

# Pollution par l'ozone en milieu urbain, le paradoxe des espaces verts!

Honorine GAUTHIER-MANUEL<sup>1,2</sup>, Nadine BERNARD<sup>1,3</sup>

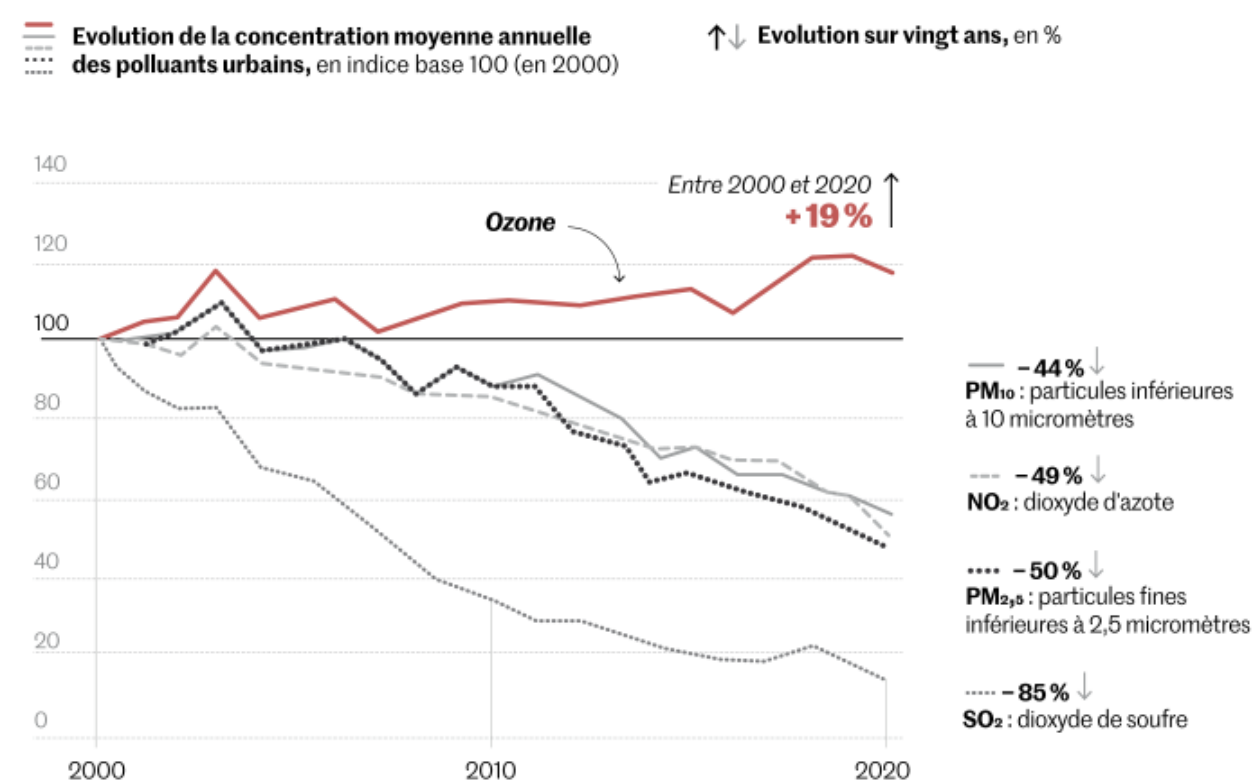
**1 : Laboratoire Chrono-Environnement, UMR 6249, CNRS - Université de Franche-Comté, UsC INRA, Besançon**

**2 : Centre Hospitalier Universitaire, uMETH Inserm CIC 1431, Besançon**

**3 : Laboratoire ThéMA, UMR 6049, CNRS, Université Bourgogne-Franche-Comté, Besançon**

## Ozone : évolution des concentrations en France

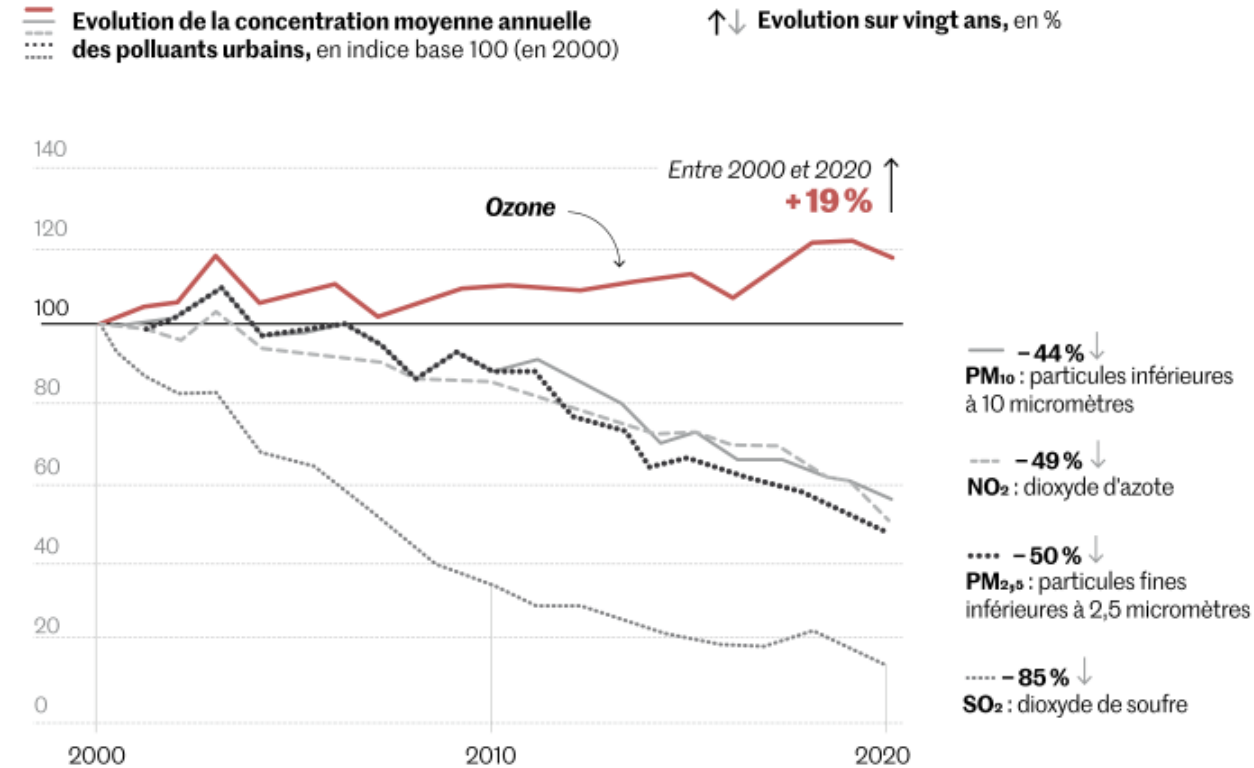
L'ozone est l'unique polluant atmosphérique qui ne chute pas en France



# Éléments de contexte

## Ozone : évolution des concentrations en France

L'ozone est l'unique polluant atmosphérique qui ne chute pas en France

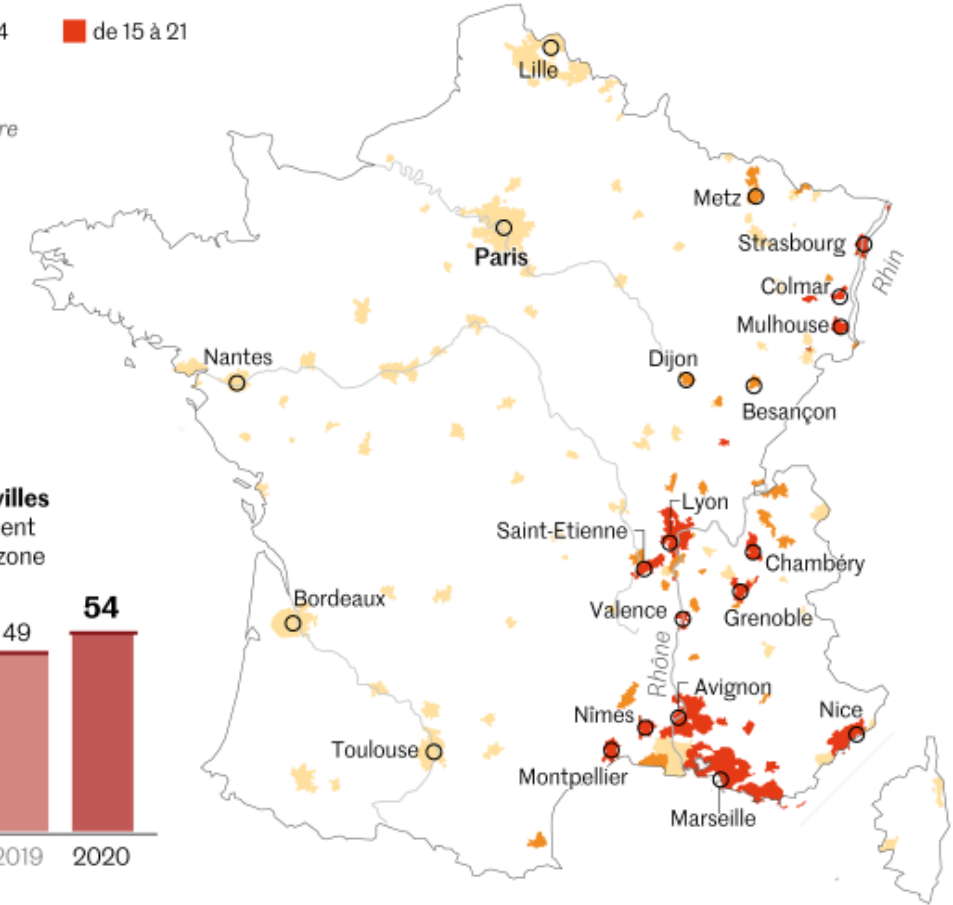


Une pollution à l'ozone principalement concentrée sur l'axe Rhin-Rhône

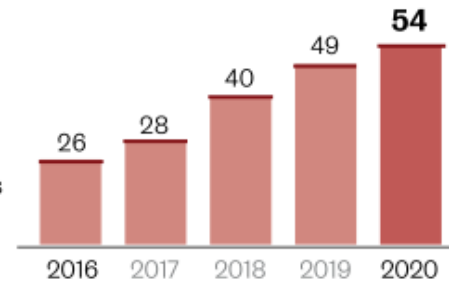
Villes ayant enregistré un dépassement du seuil réglementaire\* pour la protection de la santé à long terme entre 2000 et 2020, en nombre d'années de dépassement

de 1 à 7 de 8 à 14 de 15 à 21

\*Seuil réglementaire  
120 microgrammes par mètre cube (µg/m<sup>3</sup>) en maximum journalier de la moyenne sur huit heures à ne pas dépasser plus de vingt-cinq jours en moyenne sur trois années civiles.



Evolution du nombre de villes enregistrant un dépassement du seuil réglementaire d'ozone



Infographie Le Monde

Source : ministère de la transition écologique

## Ozone : impacts sur la végétation

- Nécrose foliaire
- Réduction de l'activité photosynthétique  
→ diminution de la croissance (*Dalstein et al., 2005 ; Eghdami et al., 2022*)
- Réduction des rendements agricoles (*Feng et al., 2019 ; Van Dingenen et al., 2009*)

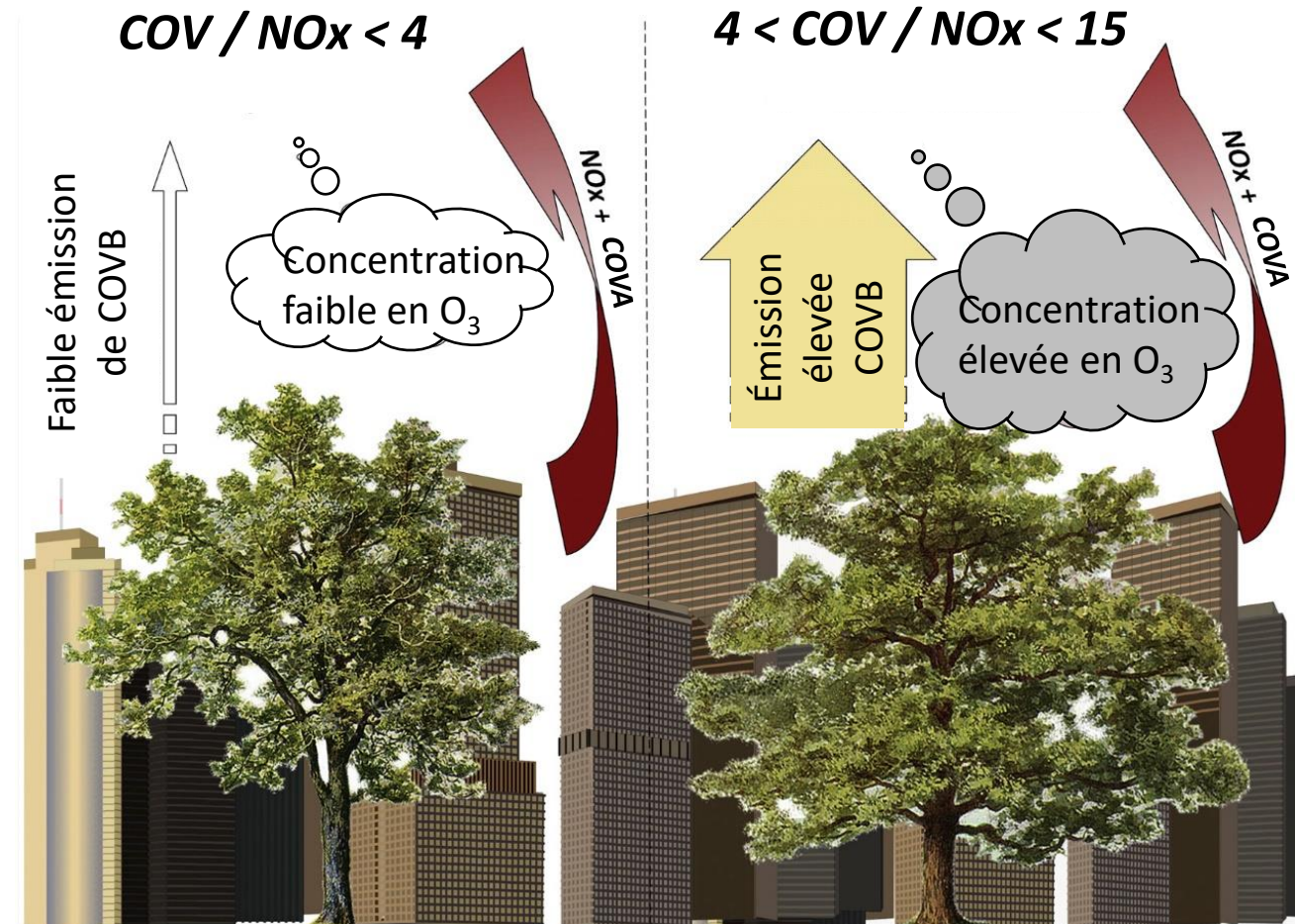


Nécrose foliaire sur des feuilles de *Populus Nigra* (Novak et al., 2003)

# Éléments de contexte

## Végétation : sources de COVB

- Émission de COV biogéniques par la végétation (*Paoletti, 2009*)
- Quantité de COV émise dépendante de l'essence et des conditions climatiques
- *Augmentation des émissions en cas de forte chaleur (Calfapietra et al., 2013; Guenther et al., 1993)*



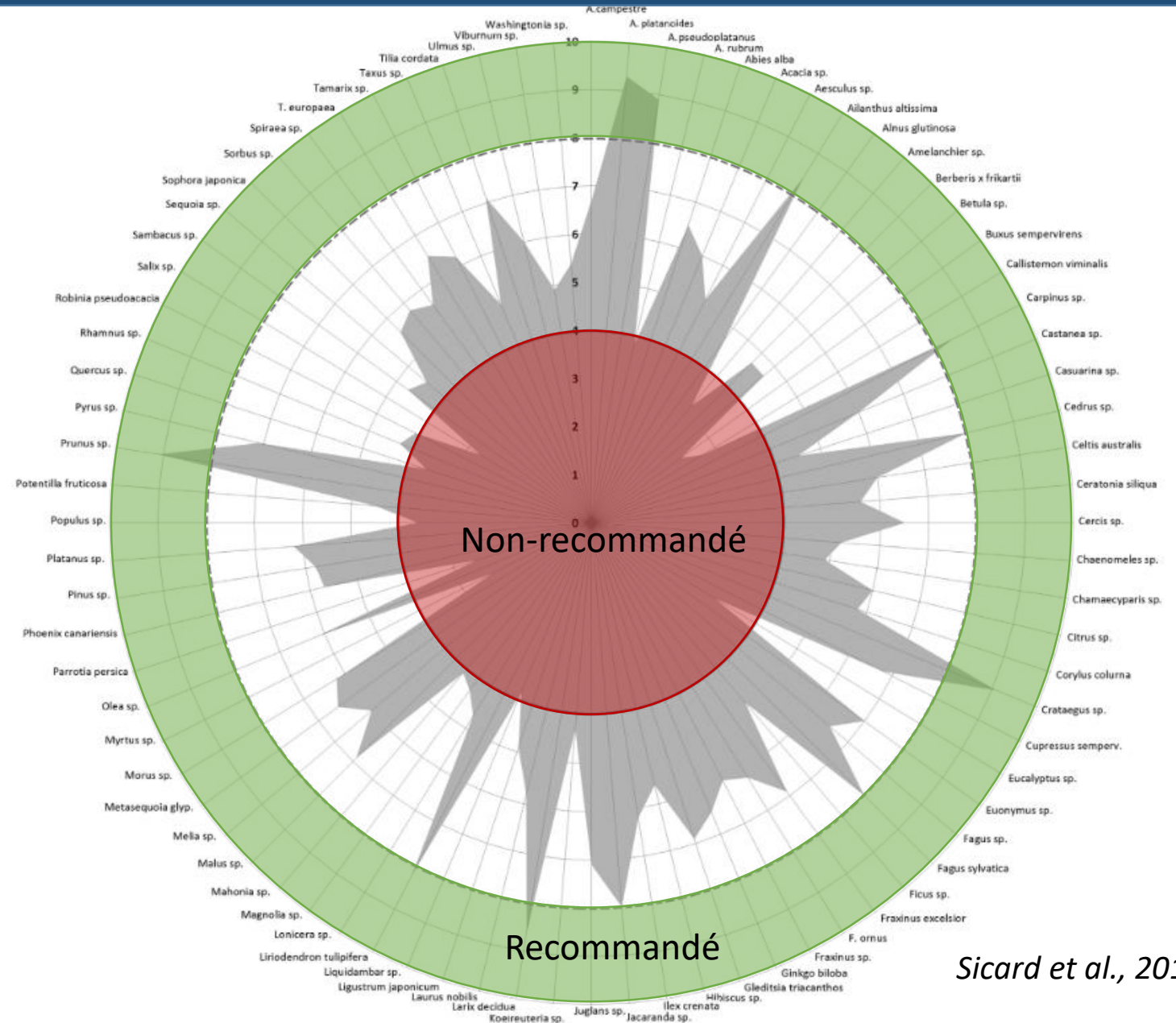
*Calfapietra et al., 2013*

## Végétation : qualité de l'air

- Score d'indice de qualité de l'air spécifique à chaque espèce

→ Prise en compte de :

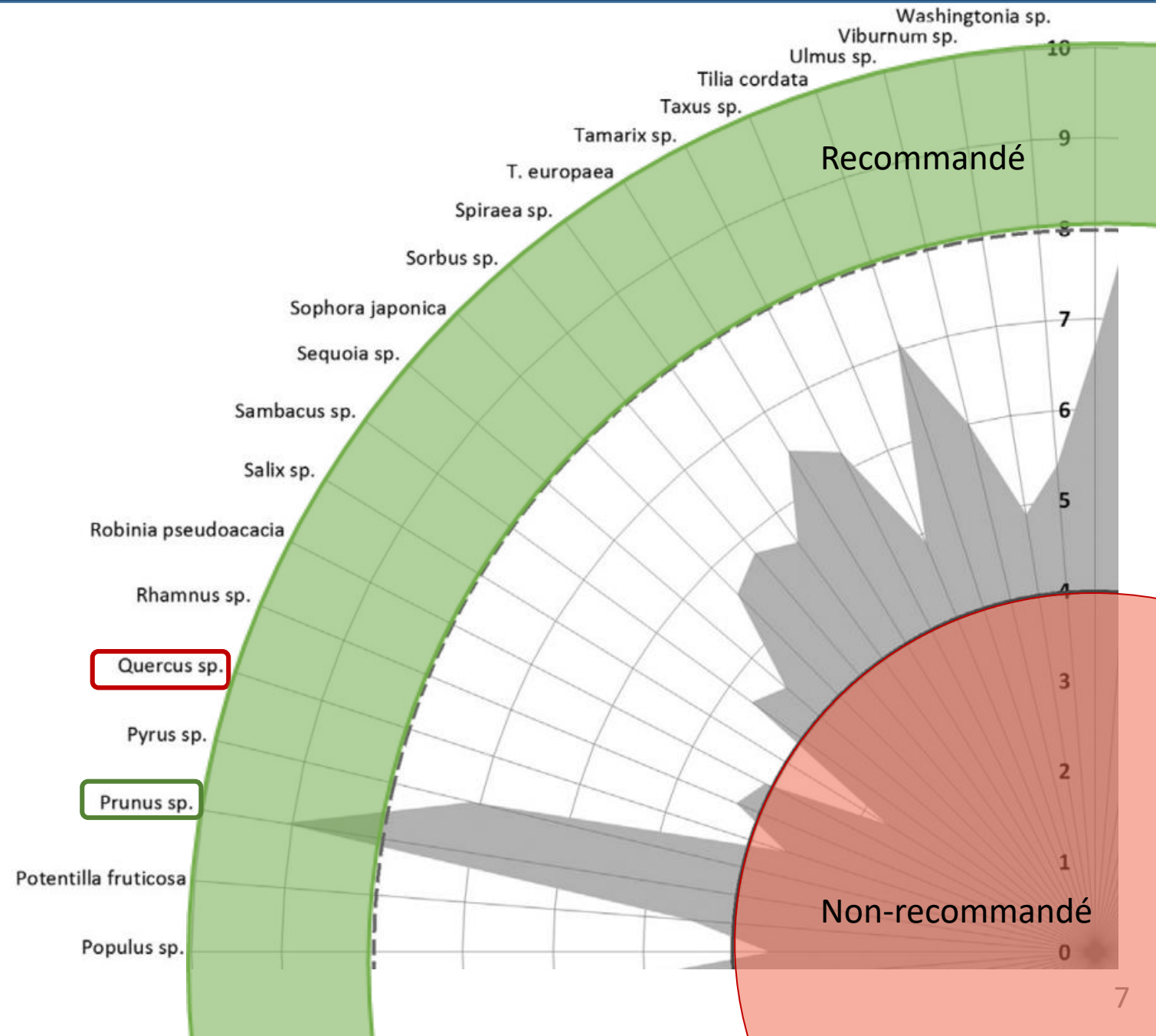
- Capacité d'absorption  $O_3$  -  $NO_2$  -  $PM_{10}$
- Capacité d'émission de COVB et contribution des espèces de COVB émises à la formation d' $O_3$
- Autres paramètres :  
Allergénicité des grains de pollen, résistance au stress oxydatif, tolérance à la sécheresse et aux maladies



Sicard et al., 2018

## Végétation : qualité de l'air

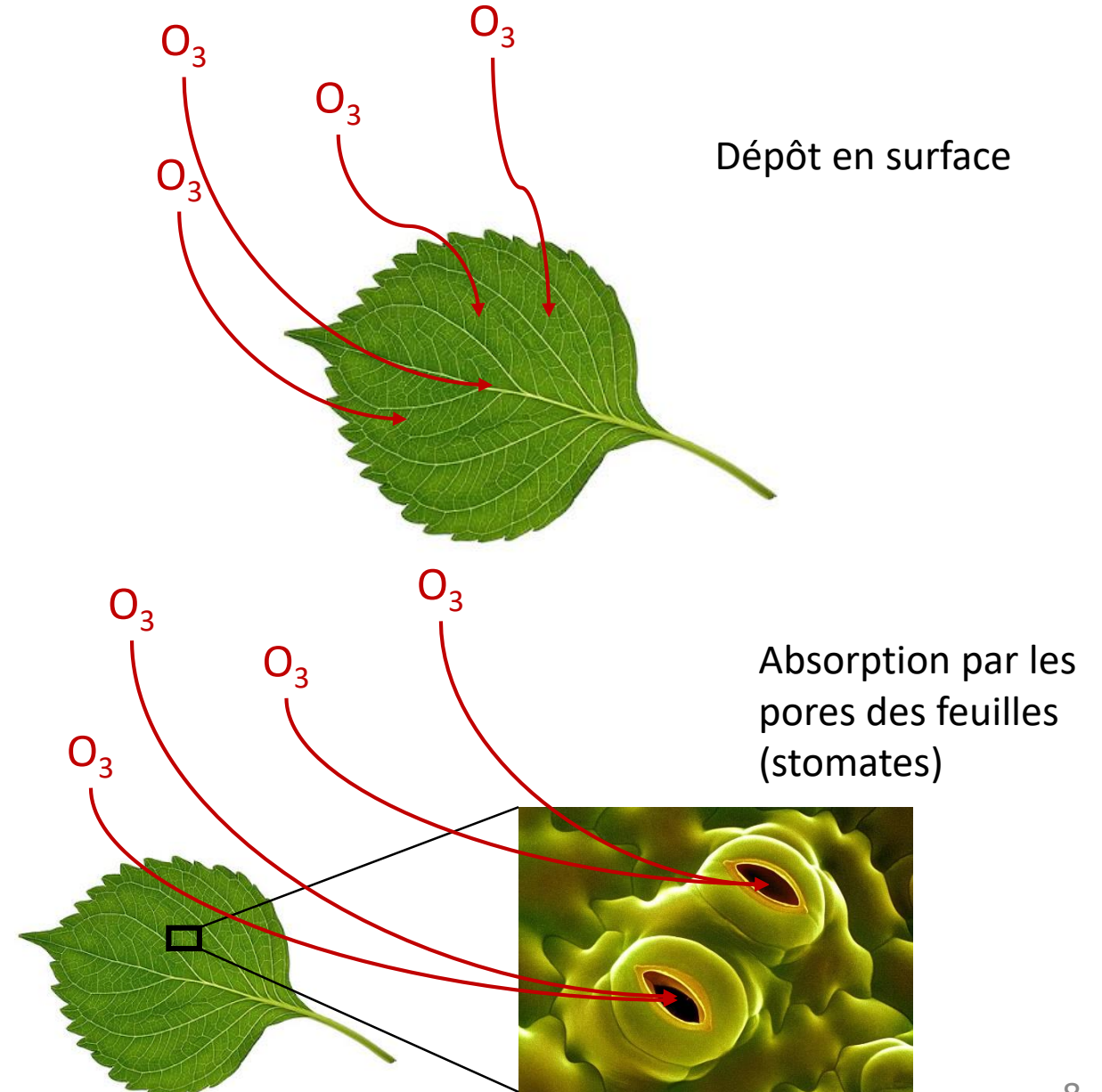
- *Quercus sp.* : émissions élevées d'isoprène ou de monoterpène selon l'espèce et faible capacité à absorber O<sub>3</sub>
- *Prunus sp.* : capacité élevée à réduire O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> et NO<sub>2</sub>, faible émission de COV réactifs, adapté à l'environnement urbain.



# Éléments de contexte

## Végétation : puits d'O<sub>3</sub>

- Destruction d'O<sub>3</sub> par contact sur les feuilles des arbres ou par absorption via les pores des feuilles (*Fitzky et al., 2019*)
- L'ombrage créé par les arbres → tempère la chaleur en milieu urbain → freine la formation d'O<sub>3</sub>

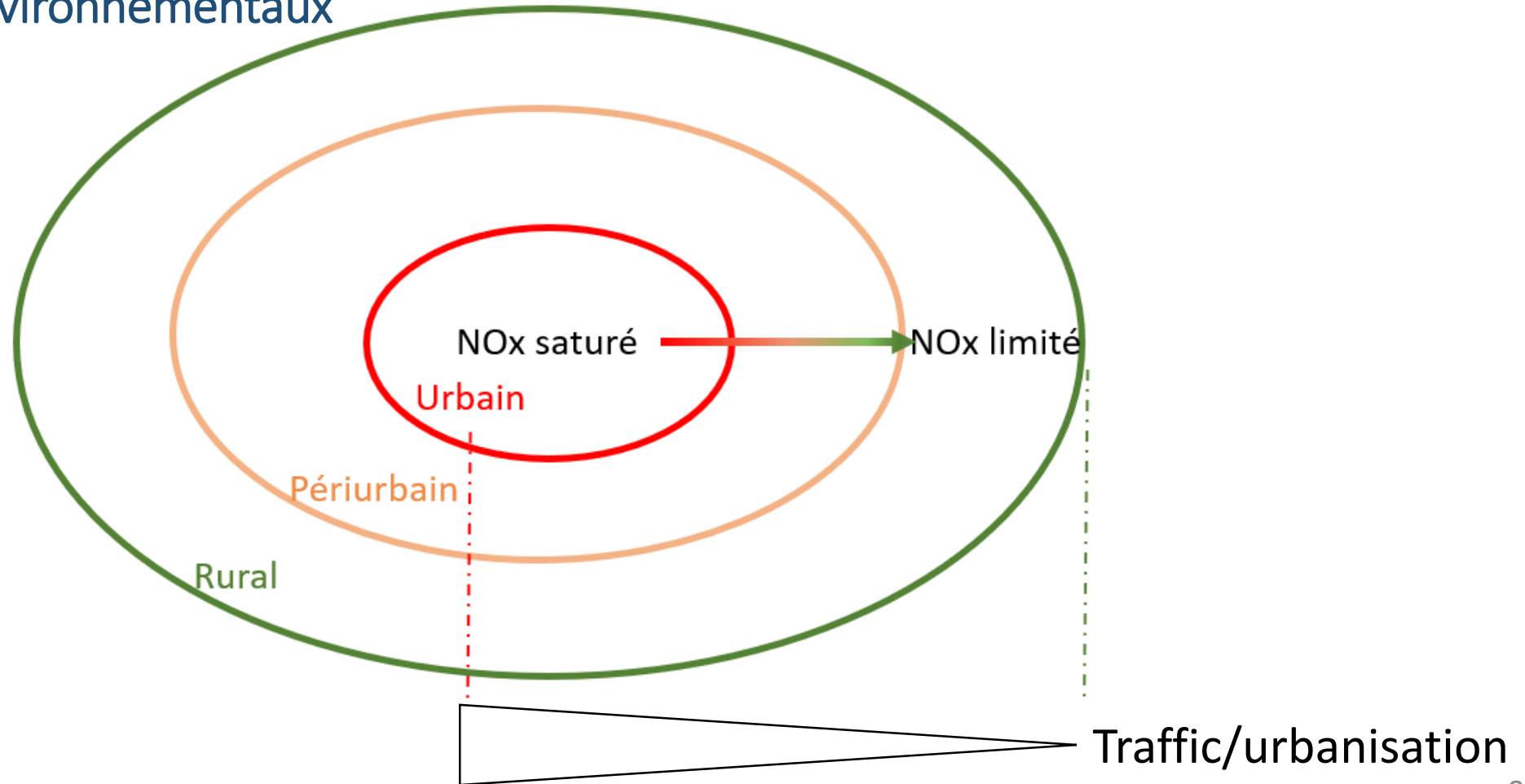




# Éléments de contexte

## Distribution spatiale de l'O<sub>3</sub>

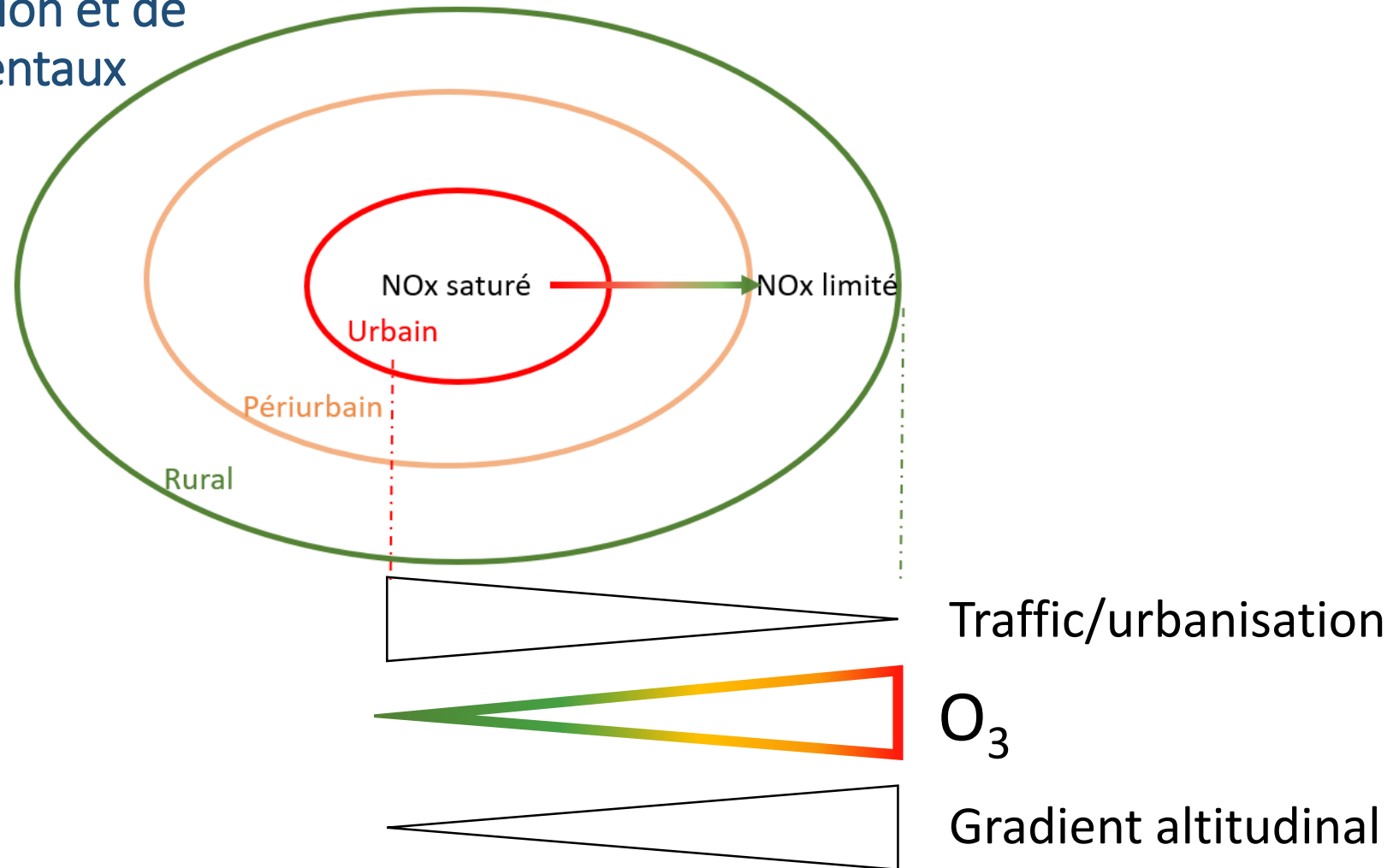
Influence conjointe de l'urbanisation et de certains paramètres environnementaux



# Éléments de contexte

## Distribution spatiale de l'O<sub>3</sub>

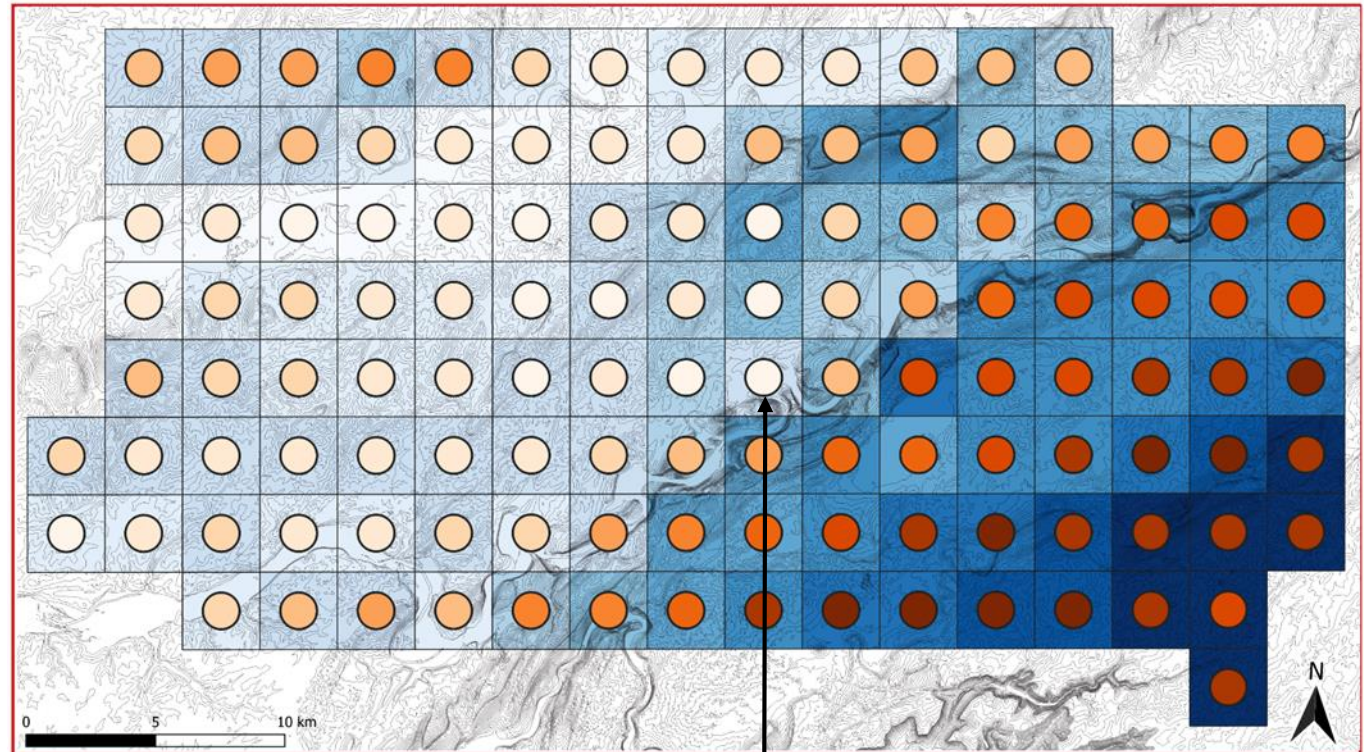
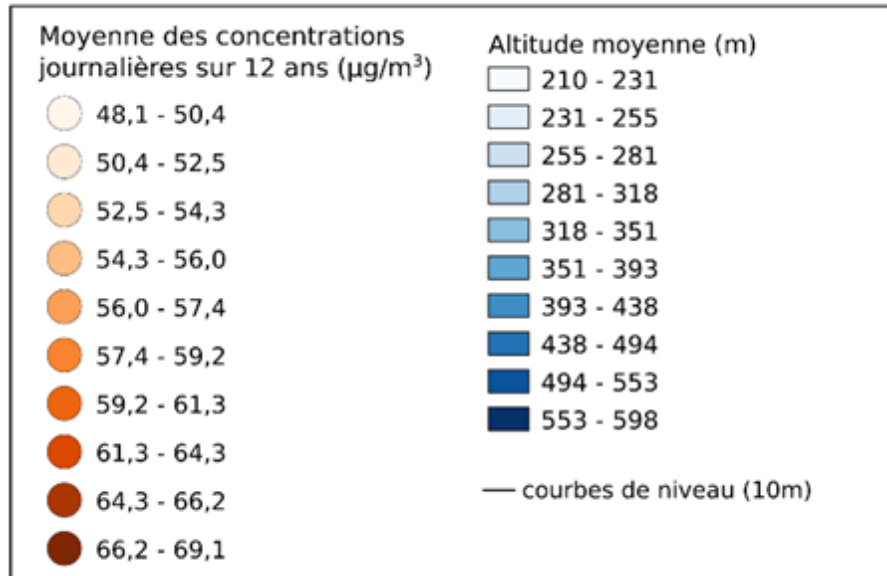
Influence conjointe de l'urbanisation et de certains paramètres environnementaux



# Distribution spatiale des concentrations d'O<sub>3</sub>

## Influence conjointe de la végétation et de l'altitude

Moyennes des concentrations journalières d'O<sub>3</sub> modélisées de 2008 à 2019 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )



Besançon

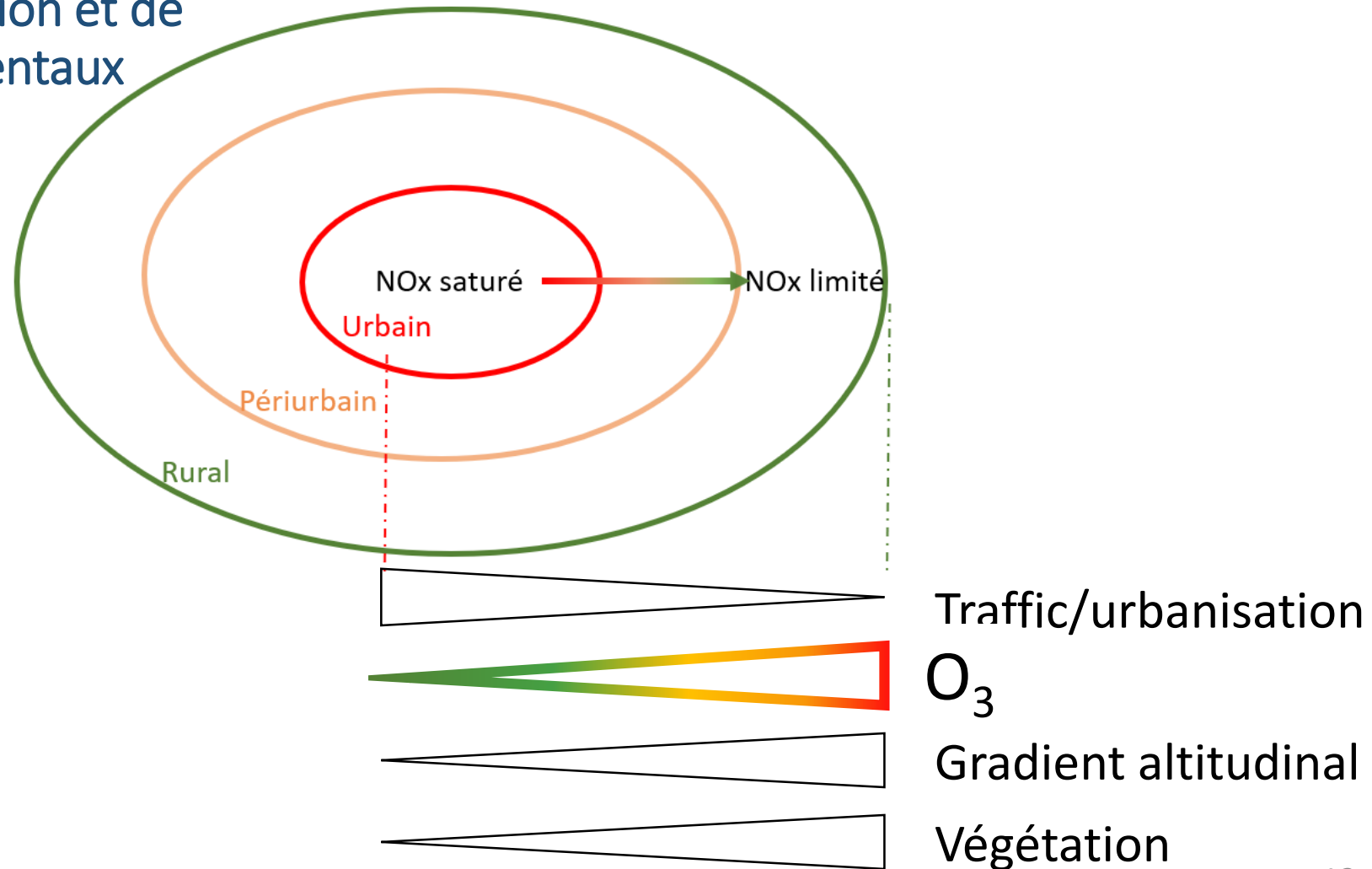
Modèle PREV'EST corrigé  
Gauthier-Manuel et al., 2023



# Éléments de contexte

## Distribution spatiale de l'O<sub>3</sub>

Influence conjointe de l'urbanisation et de certains paramètres environnementaux



# Distribution spatiale des concentrations d'O<sub>3</sub> et des espaces verts

Exemple de Grand Besançon Métropole

Distribution spatiale des espaces verts  
(BD Topo 2021)

Pourcentage médian  
d'espaces verts par IRIS  
pour GBM : 78 % ± 31

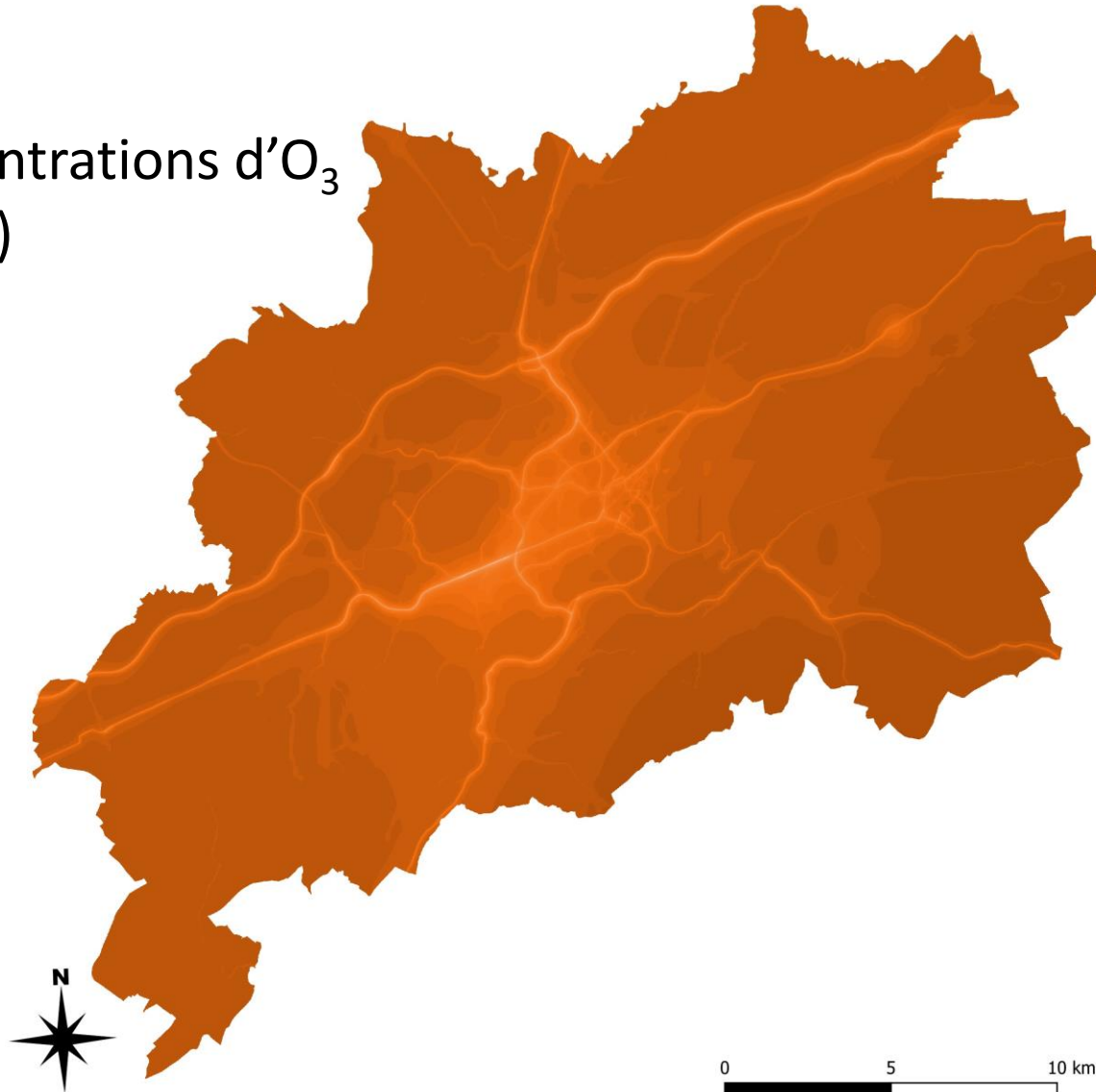
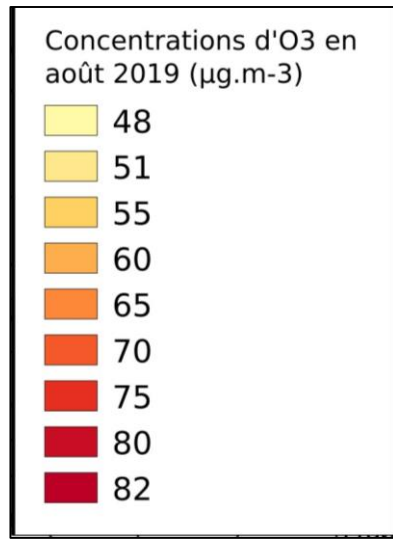


# Distribution spatiale des concentrations d'O<sub>3</sub> et des espaces verts

## Exemple de Grand Besançon Métropole

Moyennes des concentrations d'O<sub>3</sub>  
en août 2019 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

Modèles Circul'air et  
ADMS Urban (10m)



# Distribution spatiale des concentrations d'O<sub>3</sub> et des espaces verts

## Exemple de Grand Besançon Métropole



Forêt en périphérie de Besançon à 300m d'altitude

Zone périurbaine à environ 550m d'altitude

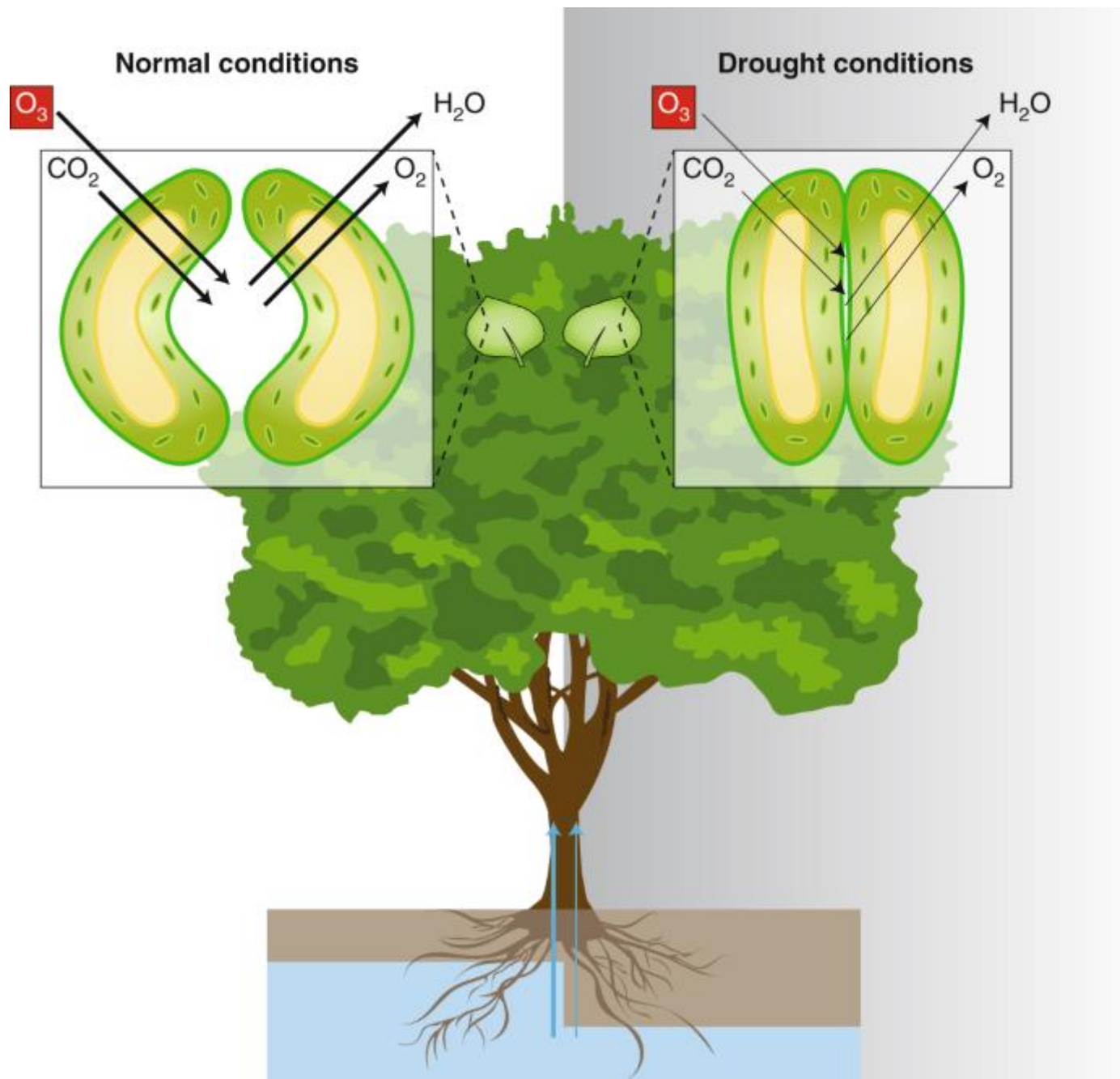
## Exemple de projet en partenariat avec Grand Besançon Métropole

### Projet **APRIO** (**A**gir **P**our **R**éduire l'**I**mpact de l'**O**zone) – Financement ADEME - AACT'AIR 2023

- Porteur : Grand Besançon Métropole (GBM)
- **Objectif** : mettre en place des actions pour réduire les niveaux d'O<sub>3</sub> sur le territoire de GBM.
  - Collaboration services techniques des municipalités (inventaire des taxons végétaux)
  - Étude *in situ*, couplant mesures et modélisation pour mieux connaître la répartition spatio-temporelle de l'O<sub>3</sub> et de ses précurseurs.
  - Calcul d'indicateurs de vulnérabilité de la population humaine → aide à la décision publique.







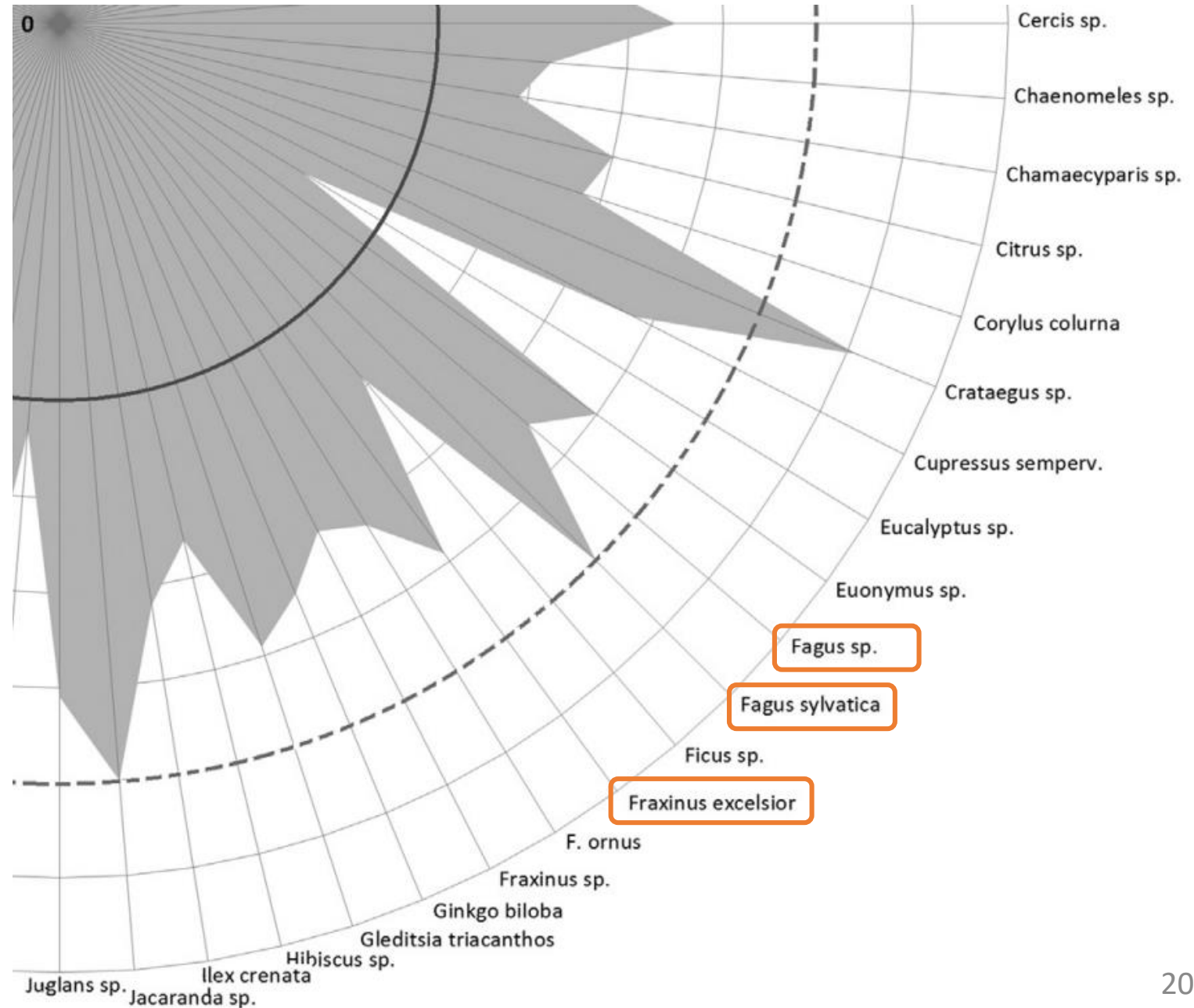
Fitzky et al., 2019

Genus	Species	Distribution area	ISO	MT	SQT	OVOC	References
<i>Acer</i>	<i>sp.</i>		Low	Low	Low	Low	c, n
	<i>platanooides</i>	N/C	Low	Low	Low	Low	c, t
	<i>pseudoplatanus</i>	N/C	Low	None	None	None	w
<i>Aesculus</i>	<i>hippocastanum</i>	N/C	None	None	None	None	u
<i>Betula</i>	<i>pendula</i>	N/C	Low	High	High	Low	g, h, l, r
<i>Carpinus</i>	<i>betulus</i>	N/C	Low	Low	Low	None	a, m
<i>Celtis</i>	<i>occidentalis</i>	S	Low	Low	None	Low	d, e
<i>Fagus</i>	<i>sylvatica</i>	N/C	None	High	Low	Low	l, o°, t
<i>Fraxinus</i>	<i>sp.</i>		None	None	None	None	t
	<i>excelsior</i>	N/C	Low	Low	Low	Low	a, c
	<i>ornus</i>	S	None	None	Low	Low	c
<i>Picea</i>	<i>abies</i>	N/C	Low	High	Low	Low	f, l
<i>Pinus</i>	<i>sylvestris</i>	N/C	Low	High	Low	Low	a, j, l, v
	<i>pinea</i>	S	None	High	Low	Low	y
<i>Platanus</i>	<i>acerifolia</i>	N/C, S	High	None	None	None	b
	<i>orientalis</i>	N/C, S	High	Low	Low	Low	a, c, b
<i>Populus</i>	<i>sp.</i>		High	None	None	None	t
	<i>nigra</i>	N/C, S	High	None	Low	Low	c
	<i>tremula</i>	N/C, S	High	Low	Low	Low	a, c
<i>Prunus</i>	<i>avium</i>	C	None	Low	Low	Low	c, f
	<i>serotina</i>	N/C	None	Low	Low	Low	c, f
<i>Quercus</i>	<i>ilex</i>	S	Low*	High	Low	Low	b*, l, p, t
	<i>pubescens</i>	N/C	High	Low	Low	Low	t, y
	<i>robur</i>	N/C	High	Low	Low	None	b, l, o°, t
<i>Robinia</i>	<i>pseudoacacia</i>	N/C, S	High	High	Low	None	b, c, r, t
<i>Sophora</i>	<i>japonica</i>	S	High	High	Low	None	b, k
<i>Tilia</i>	<i>cordata</i>	N/C	None	None	Low	Low	c, t
	<i>platyphyllos</i>	N/C	None	None	Low	Low	c
<i>Ulmus</i>	<i>minor</i>	S	Low	Low	Low	Low	c

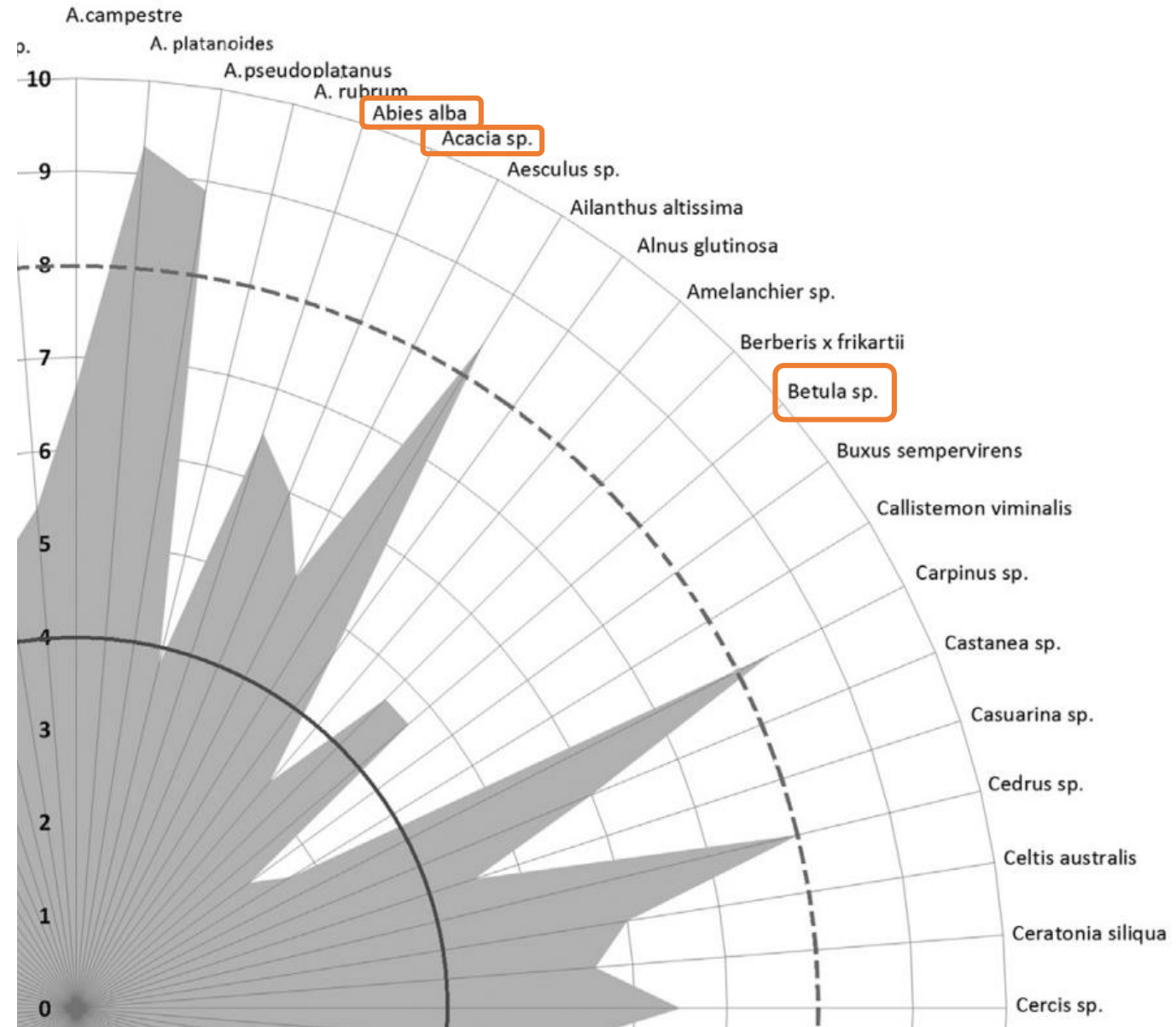
FIGURE 2. Standard emission potentials ( $\mu\text{g g DW}^{-1} \text{h}^{-1}$ ; at 30°C leaf temperature and  $1,000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PPFD) of isoprene (ISO), monoterpene (MT), sesquiterpenes (SQT), and oxygenated VOC (OVOC) of frequent tree species in urban areas of northern/central (N/C) and southern (S) Europe. Potential emission rates are grouped in no (white), low (green), medium (yellow), and high (red) emission classes. ISO: low < 10, high > 30.1; MT and OVOC: low < 2, high > 5.1; SQT: low < 0.5, high > 1.1; with medium categories with values in-between. A color gradient indicates emission rates crossing the defined classes; gray indicates: “no data available.”



# Éléments de contexte

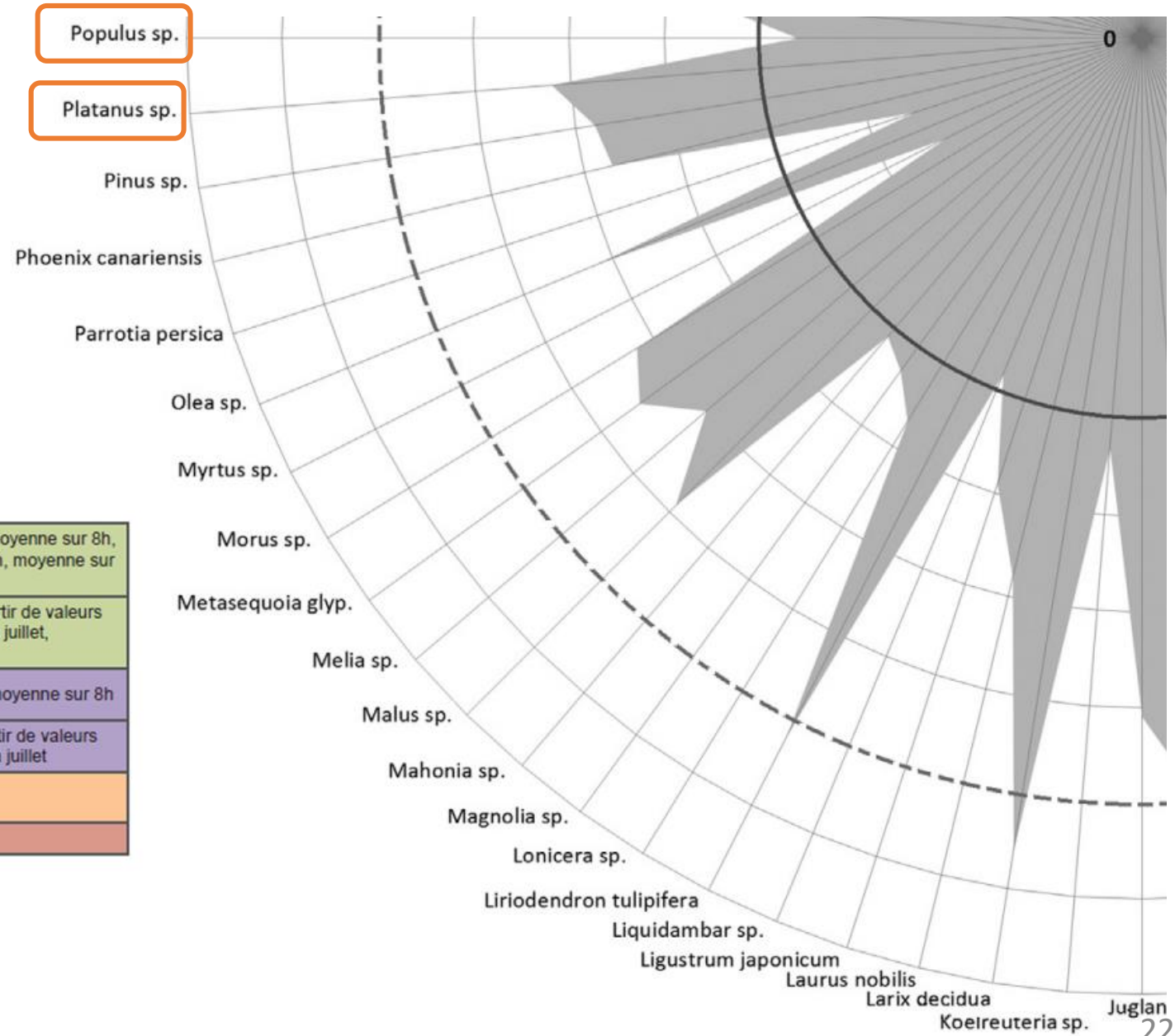


# Éléments de contexte



# Éléments de contexte

POLLUTION DE FOND	Valeur cible pour la santé humaine	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier de la moyenne sur 8h, à ne pas dépasser plus de 25 jours par an, moyenne sur 3 ans
	Valeur cible pour la végétation	18 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pour l'AOT calculé à partir de valeurs horaires entre 8h et 20h de mai à juillet, moyenne sur 5 ans
	Objectif de qualité pour la santé humaine	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en maximum journalier de la moyenne sur 8h
	Objectif de qualité pour la végétation	6 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ pour l'AOT calculé à partir de valeurs horaires entre 8h et 20h de mai à juillet
PICS DE POLLUTION	Seuil d'information et recommandation	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$
	Seuil d'alerte	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$



Fitzky et al., 2019

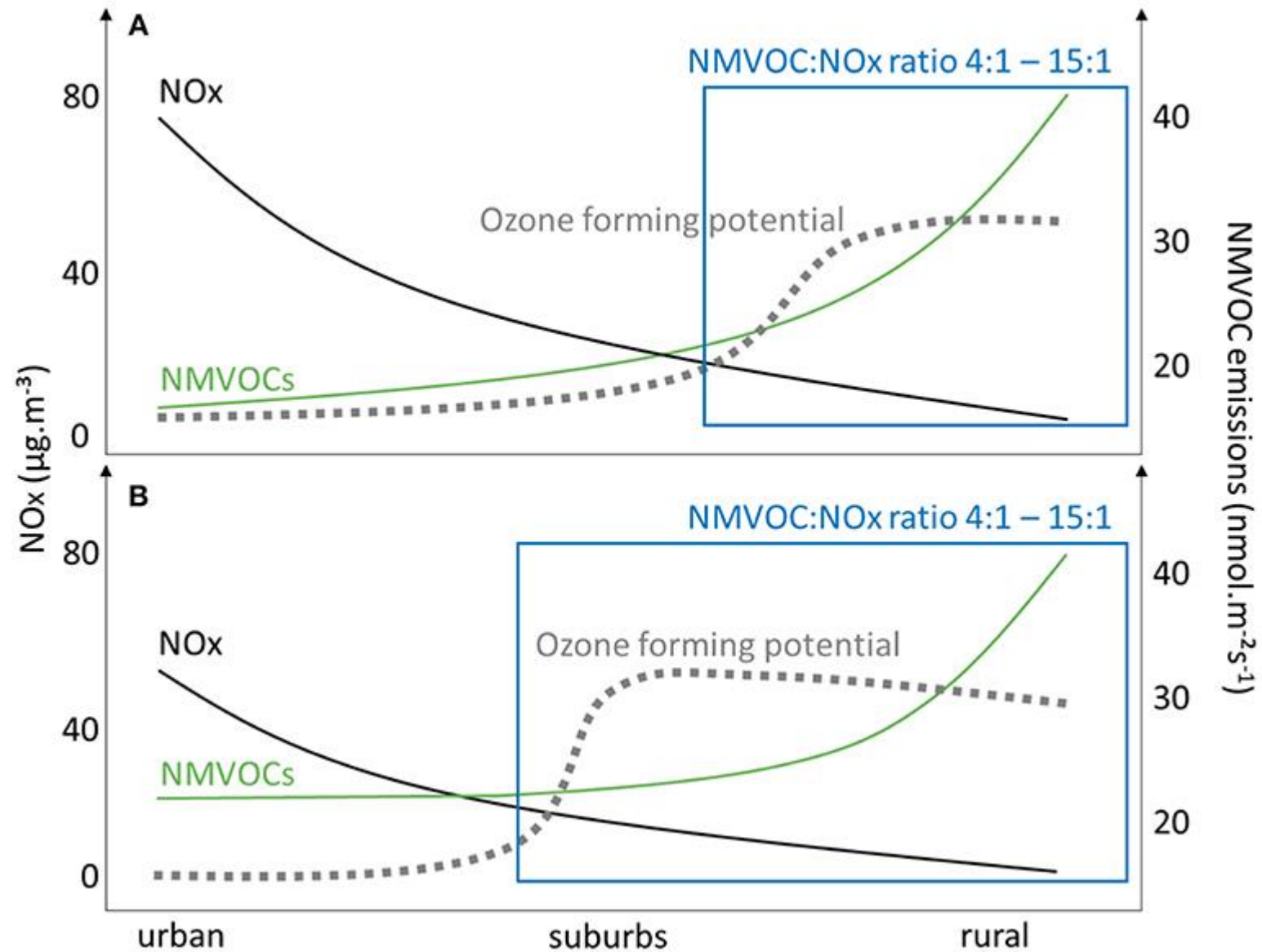
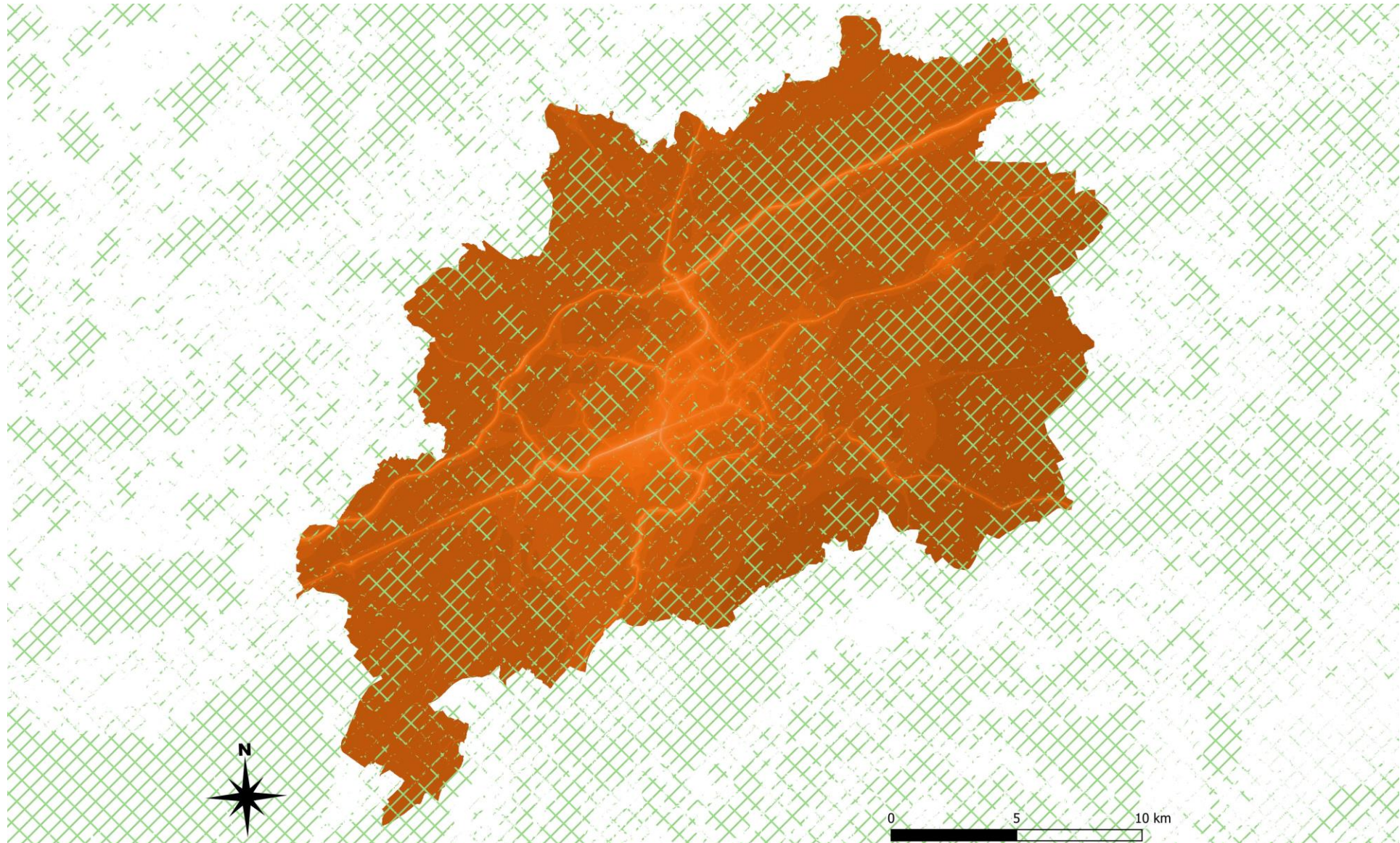


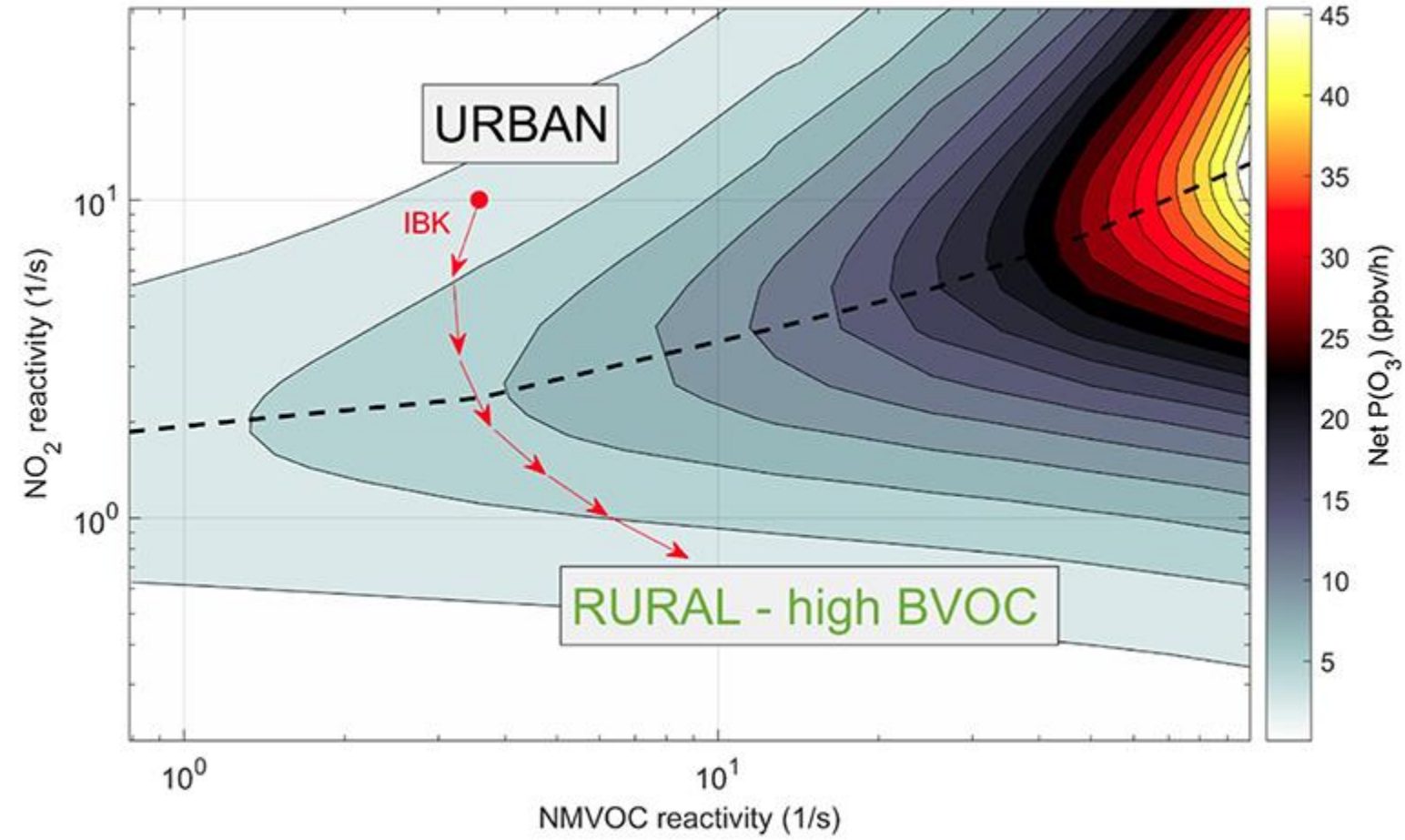
FIGURE 4. A schematic display of current NO<sub>x</sub>-VOC-O<sub>3</sub> relations (approximated from literature values) (A), and a possible future scenario after decreasing NO<sub>x</sub> pollution (black solid line) and increased non-methane hydrocarbons (NMVOCs, green solid line) in cities due to greening (B). A left shift of the ozone forming potential curve (gray dotted line) indicates higher ozone pollution in suburbs, since the NMVOC:NO<sub>x</sub> ratio reaches optimal values to form ozone (blue box).

# Distribution spatiale des concentrations d'O<sub>3</sub> et des espaces verts

Exemple de Grand Besançon Métropole



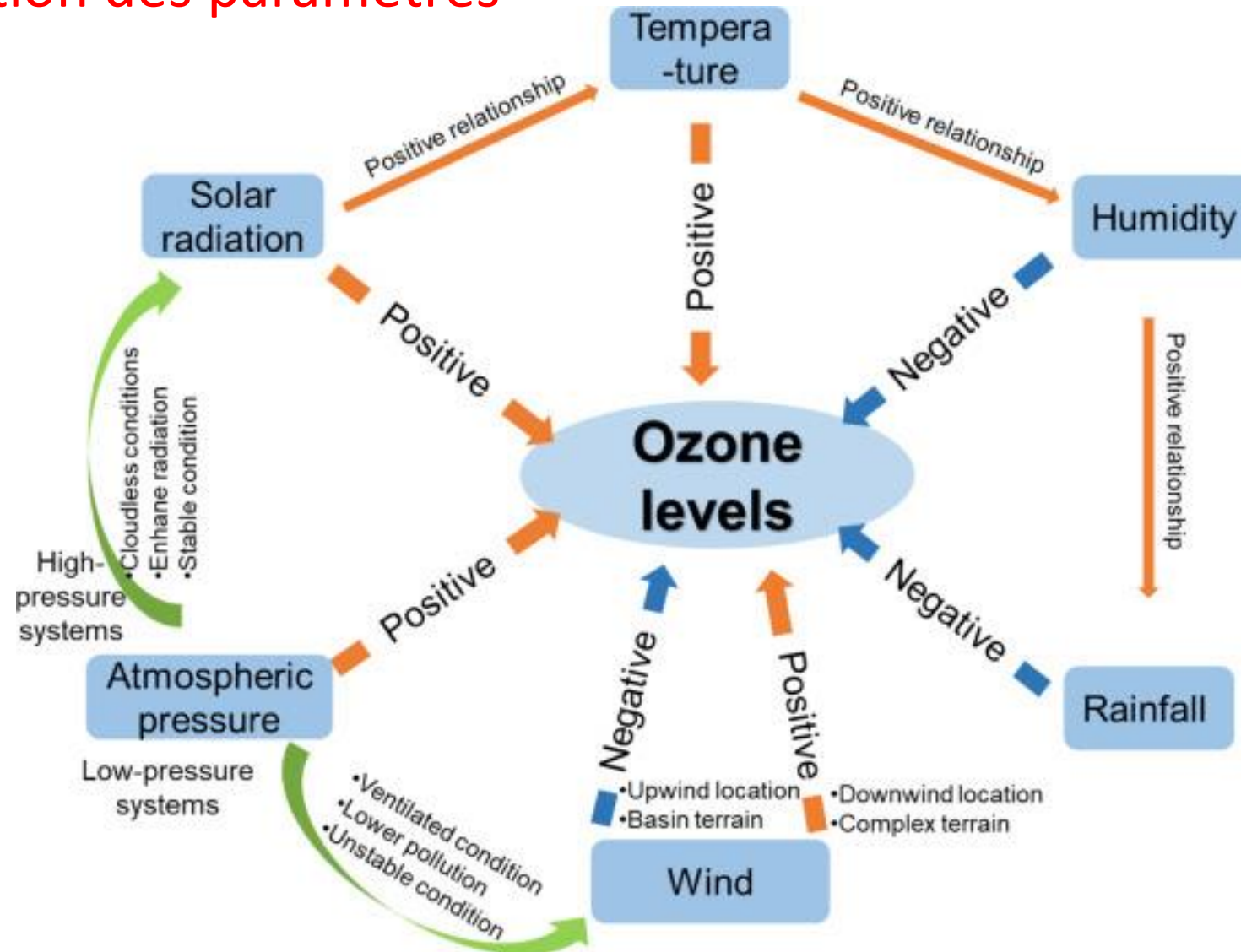


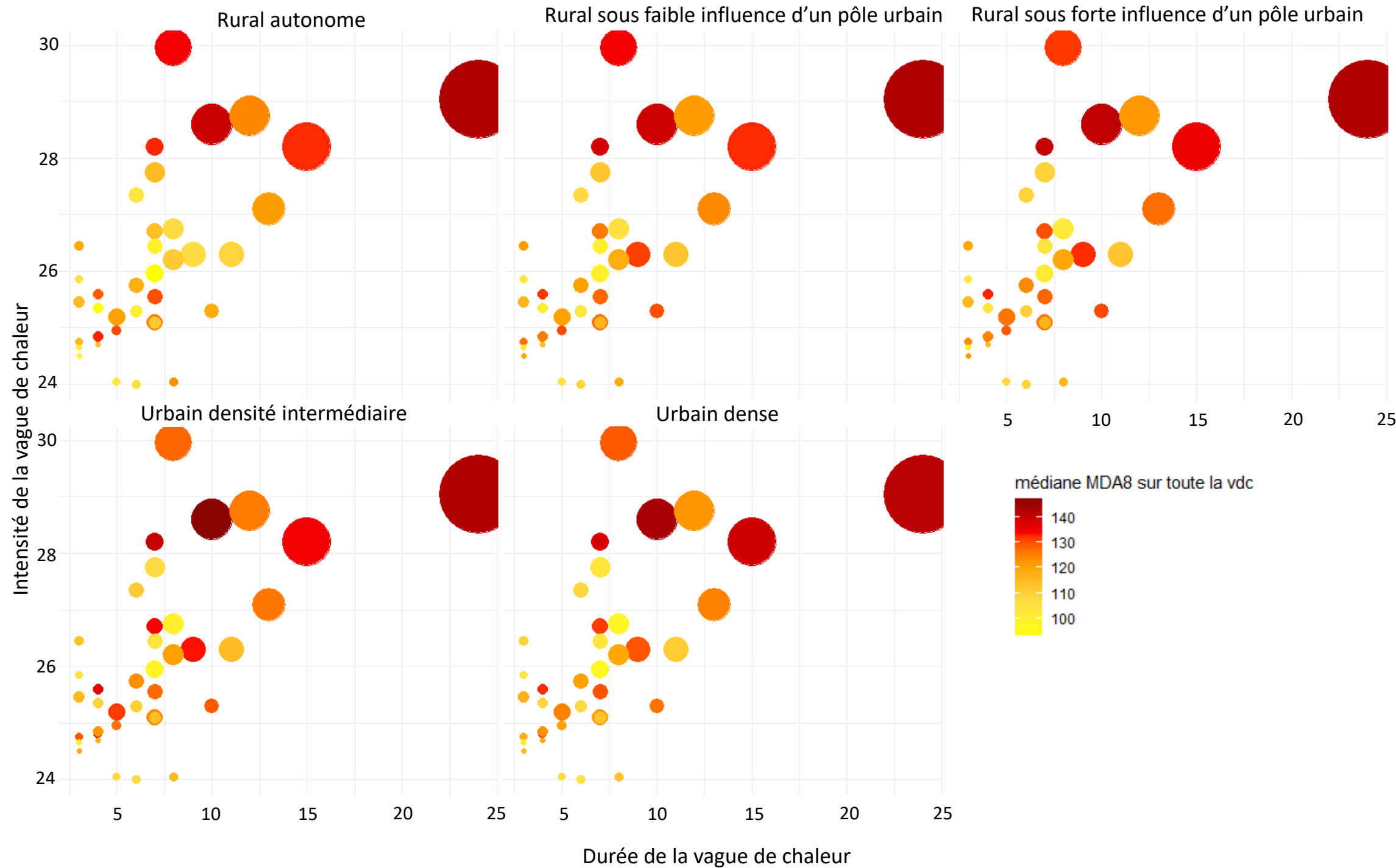


Fitzky et al., 2019

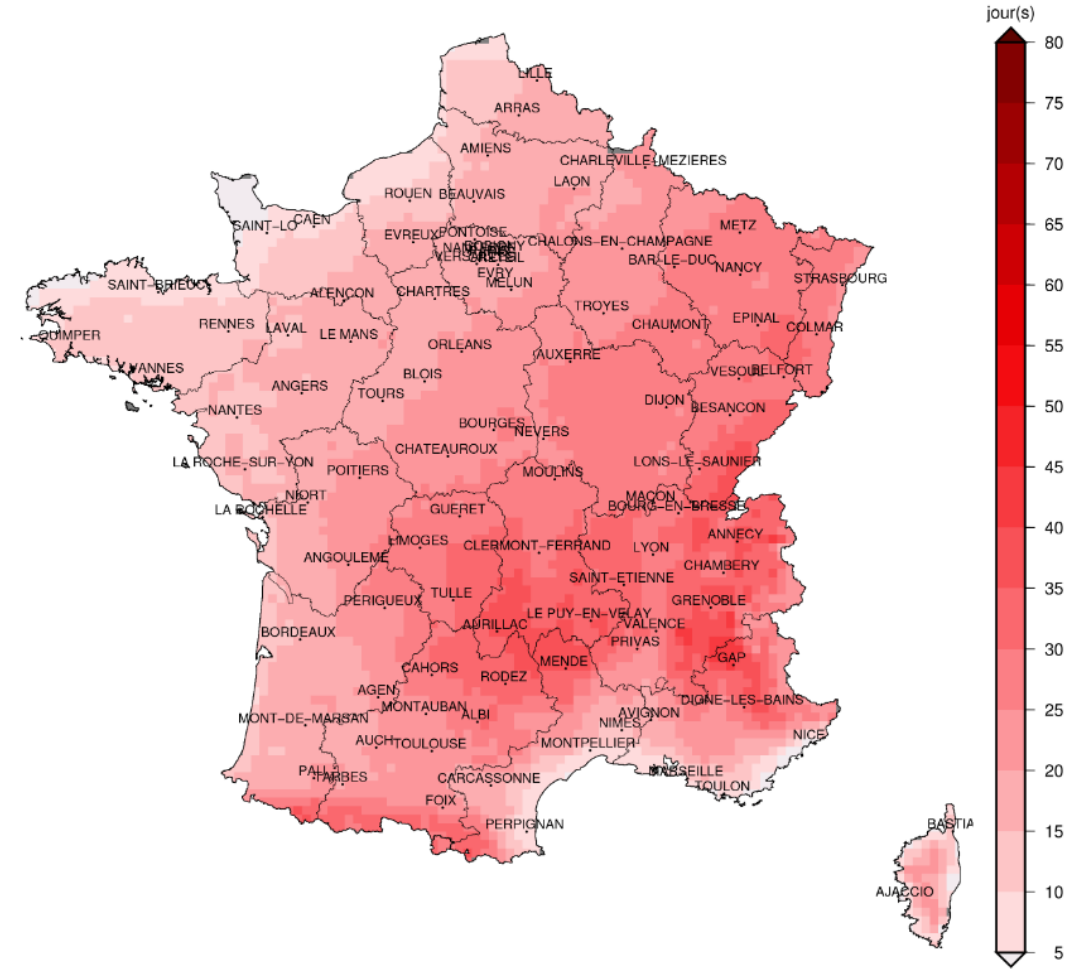
# Éléments de contexte

## Influence et interaction des paramètres météorologiques

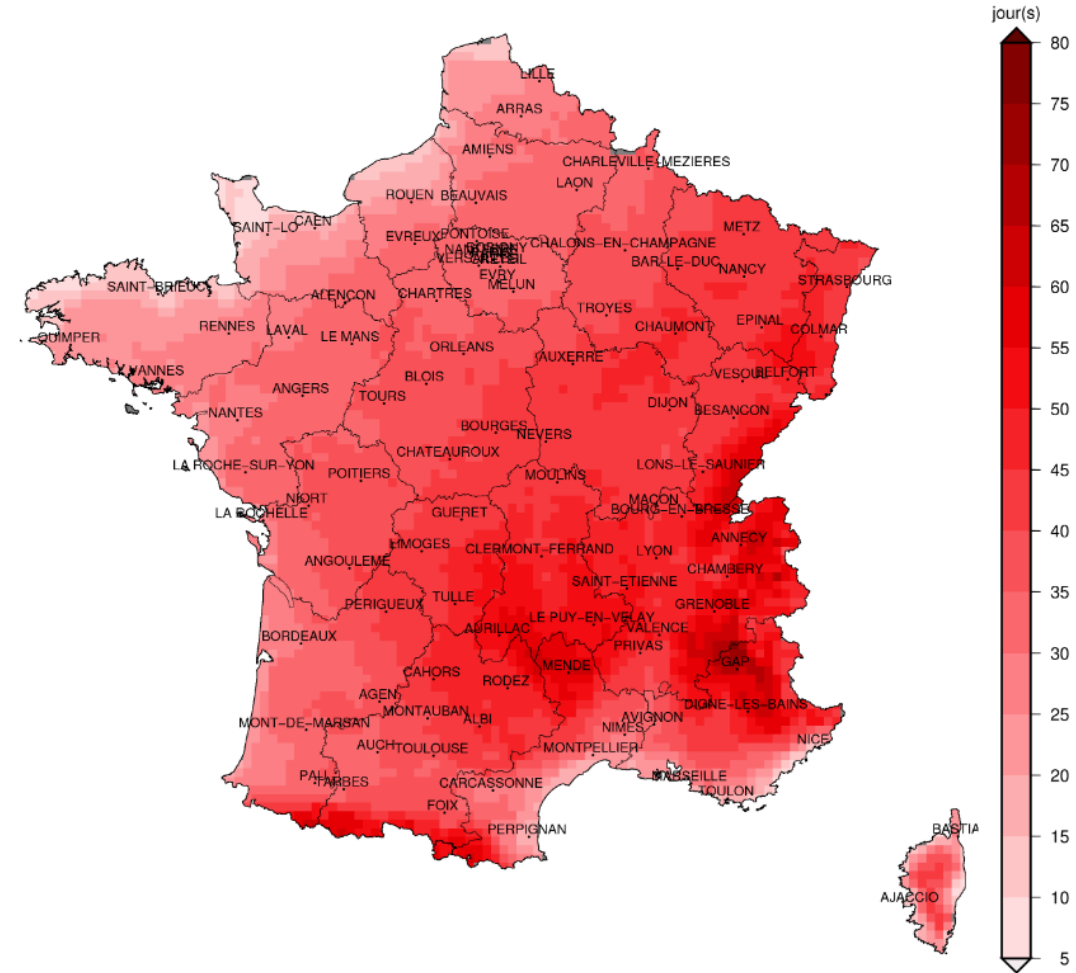




Nombre de jours de vague de chaleur  
pour le RCP8.5 : Scénario sans politique climatique  
Horizon proche (autour de 2035) – Moyenne annuelle  
Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble



Nombre de jours de vague de chaleur  
pour le RCP8.5 : Scénario sans politique climatique  
Horizon moyen (autour de 2055) – Moyenne annuelle  
Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble





Nombre de jours de vague de chaleur  
pour le RCP8.5 : Scénario sans politique climatique  
Horizon lointain (autour de 2085) – Moyenne annuelle  
Produit multi-modèles de DRIAS-2020 : médiane de l'ensemble

