

# Respirions-nous de l'air plus propre durant le confinement lié au Covid-19?

Juan Cuesta et nombreuses contributions

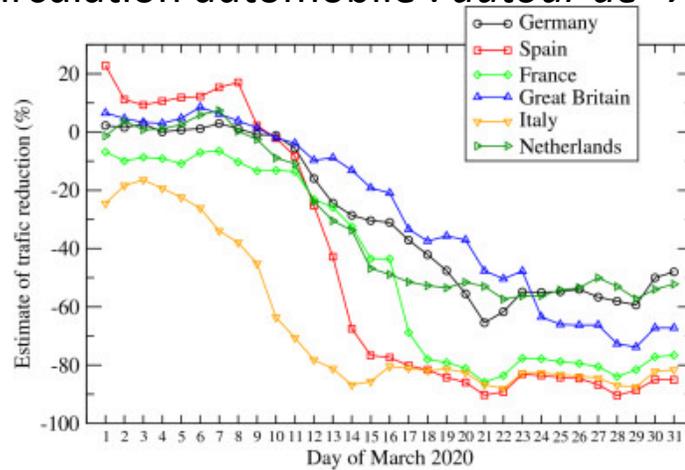
Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques – Université Paris Est Créteil



# Comment nos activités ont changé pendant le confinement du printemps 2020 ?

Focus de cette étude: **Europe** et le mois d'**Avril 2020** (confinement le plus strict)

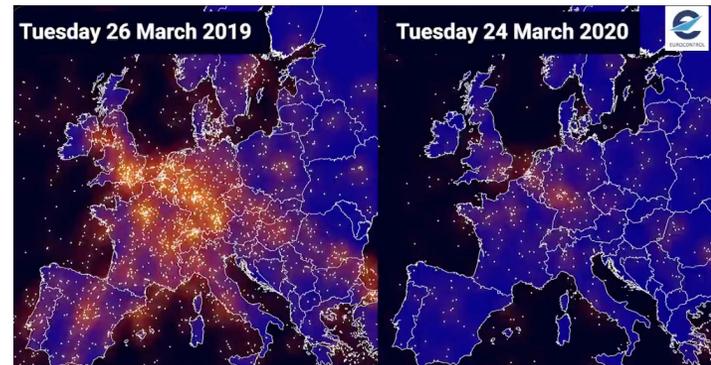
□ Circulation automobile : *autour de -73 %* ↓



□ Production énergétique: -16 % ↓



□ Trafic aérien: -91 % ↓



□ Industrie: -44 % ↓



□ Trafic maritime: -19 % ↓

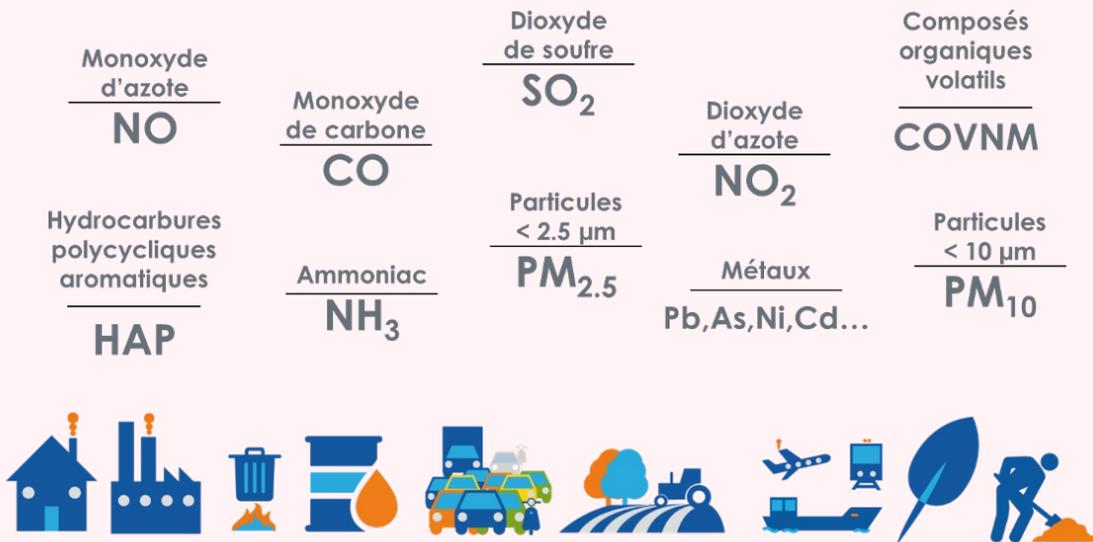


□ Chauffage domestique: +8% à 20% ↑

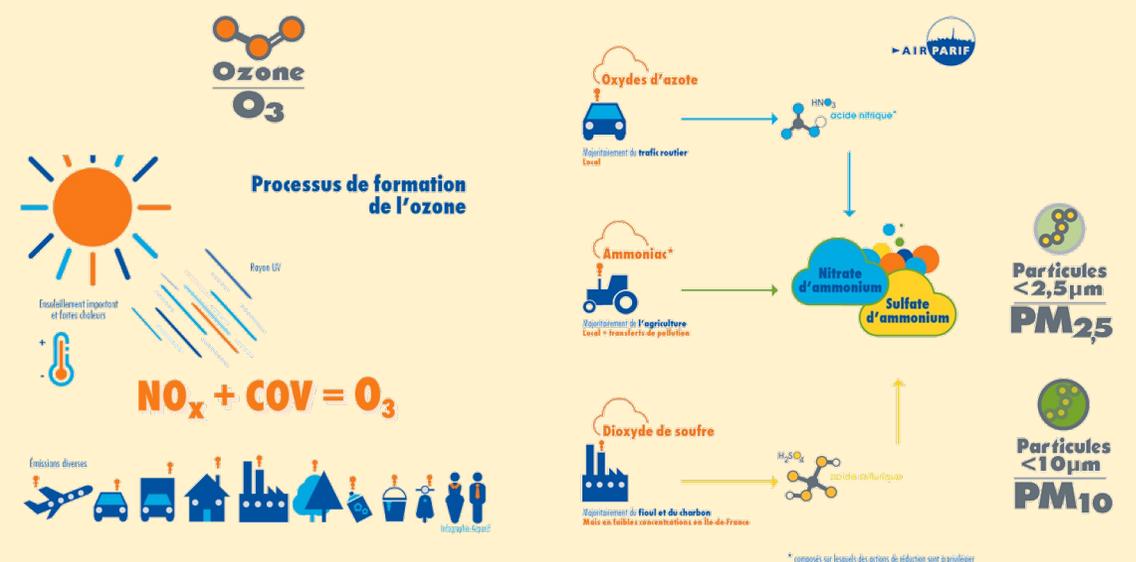


# Quels sont les polluants atmosphériques issus de ces activités?

➤ Des polluants primaires directement émis vers l'atmosphère



➤ Des polluants secondaires produits par des réactions chimiques dans l'atmosphère



➤ Quels sont les polluants atmosphériques les plus nocifs pour la santé ?  
Les particules (PM) et l'ozone (O<sub>3</sub>) troposphérique

# Comment quantifier l'impact du confinement lié au COV-19 sur la pollution atmosphérique?

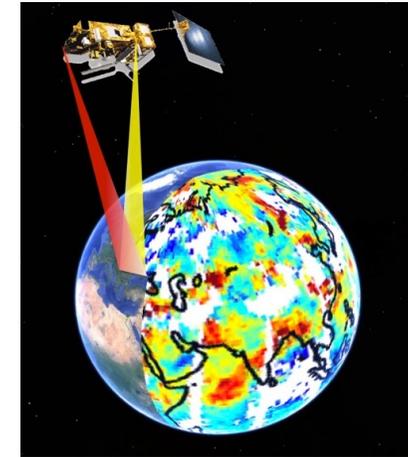
- Réseaux de stations de mesure in situ



- Modèles de chimie-transport

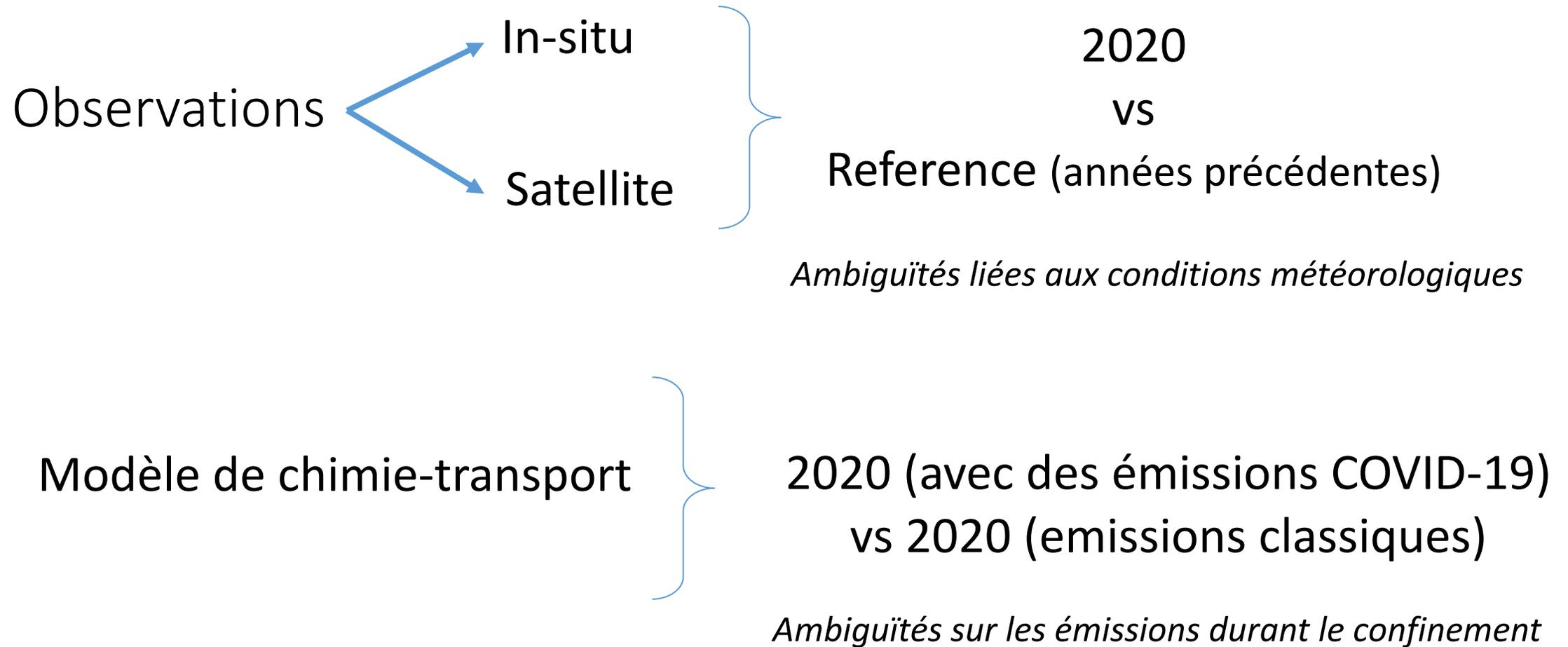


- Observations satellitaires



*Complexité: L'abondance des polluants varient par multiples facteurs: émissions, météorologie, régimes chimiques*

# Approches pour quantifier l'impact du confinement lié au COV-19 sur la pollution atmosphérique



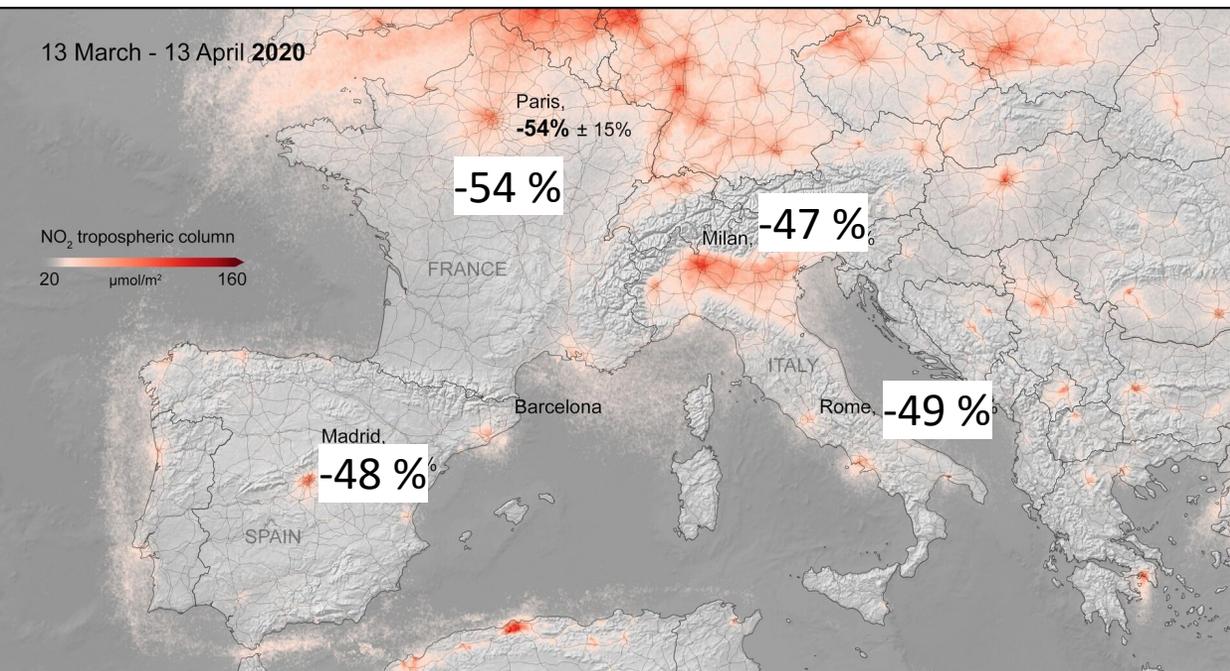
# Les monoxydes d'azote

- *Emissions directes majoritairement des automobiles*
- *Courte durée de vie (heures à jours) → Concentrations élevées dans les mégacités*
- *Influence modérée des conditions météorologiques*

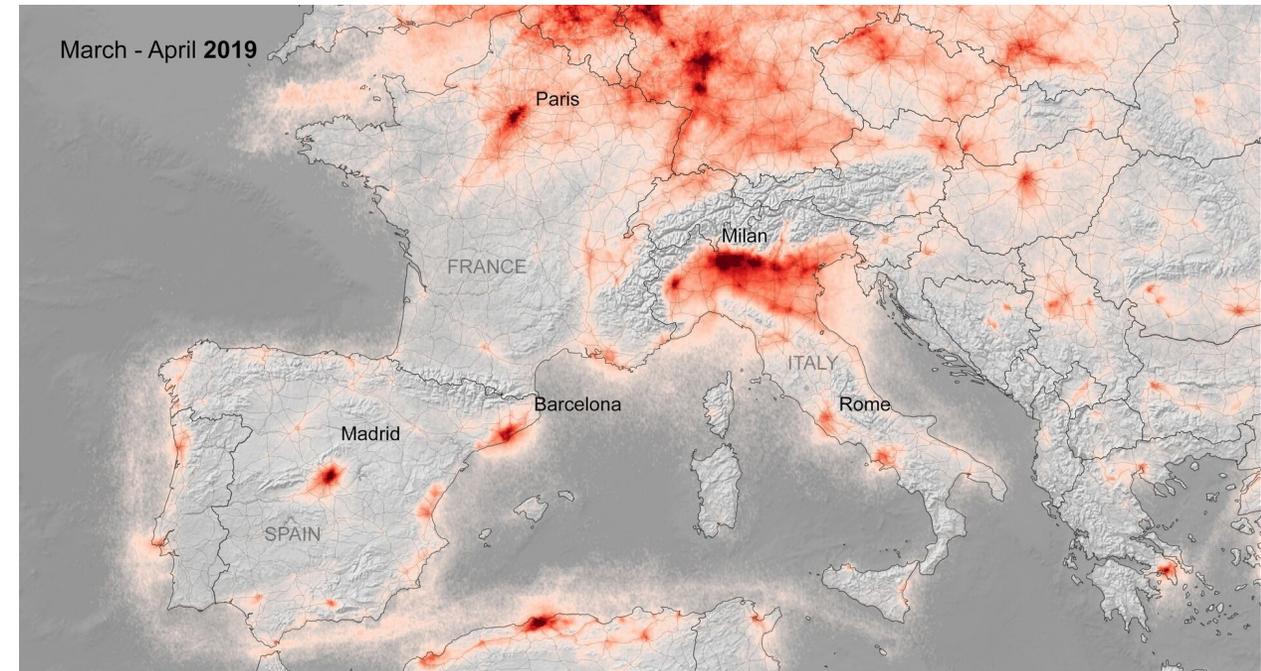
# Les monoxydes d'azote

- Emissions directes majoritairement des automobiles
- Courte durée de vie (heures à jours) → Concentrations élevées dans les mégacités
- Influence modérée des conditions météorologiques

## Observations du capteur satellitaire TROPOMI (NO<sub>2</sub> intégré sur toute l'atmosphère)



Premier confinement COVID-19



Référence: même période en 2019

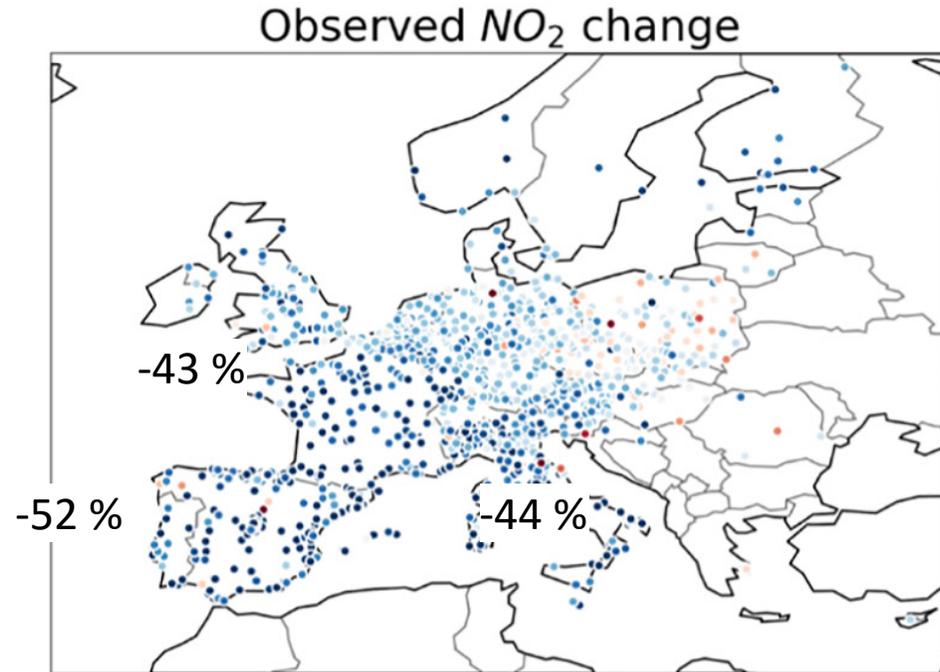
- Forte et claire réduction de NO<sub>2</sub> en zones urbaines et corrélée aux émissions automobiles

# Les monoxydes d'azote

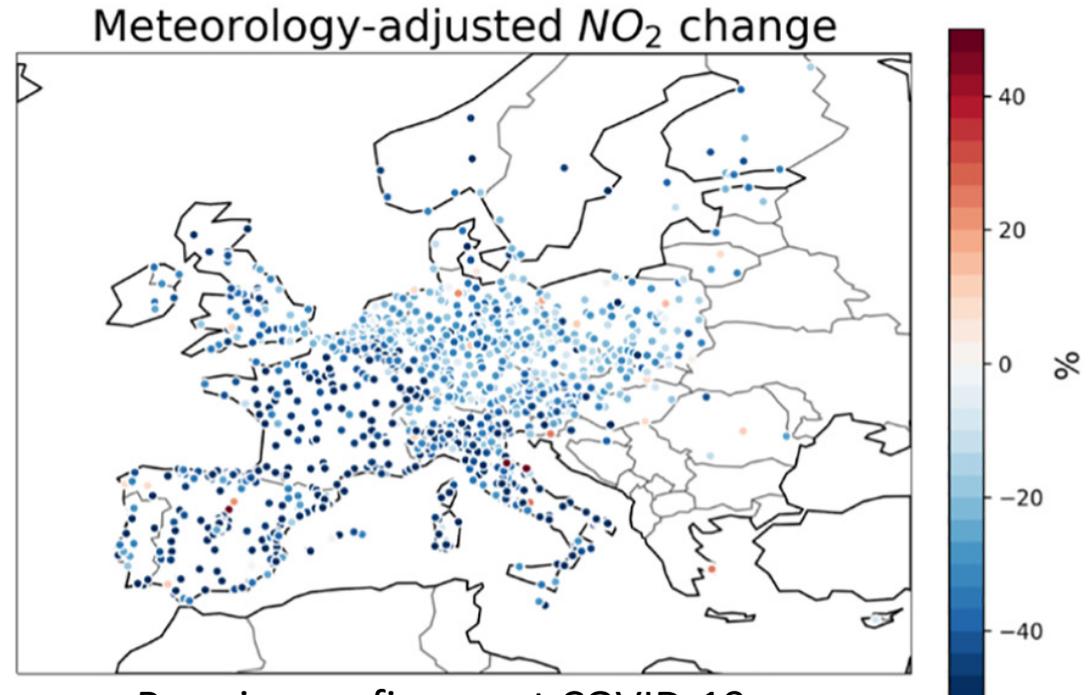
## Influence des conditions météorologiques

Mesures in situ ( $\text{NO}_2$  à la surface)  
2020 – Moyenne (2015-2019)

Mesure en 2020 – Prédiction selon 2015-2019  
( $\text{NO}_2$  à la surface)



Premier confinement COVID-19  
vs 2015-2019



Premier confinement COVID-19  
vs 2015-2019 (effet COVID-19 seul)

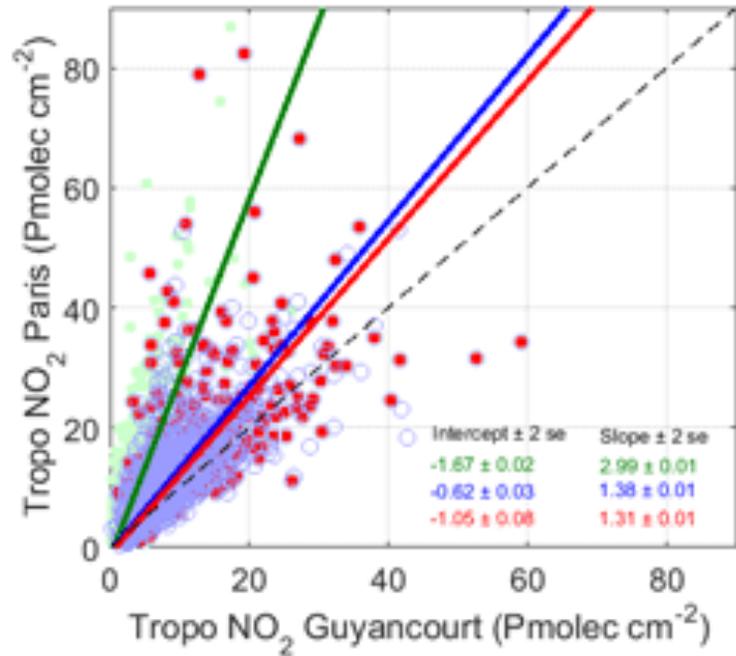
➤ Faible influence des conditions météorologiques

[Ordoñez et al., 2020]

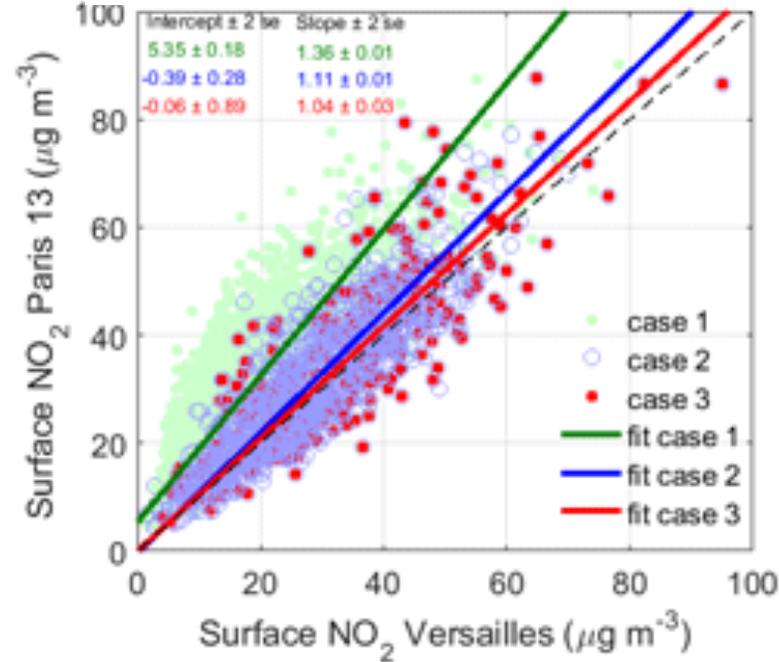
# Les monoxydes d'azote

## Influence de la mégacité parisienne: *Ville de Paris vs Banlieue ouest*

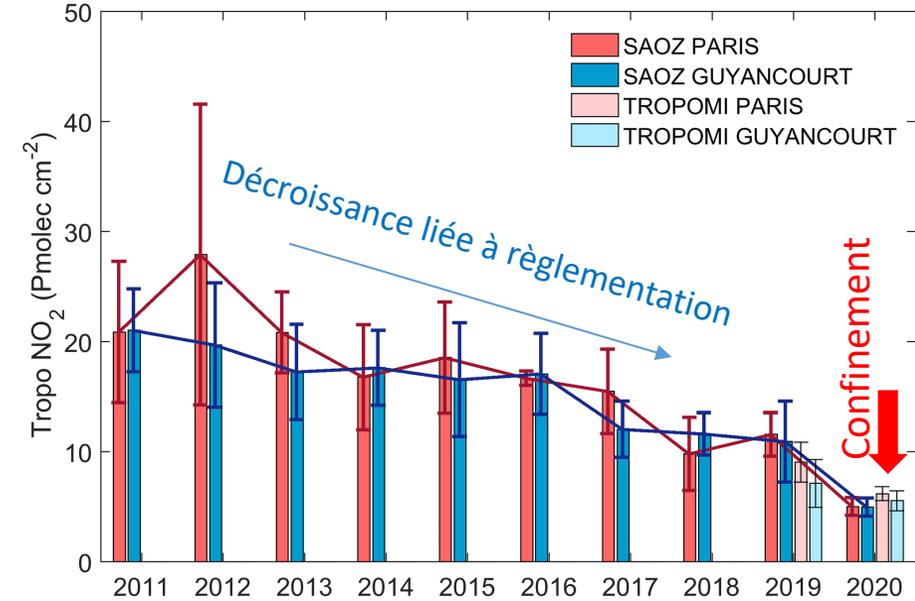
Colonne intégrée NO<sub>2</sub> - SAOZ



Concentration surface NO<sub>2</sub> – in situ



Tendance colonne intégrée NO<sub>2</sub>



Paris → Banlieue ouest (fort vent)

Paris → Banlieue ouest (faible vent)

Paris ✗ Banlieue ouest

➤ Fort gradient Paris/Banlieue : +20% quand la masse d'air vient de Paris

➤ Réduction du NO<sub>2</sub> durant le confinement en 2020: -56 % à Paris et 46 % en banlieue ouest (Guyancourt)

[Pazmiño et al., 2021]

# Les particules

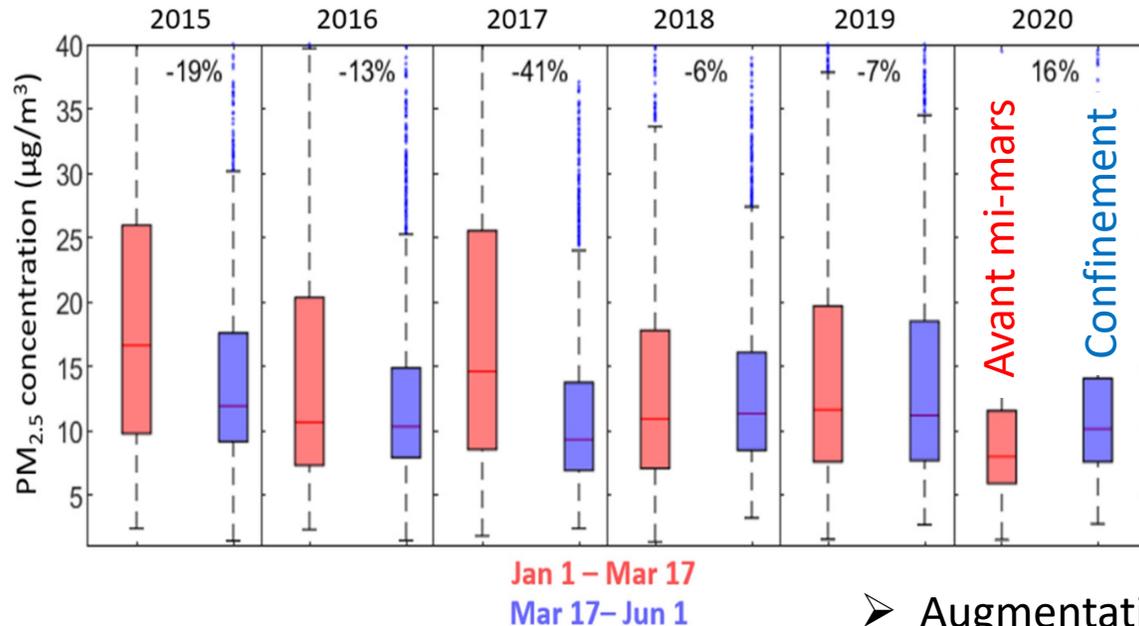
- *Multiples origines: Emissions directes + Production secondaire par réactions chimiques*
- *Durée de vie de une semaine → Particules transportées par le vent loin des sources*
- *Influence significative des conditions météorologiques*

# Les particules

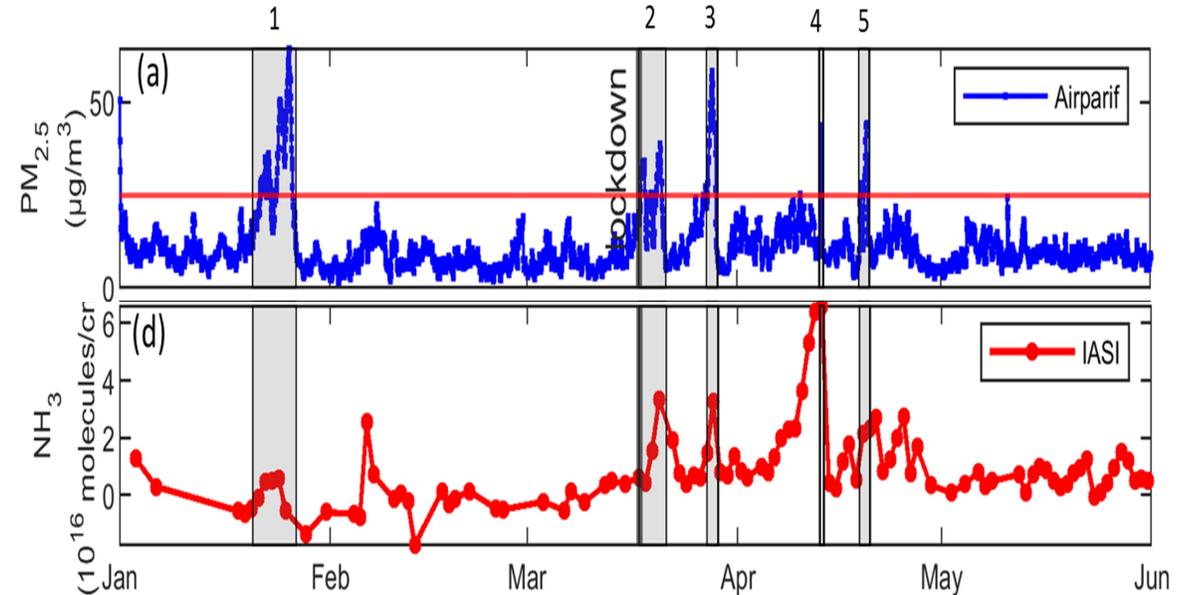
- *Multiplés origines: Emissions directes + Production secondaire par réactions chimiques*
- *Durée de vie de une semaine → Particules transportées par le vent loin des sources*
- *Influence significative des conditions météorologiques*

## Evolution des concentrations en particules fines (PM2.5)

### Mégapole Parisienne



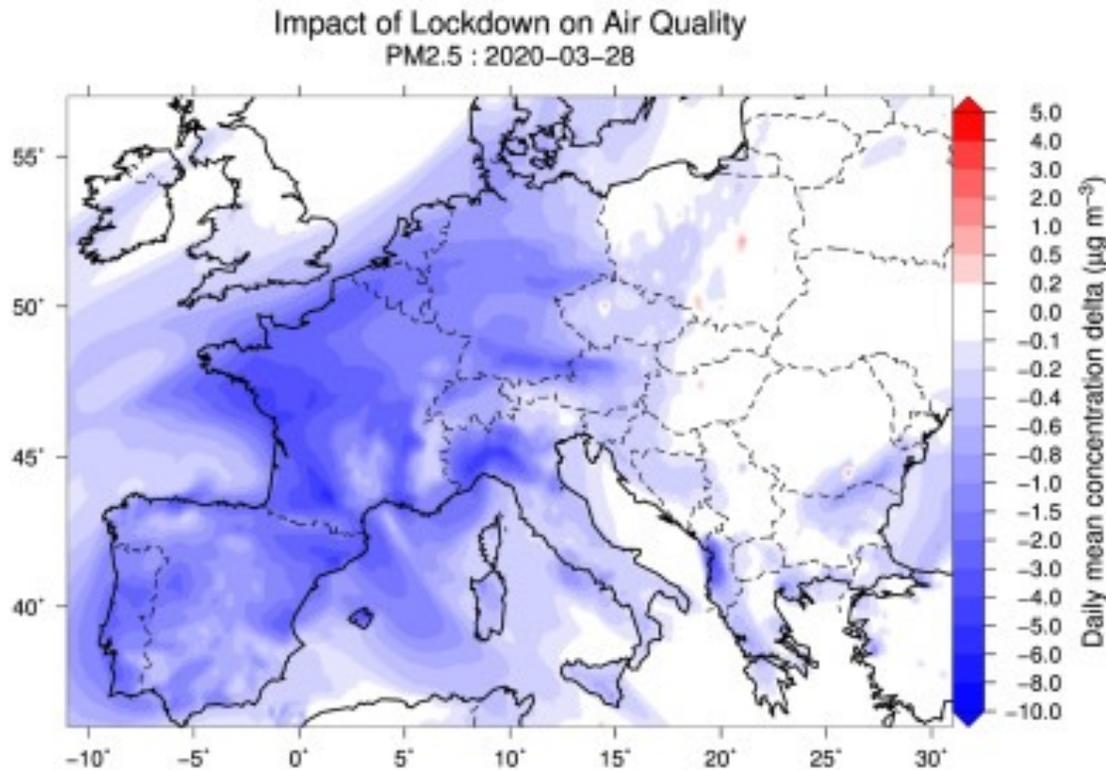
- Augmentation entre l'hiver et le printemps 2020



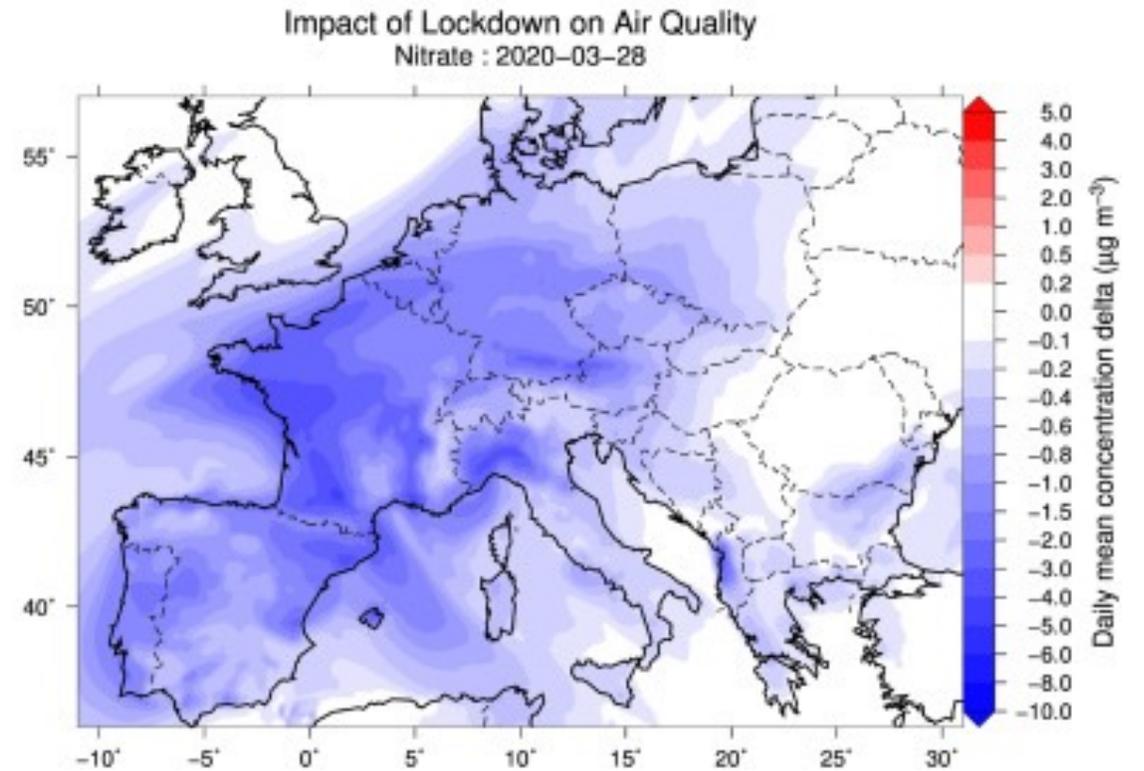
- Pics de pollution aux particules et à l'ammoniac (mauvaise qualité de l'air) typique des printemps  
→ Nitrates d'ammonium  
[Viatte et al., 2021]

# Les particules

Influence du confinement: *Modèle CHIMERE (émissions COVID) – (émissions standard)*



-18% de PM2.5 en France (sans claire distinction ville/campagne)

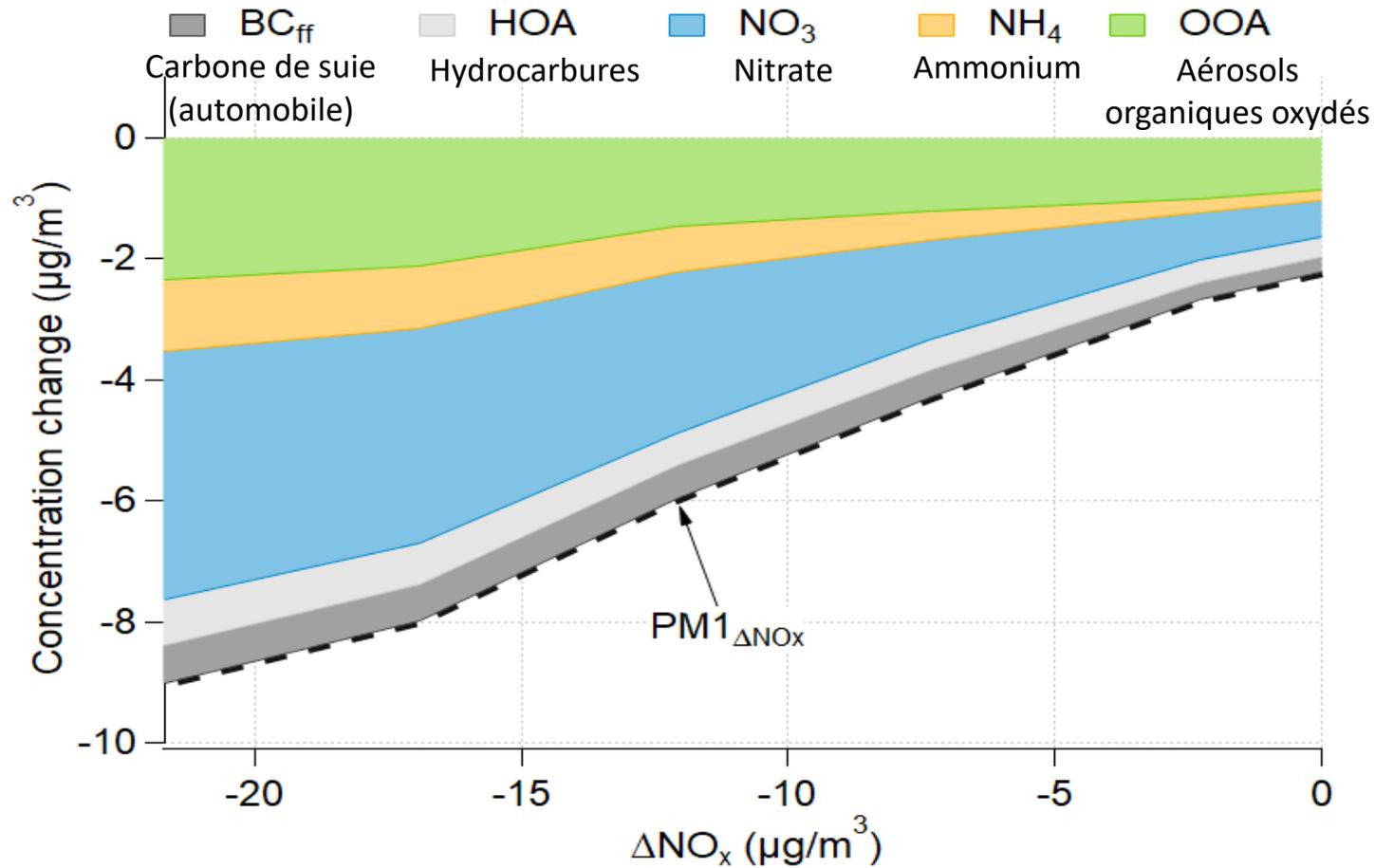


Reduction de NO<sub>x</sub> automobile → Reduction modérée des nitrates

[Menut et al., 2020]

# Les particules

Effet de la réduction de  $\text{NO}_x$  sur les particules :  
*Composition confinement vs hors confinement (météo similaire)*

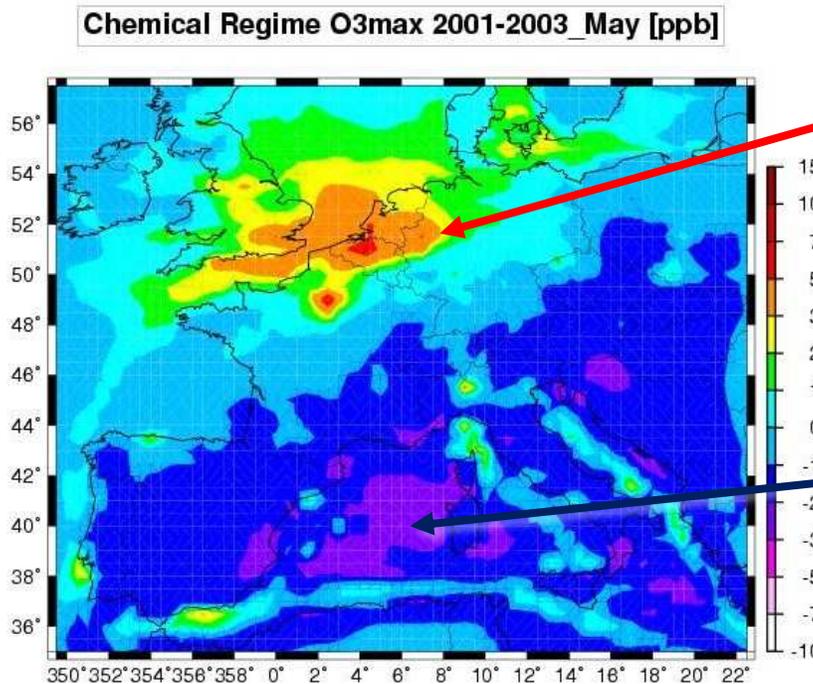


- Réduction de  $\text{NO}_x$   $\rightarrow$  -45 % de nitrate et corrélée avec -25% aérosols organiques secondaires
- En plus d'une réduction des hydrocarbures et carbone de suie (-62 % et -55 %) [Petit et al., 2021]

# La pollution à l'ozone

- Polluant secondaire issue des réactions photochimiques de  $\text{NO}_x$ , et Composées Organiques Volatiles (COV)
- Durée de vie de une à deux semaines → Ozone transporté par le vent loin des sources
- Forte influence des conditions météorologiques
- Régimes photochimiques

En conditions normales  
(hors confinement)



Régime limité par COV

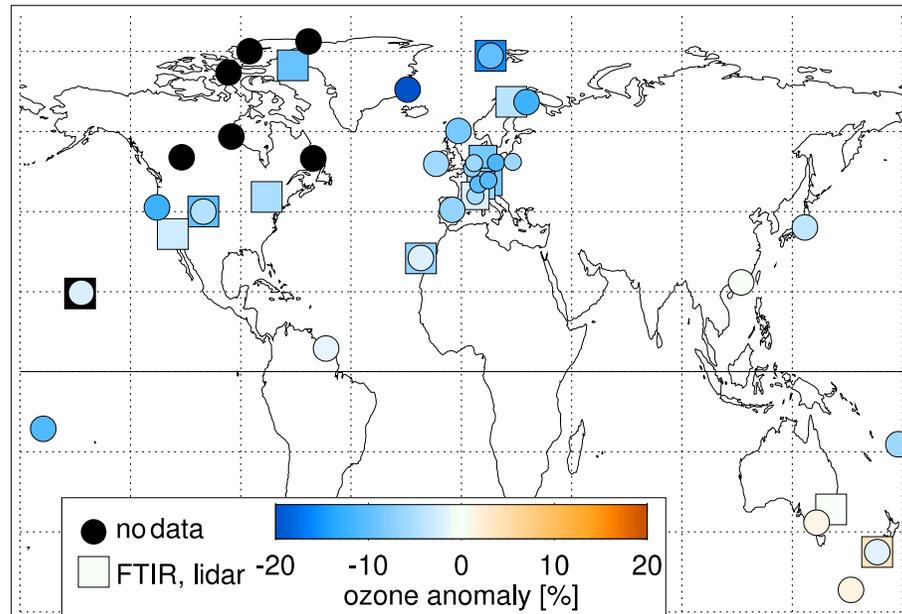
Régime limité par  $\text{NO}_x$

# L'ozone dans la troposphère libre

## L'anomalie de l'ozone dans la troposphère libre pendant le confinement

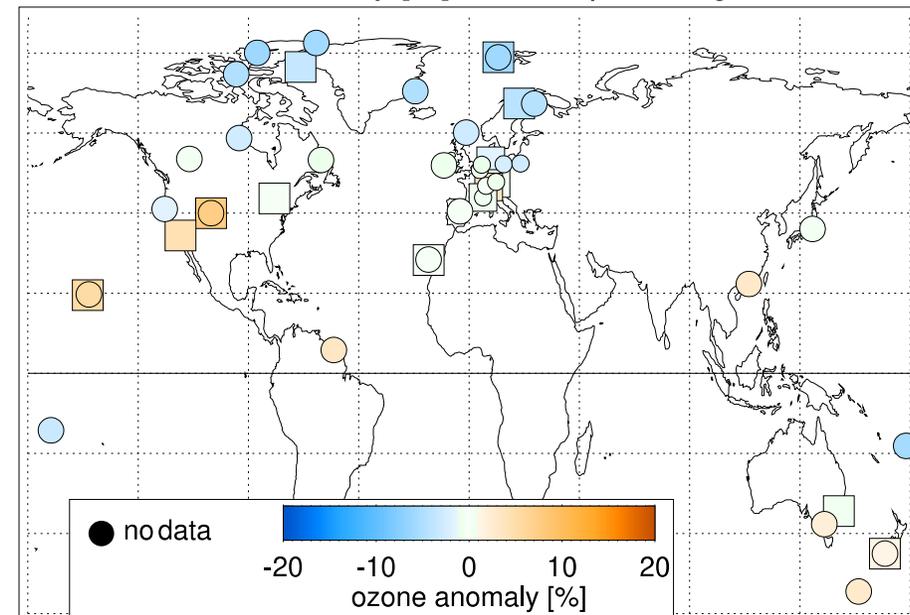
### Observations sondes in situ et lidar

ozone anomaly [%], 2020, Apr to Aug, 1 to 8 km



### Modèle de chimie-transport CAMS

CAMS ozone anomaly [%], 2020, Apr to Aug, 1 to 8 km



Claire réduction de l'O<sub>3</sub> dans la troposphère libre  
→ Confinements simultanés dans nombreux pays

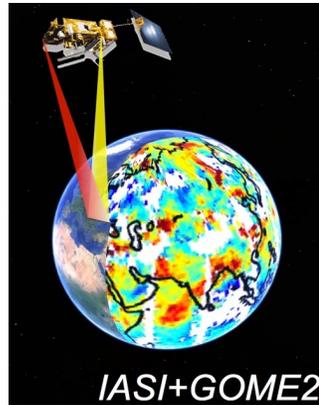
Reduction de l'O<sub>3</sub> dans la  
troposphère libre  
sous-estimées

# La pollution à l'ozone

□ Comment quantifier l'effet du confinement seul? Et tenir compte des conditions météorologiques?

→ Synergie multi-approches:

Observations  
satellites nouvelles



→ Meilleure sensibilité à l' $O_3$   
proche de la surface

Mesures in-situ



Modèle de Chimie-transport

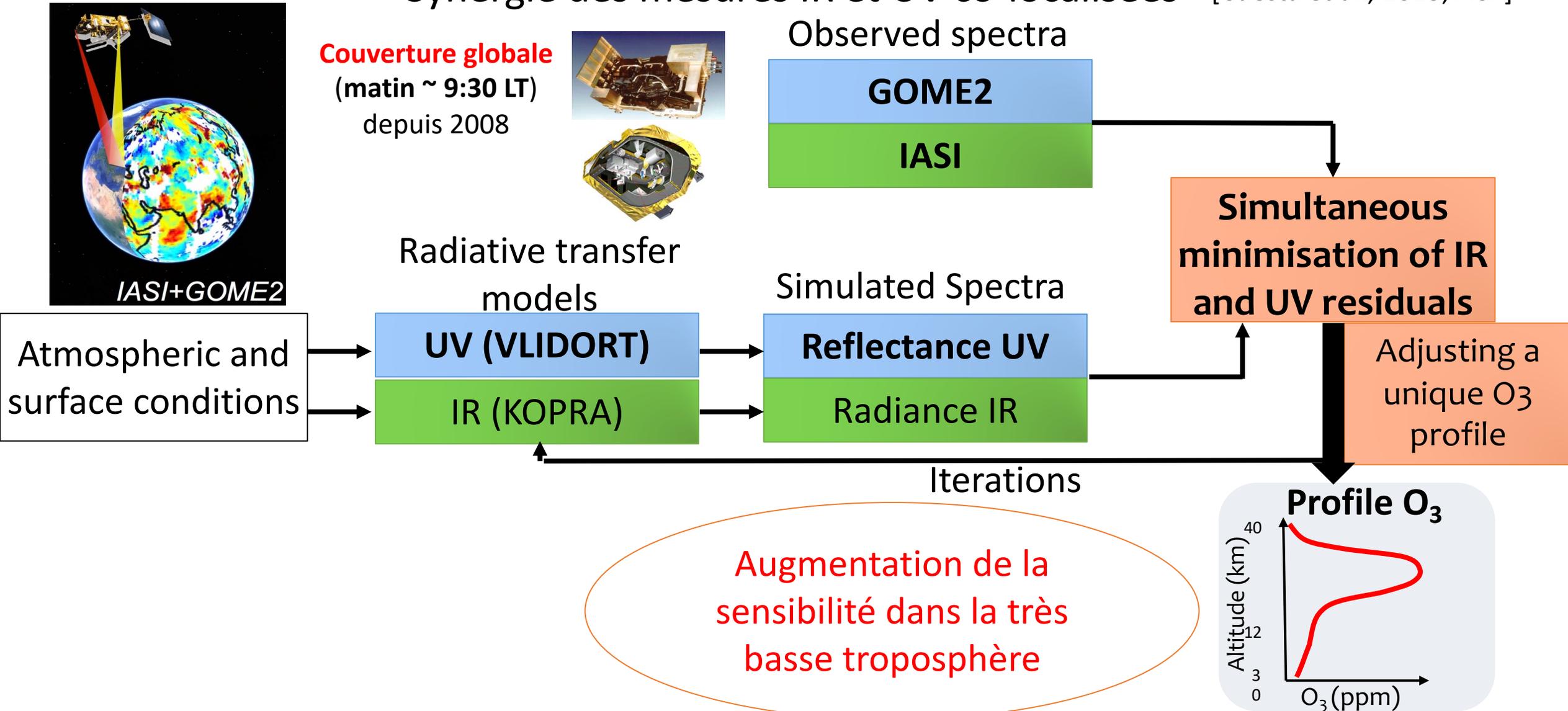


 chimere

# La pollution à l'ozone

## Observations satellitaires multispectrales de l'O<sub>3</sub> IASI+GOME2

Synergie des mesures IR et UV co-localisées [Cuesta et al., 2013, ACP]



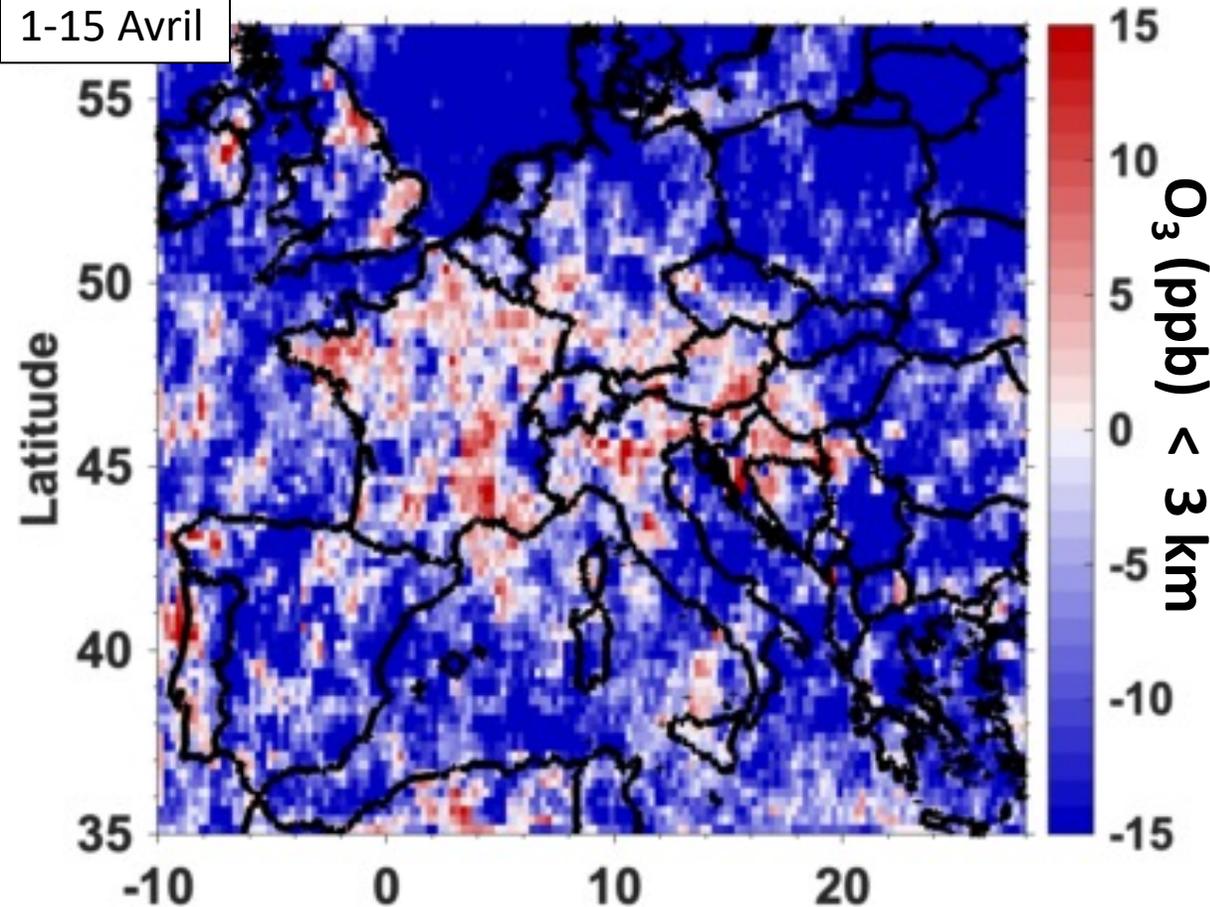
# La pollution à l'ozone

[Cuesta et al., 2022]

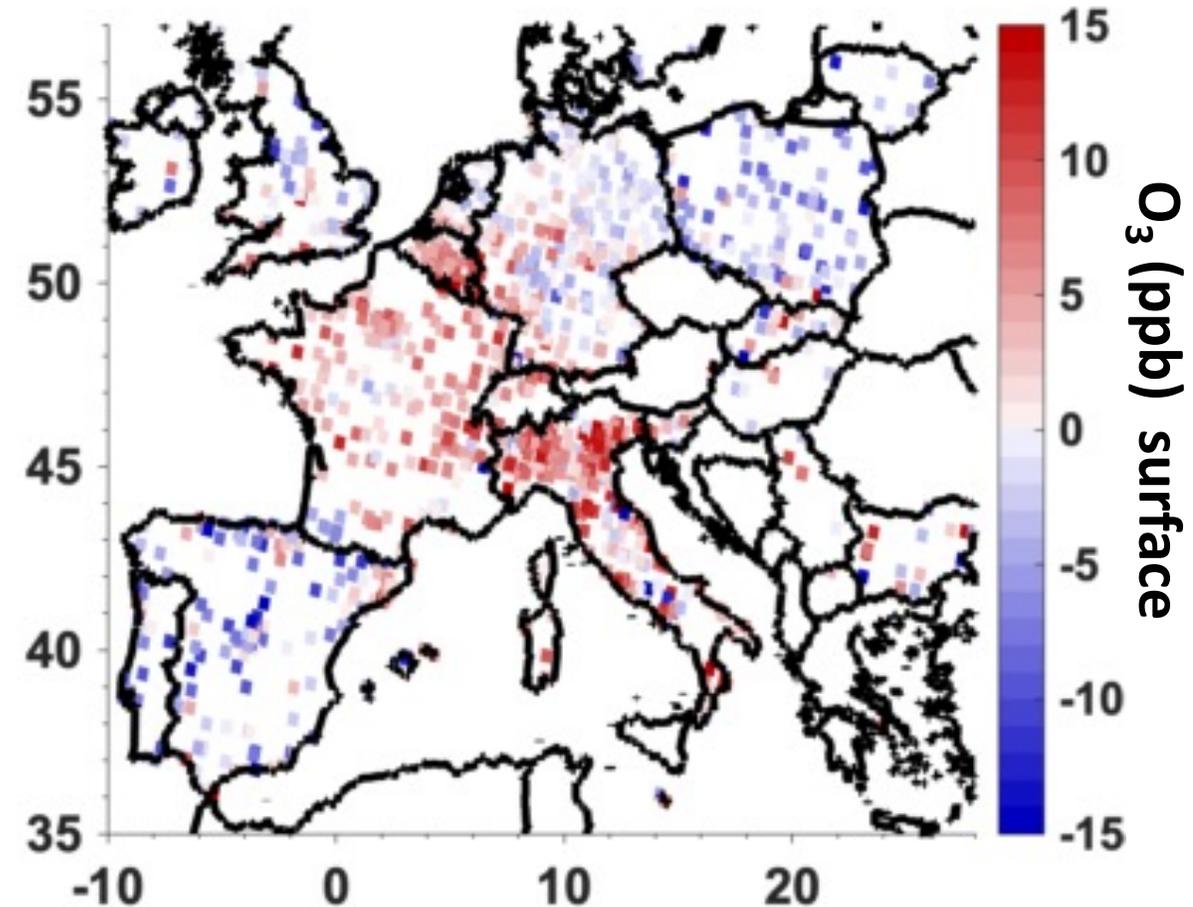
$O_3(2020) - O_3(2019) \rightarrow$  Effet confinement +  $\Delta$ Météorologie

**IASI+GOME2 satellite observation**

1-15 Avril



**Mesures In situ à la surface**



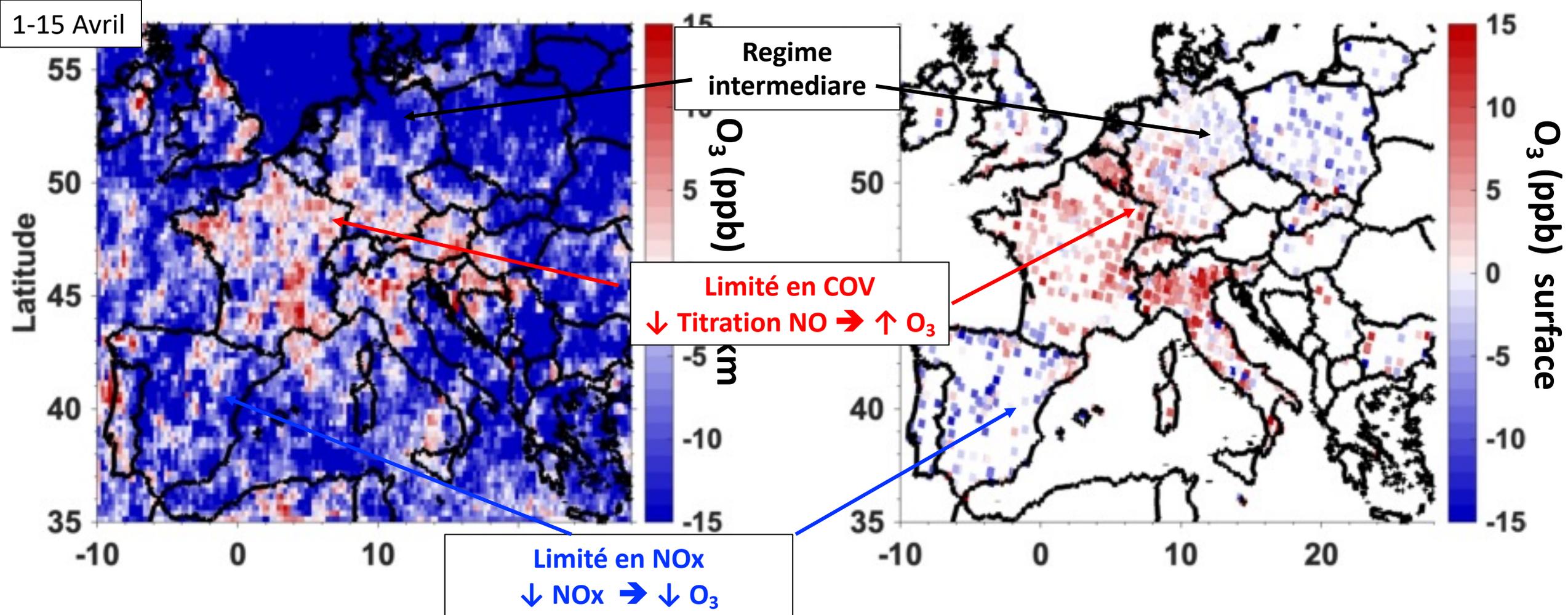
Bon accord entre le satellite et les mesures in situ à la surface, dans les structures, le signe et les concentrations en absolue

# La pollution à l'ozone

$O_3(2020) - O_3(2019) \rightarrow$  Effet confinement +  $\Delta$ Météorologie

**IASI+GOME2 satellite observation**

**Mesures In situ à la surface**



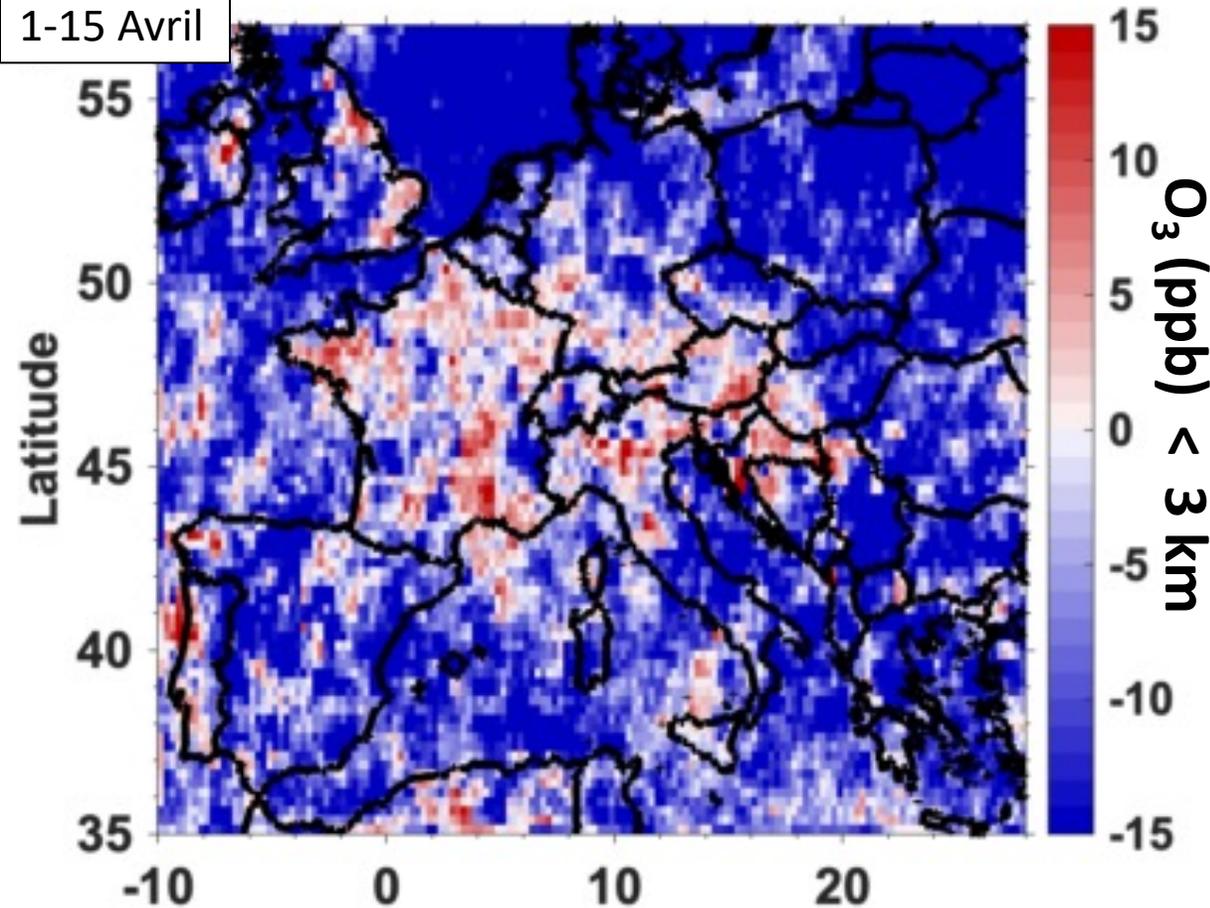
Signatures claires des régimes limités en COV & NOx, accord avec Beekmann and Vautard, 2010

# La pollution à l'ozone

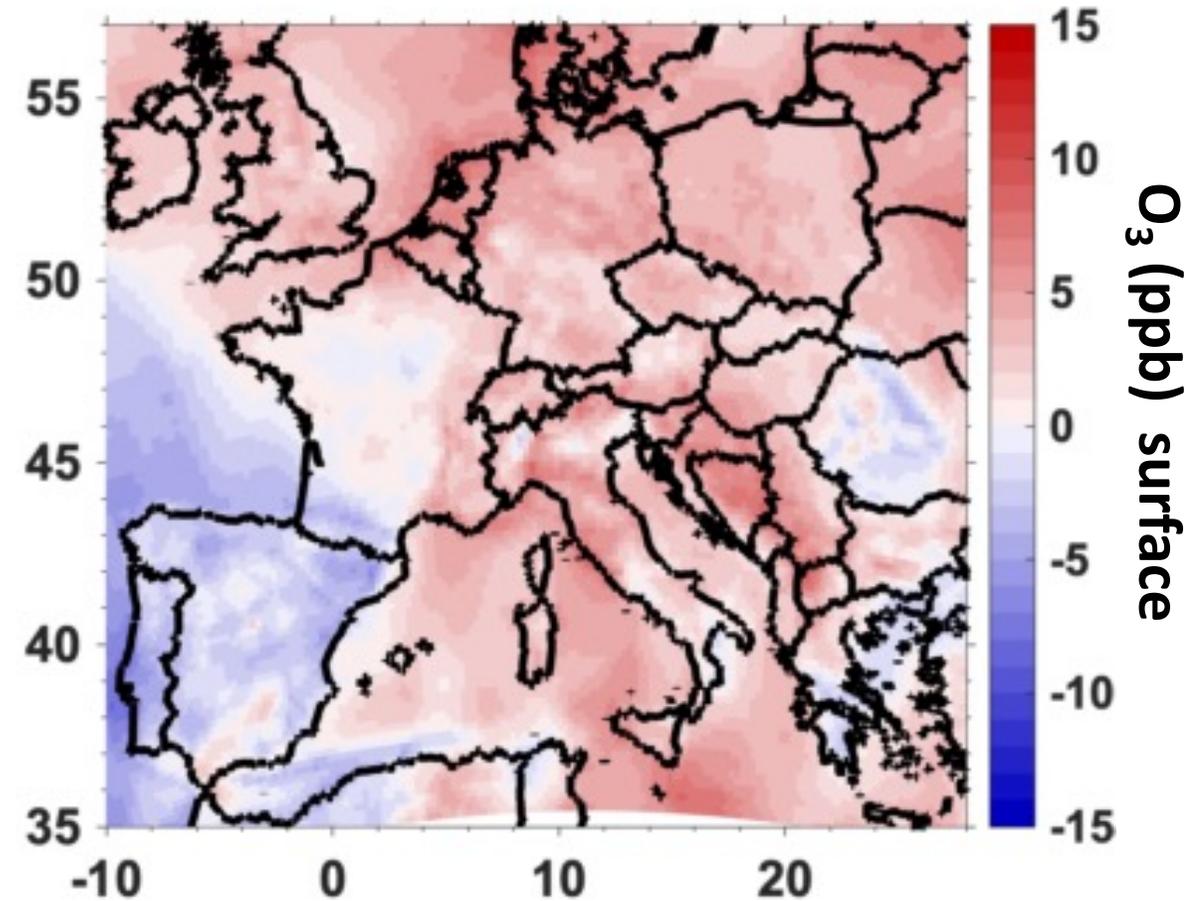
$O_3(2020) - O_3(2019) \rightarrow$  Effet confinement +  $\Delta$ Météorologie

**IASI+GOME2 satellite observation**

1-15 Avril



**CHIMERE simulations**



Pas de signatures claires des régimes limités en COV et NOx

# La pollution à l'ozone

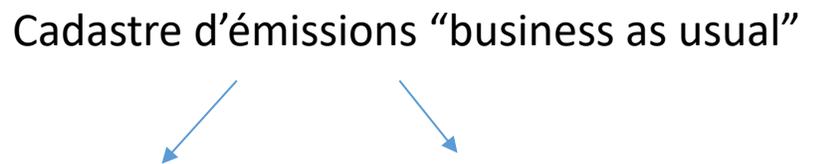
Estimation de l'impact du confinement COVID-19 avec le modèle et les observations

Avec le **modèle CHIMERE**

$$\Delta O_{3_{mod}}^{covid} = O_{3_{mod_{COVID}}}^{2020} - O_{3_{mod_{STD}}}^{2020}$$

Avec les  
observations de  
**surface &**  
**satellite**

Cadastre d'émissions "business as usual"


$$\Delta O_{3_{obs}}^{covid} \approx O_{3_{obs}}^{2020} - O_{3_{obs}}^{2019} - \left( O_{3_{mod_{STD}}}^{2020} - O_{3_{mod_{STD}}}^{2019} \right)$$

→ Estimations de l'ajustement des changements issus des conditions météorologiques entre 2020 et 2019 à partir des simulations CHIMERE

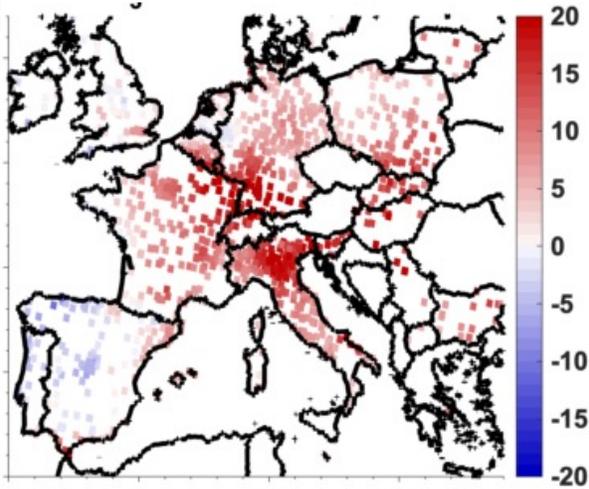
# La pollution à l'ozone

Impact du confinement COVID-19 seul

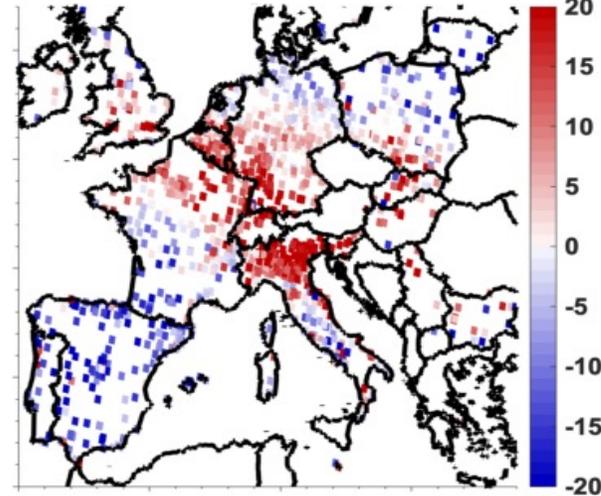
Notre approche

1-30 April

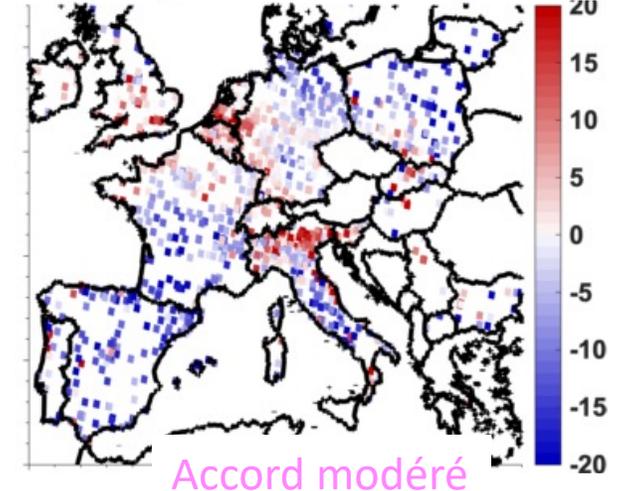
CHIMERE STD  $\Delta O_3^{2020-2019}$



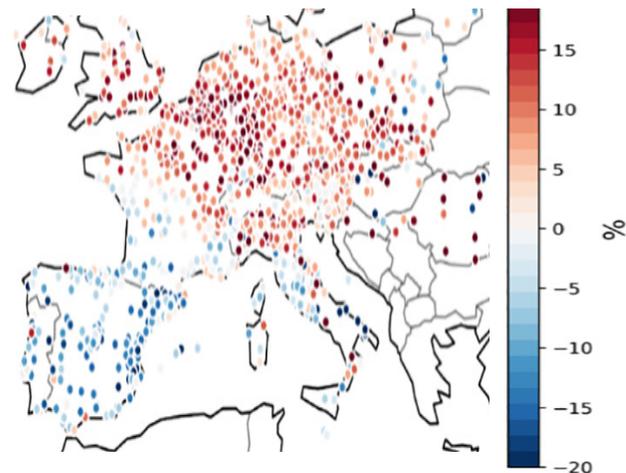
In situ  $\Delta O_3^{2020-2019}$



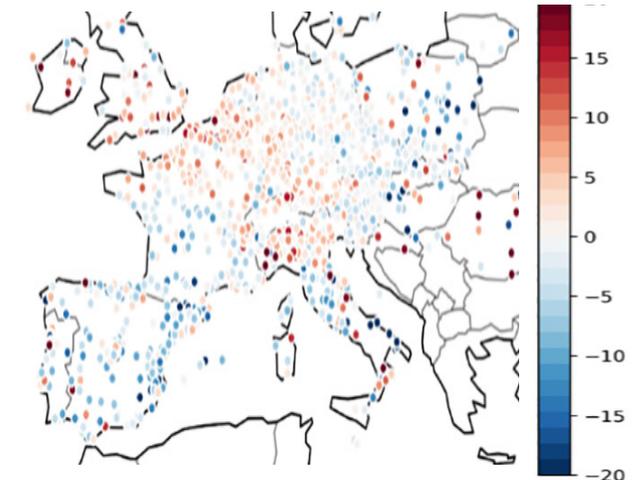
In situ  $\Delta O_3^{COVID}$  (meteo adjusted)



In situ  $\Delta O_3^{2020} - \langle 2019-2015 \rangle$



In situ  $\Delta O_3^{COVID}$  (meteo adjusted)



A partir de Ordoñez et al.,  
2020 : In situ à la surface  
& modèle statistique prédictif

# La pollution à l'ozone

Impact du confinement COVID-19 seul

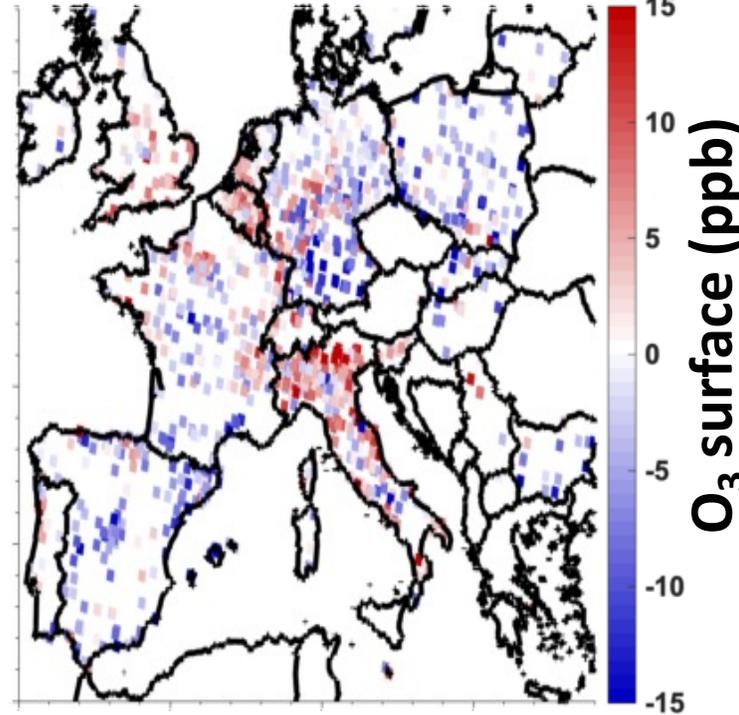
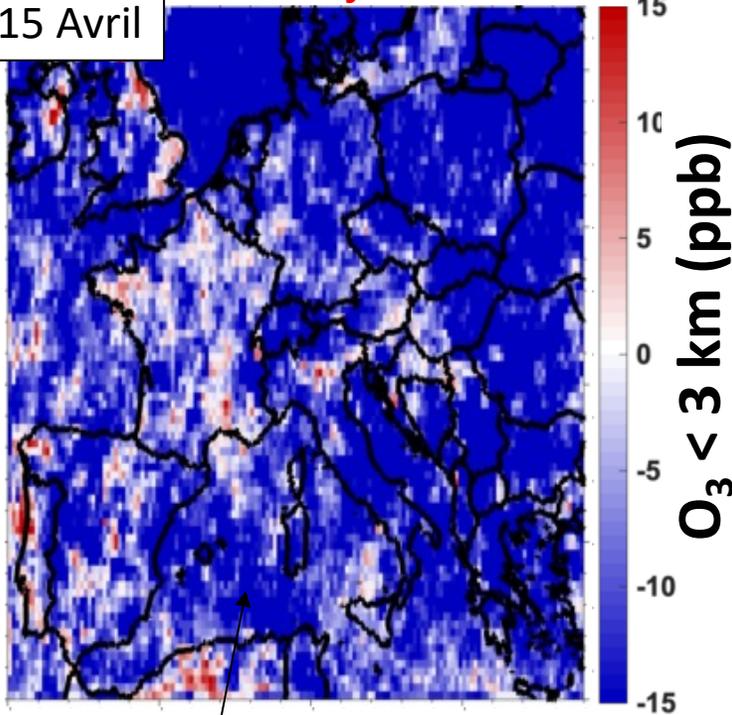
Satellite IASI+GOME2

Meteo-adjusted

In situ surface

Meteo-adjusted

1-15 Avril



Accord modéré Satellite/in situ

Limité en  $NO_x$

↓  $NO_x$  → ↓  $O_3$

Limité en COV

↓ Titration NO → ↑  $O_3$

Reduction grande-échelle vue par sondes ozone & lidars dans la troposphère libre (Steinbrech et al., 2021)

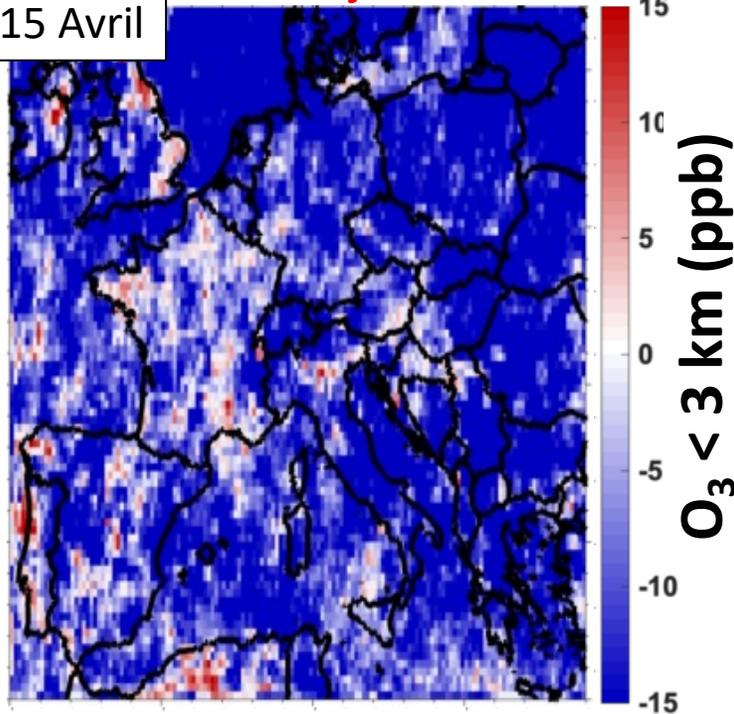
# La pollution à l'ozone

Impact du confinement COVID-19 seul

Satellite IASI+GOME2

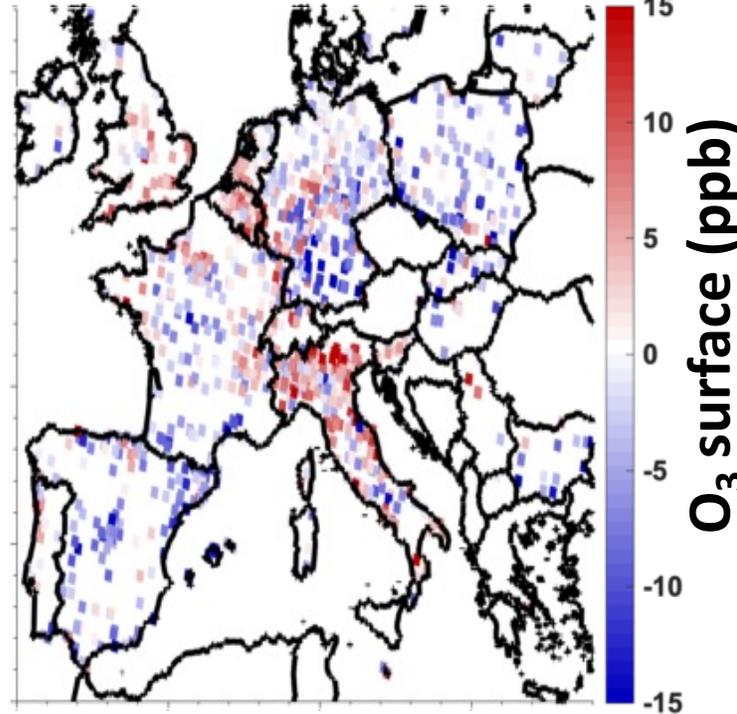
Meteo-adjusted

1-15 Avril



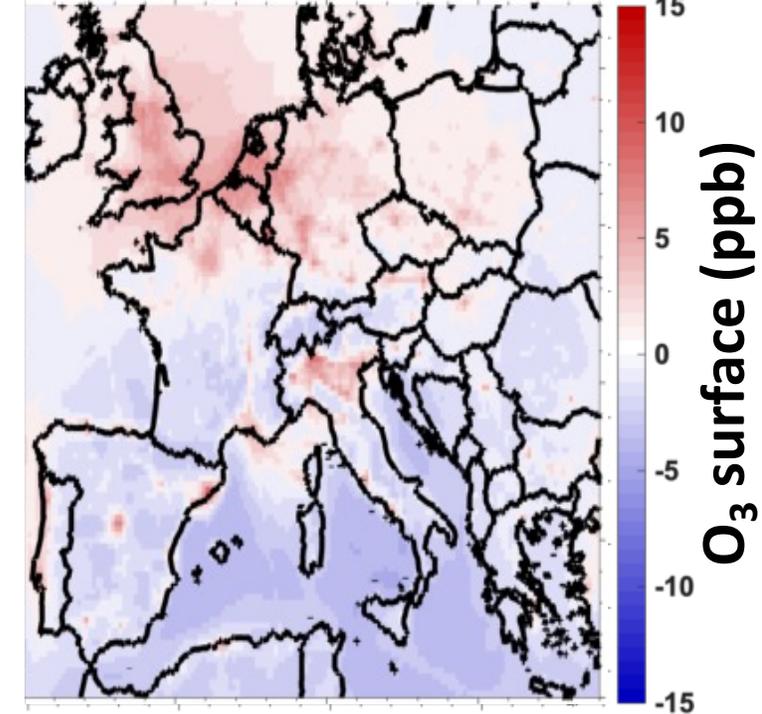
In situ surface

Meteo-adjusted



Modèle CHIMERE

COVID-STD



Limité en  $NO_x$   
 $\downarrow NO_x \rightarrow \downarrow O_3$

Limité en COV  
 $\downarrow Titration NO \rightarrow \uparrow O_3$

Accord en France, Benelux et Italy.

Le modèle :  $\rightarrow$  sous-estime l'accumulation de  $O_3$  sur la Vallée de Po

$\rightarrow$  Surestime celle en Allemagne et Pologne

$\rightarrow$  Ne reproduit pas la reduction à grande échelle

[Cuesta et al., 2022]

# Conclusions

La réduction drastique des activités durant le confinement lié au COVID-19 a conduit à :

1. Une réduction franche de la concentration des polluants primaires:
  - ➔ Environ **-50% des oxydes d'azote**
  - ➔ Environ **-60% des particules primaires** issues du trafic routier
2. Une réduction des particules secondaires dont la production est liée à l'abondance des oxydes d'azote : **-45% de nitrates** (et corrélée à **-25% des aérosols organiques**). Cependant, cela n'a pas empêché de voir les pics de pollution aux particules typiques du printemps.
3. Une réduction de **-20 % à -30 % de la pollution à l'ozone en zones rurales** (dans les zones à régime limité en NO<sub>x</sub>) et à grande échelle (multiples confinements à l'hémisphère nord)
4. Une augmentation de **+5 à +20% de la pollution à l'ozone dans les agglomérations urbaines** (régime limité en COV) ➔ suite à l'accumulation de l'ozone liée à l'inhibition du puits de l'ozone par titration avec le monoxyde d'azote.