

Émissions des navires et impact sur la qualité de l'air en milieu urbain

Webinaire des doctorants - AtmoSud

Quentin Gunti

Doctorant CIFRE LCE / AtmoSud

Directeur de thèse : Barbara D'ANNA

Co-directeur de thèse : Henri WORTHAM

Correspondant AtmoSud : Alexandre Armengaud

Contexte et Objectifs

Contexte : 1^{er} janvier 2020 – nouvelle réglementation mondiale (IMO2020) réduisant la teneur en soufre des carburants de bateaux.

Objectif : caractériser la pollution atmosphérique engendrée par le transport maritime dans trois ports :

Marseille, Toulon et Dunkerque



Quels sont les polluants émis par les navires ?

- caractériser les polluants émis par les navires tels que **SO_2 , NO_x , BC, CO, CO_2 et $PM_{2.5}$** .
- déterminer la **composition chimique** des panaches de navires.



Quelle est la contribution des émissions des navires à la qualité de l'air des villes étudiées ?

- calculer les **facteurs d'émission** des différents polluants.
- déconvoluer les différentes **sources** de pollution portuaire (**approche PMF**).

Présentation de la
campagne

Facteurs d'émission

Analyse PMF

Toxicité des panaches

Plan de la présentation

Présentation de la campagne

Facteurs d'émission

Analyse PMF

Toxicité des polluants

du 24 août au 21 septembre 2021

Mesures (instruments) – pas de temps:



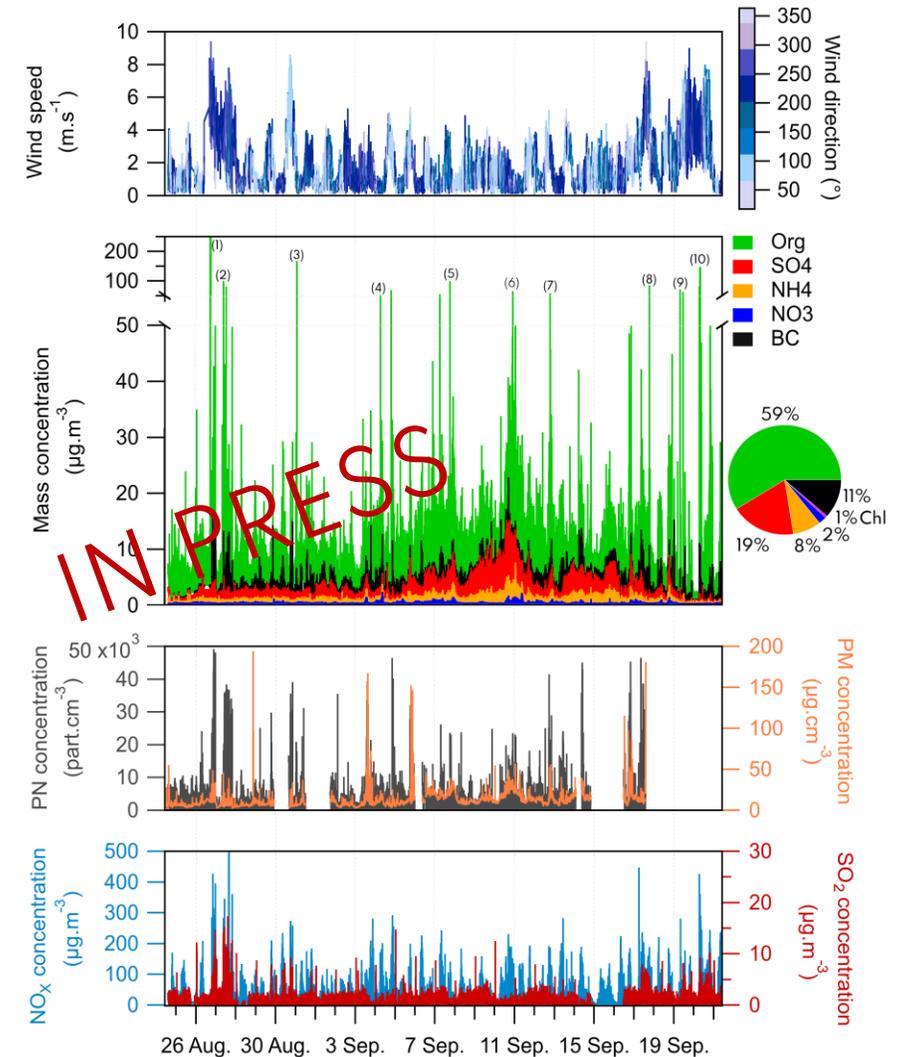
Données météo (Tridi USA-1) – 10s

Composition chimique particulaire (HR-ToF-AMS) – 30s

Nombre et tailles de particules (SMPS, CPC, OPC) – 2 min

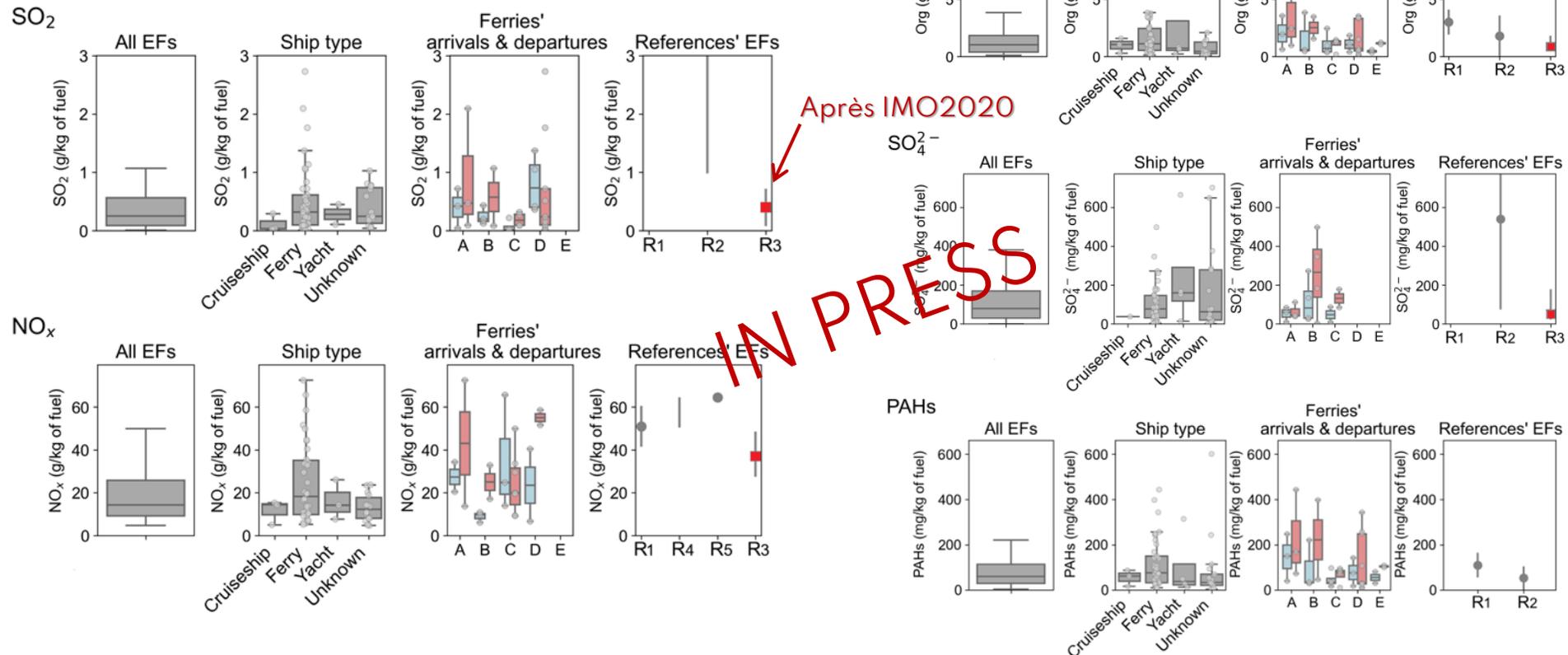
SO₂, NO_x, O₃ (Analyseurs) – 10sCO, CO₂, CH₄ (PICARRO) – 5s

Carbone suie (MAAP, AE33) – 1 min



Calcul EFs selon le type de bateaux, la manœuvre (arrivée, départ) et les valeurs de la littérature

Pour SO_2 , NO_x , CO, NO, CH_4 , Org, SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , HAPs et PN



Réduction du soufre gazeux et particulaire, des NO_x , mais pas de réduction de la fraction organique

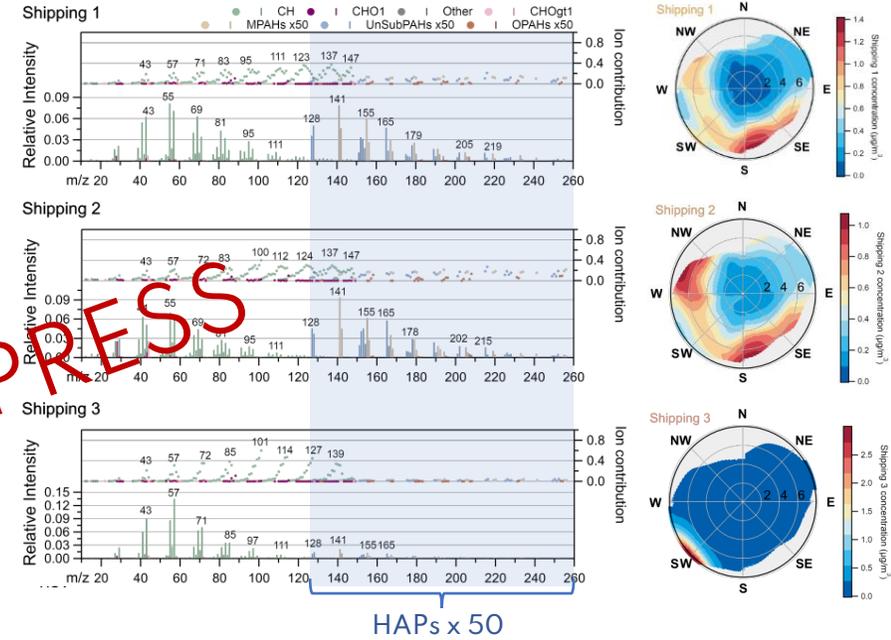
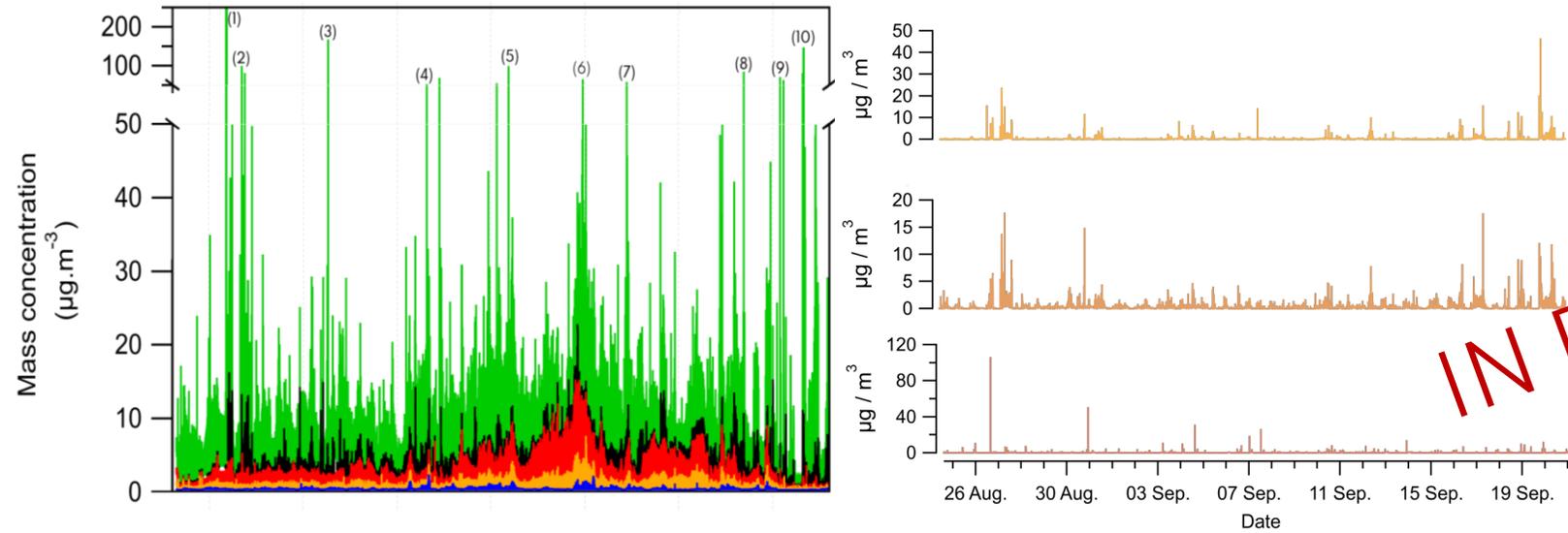
Présentation de la campagne

Facteurs d'émission

Analyse PMF

Toxicité des polluants

Résultats des facteurs Shipping et contribution totale :



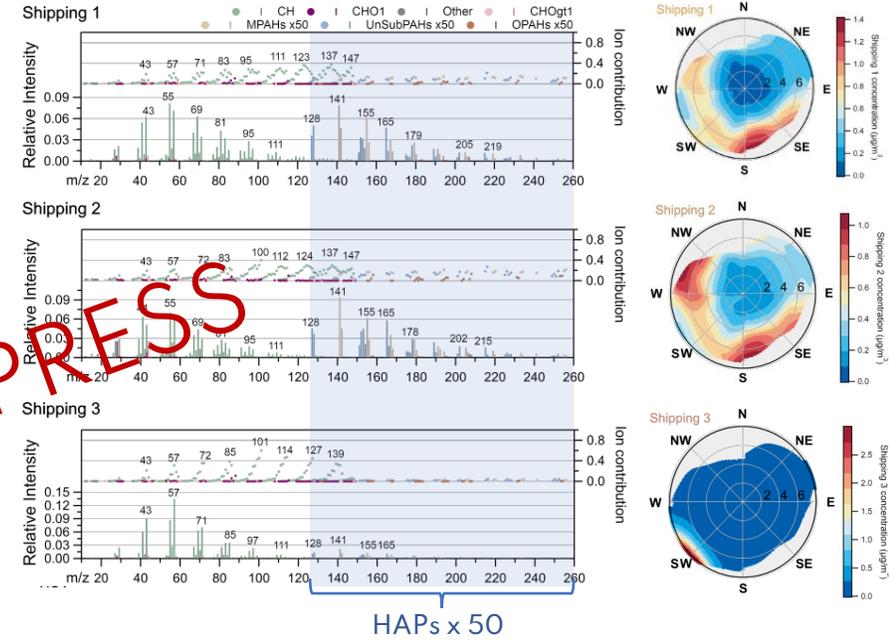
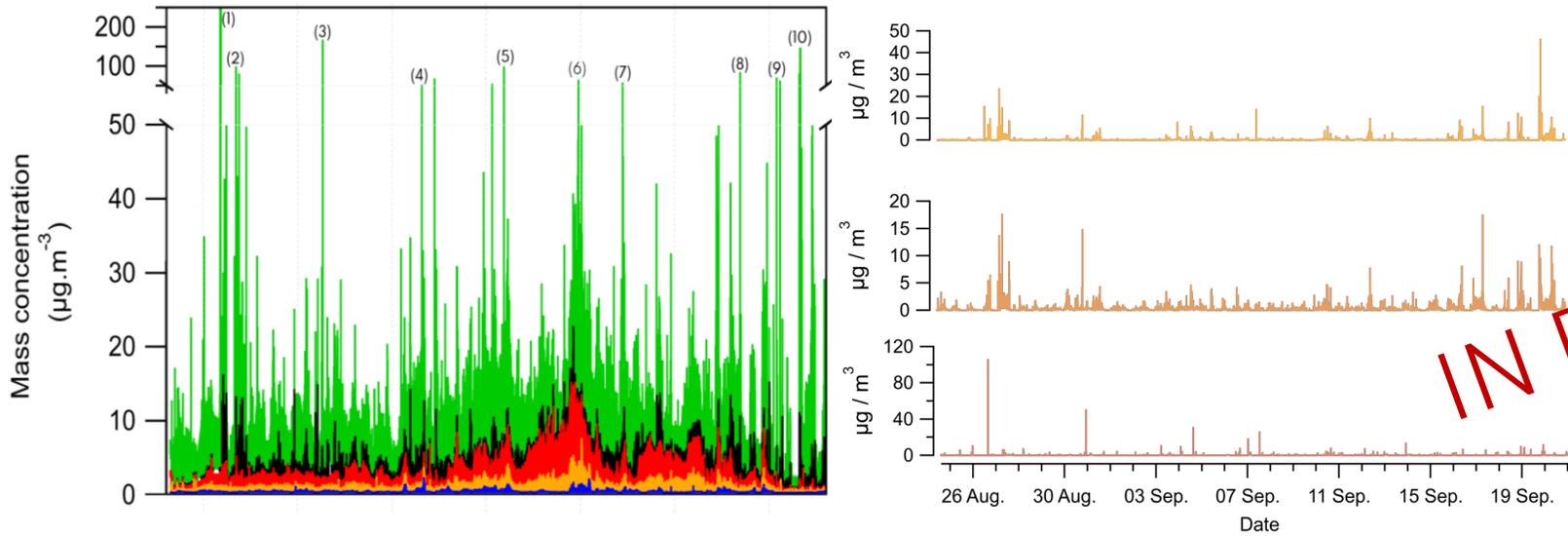
Présentation de la campagne

Facteurs d'émission

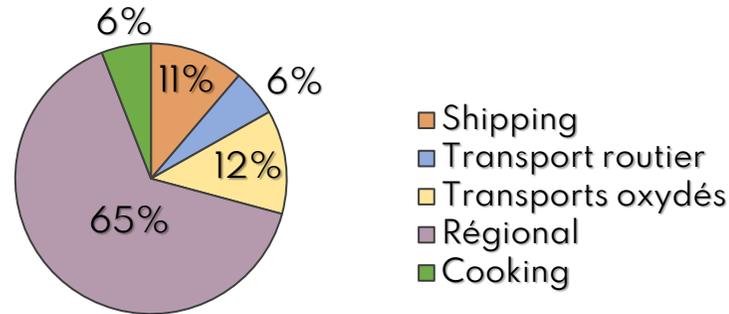
Analyse PMF

Toxicité des polluants

Résultats des facteurs Shipping et contribution totale :



Contribution totale en masse d'aérosols organique (OA) :



Présentation de la campagne

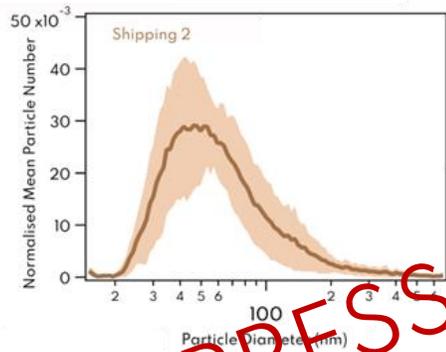
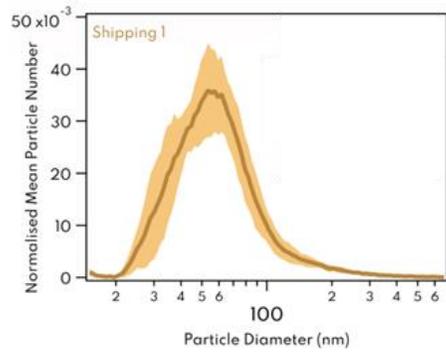
Facteurs d'émission

Analyse PMF

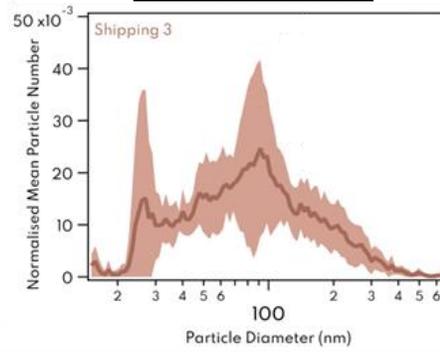
Toxicité des particules

Distribution granulométrique des facteurs :

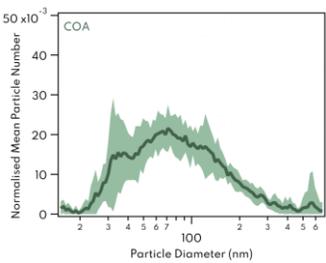
Émissions de ferries



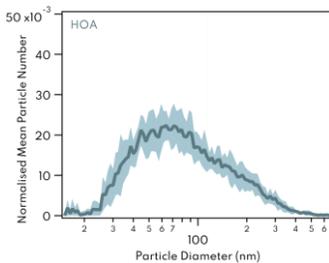
Bateaux de croisières avec scrubber



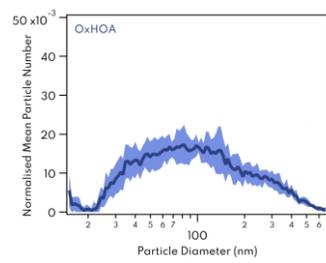
Cooking



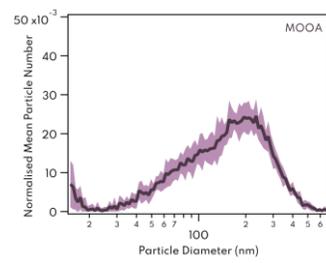
Transport routier



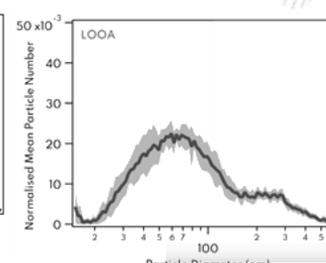
Transports oxydés



Régional



Régional



IN PRESS

Pénétration des particules dans le corps :

PM10
COARSE PARTICLES

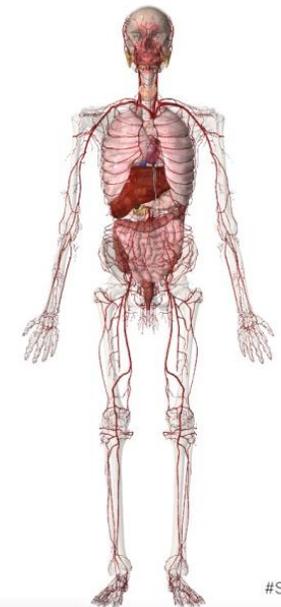
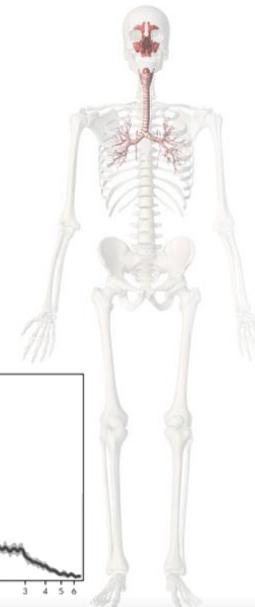
- Pollen
- Wood burning
- Dust
- Construction
- Fireworks
- Road traffic

PM2.5 & PM1
FINE PARTICLES

- Wood burning
- Car exhaust
- Biomass
- Agricultural burning
- Fireworks
- Cooking
- Bacteria & Fungi

PM0.1
ULTRAFINE PARTICLES

- Wood burning
- Car exhaust
- Biomass
- Agricultural burning
- Viruses



#SEETHEAIR

Concentration équivalente en B[a]P :

Le TEF (Facteur d'Équivalence Toxique) évalue la toxicité des HAPs en les comparant au Benzo[a]pyrène (référence).

$$\text{concentration } B[a]P_{eq} = \sum \text{concentration } HAP * TEF$$

Méthode de référence : *collecte sur filtre*, moyenne annuelle, 17 HAPs ayant un TEF.

Exemples de TEF (Nisbet and Lagun, 1992)

HAP	TEF	Toxicité
Naphtalène	0,001	Irritant respiratoire, cancérogène suspecté
Benz[a]anthracène	0,1	Cancérogène probable
Benzo[a]pyrène (B[a]P)	1	Cancérogène, génotoxique

Concentration équivalente en B[a]P :

Le TEF (Facteur d'Équivalence Toxique) évalue la toxicité des HAPs en les comparant au Benzo[a]pyrène (référence).

$$\text{concentration } B[a]P_{eq} = \sum \text{concentration } HAP * TEF$$

Méthode de référence : *collecte sur filtre*, moyenne annuelle, 17 HAPs ayant un TEF.

Recommandations :

- OMS (2000) : < 0,12 ng/m³ (1 cancer/100 000 personnes)
- UE (2004) : < 1 ng/m³

Valeurs régionales (2022) :

- Marseille (5 avenue) : 0,13 ng/m³
- Fos Les Carabins : 0,16 ng/m³
- Port de Bouc : 0,12 ng/m³

Exemples de TEF (Nisbet and Lagun, 1992)

HAP	TEF	Toxicité
Naphtalène	0,001	Irritant respiratoire, cancérogène suspecté
Benz[a]anthracène	0,1	Cancérogène probable
Benzo[a]pyrène (B[a]P)	1	Cancérogène, génotoxique

Présentation de la campagne

Facteurs d'émission

Analyse PMF

Toxicité des panaches

Concentration équivalente en B[a]P :

Le TEF (Facteur d'Équivalence Toxique) évalue la toxicité des HAPs en les comparant au Benzo[a]pyrène (référence).

$$\text{concentration } B[a]P_{eq} = \sum \text{concentration HAP} * TEF$$

Méthode de référence : *collecte sur filtre*, moyenne annuelle, 17 HAPs ayant un TEF.

Recommandations :

- OMS (2000) : < 0,12 ng/m³ (1 cancer/100 000 personnes)
- UE (2004) : < 1 ng/m³

Valeurs régionales (2022) :

- Marseille (5 avenue) : 0,13 ng/m³
- Fos Les Carabins : 0,16 ng/m³
- Port de Bouc : 0,12 ng/m³

Exemples de TEF (Nisbet and Lagun, 1992)

HAP	TEF	Toxicité
Naphtalène	0,001	Irritant respiratoire, cancérogène suspecté
Benz[a]anthracène	0,1	Cancérogène probable
Benzo[a]pyrène (B[a]P)	1	Cancérogène, génotoxique

Intercomparaison de la concentration en HAPs entre filtre quartz et analyse GC-MS et mesure AMS (Kostenidou *et al.*, 2021):

- Utilisation des ratios GC/AMS pour corriger les concentrations de HAPs
- L'HR-ToF-AMS surestime les concentrations des masses les plus faibles

Table S3. Intercomparaison of PAHs mass concentration (ng m⁻³) measured from the extract of one quartz filter (GC-MS analysis) and on-line AMS measurements for the emission of the GDI3 vehicle.

Molecular weight	Compound	Concentration (ng m ⁻³) 3 cycles (1 urban hot + 2 motorway)	
		GC-MS	HR-ToF-MS
128	Naphthalene	45	245
178	Phenanthrene*/Anthracene	100	453
202	Pyrene/Fluoranthene*/Acephanthrylene	111	480
228	Benzo[a]anthracène/Chrysène	25	69
252	Benzo[b]fluoranthene/Benzo[j]fluoranthene / Benzo[k]fluoranthene*/Benzo[a]pyrene*/ Benzo[e]pyrene/Perylene	77	34

Présentation de la campagne

Facteurs d'émission

Analyse PMF

Toxicité des panaches

Concentration équivalente en B[a]P :

Le TEF (Facteur d'Équivalence Toxique) évalue la toxicité des HAPs en les comparant au Benzo[a]pyrène (référence).

$$\text{concentration } B[a]P_{eq} = \sum \text{concentration HAP} * TEF$$

Méthode de référence : *collecte sur filtre*, moyenne annuelle, 17 HAPs ayant un TEF.

Recommandations :

- OMS (2000) : < 0,12 ng/m³ (1 cancer/100 000 personnes)
- UE (2004) : < 1 ng/m³

Valeurs régionales (2022) :

- Marseille (5 avenue) : 0,13 ng/m³
- Fos Les Carabins : 0,16 ng/m³
- Port de Bouc : 0,12 ng/m³

Exemples de TEF (Nisbet and Lagun, 1992)

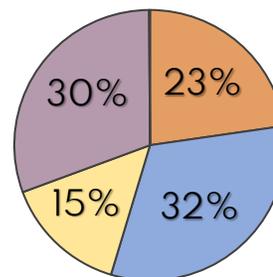
HAP	TEF	Toxicité
Naphtalène	0,001	Irritant respiratoire, cancérigène suspecté
Benz[a]anthracène	0,1	Cancérigène probable
Benzo[a]pyrène (B[a]P)	1	Cancérigène, génotoxique

Intercomparaison de la concentration en HAPs entre filtre quartz et analyse GC-MS et mesure AMS (Kostenidou *et al.*, 2021):

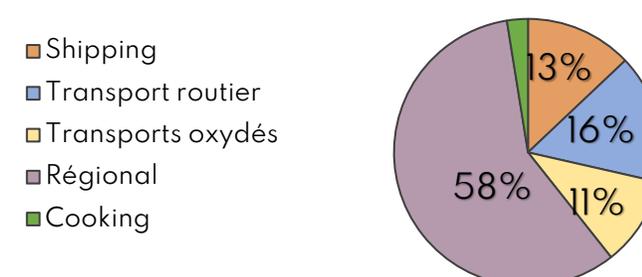
- Utilisation des ratios GC/AMS pour corriger les concentrations de HAPs
- L'HR-ToF-AMS surestime les concentrations des masses les plus faibles

Moyenne sur le mois (HR-ToF-AMS corrigé) : 0,06* ng/m³ - 0,43** ng/m³

Contribution équivalente en B[a]P de 17 HAPs :

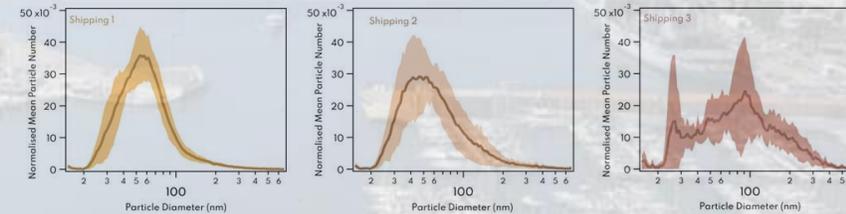
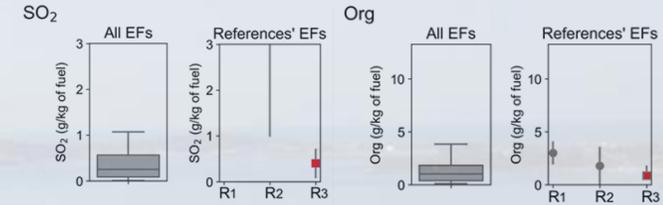


Contribution totale en masse de (69) HAPs :

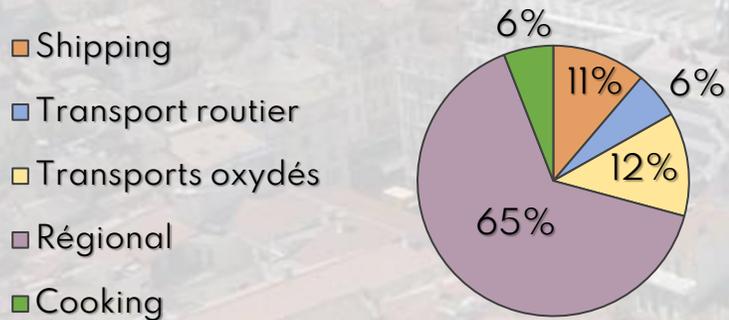


Points clés

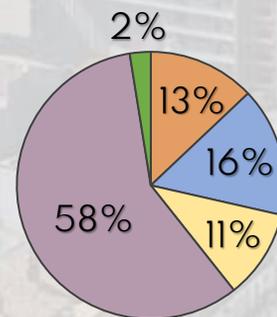
- **EFs** : diminution du soufre après IMO2020 mais Org et HAPs constants
- **PMF** : déconvolution des émissions des navires et contribution à la pollution urbaine
- **Taille des particules** : la distribution des panaches de bateaux a les modes les plus bas des sources d'OA
 - A mettre en relation avec le grand nombre de particules dans les panaches
- **Toxicité** : les HAPs n'ont pas tous la même toxicité, les plus dangereux proviennent majoritairement du transport (maritime et routier)



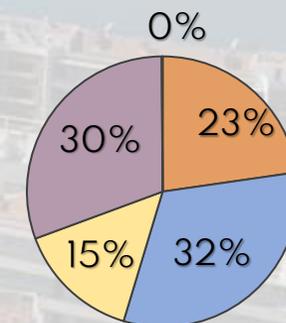
Contribution totale en masse d'OA :



Contribution totale en masse de (69) HAPs :



Contribution équivalente en B[a]P de 17 HAPs :



Annexes : Intercomparaison GC-MS & HR-ToF-AMS

Table S3. Intercomparison of PAHs mass concentration (ng m^{-3}) measured from the extract of one quartz filter (GC-MS analysis) and on-line AMS measurements for the emission of the GDI3 vehicle.

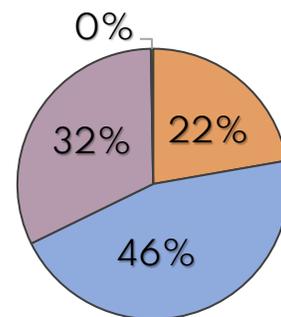
Molecular weight	Compound	Concentration (ng m^{-3}) 3 cycles (1 urban hot + 2 motorway)	
		GC-MS	HR-ToF-MS
128	Naphthalene	45	245
178	Phenanthrene*/Anthracene	100	453
202	Pyrene/Fluoranthene*/Acephanthrylene	111	480
228	Benzo[a]anthracène/Chrysène	25	69
252	Benzo[b]fluoranthene/Benzo[j]fluoranthene / Benzo[k]fluoranthene*/Benzo[a]pyrene/* Benzo[e]pyrene/Perylene	77	34
276	Indéno[123cd]pyrène/Benzo[ghi]perylène	31	25
142	Methyl-naphthalene*	27	80
180	Methyl-fluorene	24	53
168	Dibenzofuran	26	28
180	Fluorenone	76	75
208	Anthraquinone*	26	28

* compounds used for PAHs calibration and quantification during GC-MS analysis.

Intercomparaison de la concentration en HAPs entre filtre quartz et analyse GC-MS et mesure AMS (Kostenidou *et al.*, 2021):

- Utilisation des ratios GC/AMS pour corriger les concentrations de HAPs
- L'HR-ToF-AMS surestime les concentrations des masses les plus faibles

Moyenne sur le mois (HR-ToF-AMS):
0,04* - 0,32** ng/m^3



Moyenne sur le mois (HR-ToF-AMS corrigé par intercomparaison):
0,06* - 0,43** ng/m^3

