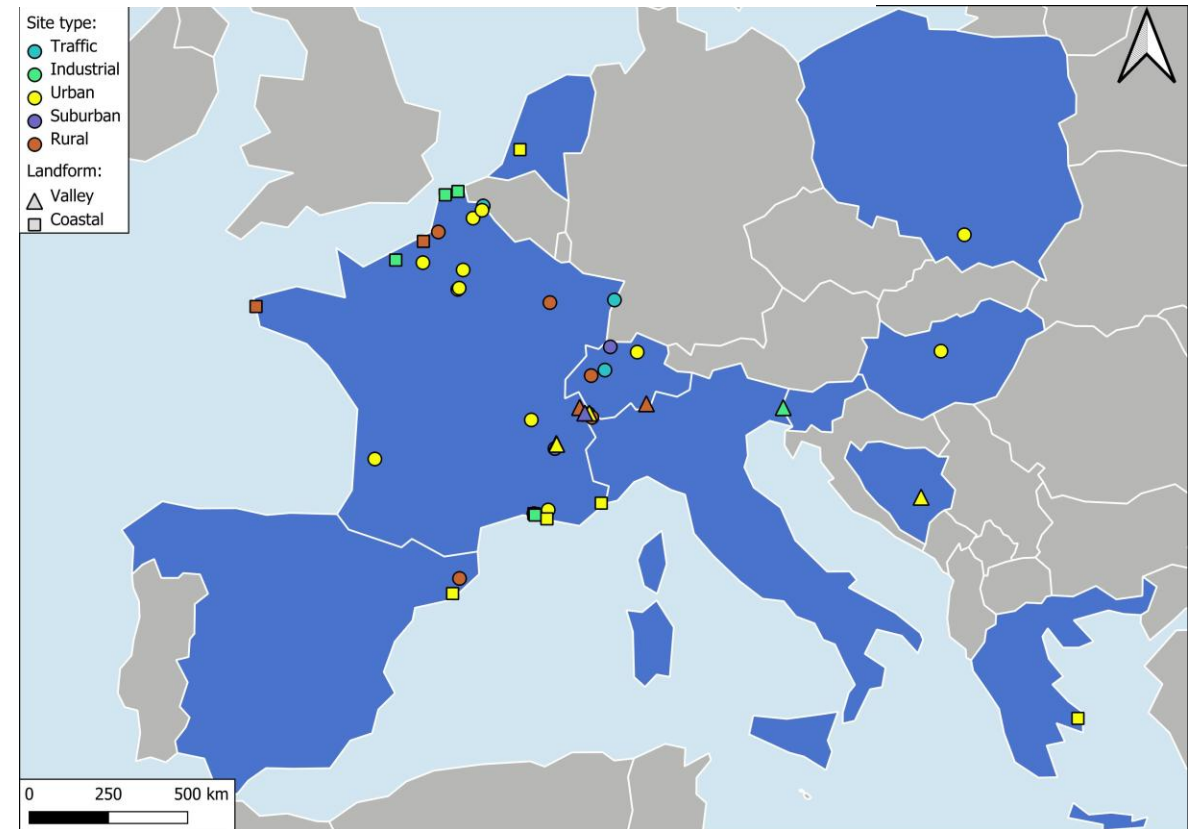
➡ **Potentiel oxydant (PO)** : capacité intrinsèque des PM à générer du **stress oxydatif**



43 sites ➡ **~11,500 échantillons**, 10 pays,
5 types d'environnement

2 tests de PO (AA and DTT) ➡ **protocoles homogènes**

3 tailles de PM ➡ PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁

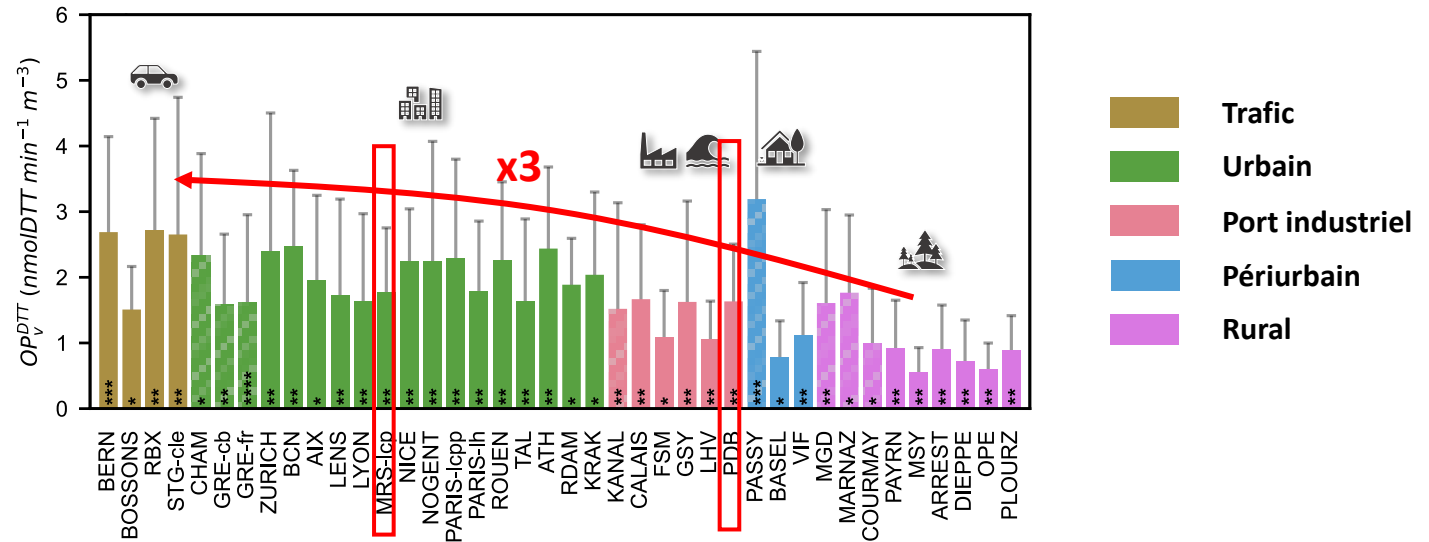


Oxidative potential of atmospheric particles in Europe and exposure scenarios

Quelle est la valeur ajoutée du PO ?



Variabilité spatiale du PO



Oxidative potential of atmospheric particles in Europe and exposure scenarios

Quelle est la valeur ajoutée du PO ?



Variabilité spatiale du PO

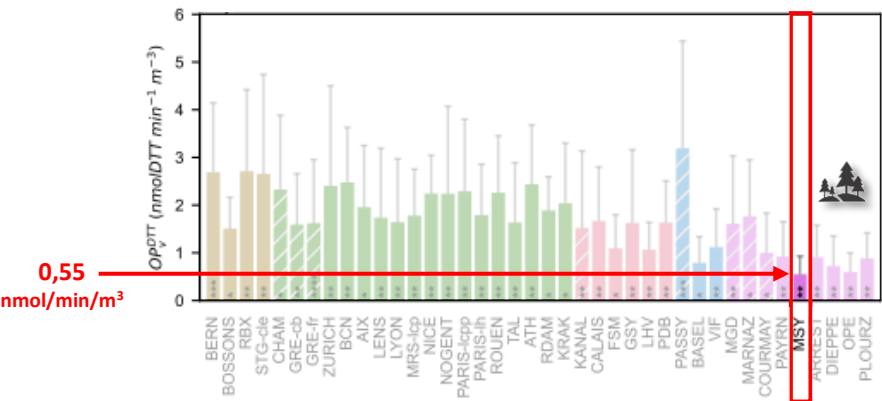
→ Le PO moyen varie fortement en fonction du type d’environnement et des sources locales spécifiques

Comment fixer des valeurs limites de PO ?



Scénarios d’exposition au PO

↔ EQIS



Extended Data Table. 2 | Description of the OP_v^{DTT} exposure scenarios selected

OP exposure scenarios	Description of OP exposure scenarios	PM size	OP_{ref}
1 Low urbanization scenario	Mean OP_v level in the urban station with the lowest OP_v level, i.e. GRE-cb for PM_{10} and PARIS-Ih for $PM_{2.5}$	PM_{10} $PM_{2.5}$	1.60 0.80
2 Intermediate scenario	Mean OP_v level in the rural station with the highest OP_v level, i.e. PAYRN for both PM_{10} and $PM_{2.5}$	PM_{10} $PM_{2.5}$	0.92 0.61
3 Low anthropogenic pollution scenario	Mean OP_v level in all rural areas	PM_{10} $PM_{2.5}$	0.80 0.52
4 Very low anthropogenic pollution scenario	Mean OP_v level in the rural station with the lowest OP_v level, i.e. MSY for both PM_{10} and $PM_{2.5}$	PM_{10} $PM_{2.5}$	0.55 0.44

OP_{ref} , OP_v^{DTT} reference value ($nmol\min^{-1}m^{-3}$).

Oxidative potential of atmospheric particles in Europe and exposure scenarios

Quelle est la valeur ajoutée du PO ?



Variabilité spatiale du PO

→ Le **PO moyen** varie fortement en fonction du **type d'environnement** et des **sources locales** spécifiques

Comment fixer des valeurs limites de PO ?



Scénarios d'exposition au PO

↔ **EQIS**

→ Valeurs de **PO de référence** basées sur les **observations** dans les sites peu pollués en l'absence de relation dose-réponse pour le **PO**

Comment réduire efficacement l'exposition humaine au PO ?



Stratégies de réduction ciblant des sources spécifiques

Oxidative potential of atmospheric particles in Europe and exposure scenarios

Quelle est la valeur ajoutée du PO ?



Variabilité spatiale du PO

→ Le PO moyen varie fortement en fonction du type d'environnement et des sources locales spécifiques

Comment fixer des valeurs limites de PO ?



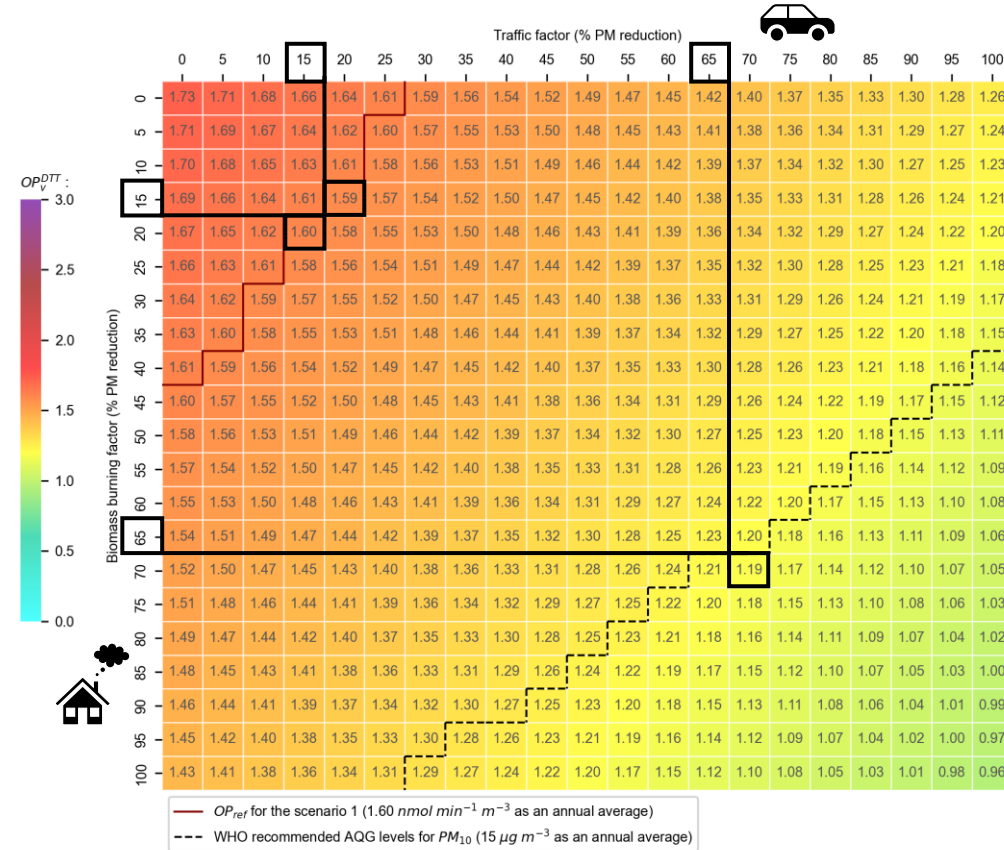
Scénarios d'exposition

→ Valeurs de PO de référence basées sur les observations dans les sites peu pollués

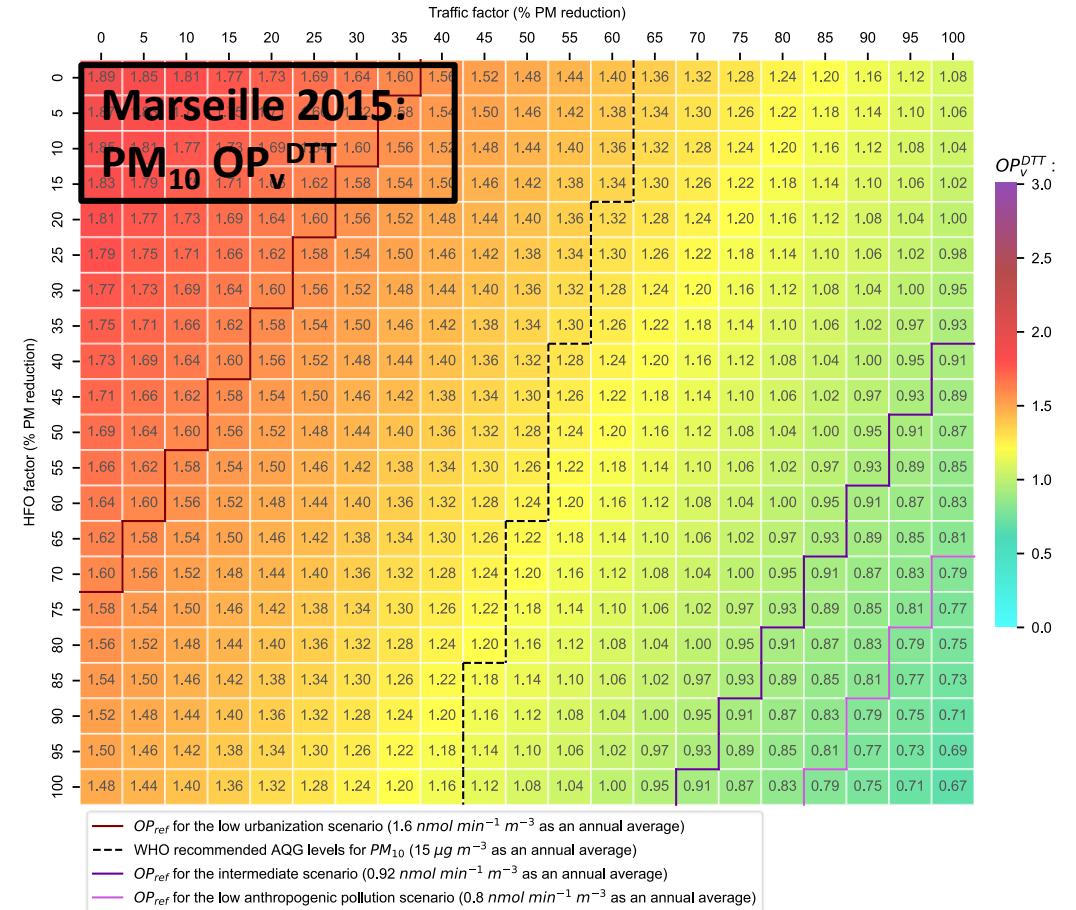
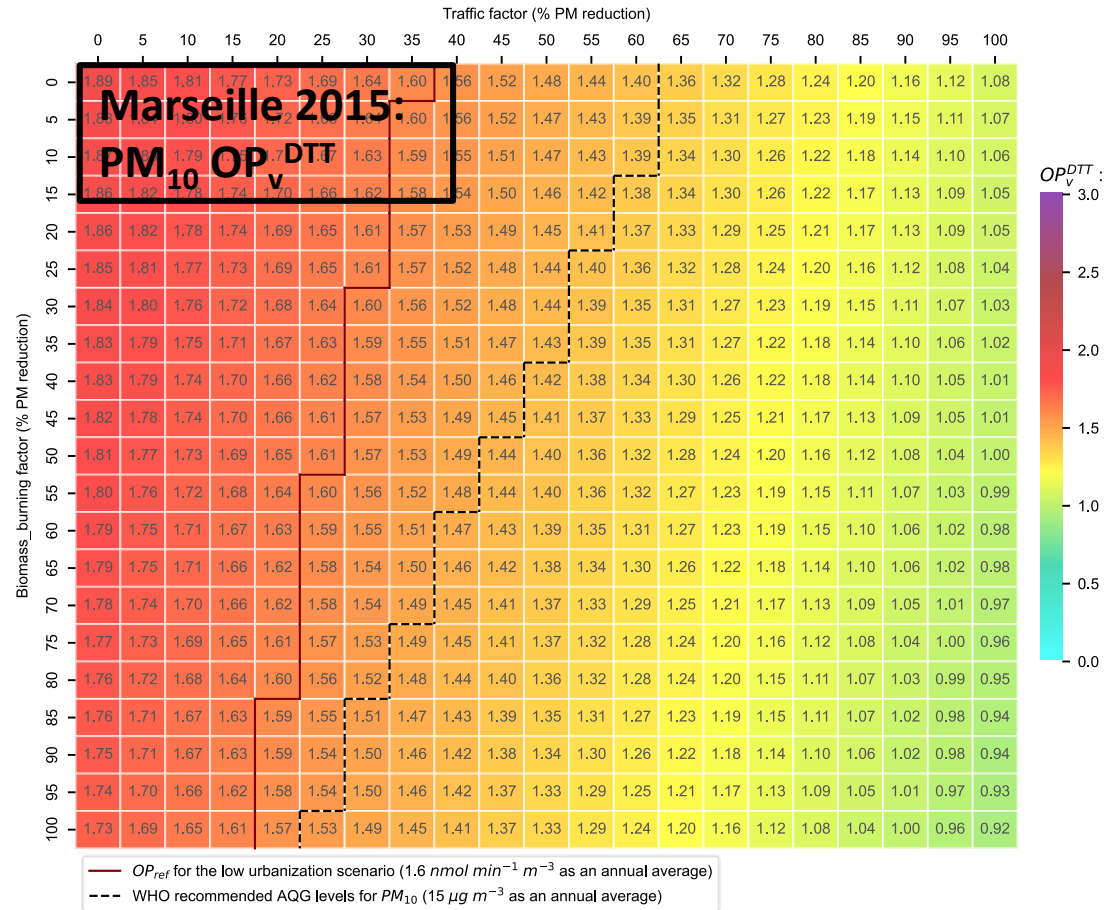
Comment réduire efficacement l'exposition humaine au PO ?



Stratégies de réduction



Marseille-LCP et sources oxydantes



→ Sources oxydantes : trafic > HFO (shipping/industrie) > chauffage bois

→ Une grande marge de manœuvre avec ces 3 sources pour atteindre des valeurs basses de PO_{DTT} Tassel et al., 2025

Conclusions

- L'établissement des super sites instrumentés européens va favoriser les études épidémiologiques sur les impacts sanitaires de la pollution atmosphériques intégrant de multiples paramètres qui iront au-delà des couplages PM/santé classiques
- Le potentiel oxydant est à l'interface entre la chimie des particules et l'exposition : il permet de cibler les sources d'intérêt sanitaire / utilité pour les politiques publiques / réductions plus ciblées, synergie PO/PM
- Marseille-LCP site pilote pour le déploiement du PO sur les super-sites français, projet OPUS-ADEME 2025-2028
- A Marseille, les données en ligne de composition chimique permettront d'aller vers une déconvolution des sources du PO haute fréquence et à terme, du temps réel.



CONCLUSION