



## Webinaire "super sites"

### Pollution gazeuse

Stéphane Sauvage<sup>1,2</sup>, Marvin Dufresne<sup>1</sup>, Zhara Benmouhoub<sup>1,3</sup>, Gregory Gilles<sup>3</sup>, Liselotte Tinel<sup>1</sup>, Thérèse Salameh<sup>1</sup>, Nadine Locoge<sup>1</sup>

<sup>2</sup>IMT Nord Europe

<sup>1</sup>IGE - CNRS

<sup>3</sup>AtmoSud

# Sommaire

- Les polluants gazeux : état des lieux,
- *COV : des espèces clés,*
- *Marseille versus ailleurs,*
- *Supersites : Observations multivariées et attribution des sources*
- *Vers de outils opérationnels pour mieux comprendre*
- *Conclusion*



# L'AIR EN RÉGION SUD ➤ BILAN 2024

Bilan annuel de la qualité de l'air en Provence-Alpes-Côte d'Azur

## Polluants gazeux

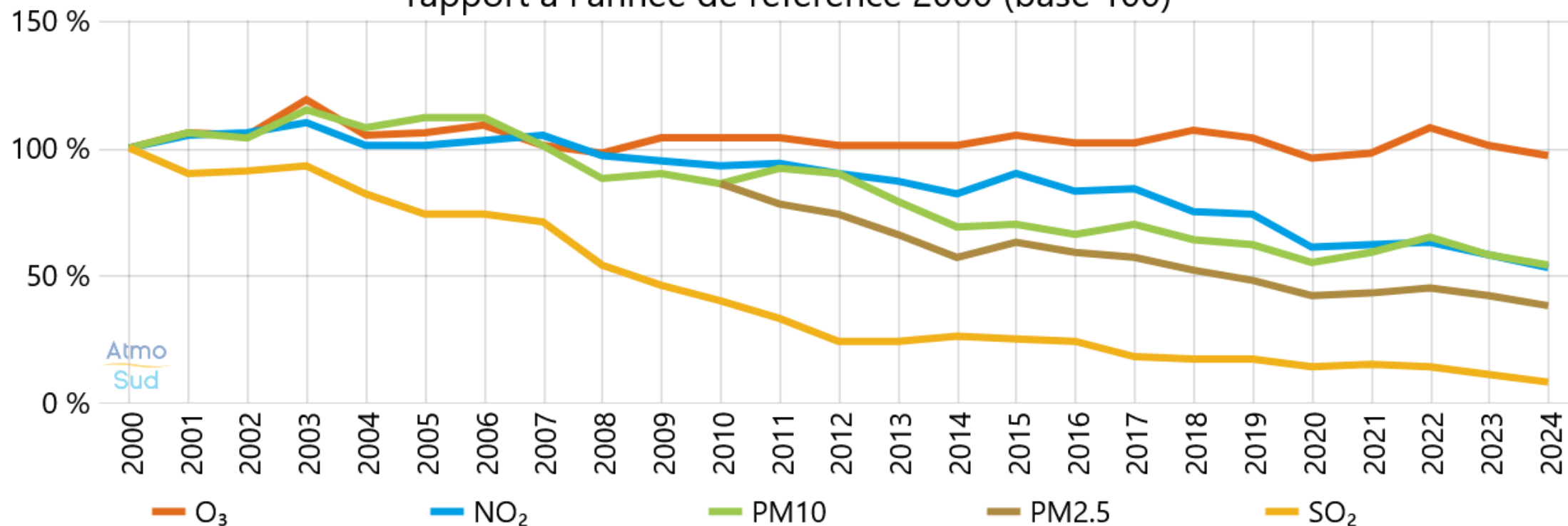
|                               | Principales sources d'émissions dans la région                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Tendance des concentrations en région 2018 - 2024                                                                                                                    | Respect de la réglementation en région - 2024                                       | Nombre de ZAS en dépassement en région - 2024 | Nombre de ZAS en dépassement en région - 2023 | Respect des lignes directrices OMS en région - 2024                                 | Respect de la réglementation horizon 2030 en région - 2024                          |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| SO <sub>2</sub>               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |  | 0                                             | 0                                             |  |  |
| NO <sub>2</sub>               |                                                                                                                                                                        |                                                                                    |  | 0                                             | 0                                             |  |  |
| O <sub>3</sub>                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                    |  | 2                                             | 4                                             |  |  |
| CO                            |                                                                                                                                                                        |                                                                                    |  | 0                                             | 0                                             |  |  |
| C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> |      |                                                                                    |  | 0                                             | 0                                             | ---                                                                                 | ---                                                                                 |

 résidentiel  industrie  trafic routier  trafic maritime  incendie  énergie

 Résidentiel/tertiaire  Industrie  Trafic routier  Agriculture  Nature

 En baisse  Stable  En hausse  Respect de la réglementation  Non respect de la réglementation

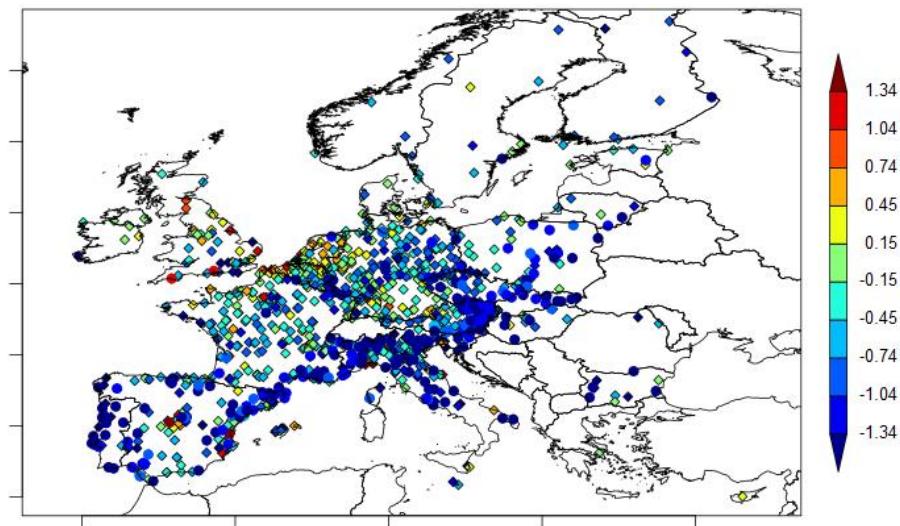
Évolution des concentrations de polluants réglementés par rapport à l'année de référence 2000 (base 100)



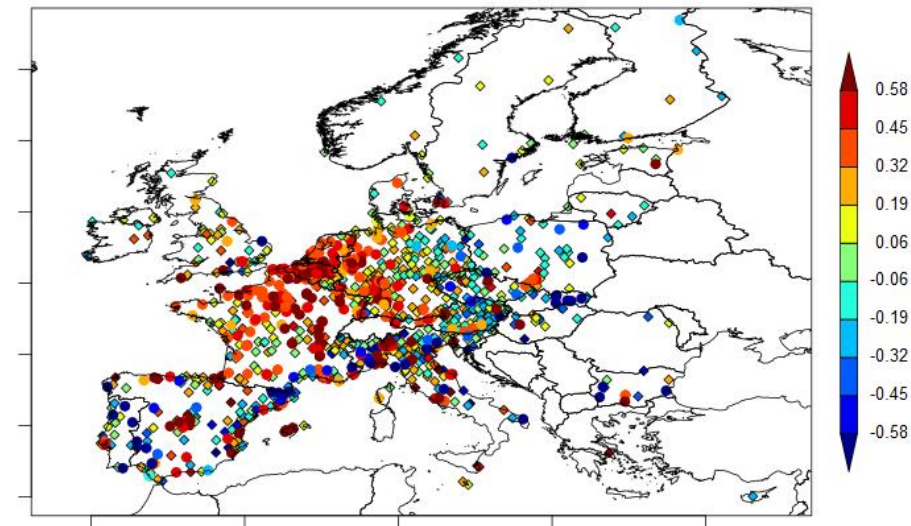
**60% indices mauvais – Ozone polluant majoritaire !**

# Ozone problématique ancienne mais non résolue !

Ozone Daily max ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{yr}$ ) 2005-2021



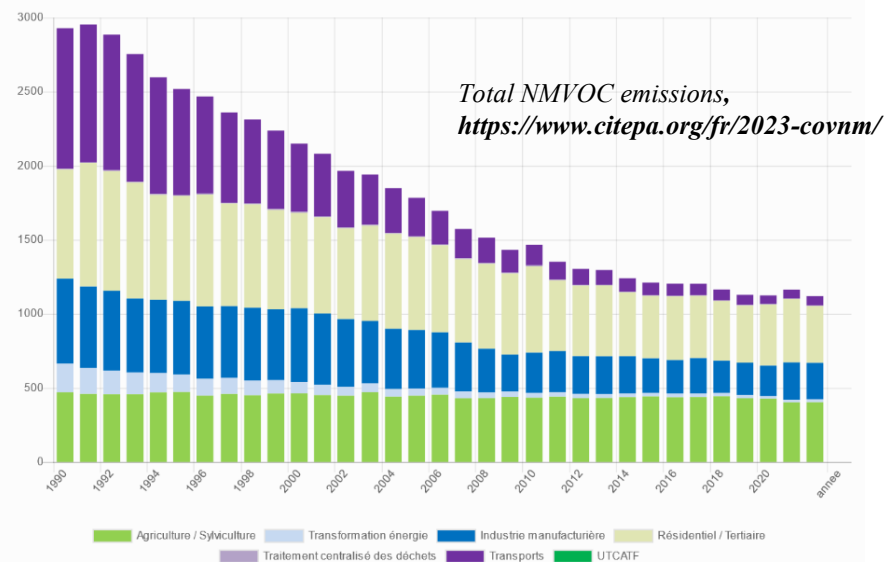
Ozone annual mean ( $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{yr}$ ) 2005-2021



Talardia and Colette, ETC HE Report 2023/8

<https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-he/products/etc-he-products/etc-he-reports/etc-he-report-2023-8-long-term-trends-of-air-pollutants-at-european-and-national-level-2005-2021>

Evolution des émissions de COVNM de 1990 à 2021 pour la France métropolitaine (en kt)



## Quelques Hypothèses

- Régime chimique & titration (**VOC/NO<sub>x</sub>**)
- Exhaustivité des émissions (naturelles & anthropiques)
- Evolution des émissions dans un contexte changeant
- Rôle du méthane à l'échelle globale

# COV $\Rightarrow$ Précurseurs d'Ozone et aussi d'Aérosols Organiques Secondaires (AOS)

- AOS 13 à 30% of  $PM_{2,5}$  (USA, Kleindienst et al 2010)
- AOS 12 à 62 % of  $PM_1$  (EU, Chen et al, 2022)

- Incertitudes importantes
- Sources Biogenique vs anthropiques
- Quelles variabilités ?
- **Améliorer les connaissances**

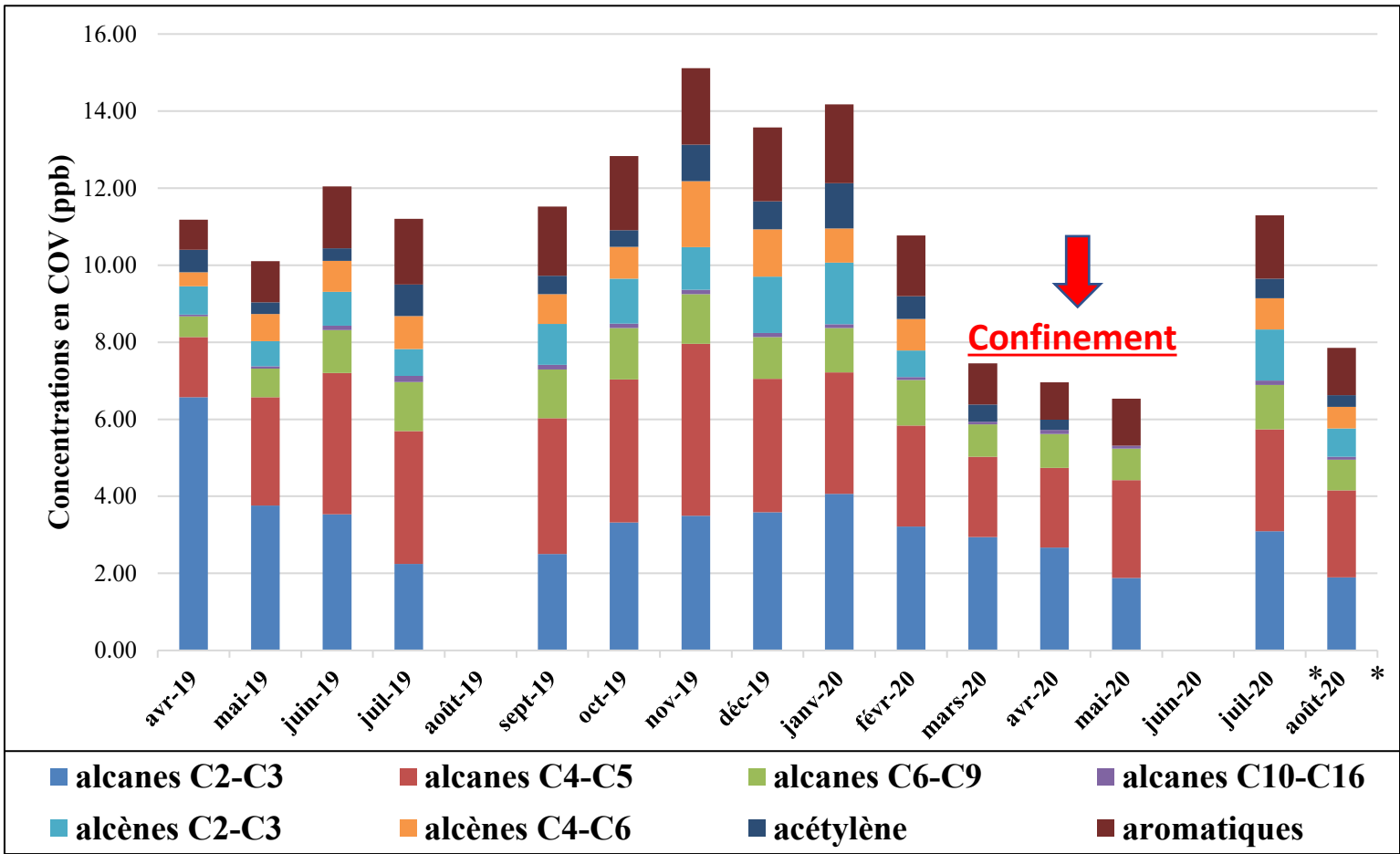
## Global annual SOA production – Kelly et al , 2018

| Component       | SOA production/Tg (SOA) a <sup>-1</sup>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | This study                                  | Literature                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Biogenic        | 23.9 <sup>a</sup> –39.5                     | 46.4 (Khan et al., 2017)<br>26.8 (Henze et al., 2008)                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                 | Monoterpene = 19.9                          | 27.6 (Farina et al., 2010)<br>18.6 (Tsigaridis and Kanakidou, 2007)                                                                                                                                                                                                                                       |
|                 | Isoprene = 4 <sup>a</sup> –19.6             | 55 (Hoyle et al., 2007)<br>14.9 (Henze and Seinfeld, 2006)<br>97.5 (Hodzic et al., 2016)<br>13 (Spracklen et al., 2011) <sup>c</sup>                                                                                                                                                                      |
| Biomass burning | 9.5                                         | 15.5 (Hodzic et al., 2016)<br>3–26 (Spracklen et al., 2011) <sup>c</sup><br>44–95 (Shrivastava et al., 2015)<br>1–15 (Cubison et al., 2011) <sup>d</sup><br>34 (Hallquist et al., 2009) <sup>c</sup>                                                                                                      |
| Anthropogenic   | 24.6–70.0 <sup>b</sup>                      | 1.6 (Farina et al., 2010)<br>3.1 (Heald et al., 2011)<br>19.2 (Hodzic et al., 2016)<br>100 (Spracklen et al., 2011) <sup>c</sup>                                                                                                                                                                          |
| Total           | 48.5 <sup>a</sup> – 74.0–119.4 <sup>b</sup> | 132 (Hodzic et al., 2016)<br>19 (13–121) (Tsigaridis et al., 2014)<br>12–70 (Tsigaridis and Kanakidou, 2007)<br>140 (50–380) (Spracklen et al., 2011) <sup>c</sup><br>250 (50–450) (Heald et al., 2010) <sup>c</sup><br>26.5 (Heald et al., 2011)<br>280–1820 (Goldstein and Galbally, 2007) <sup>c</sup> |

<sup>a</sup> Estimated using an isoprene yield of 3 %. <sup>b</sup> Estimated using an anthropogenic yield of 40 %. <sup>c</sup> Estimated using top-down methods. <sup>d</sup> Estimated using observations.

# Observations des COV à Marseille : Supersite de MRS-LCP

Thèse **Marvin Dufresne** 2019-2023  
*Dufresne et al, ACP, 2025*



2 TD/GC/FID – 70 COV mesurés – 90 min



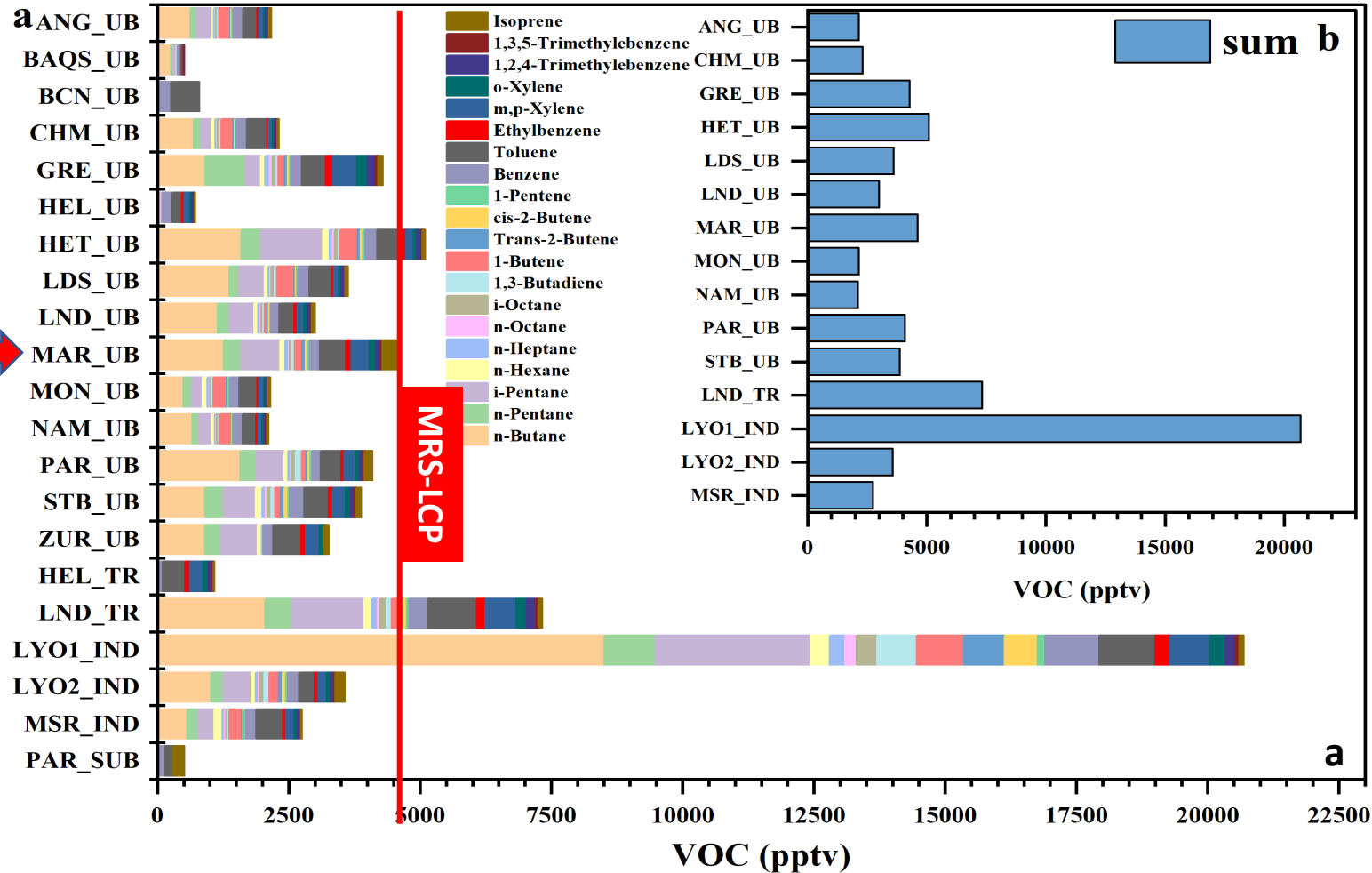
*\*Pas d'alcènes mars 2020 à mai 2020\* :*

# Sites de mesure de COV existants en Europe

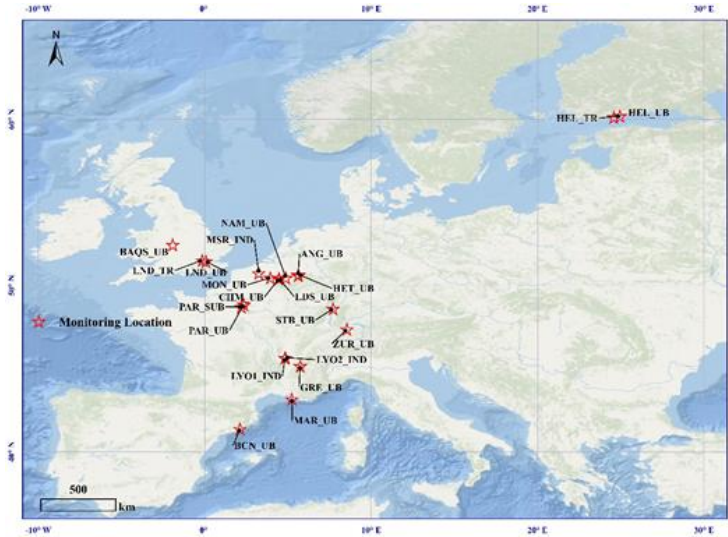
*Urbains (UB), Trafic (TR) et industriels (IND)*



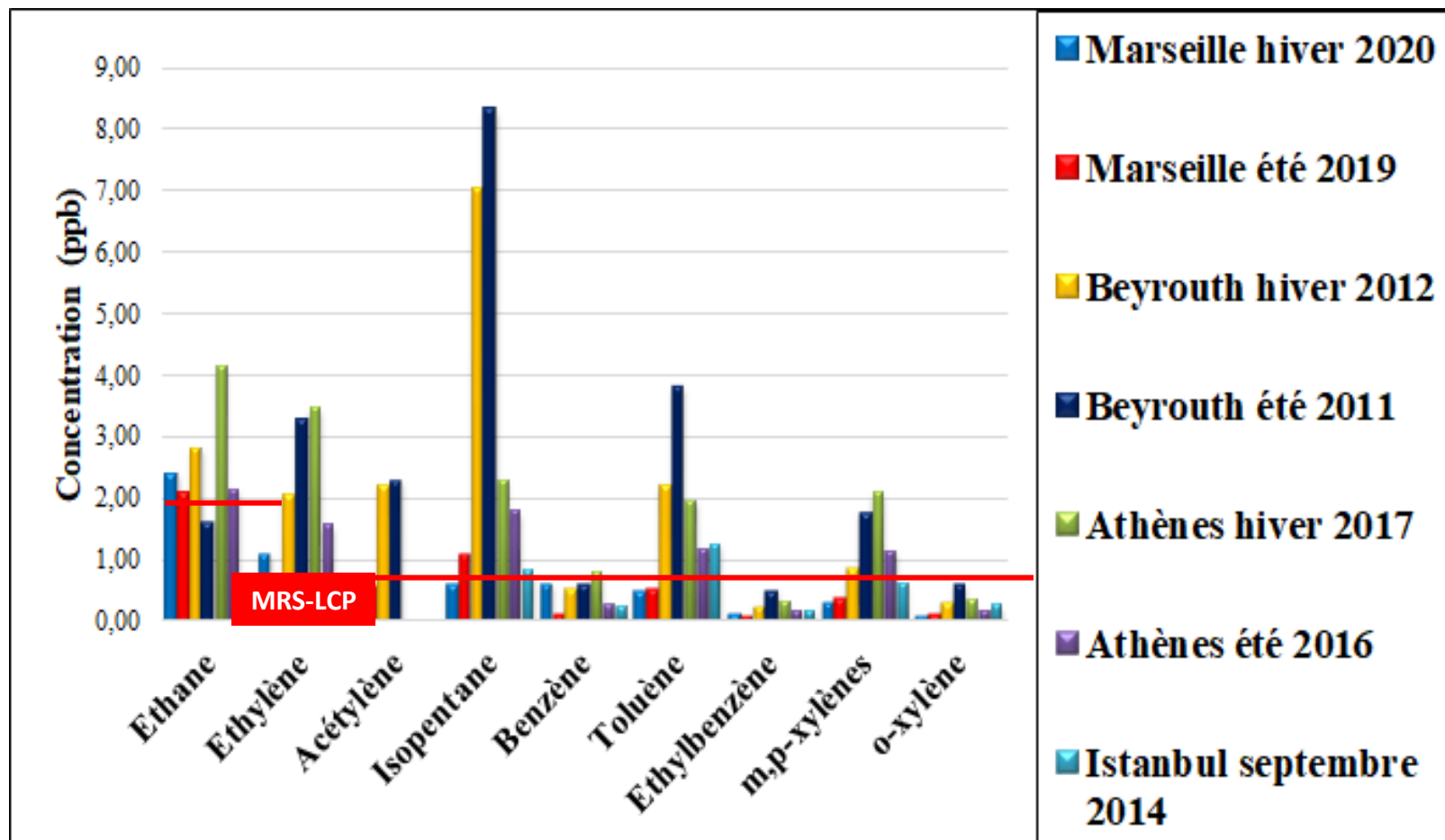
EU projects 2021-2024  
Inputs for new AQ directive  
Liu et al, RI-Urbans project 2024



- 7 sites Français
- 3 sites mesurant les COV oxygénés

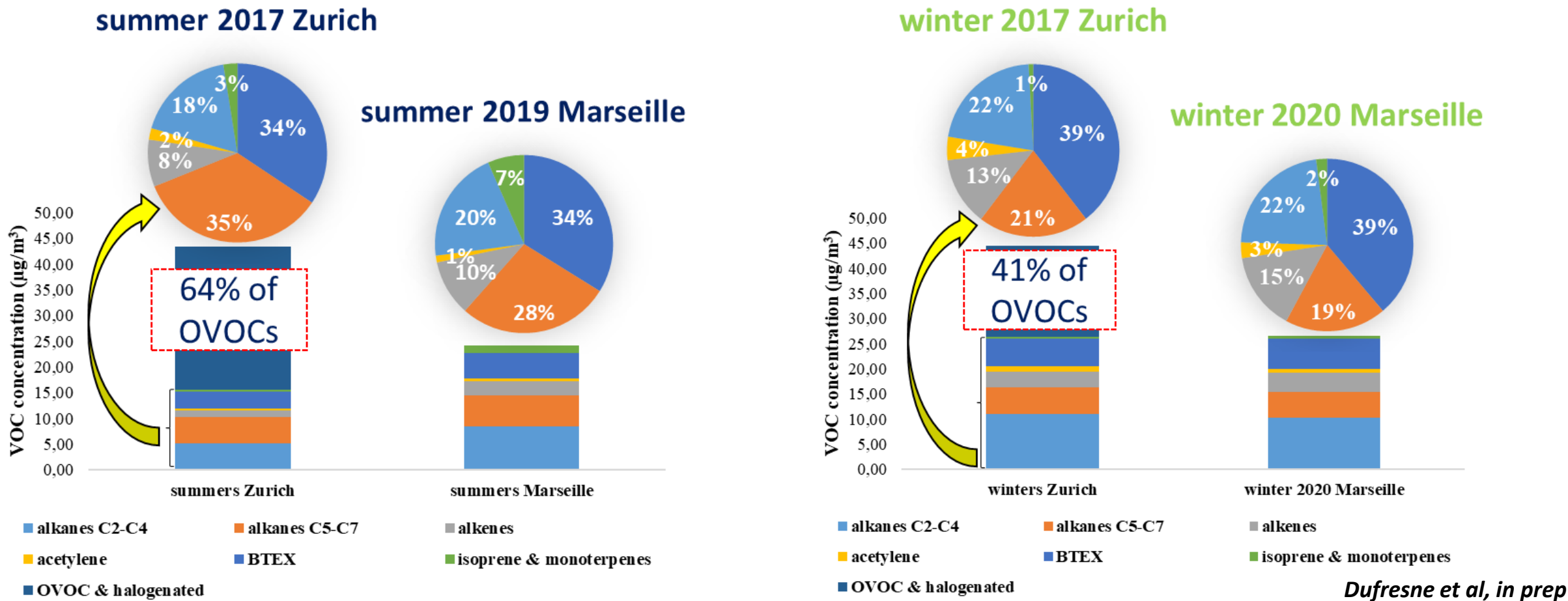


# Sites de mesure de COV existants Bassin méditerranéen



3 : Salameh et al., 2015    4 : Panopoulou et al., 2021    5 : Thera et al., 2019

# Comparaison des profils chimiques Zurich vs Marseille



Profils très similaires - Part très significative des COV-oxygénés (OVOCs)

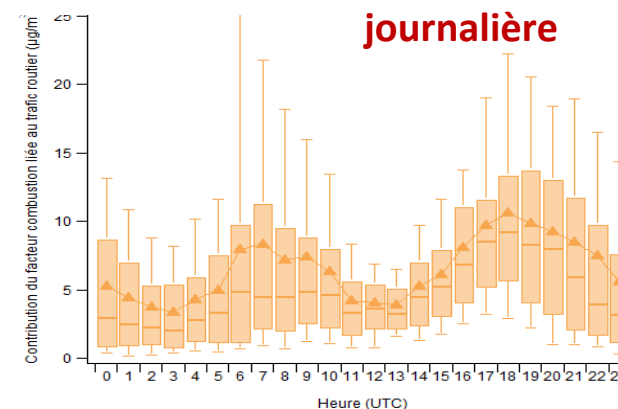
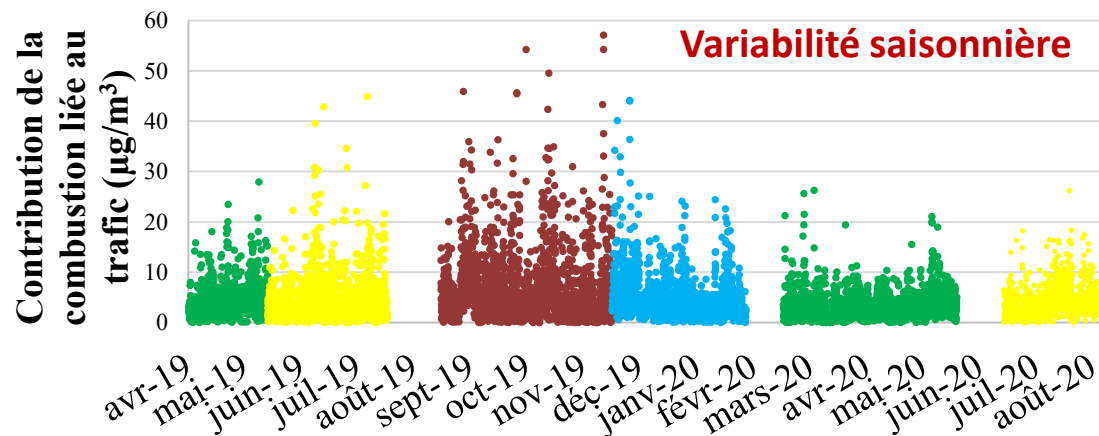
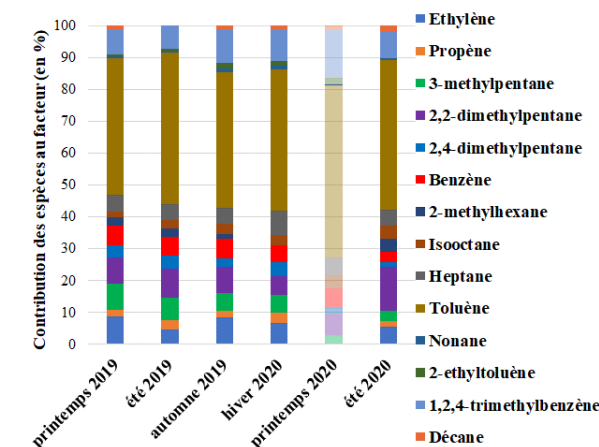
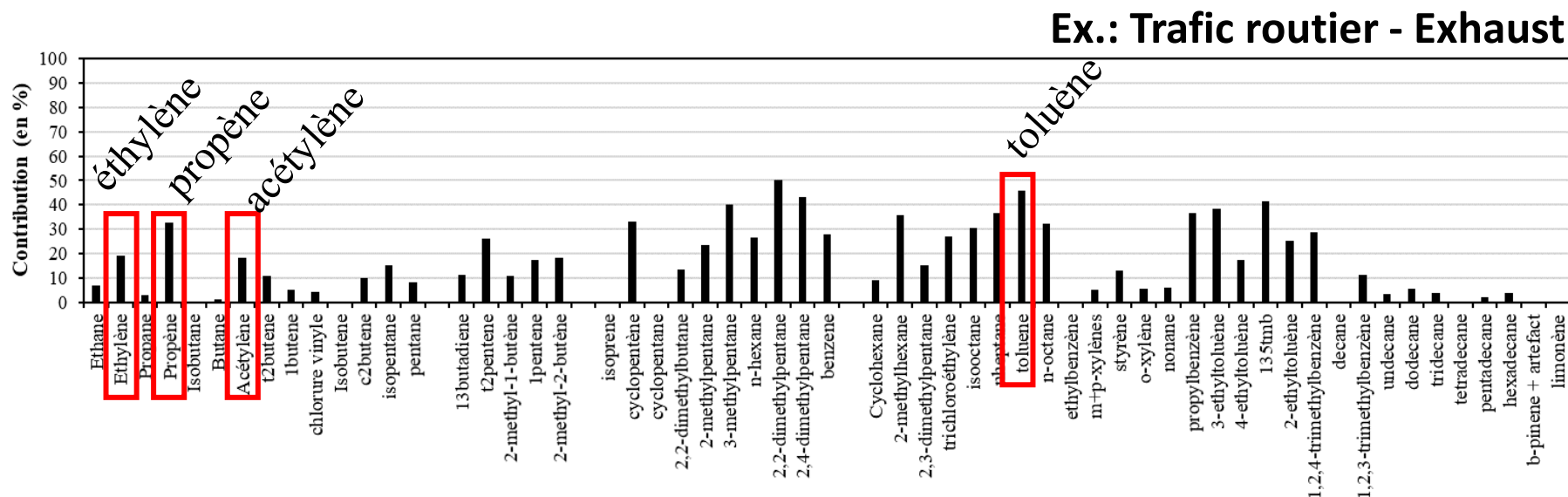
# COV Marseille Lonchamp – Attributions des sources

Analyse factorielle - **PMF saisonnier** (sans contrainte)

Jusqu'à 64 COV x 2000 mesures /saison

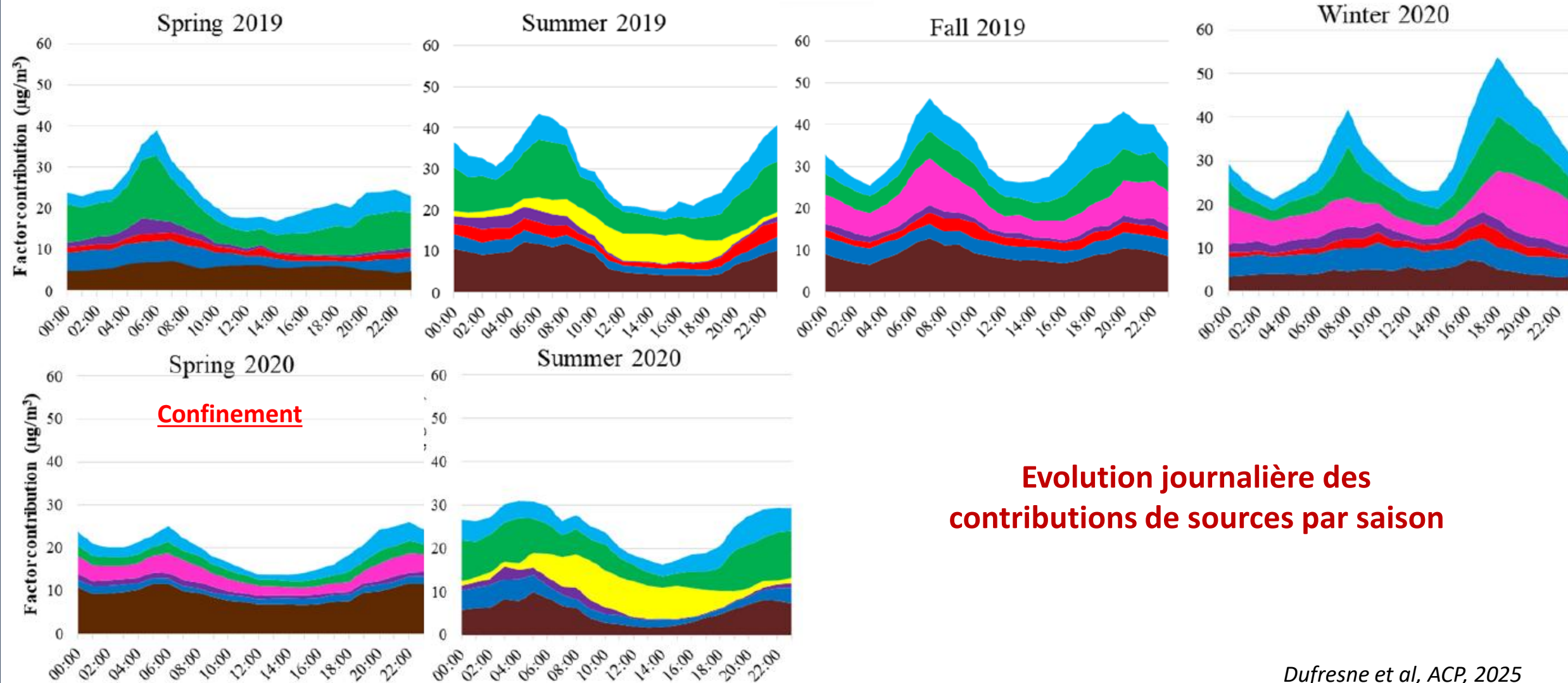
6 à 7 facteurs (empreinte chimique) suivant les saisons

Dufresne et al, ACP, 2025



# COV Marseille Lonchamp – Attributions des sources

IVOC Shipping Industrial Background Biogenic Evaporation Exhaust Heating



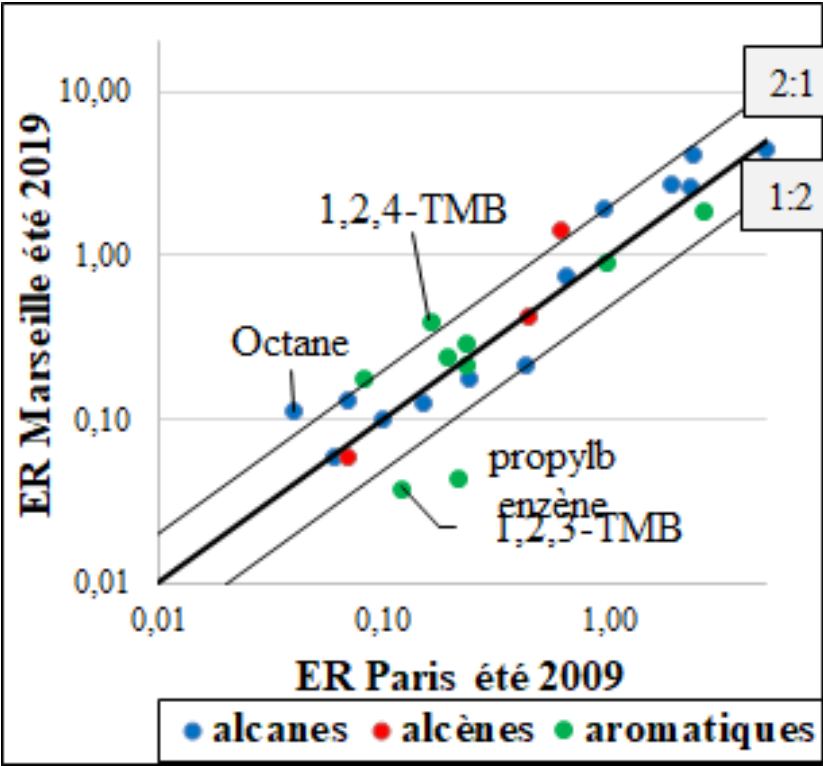
**Evolution journalière des contributions de sources par saison**

*Dufresne et al, ACP, 2025*

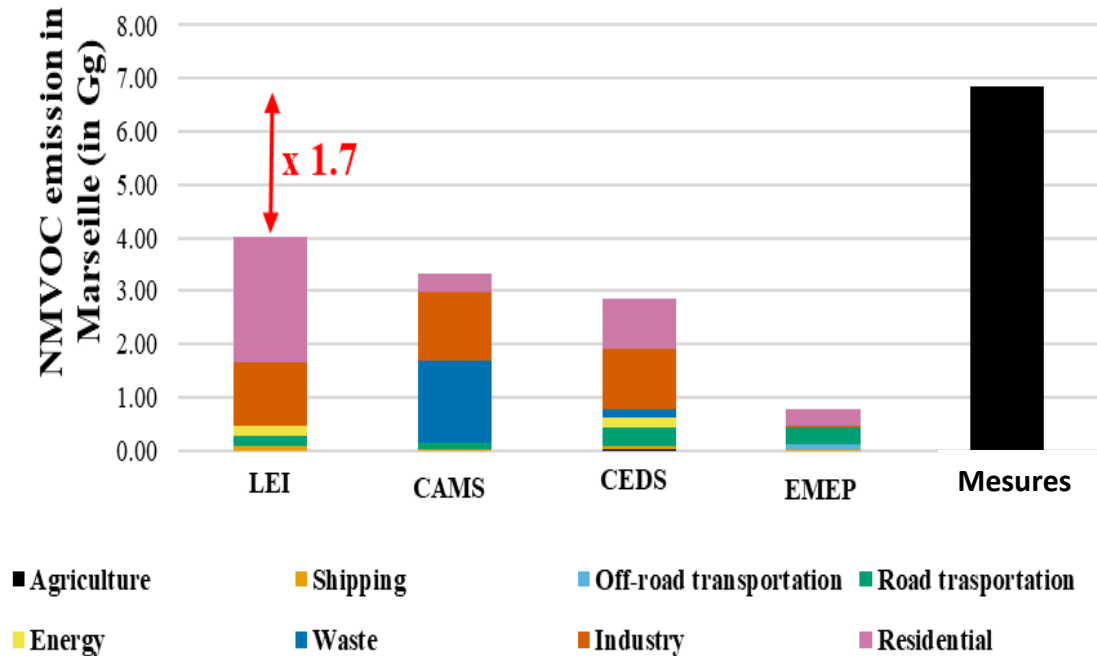
# COV Marseille Lonchamp – Comparaison aux inventaires

Dufresne et al, in prep

## Détermination de Ratios à l'émission : Comparaison Marseille - Paris

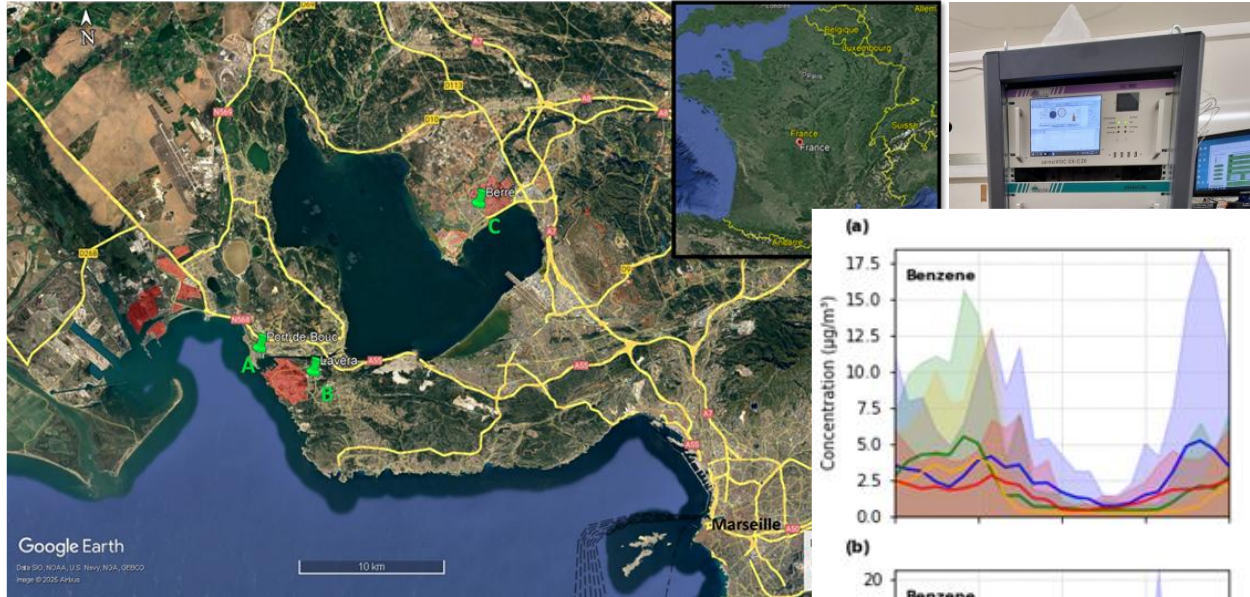


## Comparaison aux inventaires d'émission (en cours) Acétylène pris comme référence (pas idéal !)



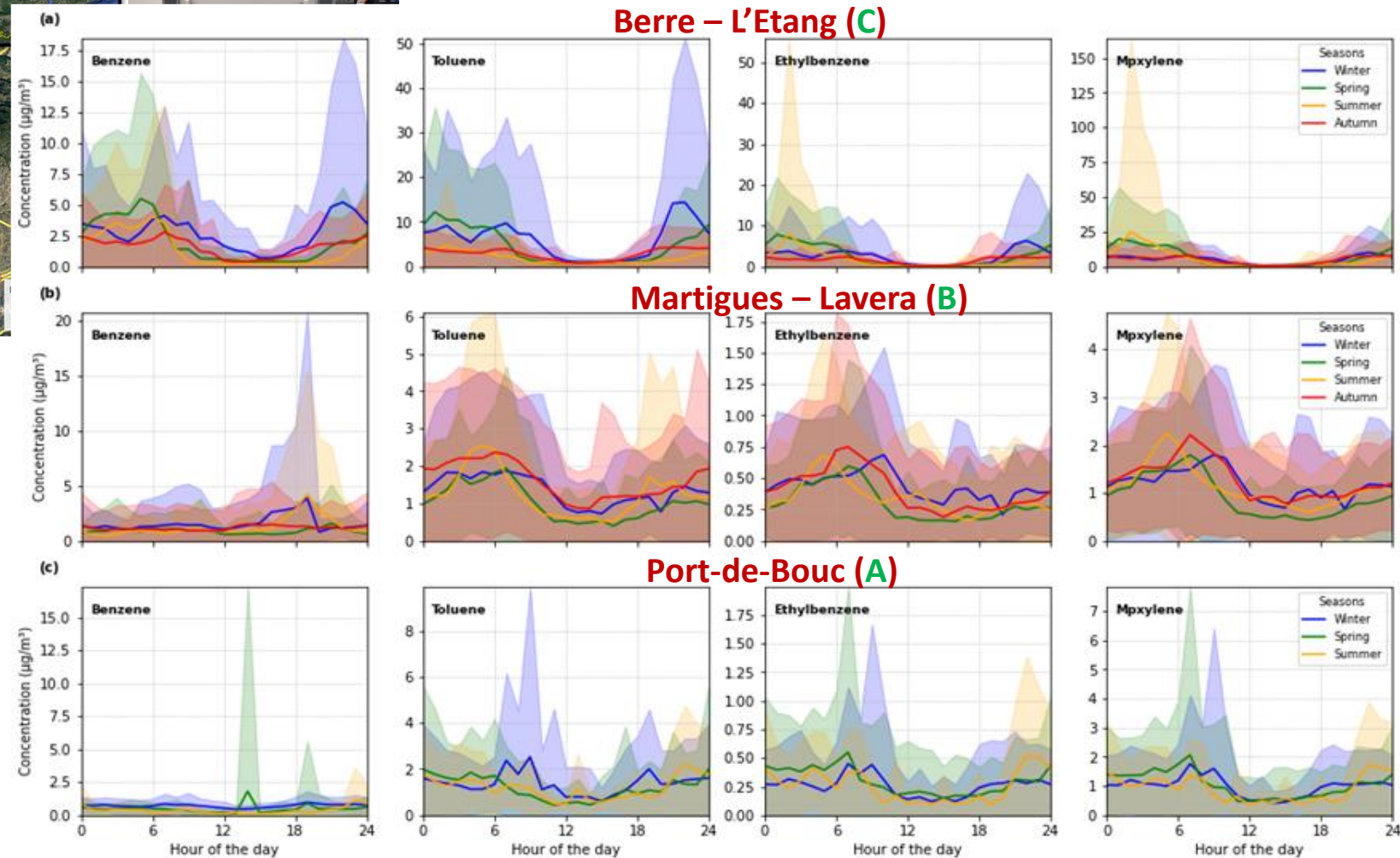
|                        | Temporal resolution | Resolution (in °) |
|------------------------|---------------------|-------------------|
| CAMS-GLOB-ANT v5.1     | Monthly             | 0.1x0.1           |
| CEDS                   | Monthly             | 0.1x0.1           |
| EMEP                   | Yearly              | 0.1x0.1           |
| AtmoSud Inventory v7.1 | Yearly              | City area         |

# COV Port de Bouc – vers une attribution des sources en ligne



Thèse AtmoSud – IMT NE : **Zahra Benmouhoub**  
2xTD/GC/FID C2-C20, 30 min  
Benmouhoub et al, in prep

- ✓ Optimisation Méthodologie
- ✓ Calcul des Incertitudes
- ! Variabilité des concentrations !

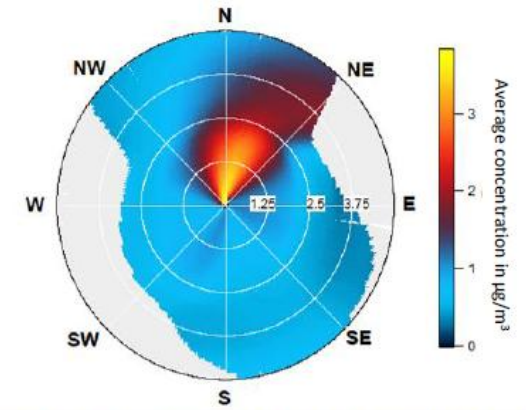
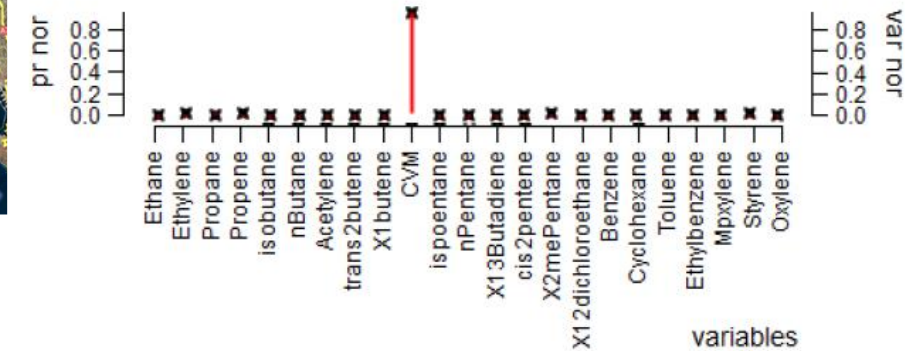


# COV Port de Bouc – vers une attribution des sources en ligne

Thèse AtmoSud – IMT NE : **Zahra Benmouhoub**  
2xTD/GC/FID C2-C20, 30 min



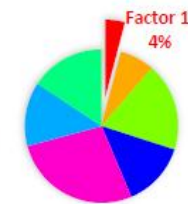
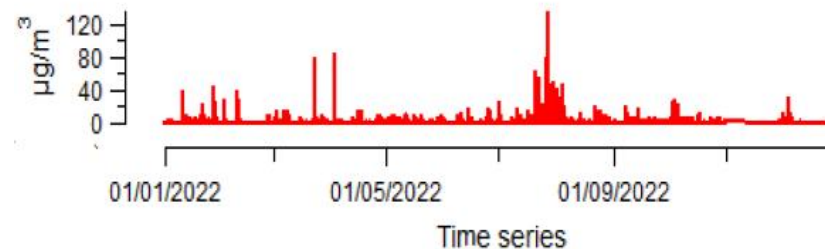
➤ **VCM (vinyl chloride monomer)– industrial**



✓ **Optimisation Méthodologie**

✓ **Calcul des Incertitudes**

■ **! Variabilité des concentrations !**



09/09/2025

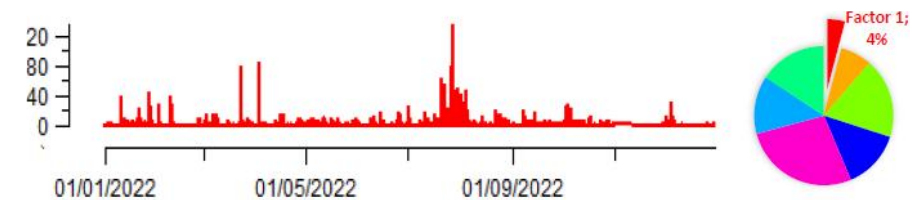
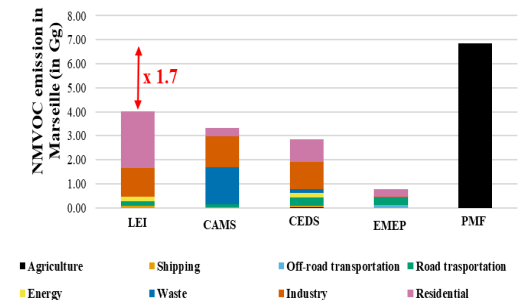
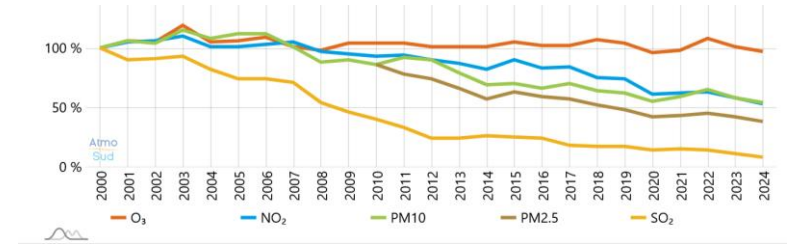


➤ **Attribution des sources**

➤ **Impact formation ozone**

# Conclusion

- Baisse drastique de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , Benzène, CO , mais pas l'ozone
- COV peu mesurés, pourtant clés, multi-sources, précurseurs Ozone et AOS !
- Observations à haut potentiel pour mieux comprendre
- Supersites - Complémentarité des propriétés physico-chimiques des gaz & particules
- Mesure incomplètes : COVO contribution au moins > à 40%
- Faiblesse des Inventaires d'émissions pour les COV
- Intérêt des méthodes d'attribution des sources et approches multi-sites :
- Synergie Surveillance opérationnelles et Travaux de recherche
- Lien avec ACTRIS (MRS-LCP et OHP-GEO)



***Merci !***