

Airparif

Décembre 2024

TOUT COMPRENDRE À LA POLLUTION DE L'AIR

F. GAIE-LEVREL, DR HDR





AIRPARIF

Surveiller la qualité de l'air en Île-de-France



AIRPARIF : ASSOCIATION AGRÉÉE DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR



- Gouvernance
 - ✓ Quadripartite et équilibrée
- Financements diversifiés
 - ✓ État, collectivités territoriales, acteurs économiques



RAISON D'ÊTRE

AGIR POUR UN AIR SAIN DANS UN MONDE PLUS DURABLE

MISSIONS



SURVEILLER
l'air respiré par les Franciliens grâce à un dispositif de mesure robuste et fiable



COMPRENDRE
la pollution de l'air et ses impacts, en participant à l'amélioration des connaissances



ACCOMPAGNER
les citoyens et tous les acteurs, en informant, en sensibilisant et en évaluant les actions



INNOVER
en facilitant l'émergence de nouvelles solutions pour améliorer la qualité de l'air

*AIRLAB

AIRPARIF EN QUELQUES CHIFFRES



1979 année de création

74 (techniciens, ingénieurs, communicants...)
salariés

146
adhérents
(services de l'État, collectivités, entreprises, associations...)

95
membres

AIRLAB, le laboratoire d'innovation ouverte d'Airparif

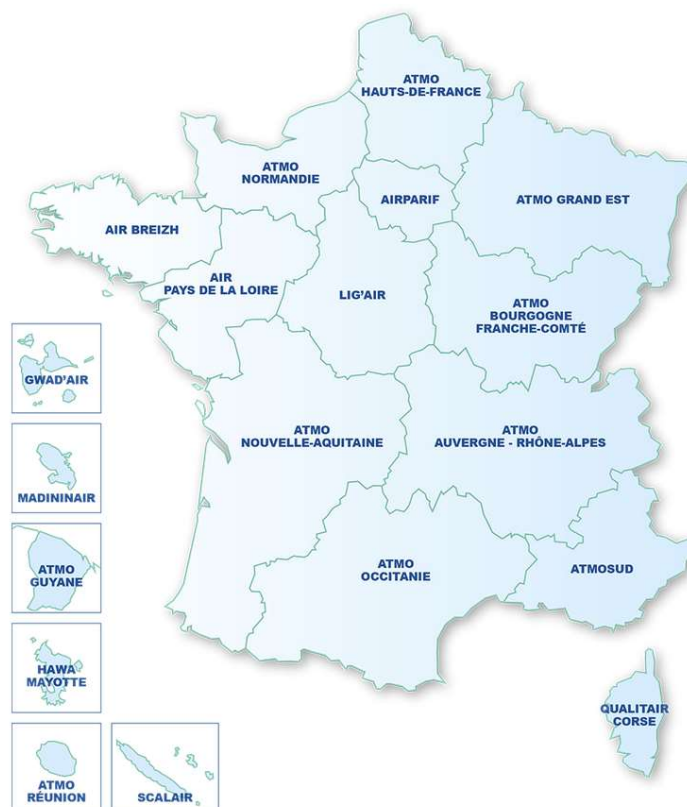
442
échanges avec les médias en 2022

30 millions

de données produites par heure

43 ans
d'expérience

ATMO FRANCE : LA FÉDÉRATION NATIONALE DES AASQA

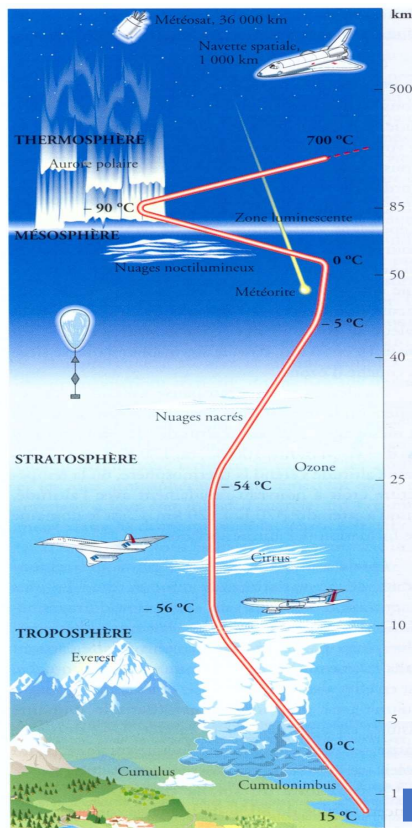




2

L'ATMOSPHERE

L'ATMOSPHÈRE



Troposphère libre :

Partie haute de la troposphère non turbulente et thermiquement stable

Couche de surface

1/10ème de la CLA

Couche de mélange

CLA : Couche limite atmosphérique

- Influence du sol => Régime turbulent
- Quelques centaines de mètres à qq km en fonction du type de sol + de la météo. + moment de la journée

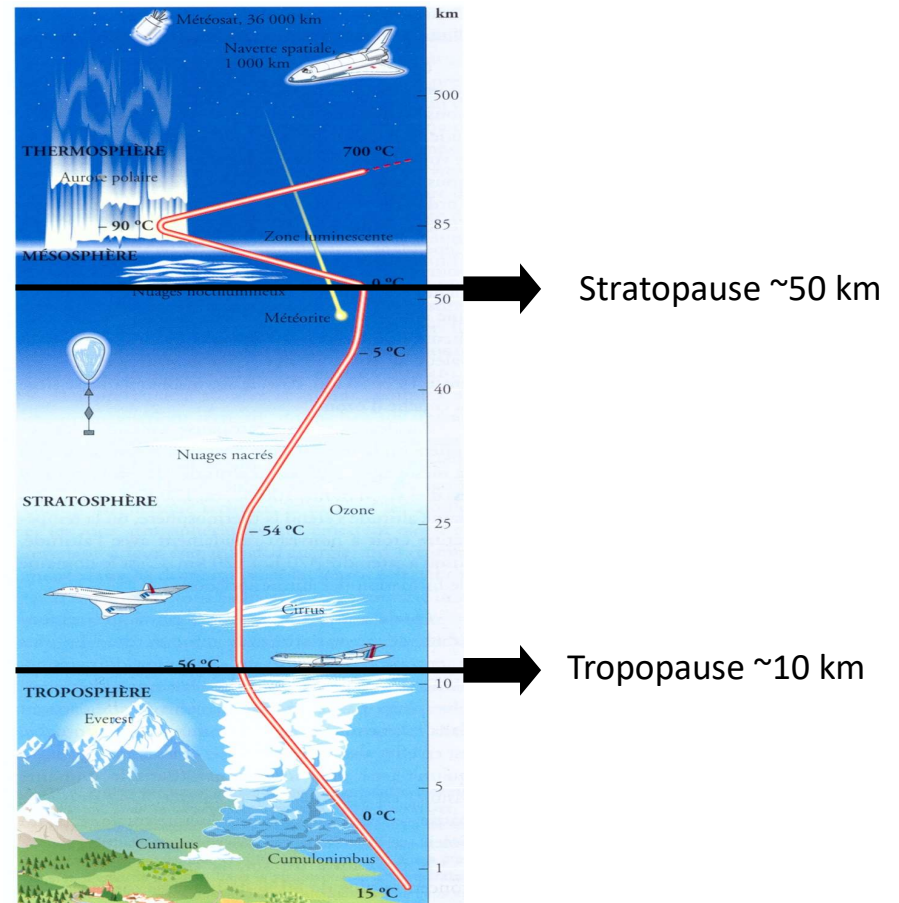
COMPOSITION MOYENNE DE L'ATMOSPHÈRE (PPM)

N ₂	780840
O ₂	209460
Ar	9340
CO ₂	355
Ne	18.00
He	5.20
CH ₄	1.72
Kr	1.10
H ₂	0.58
N ₂ O	0.31
CO	0.12
Xe	0.09
SO ₂	1E-5 à 1E-4
NH ₃	1E-4 à 1E-3
NO	1E-6 à 1E-2
NO ₂	1E-6 à 1E-2
O ₃	1E-2 à 1E-1
H ₂ O	0.2 à 3 %

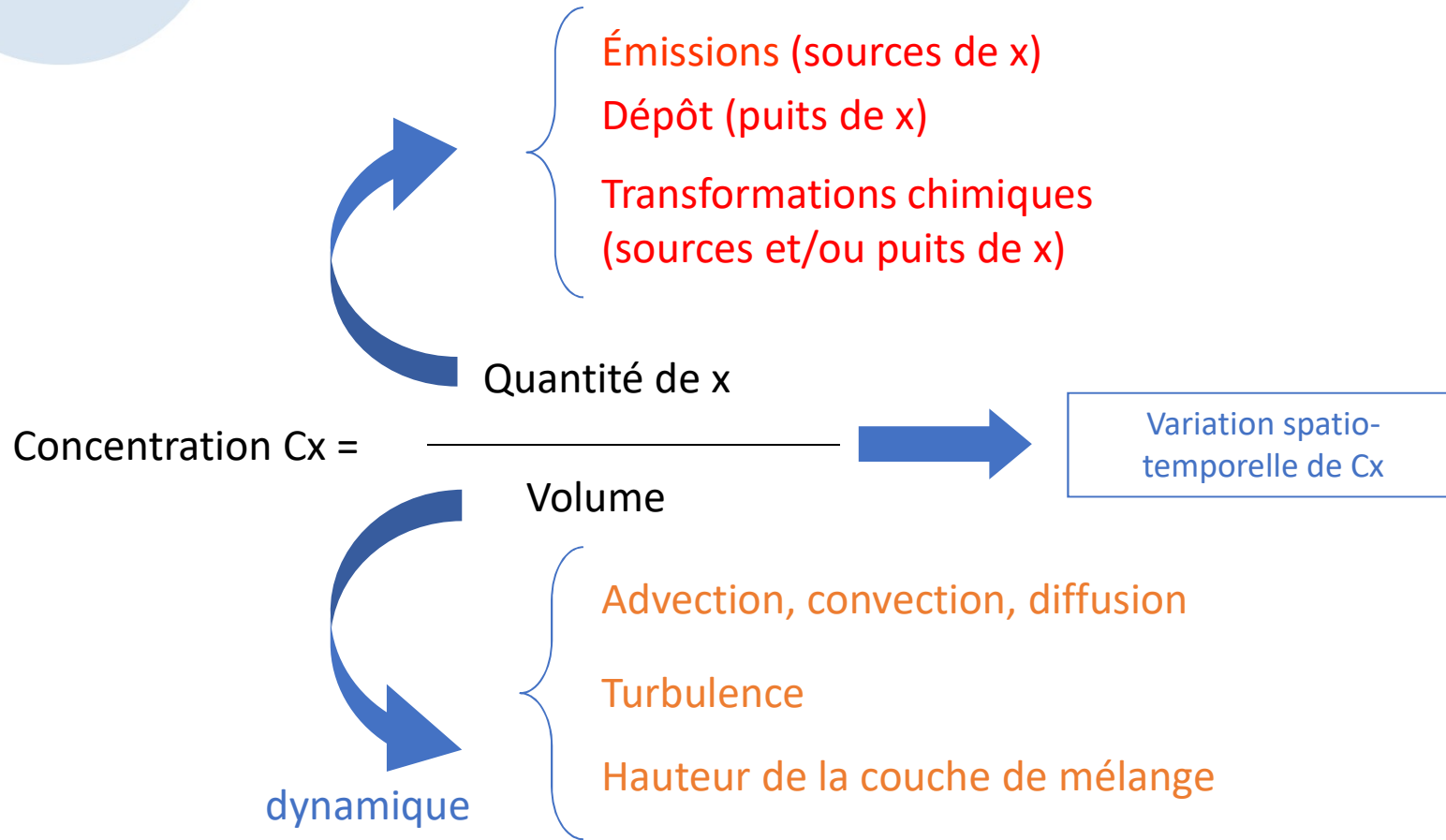
Composés
majoritaires

Composés
minoritaires

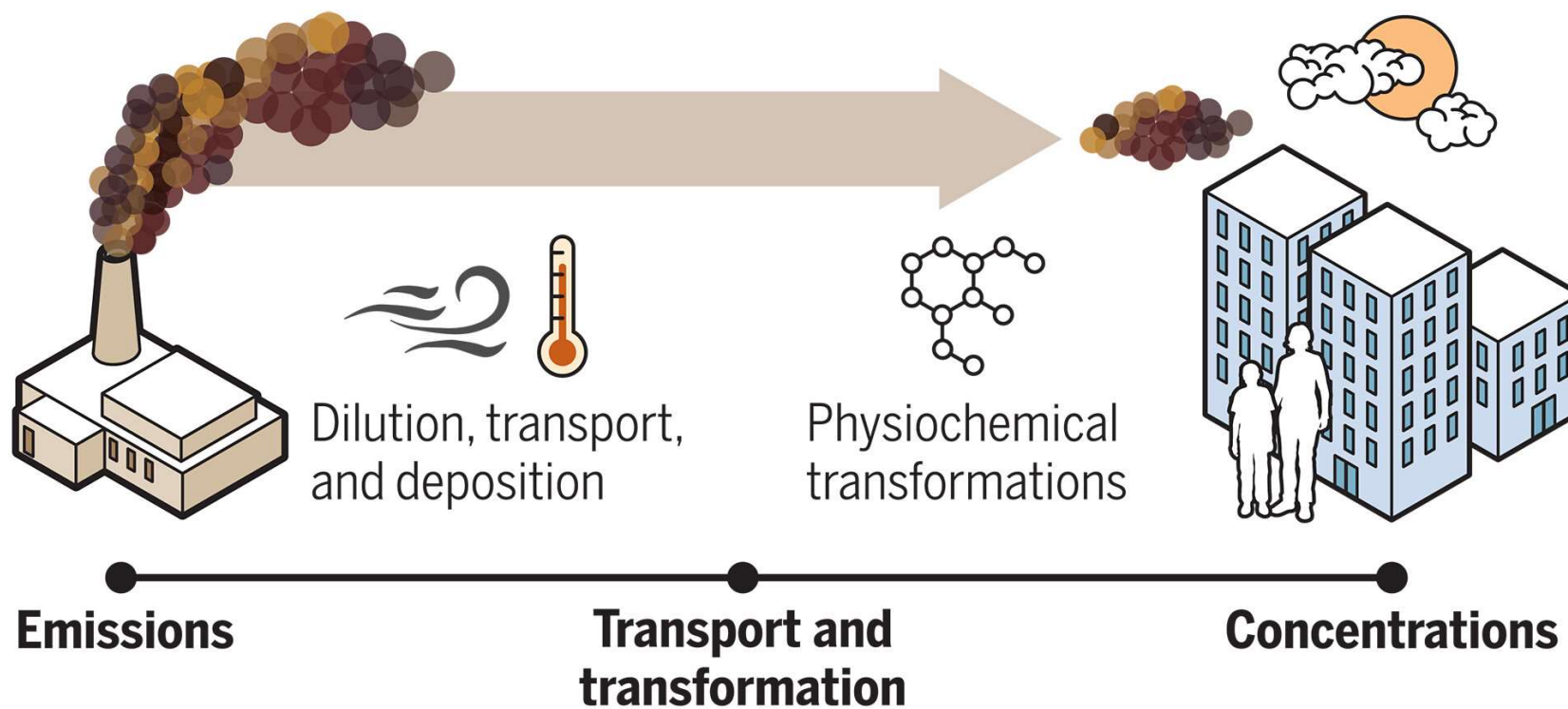
H₂O présente dans
« tous ses états »



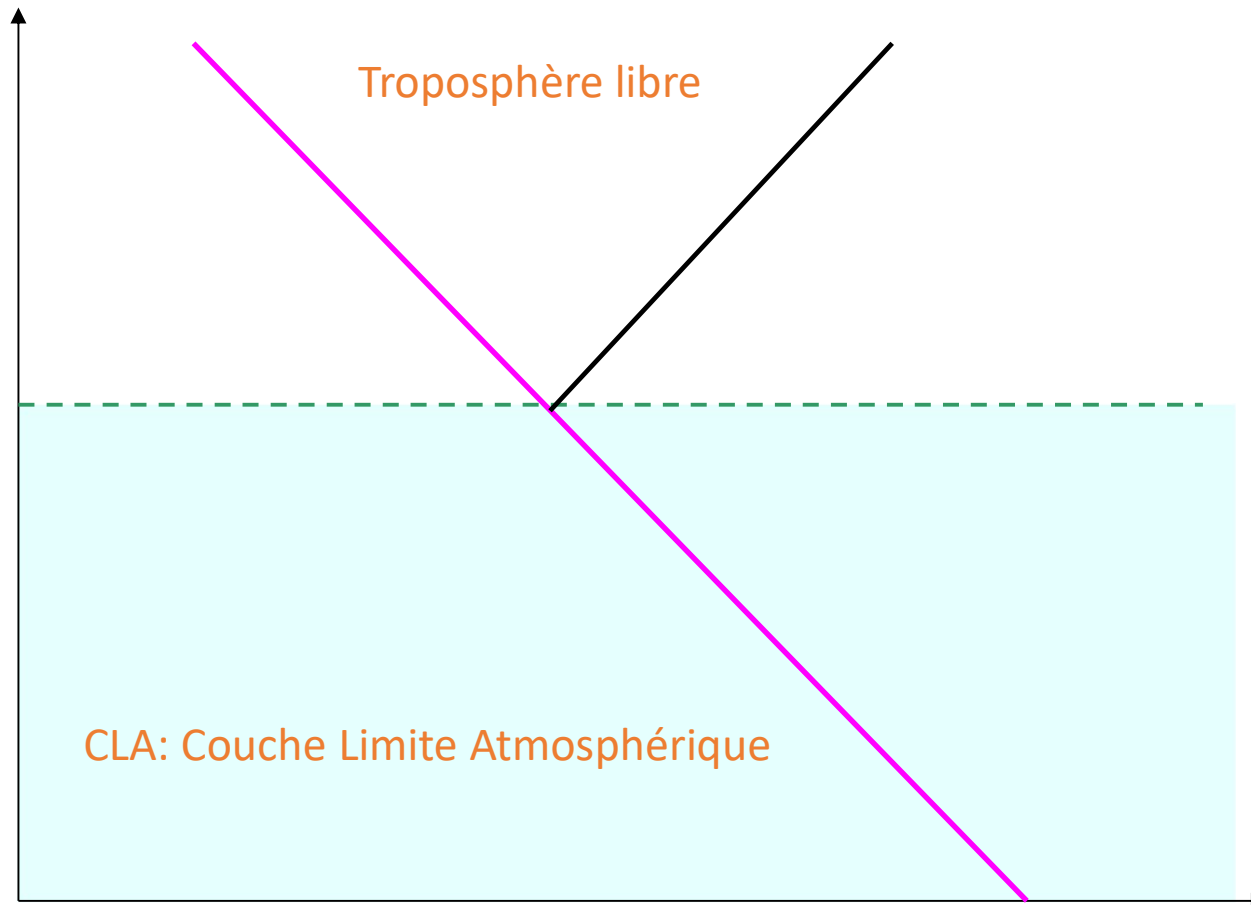
L'ATMOSPHÈRE



L'ATMOSPHÈRE



LA COUCHE LIMITE ET SES PROBLÈMES



— Cas favorable

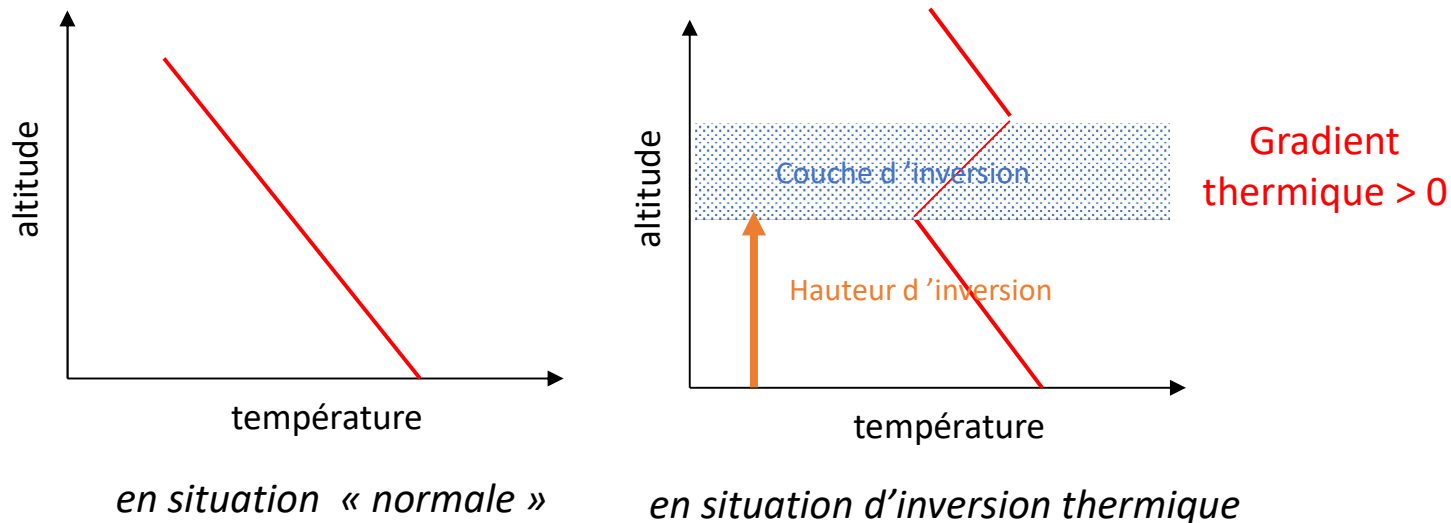
— Cas défavorable

Inversion du gradient
de température
=> Couche d'inversion

➔ Réactions
chimiques

LA COUCHE LIMITE ET SES PROBLÈMES

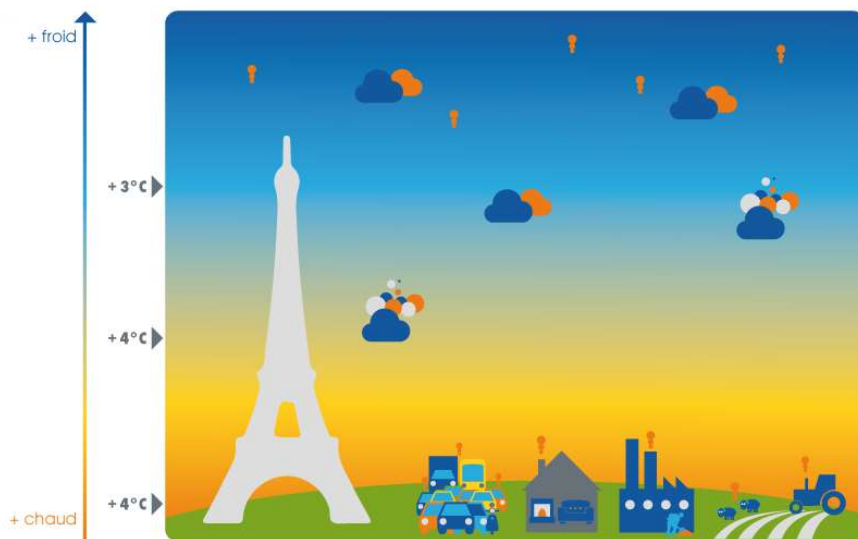
Phénomènes d'inversion de température



- Couche d'inversion = barrière dynamique
- Mélange vertical à travers la couche d'inversion très lent (zone de forte stabilité)
- Les polluants émis au sol restent confinés dans le volume sous la couche d'inversion.

LA COUCHE LIMITE ET SES PROBLÈMES

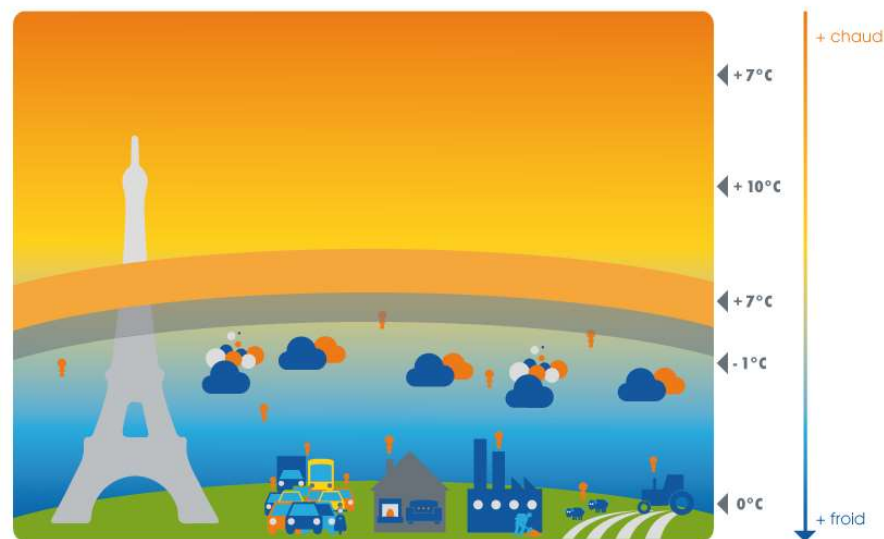
SITUATION NORMALE



EN SITUATION DE DISPERSION

Bonne dispersion ascendante

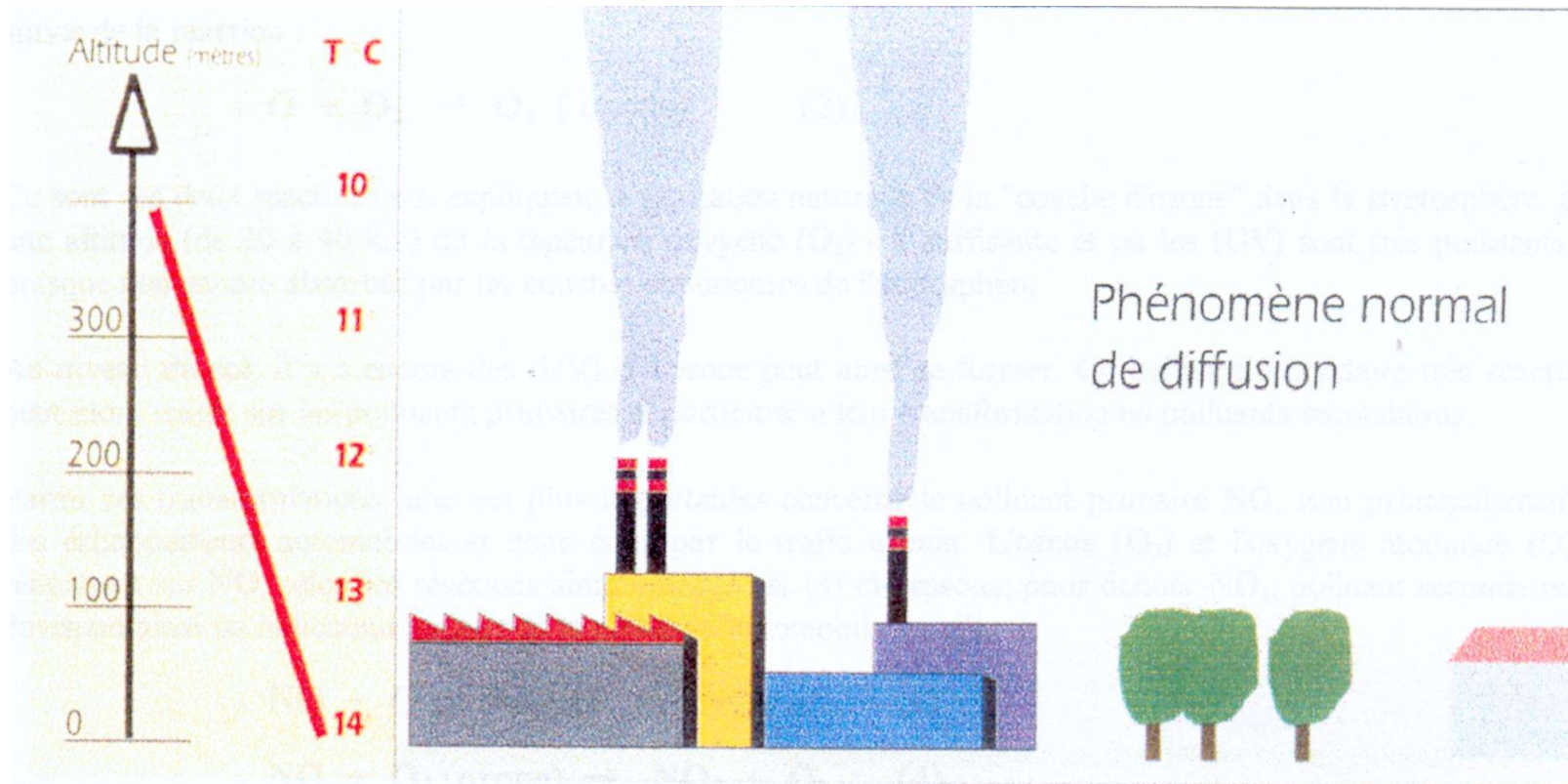
INVERSION DE TEMPÉRATURE



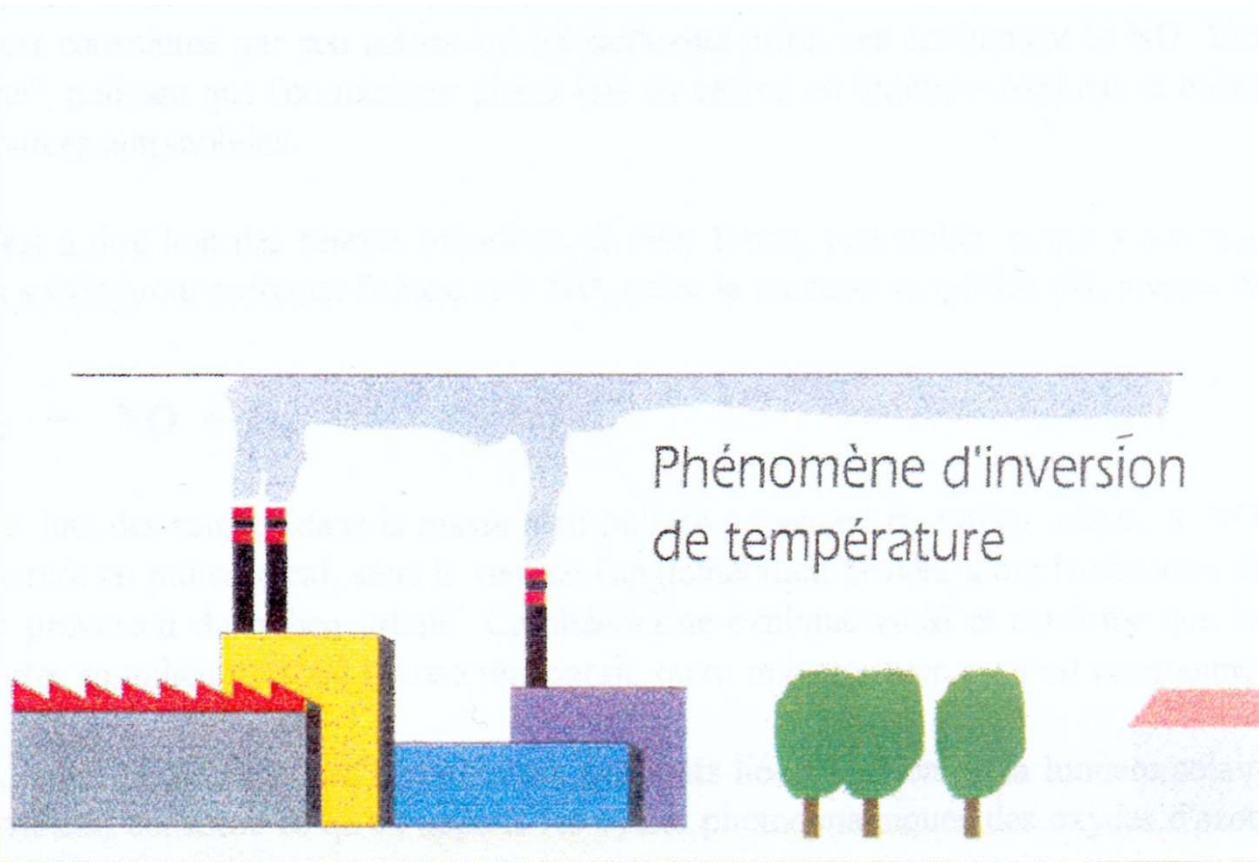
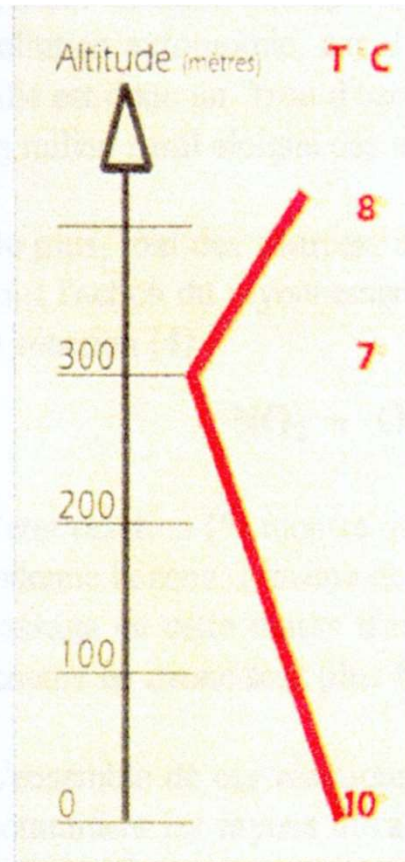
EN PRÉSENCE D'UN COUVERCLE D'AIR CHAUD

Formation d'un « couvercle de chaleur »

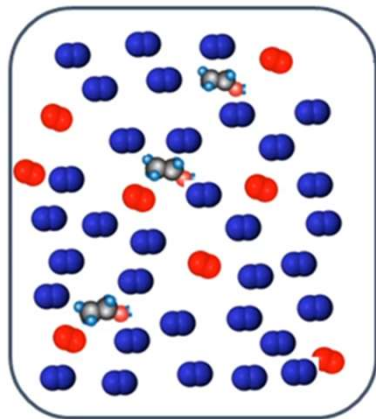
LA COUCHE LIMITE ET SES PROBLÈMES



LA COUCHE LIMITE ET SES PROBLÈMES



RAPPORT DE MÉLANGE



→ Volume

$$\text{Mixing ratio} = \frac{\text{Amount of a compound}}{\text{Amount of all constituents}}$$

- 1% -> une partie pour 100
- 1 ppm -> une partie pour 10^6
- 1ppb -> une partie pour 10^9
- 1ppt -> une partie pour 10^{12}

Ne représente pas une quantité mais une abondance relative !

Donc 1 ppm => 1 mol de polluant / 10^6 mol d'air

$$\text{Concentration en } \mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{Concentration en ppm} \times \frac{\text{Masse molaire (g/mol)} \times \text{Pression (Pa)}}{R \times \text{Température (K)}}$$

$$\text{Concentration en } \mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{Concentration en ppm} \times \text{Masse molaire (g/mol)} \times 41.6$$

RAPPORT DE MÉLANGE: EXEMPLES



NO₂

Concentration: 50 ppb
M (NO₂) = 46 g/mol

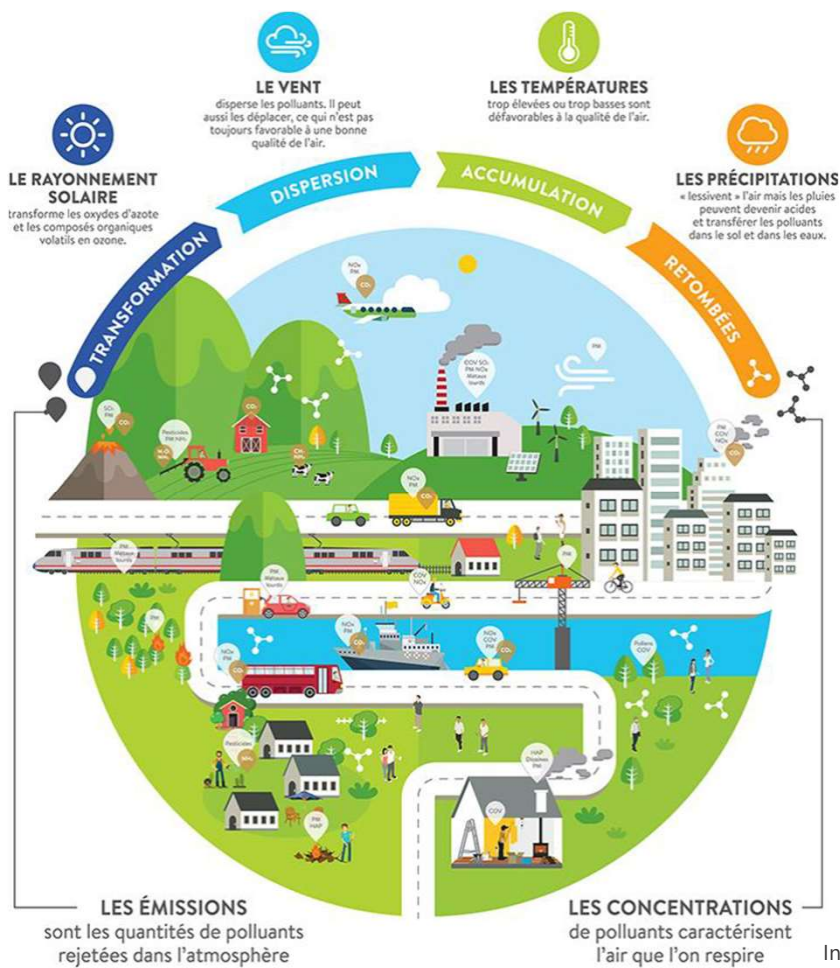
$$\begin{aligned}\text{Concentration } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= C (\text{ppm}) \times M (\text{NO}_2) \times 41,6 \\ &= (50/1000) \times 46 \times 41,6 \\ &= 95,7 \mu\text{g}/\text{m}^3\end{aligned}$$

Ozone

Concentration: 40 ppb
M (NO₂) = 48 g/mol

$$\begin{aligned}\text{Concentration } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= C (\text{ppm}) \times M (\text{O}_3) \times 41,6 \\ &= (40/1000) \times 48 \times 41,6 \\ &= 79,9 \mu\text{g}/\text{m}^3\end{aligned}$$

LA MÉTÉO : UN PARAMÈTRE FAVORABLE OU AGGRAVANT





POLLUTION DE L'AIR : DE QUOI PARLE-T-ON ?

Définition, histoire, principaux polluants

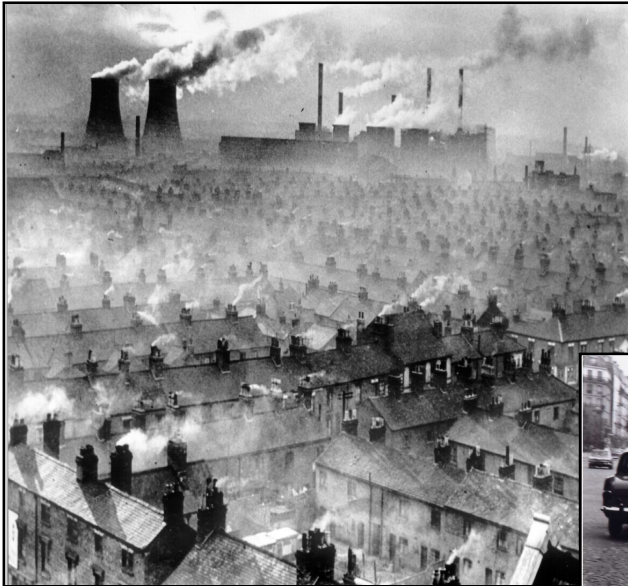
DE QUOI PARLE-T-ON ?



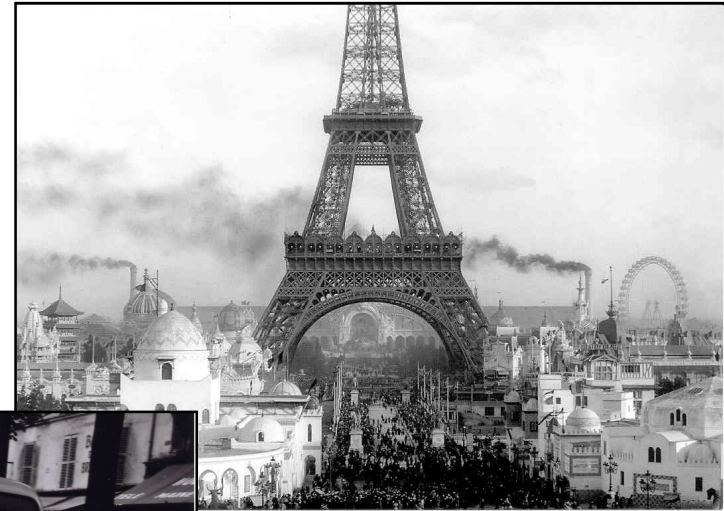
« Constitue une pollution atmosphérique [...] l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes [...], à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives. »

Loi sur l'air, France, 1996

LA POLLUTION DE L'AIR, UN VIEUX PROBLÈME



Activités industrielle en Angleterre, XIXe



Exposition universelle, 1890



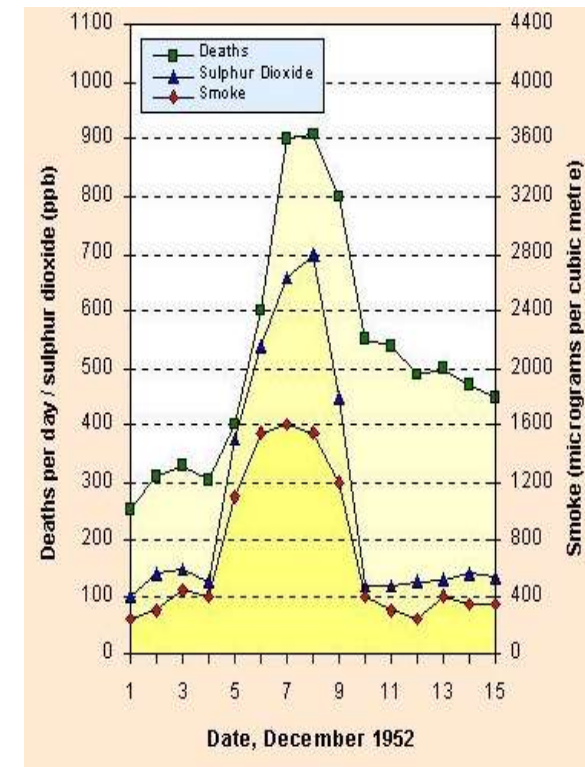
Rues de Paris, 1967

PETIT HISTORIQUE DE LA POLLUTION

Smog de Londres (1952): Fortes [SO₂] & [particules]

Brouillard dense
+ Inversion thermique basse et marquée !

Année	Localisation	Mortalité excédentaire
1930	Vallée de la Meuse	63
1948	Donora, Pennsylvanie	20
1952	Londres	4000
1962	Londres	700



PETIT HISTORIQUE DE LA POLLUTION

Le Smog de Londres, 1952



PETIT HISTORIQUE DE LA POLLUTION



Smog de Los Angeles : O₃ + Oxydants photochimiques

- Milieu des années 40 : Premières observations dans la région de Los Angeles
 - Brouillard, effet sur la santé de la population...
 - Présence d'oxydants en concentration très élevée lors de journées **chaudes et ensoleillées**
 - Forte circulation automobile

- Début des années 50 :

Mise en évidence de l'action de certains composés organiques volatils (COV), des oxydes d'azote et du rayonnement solaire menant à la formation d'ozone

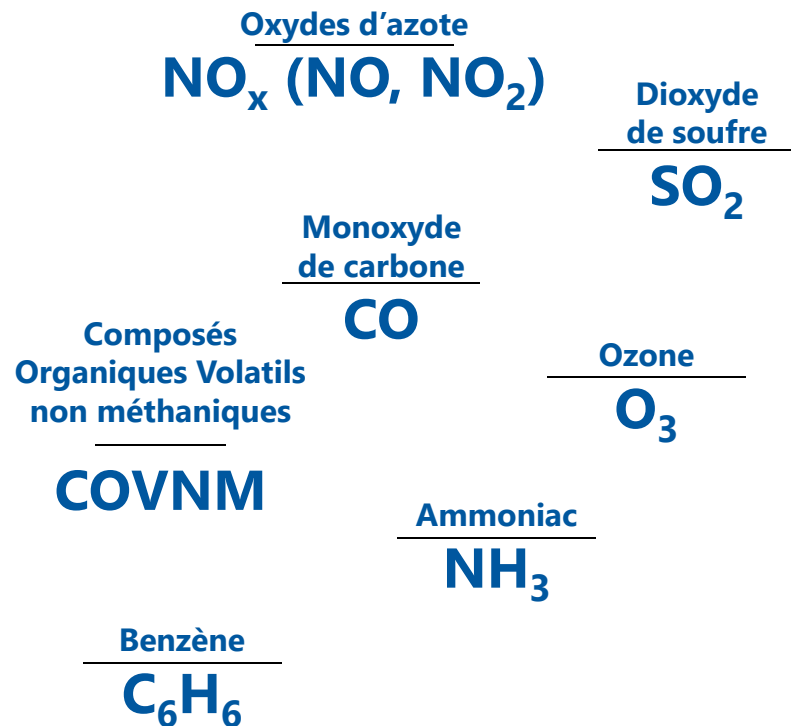


- 1970 à 2000: [O₃] élevées dans le panache des grandes agglomérations

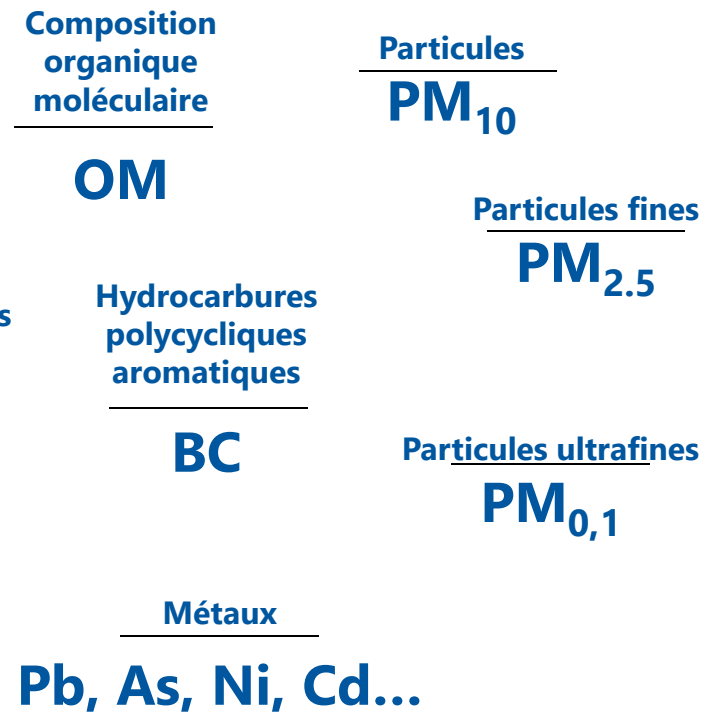
LES PRINCIPAUX POLLUANTS



Gaz



Particules



ACTIVITÉS HUMAINES ÉMETTRICES DE POLLUANTS DE L'AIR

Chauffage au bois, au fioul et au gaz

PM, NO_x, COV



Centrales électriques au charbon, au gaz et au bois

NO_x, PM



Transport routier, aérien, fluvial

NO_x, PM, COV, NH₃



Epandages et labours agricoles

NH₃, PM



Activités industrielles

PM, SO₂, COV, NO_x



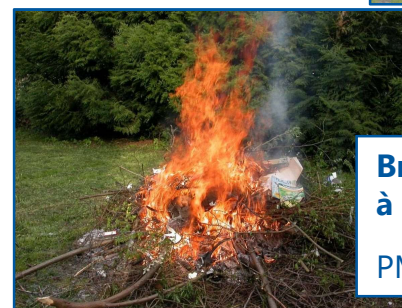
Chantiers de construction et de démolition

PM



Brûlage de déchets à l'air libre

PM, dioxines

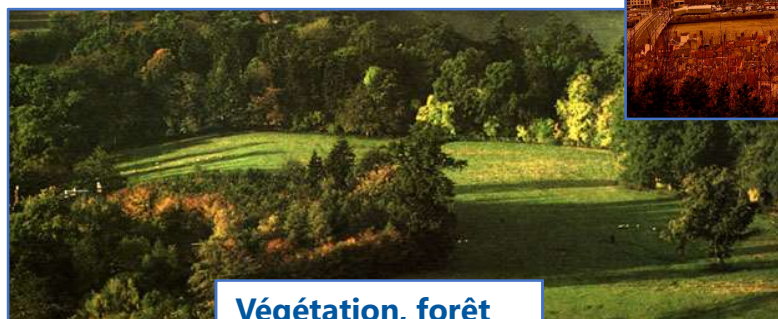


PHÉNOMÈNES NATURELS ÉMETTEURS DE POLLUTION DE L'AIR



Embruns marins

PM



Végétation, forêt

COV



Tempêtes de sable

PM



Feux de forêts

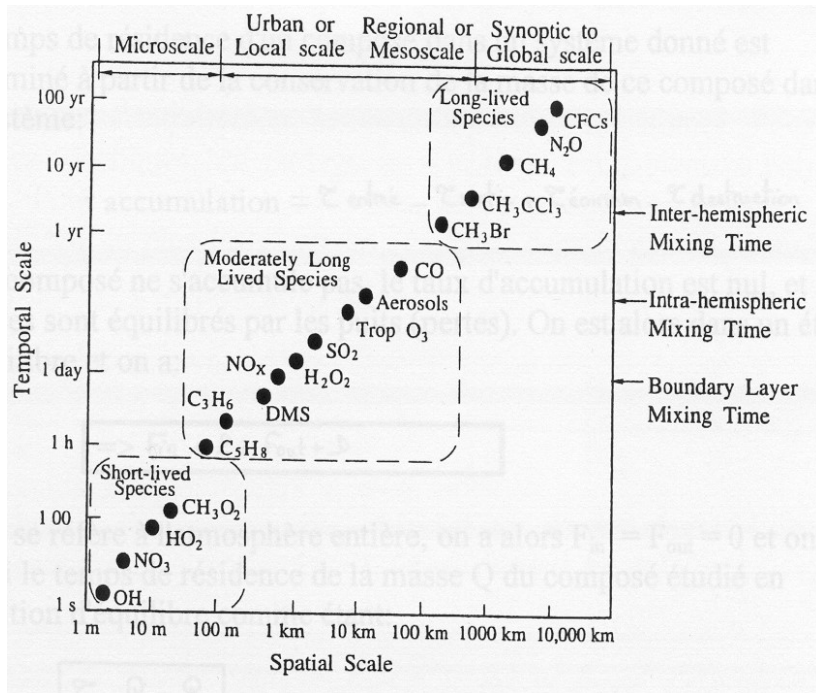
PM, NO_x



Volcans

PM, SO₂

TEMPS DE VIE DE QUELQUES POLLUANTS

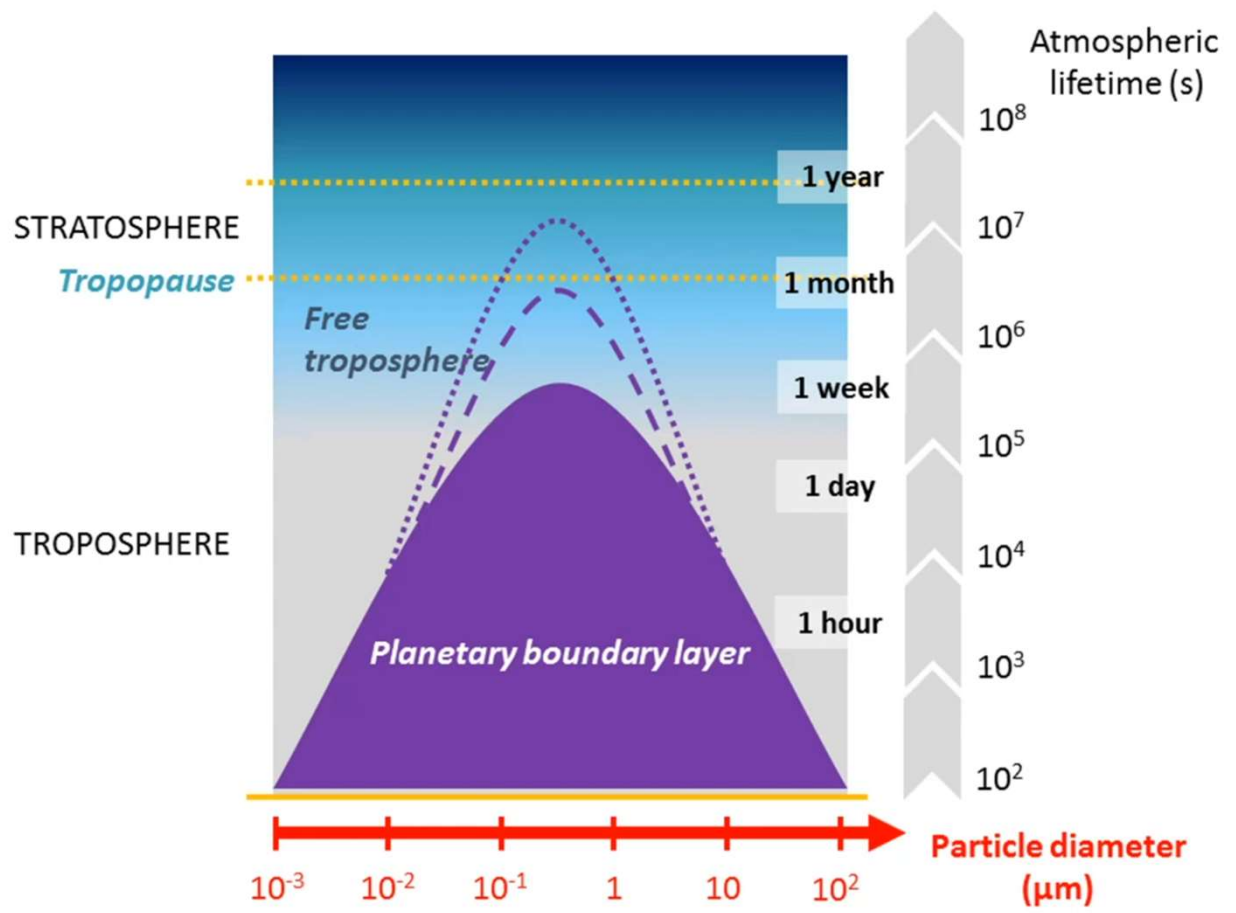


O ₂ CO ₂ N ₂ CH ₄ N ₂ O CFC	1 an - 100 ans ou +	Perturbation du climat Échelle globale
O ₃ SO ₂ NO _y H ₂ SO ₄ HNO ₃ PAN	1 jour - 1 an	Épisodes de pollution Échelle continentale et régionale
NO ₂ Aérosols	1 minute - 1 jour	Pollution locale Échelle urbaine Rues Canyon
Radicaux	10 secondes 1 minute	Dominés par la chimie

TEMPS DE VIE DES AÉROSOLS

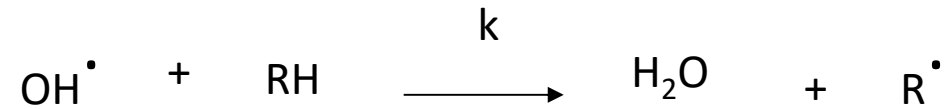
Dépendance :

- En taille
- Composition chimique
- Altitude d'émission
- Conditions météo



From IMTx "Air pollution: causes and impacts" MOOC, 2024

RADICAL OH = PRINCIPAL « DÉTERGENT » DE L'ATMOSPHÈRE



La durée de vie d'un composé dans l'atmosphère s'exprime par rapport à OH
(k = constante de vitesse)

$$v = -\frac{d[\text{RH}]}{dt} = k[\text{OH}^\bullet][\text{RH}] \quad \text{Si} \quad [\text{OH}^\bullet] = \text{cst} \quad \Rightarrow \quad k[\text{OH}^\bullet] = k'$$

D'où :

$$v = -\frac{d[\text{RH}]}{dt} = k'[\text{RH}] \quad \text{Avec} \quad \frac{1}{k'} = \tau = \text{Temps de vie}$$

TEMPS DE VIE: RÉACTIVITÉ PAR RAPPORT À OH



En ville : Si $[\text{NO}_2] = 100 \text{ ppb}$

$$= 191 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 2,46 \cdot 10^{12} \text{ molécules}/\text{cm}^3$$

$$\Rightarrow \tau_{\text{OH}} = 1 / k \cdot [\text{NO}_2] = 0,03 \text{ s}$$

Rural : $[\text{NO}_2] = 1 \text{ ppb}$

$$= 1,9 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 2,46 \cdot 10^{10} \text{ molécules}/\text{cm}^3$$

$$\Rightarrow \tau_{\text{OH}} = 3 \text{ s}$$

TEMPS DE VIE

Phénomènes de transport verticaux

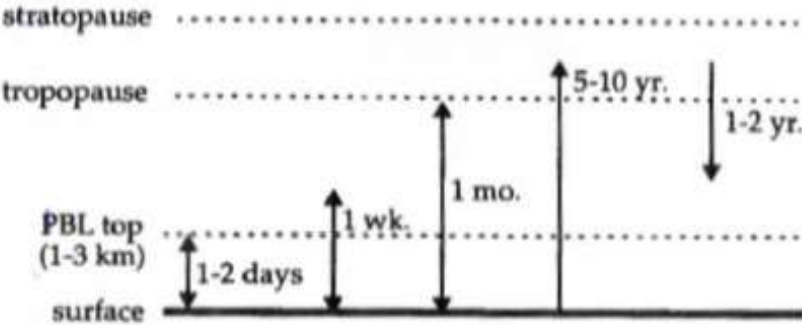


Fig. 4-24 Characteristic time scales for vertical transport.

Phénomènes de transport horizontaux

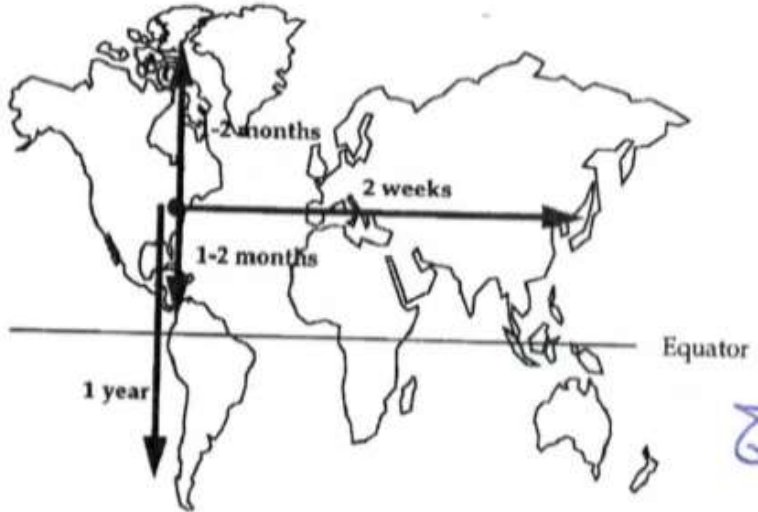


Fig. 4-12 Typical time scales for global horizontal transport in the troposphere.



LES PRINCIPAUX POLLUANTS DE L'AIR

LES PRINCIPAUX POLLUANTS DE L'AIR



On distingue les émissions...

- Primaires : Emissions directes dans l'atmosphère
- Secondaires : Formées dans l'atmosphère par réactions chimiques et photochimiques

COMPOSÉS SOUFRÉS



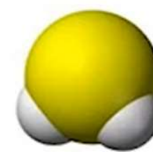
CH_3SCH_3 (DMS)



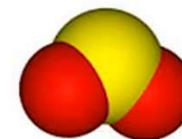
CS_2



OCS



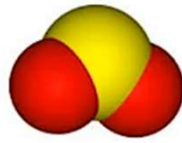
H_2S



SO_2



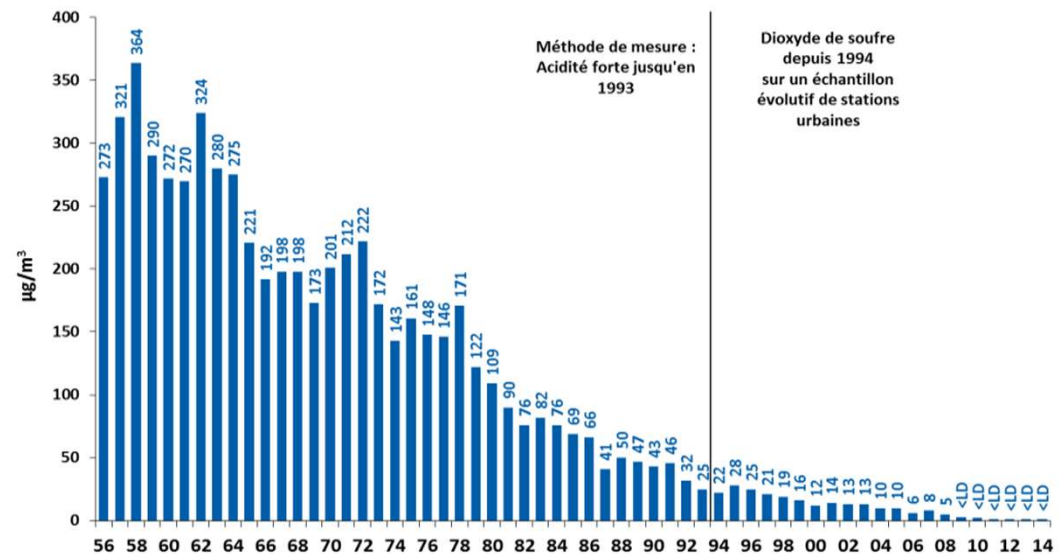
DIOXYDE DE SOUFRE... POLLUANT ÉRADIQUÉ



Réglementation des émissions industrielles et obligation de désulfuration des carburants :

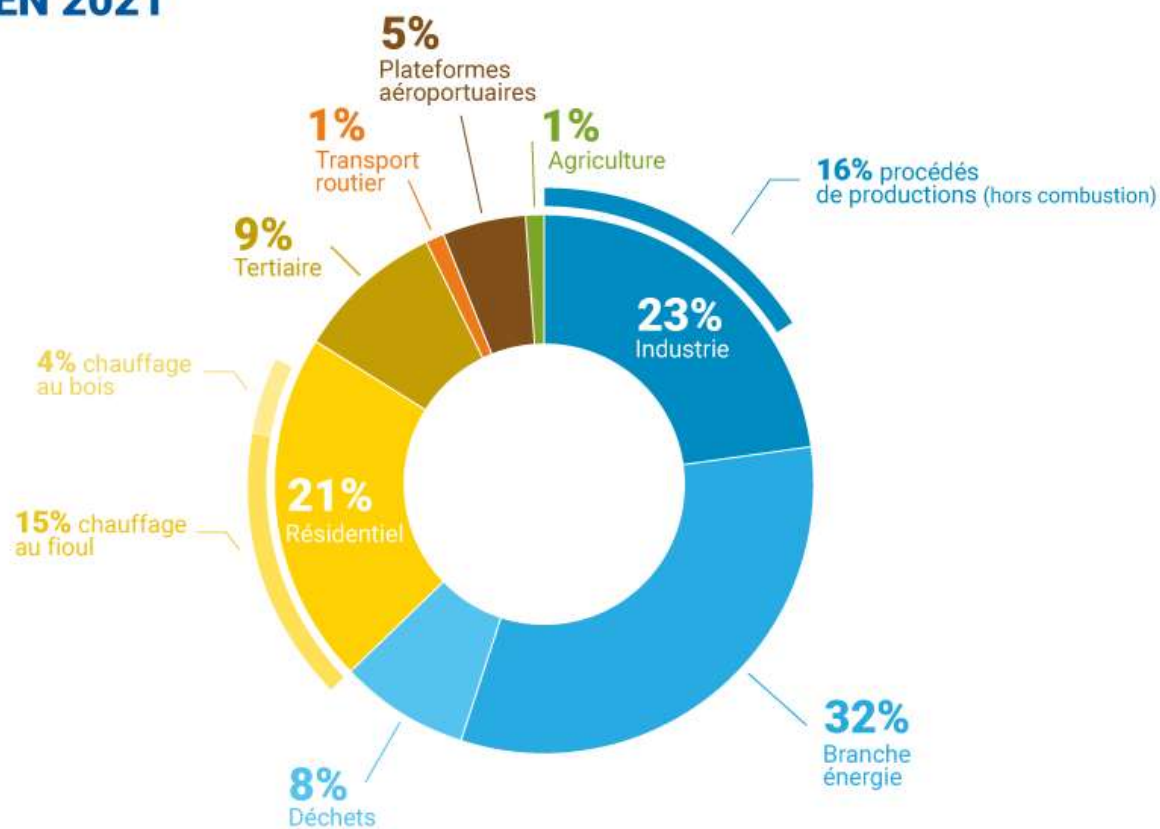
Concentrations de dioxyde de soufre (SO₂) divisées par 100 depuis 50 ans

ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS DE DIOXYDE DE SOUFRE EN ÎLE-DE-FRANCE



À RETENIR...

LES ÉMISSIONS EN ÎLE-DE-FRANCE DU DIOXYDE DE SOUFRE EN 2021



-86%
BAISSE DES ÉMISSIONS
ENTRE 2005 ET 2021

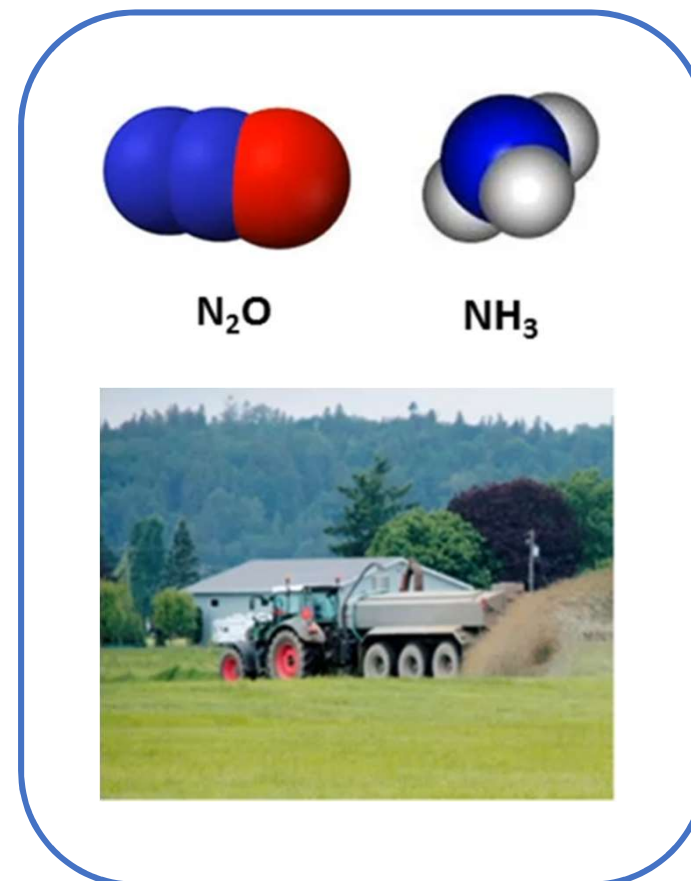
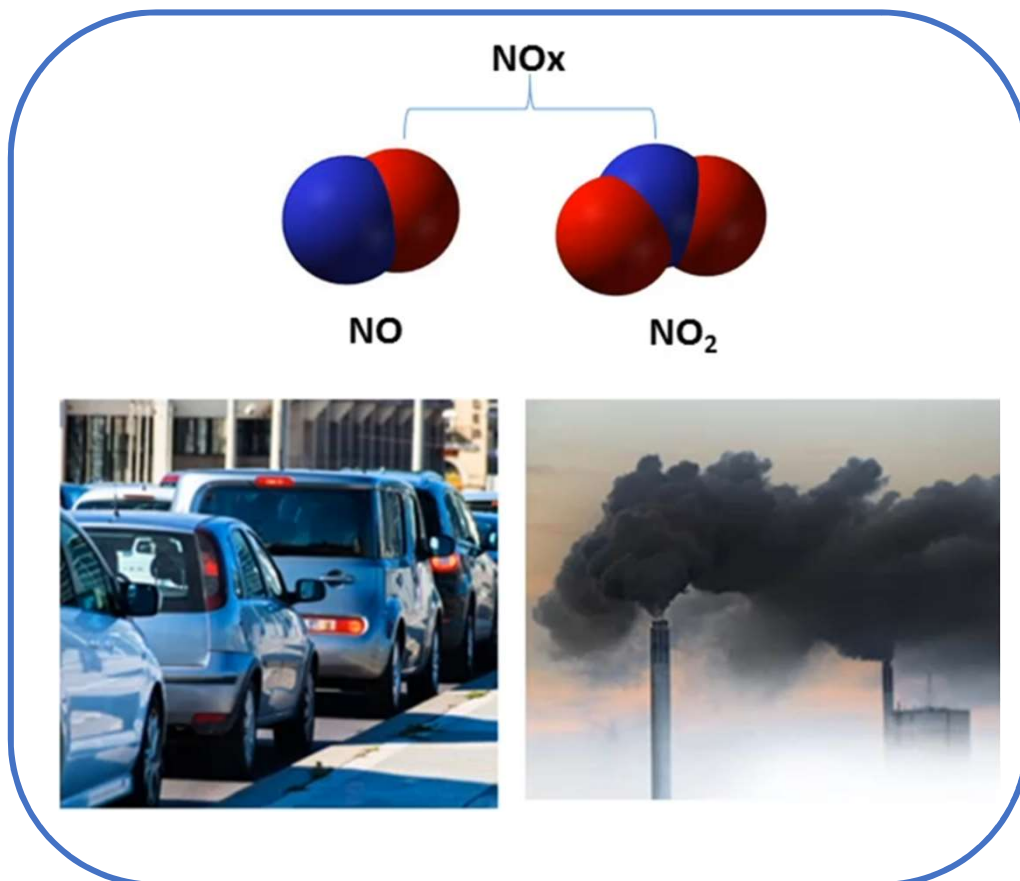
-92% BRANCHE ÉNERGIE

-82% INDUSTRIE

-78% SECTEUR RÉSIDENTIEL

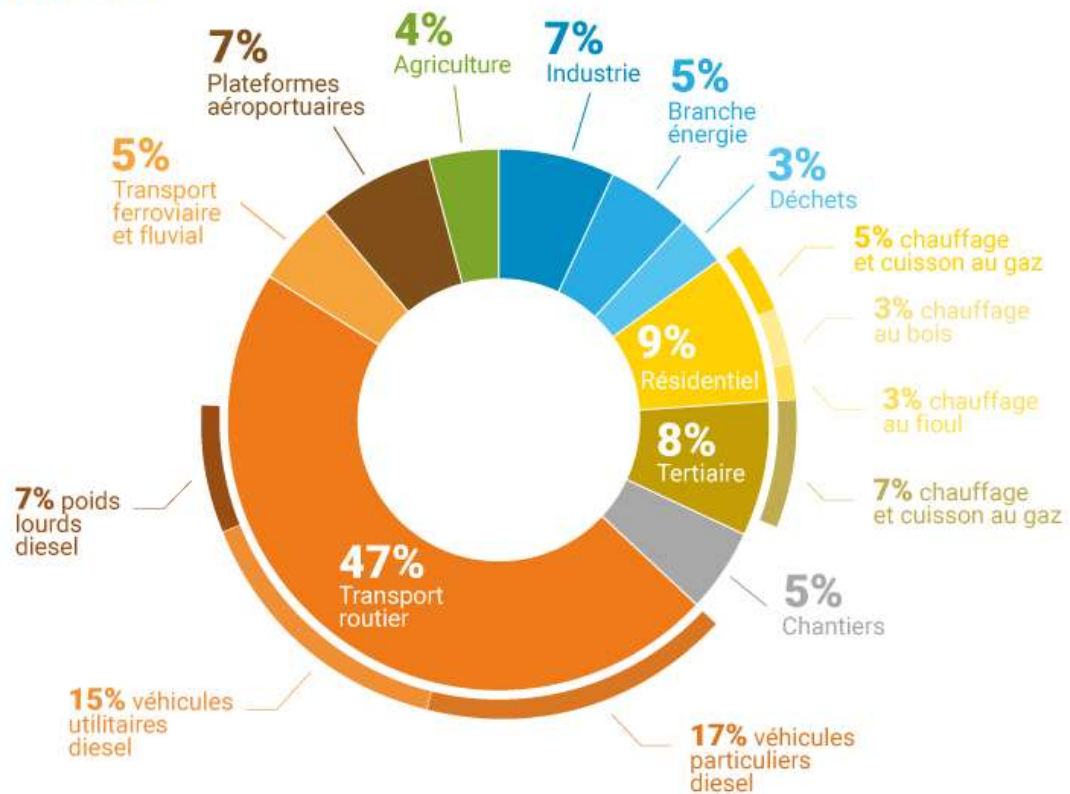


COMPOSÉS AZOTÉS



À RETENIR...

LES ÉMISSIONS EN ÎLE-DE-FRANCE D'OXYDES D'AZOTE EN 2021



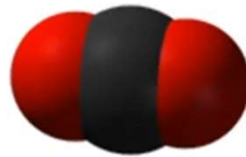
-58%
BAISSE DES ÉMISSIONS
ENTRE 2005 ET 2021

**Chauffage urbain : inclus
dans la branche énergie,
3,2% des émission totales de
NO_x**

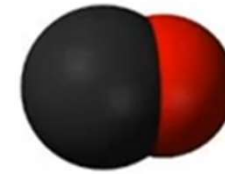
COMPOSÉS CARBONÉS



CH₄



CO₂

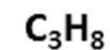
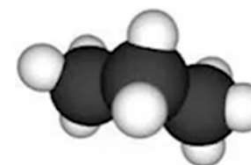
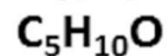
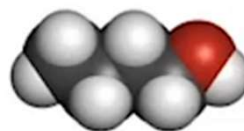
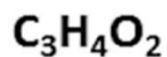
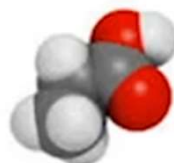
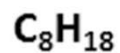
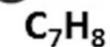
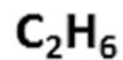
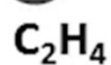
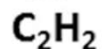
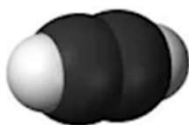
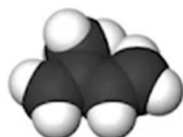


CO



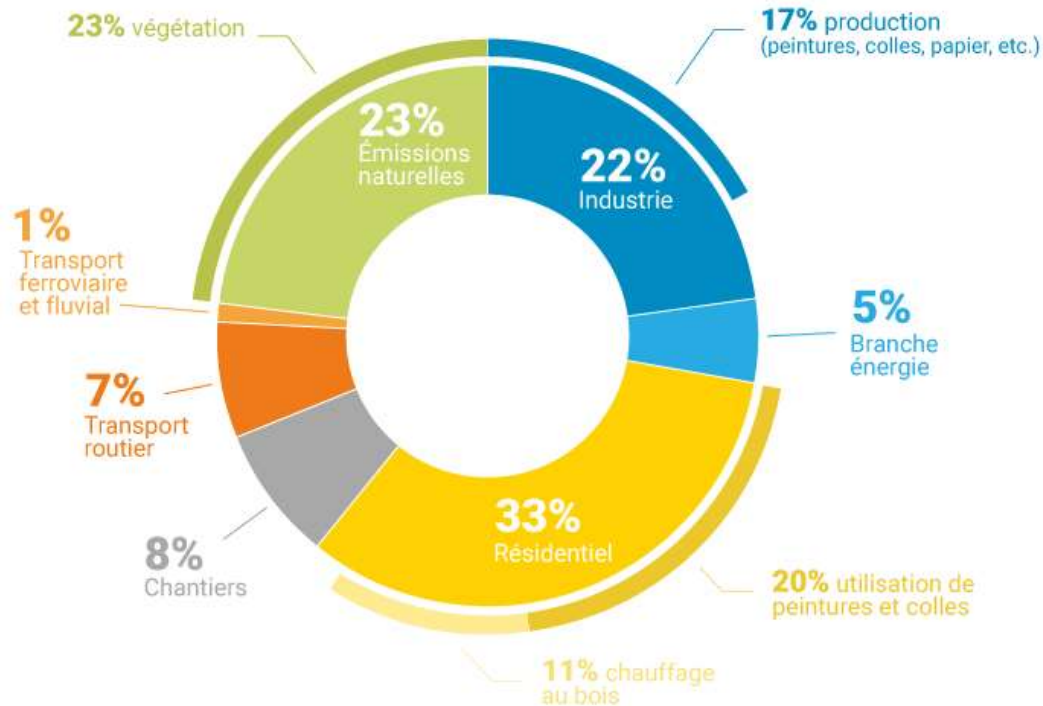
COMPOSÉS CARBONÉS

Composés Organiques volatils non-méthaniques (COVNM)



À RETENIR...

LES ÉMISSIONS EN ÎLE-DE-FRANCE DE COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS NON MÉTHANIQUE EN 2021



-43%
BAISSE DES ÉMISSIONS
ENTRE 2005 ET 2021



-41%  INDUSTRIE

-37%  SECTEUR
RÉSIDENTIEL

+2%  ÉMISSIONS
NATURELLES



LES MÉTAUX LOURDS

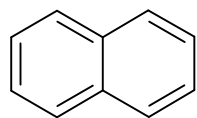


Arsenic
Cadmium
Chrome
Cuivre
Mercure
Nickel
Plomb
Sélénium
Zinc

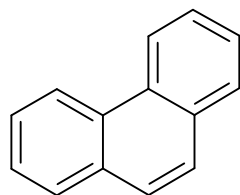
Dangereux pour l'environnement car non dégradables
+ Enrichissement au cours de processus minéraux et biologiques
⇒ Bioaccumulation

Absorption directe par le biais de la chaîne alimentaire
⇒ Effets chroniques ou aigus

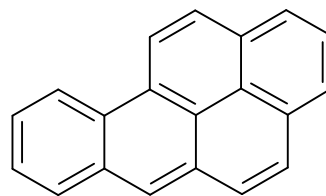
LES HAP (HYDROCARBURE AROMATIQUES POLYCYCLIQUES)



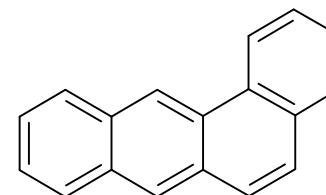
Naphtalène



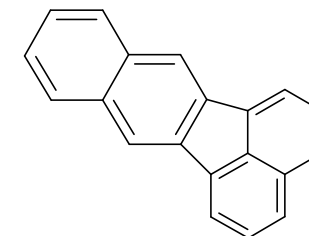
Phénanthrène



Benzo(a)pyrène



Benzo(a)anthracène

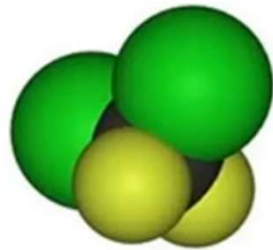


Benzo(k)fluoranthène

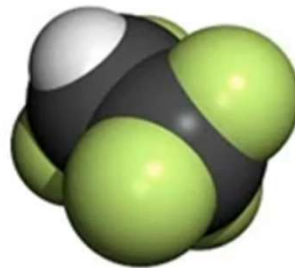
- **Sources anthropiques majoritaires**
- **Grande toxicité, propriétés cancérigènes**
- **Grande affinité pour les particules solides**

➡ Inhalation possible ➡ Effets néfastes sur la santé

COMPOSÉS HALOGÉNÉS



CFC (CF₂Cl₂)



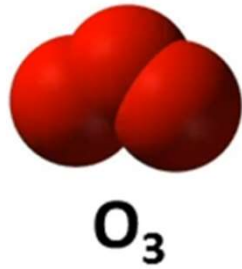
HFC (C₂FH₂)

Anthropique

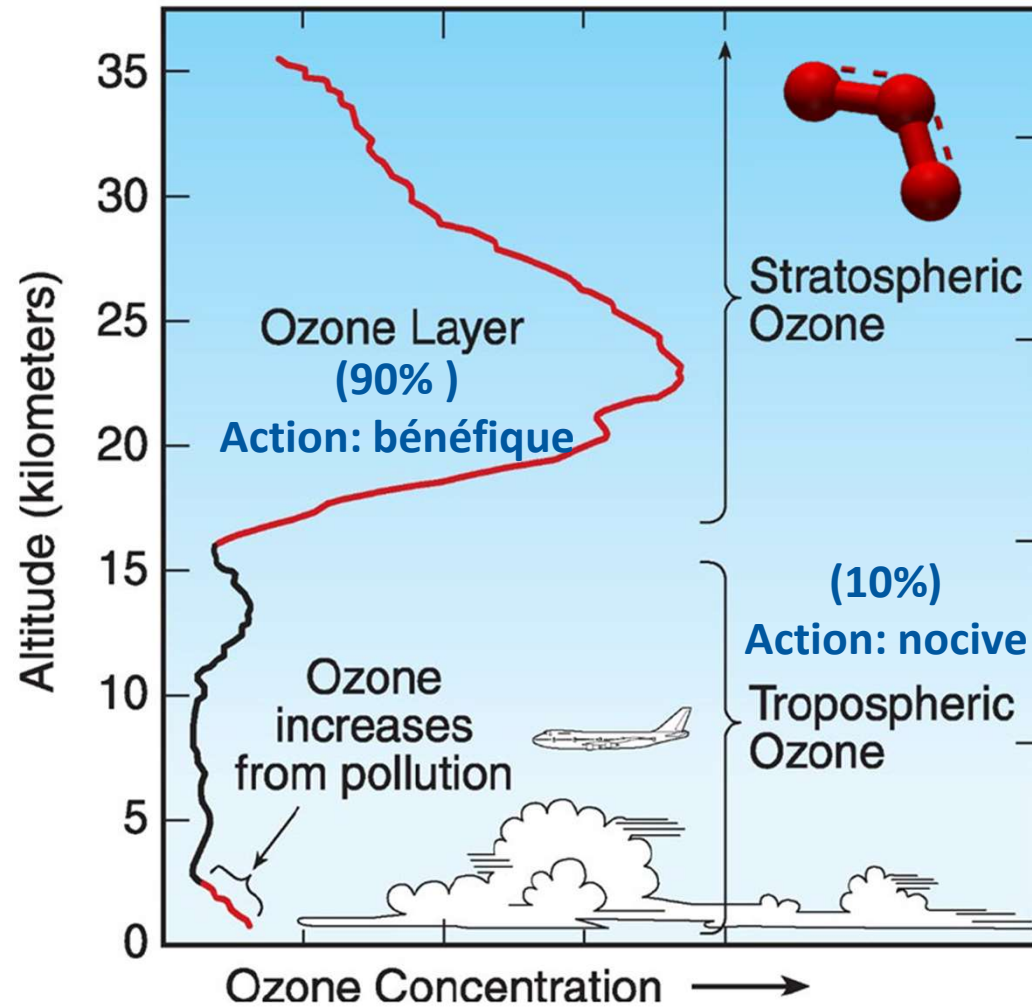
Temps de vie long

Responsable de la dégradation de l'ozone stratosphérique

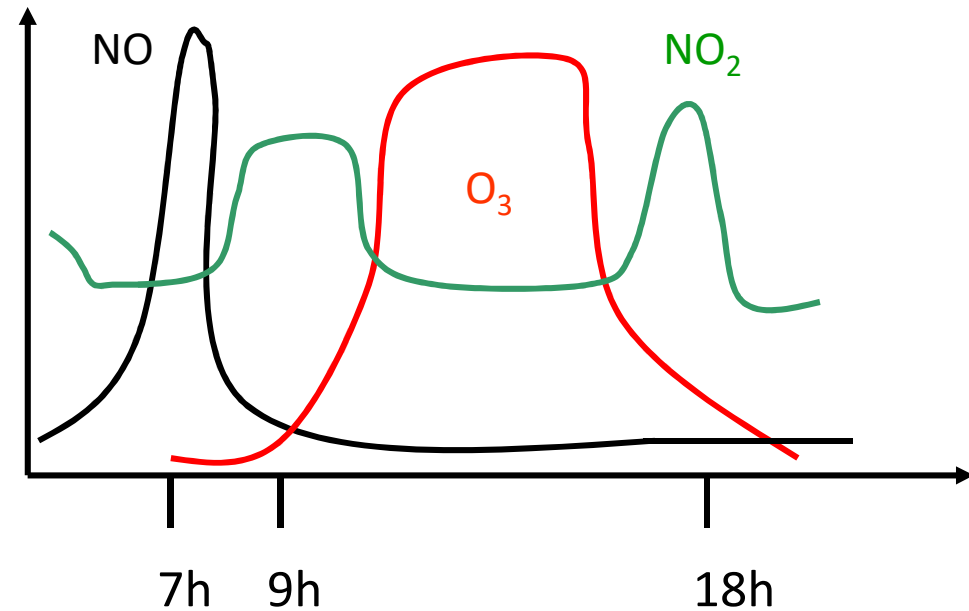
L'OZONE



Distinction entre O_3 stratosphérique et O_3 troposphérique



L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



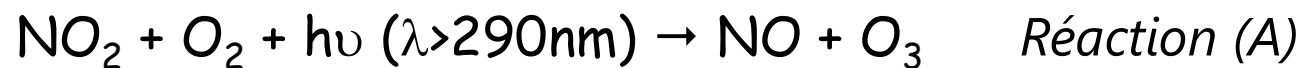
Photolyse de NO₂ :



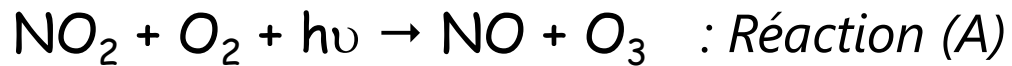
Réaction de formation de l'ozone:



Bilan :



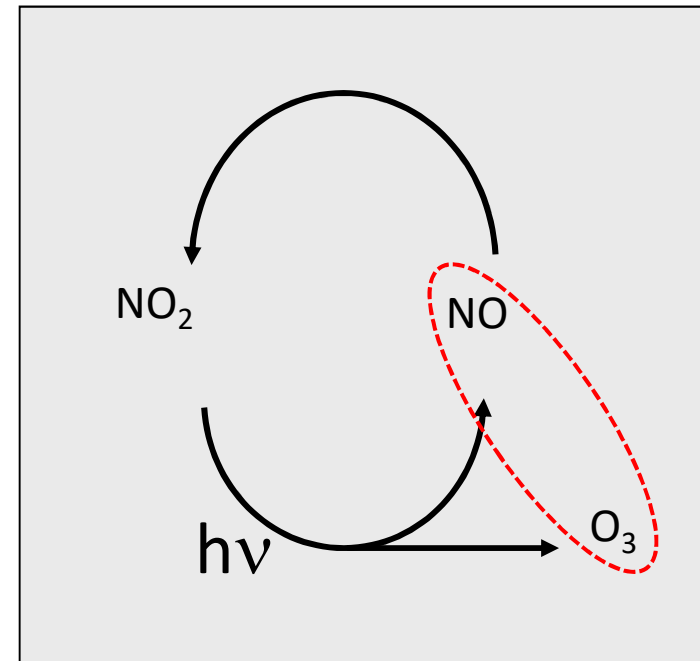
Bilan : l'équilibre photochimique



Mais destruction rapide de l'ozone



Donc pas de production d'O₃ !



Les réactions (A) et (B) sont suffisamment rapides pour que, en situation diurne, les concentrations de NO, NO₂ et O₃ soient proches de l'état d'équilibre

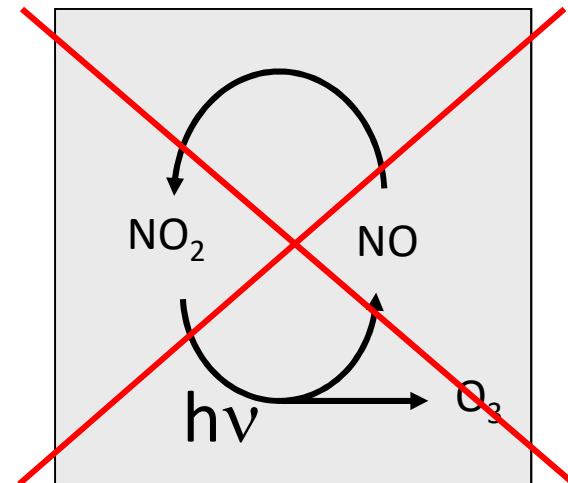
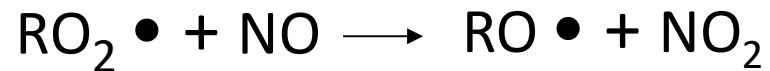
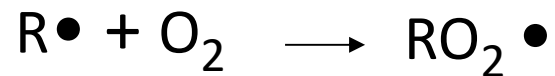
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE

➔ $[O_3]$ n'est pas seulement gouvernée par les réactions (A) et (B)

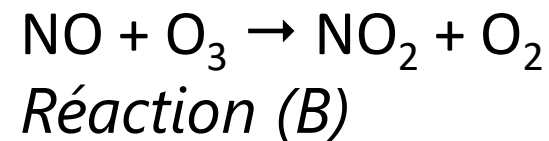


Existence d'un mécanisme chimique supplémentaire qui « déplace » l'équilibre vers la production d'ozone ?

L'oxydation des COV

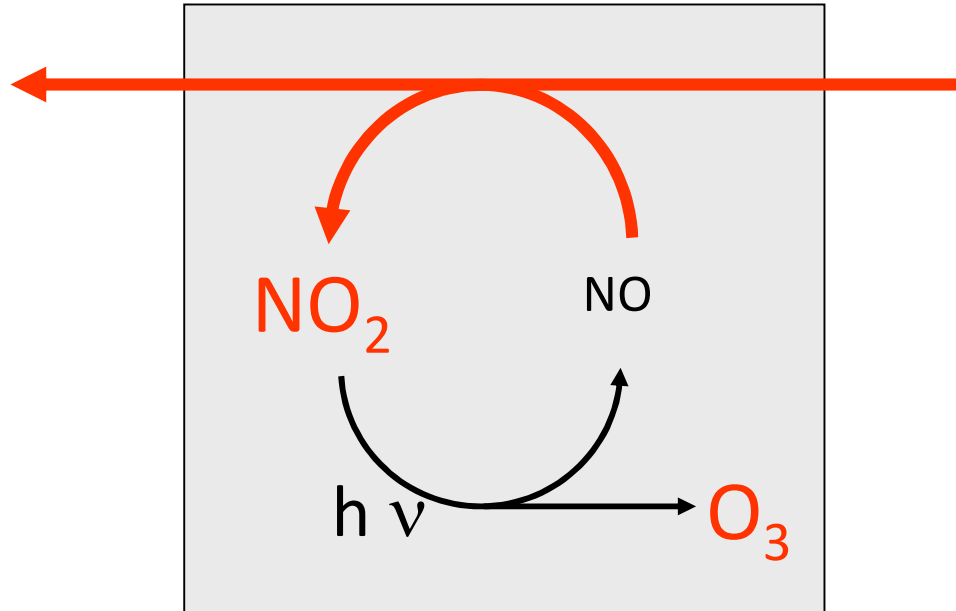


Accumulation d'O₃ car il n'y a plus de réaction entre NO et l'ozone :



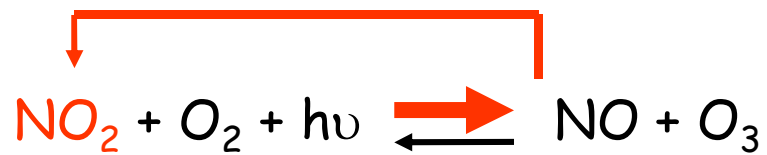
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE

COV oxydés



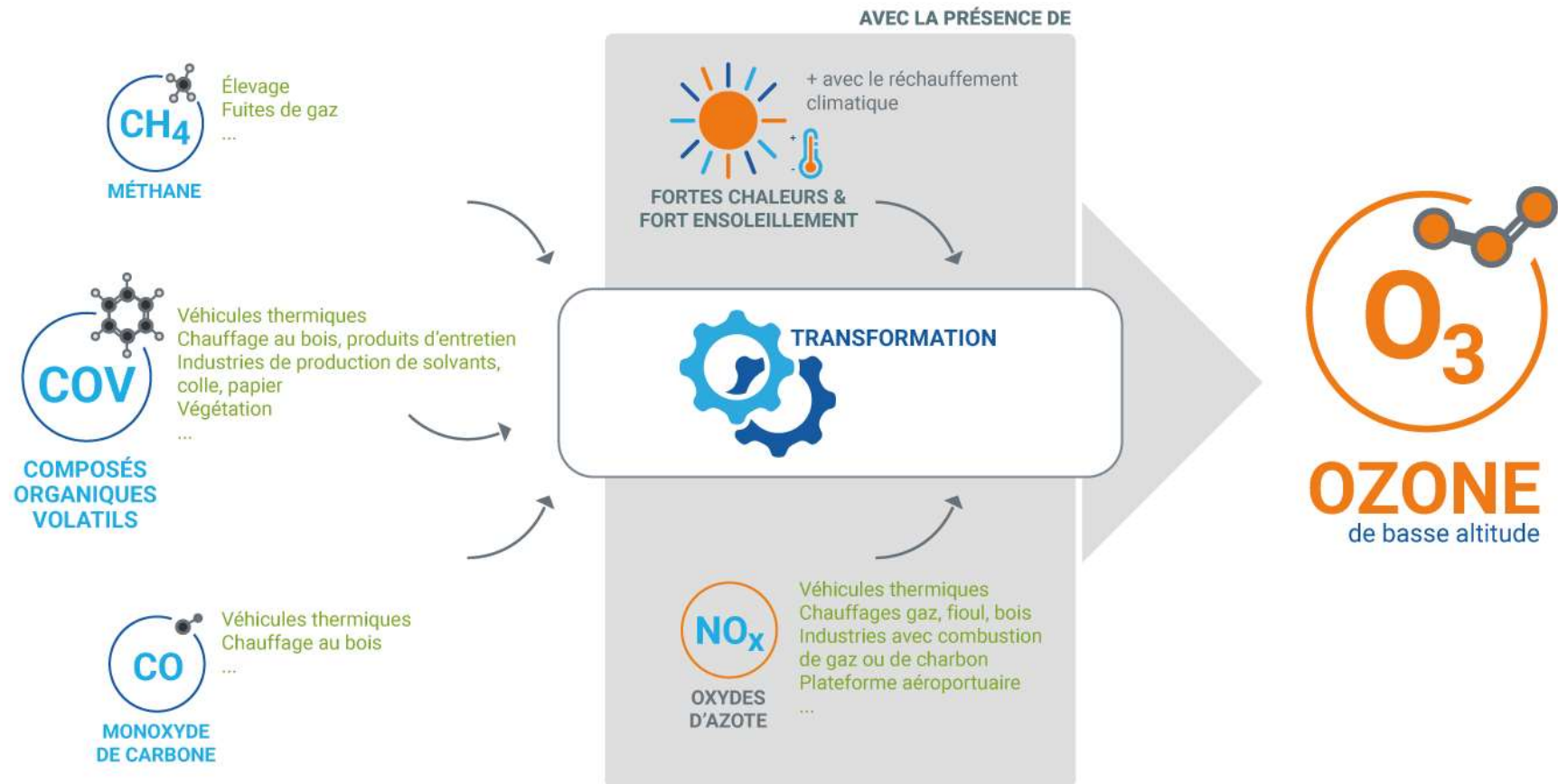
COV réduits
(hydrocarbures)

Déplacement de l'équilibre

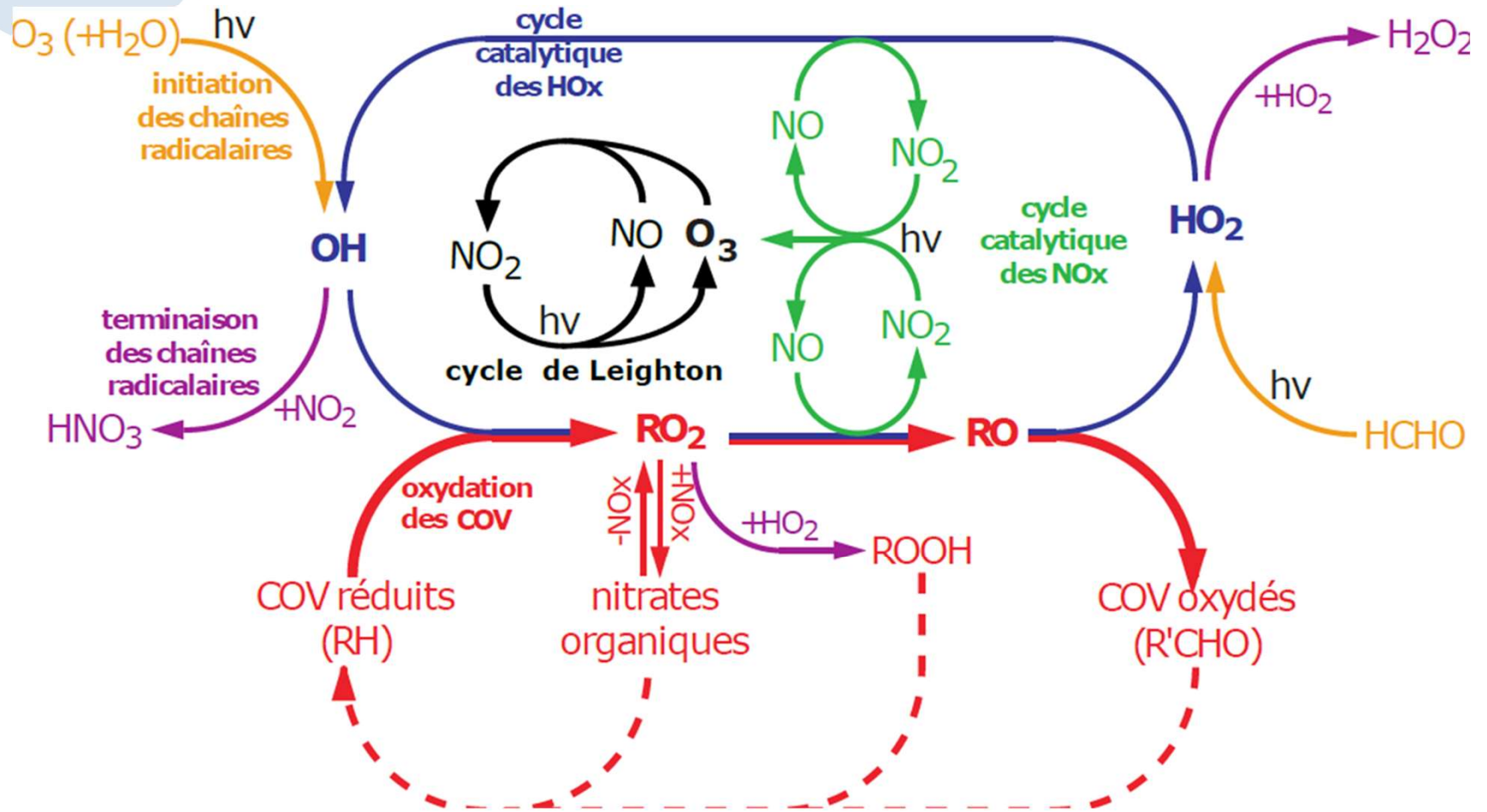


Production nette d'O₃ !

L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



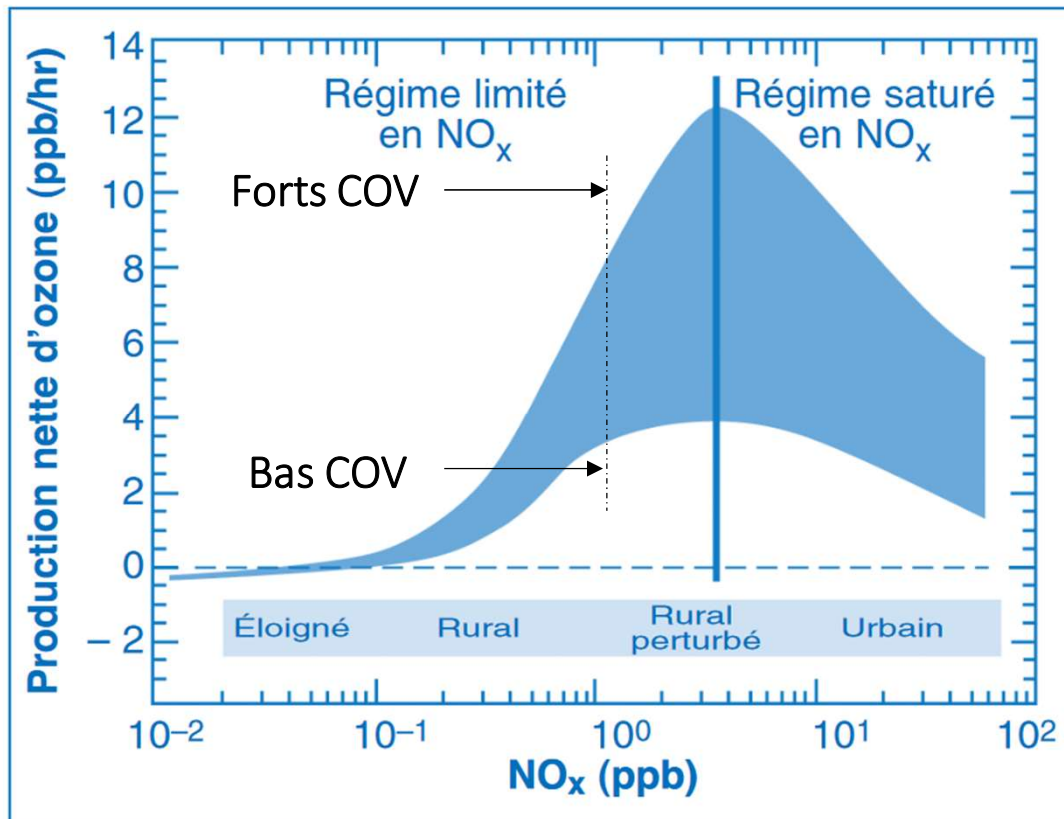
EN RÉSUMÉ :



D'après Camredon & Dumont 2007

L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE

Les différents régimes chimiques:
L'influence des concentrations en NO_x

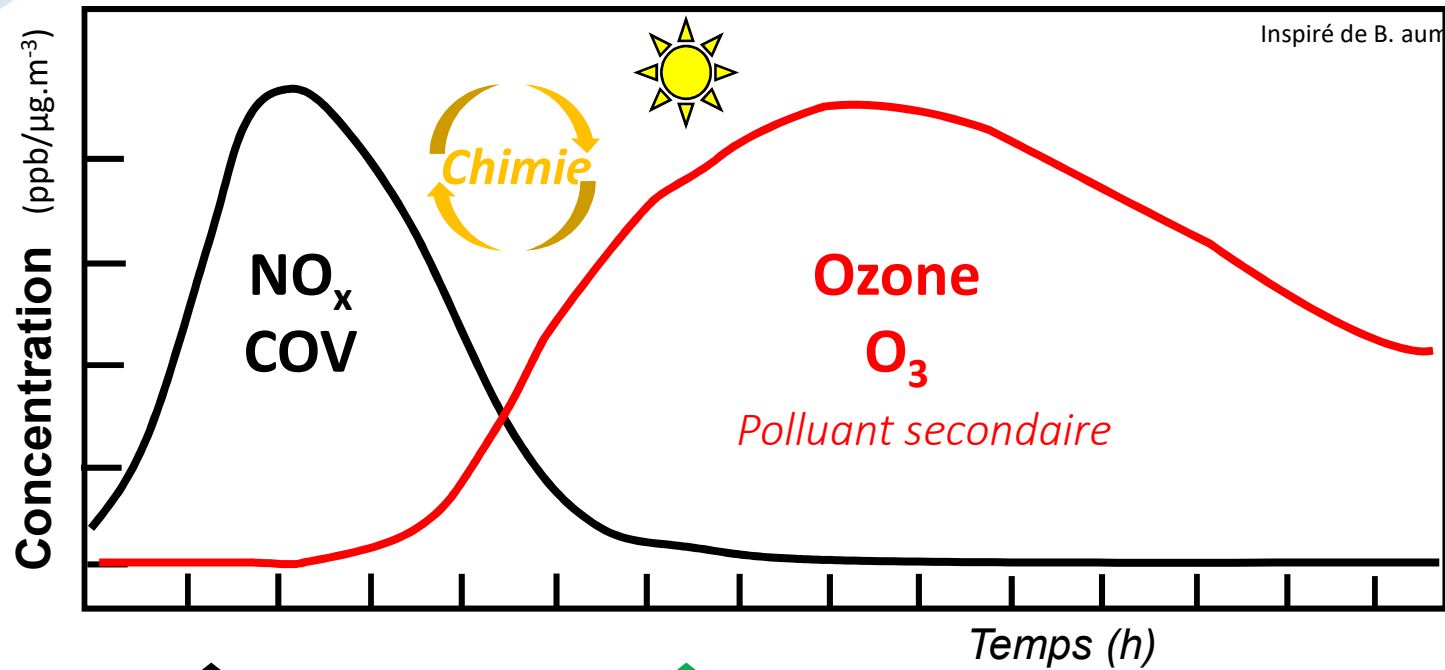


Production d'ozone non linéaire par rapport aux émissions (NO_x & COV)

- Réduire les émissions de NO_x peut conduire à une augmentation de l'O₃
- Le rapport COV/NO_x doit être considéré

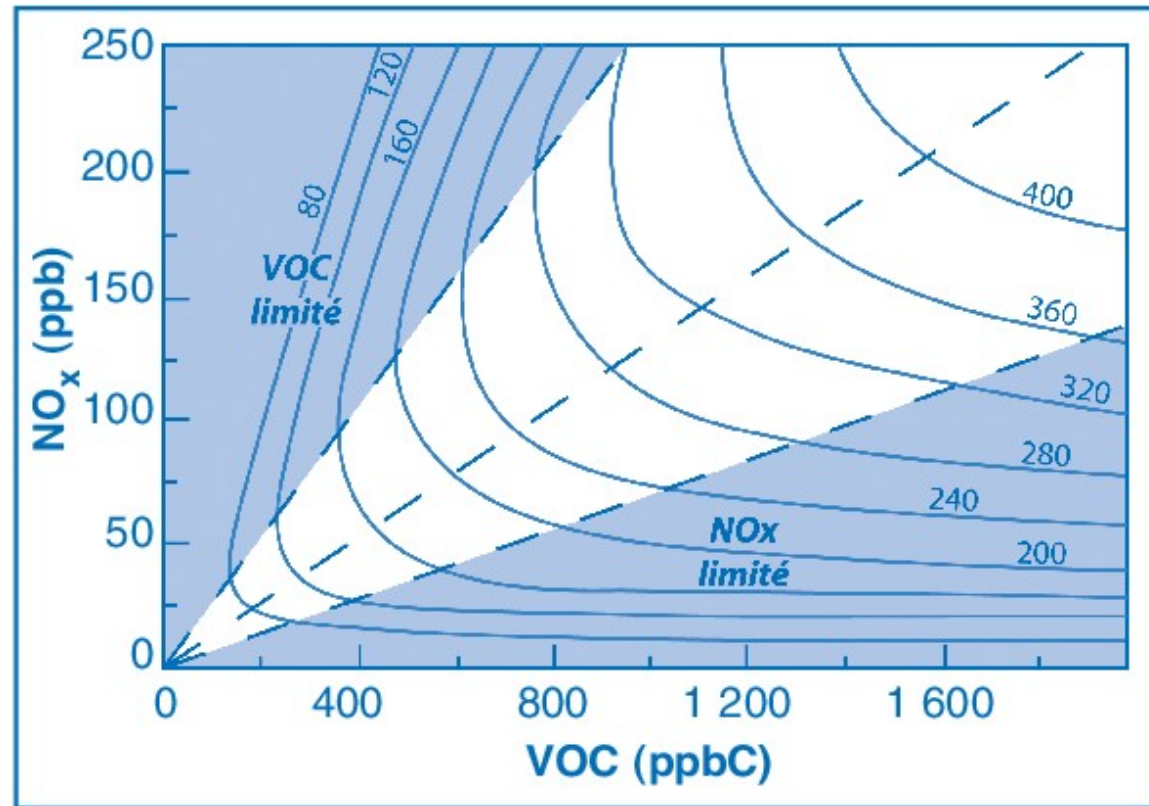
adapté de Aumont & Camredon, 2007

L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



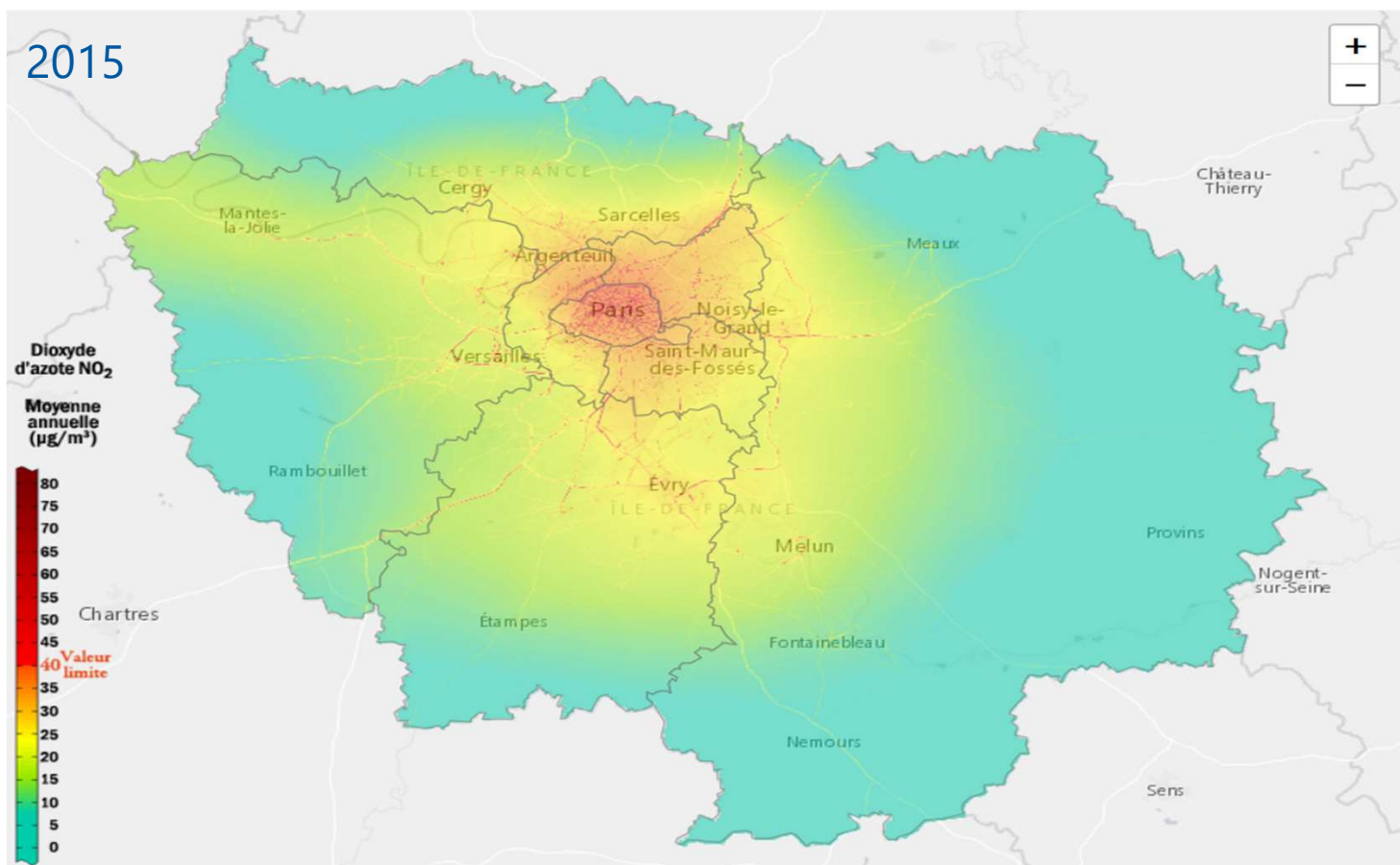
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE

Les différents régimes chimiques:



CONSÉQUENCE DES RÉGIMES CHIMIQUES

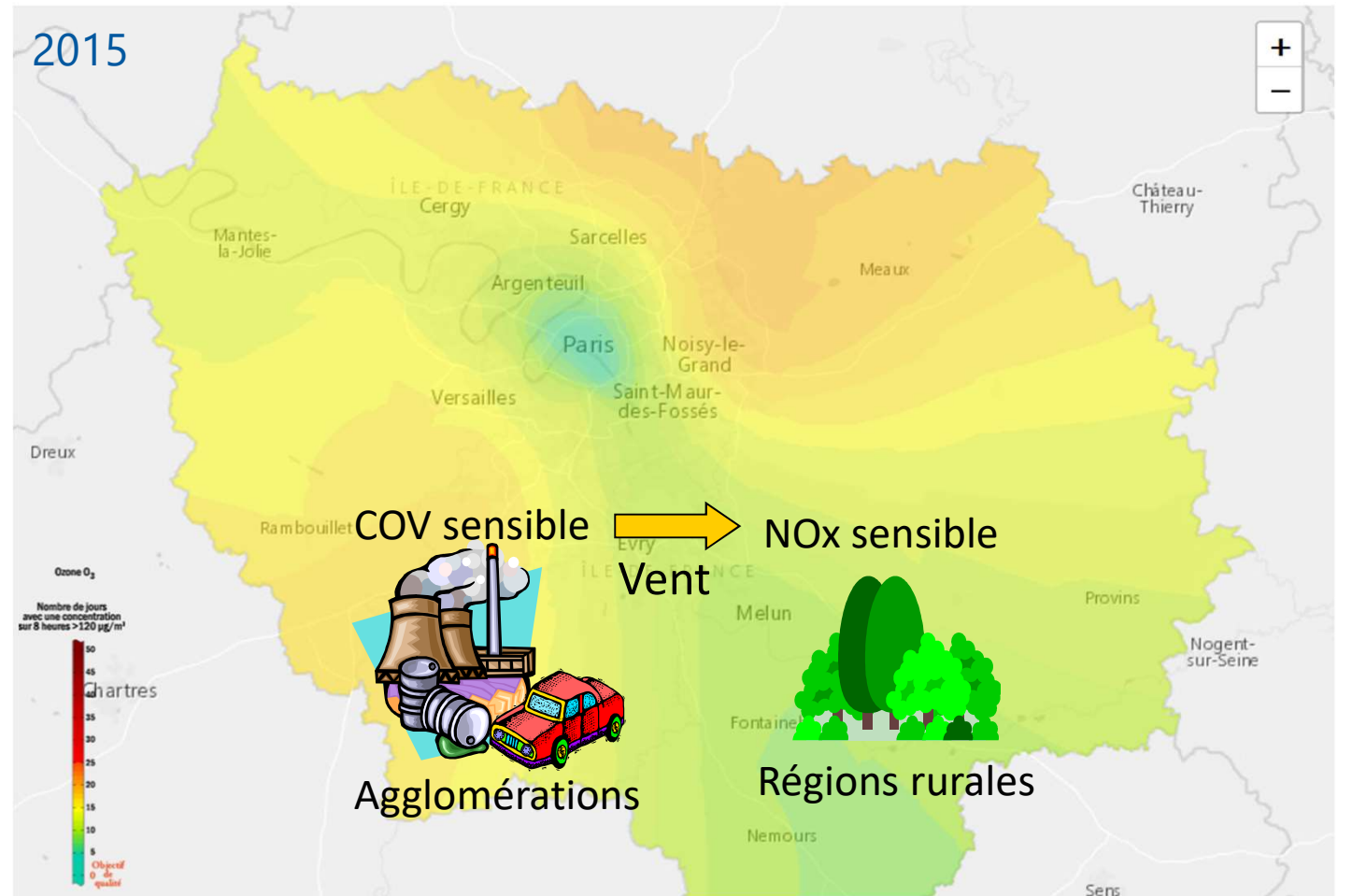
Moyennes
annuelles
de NO₂



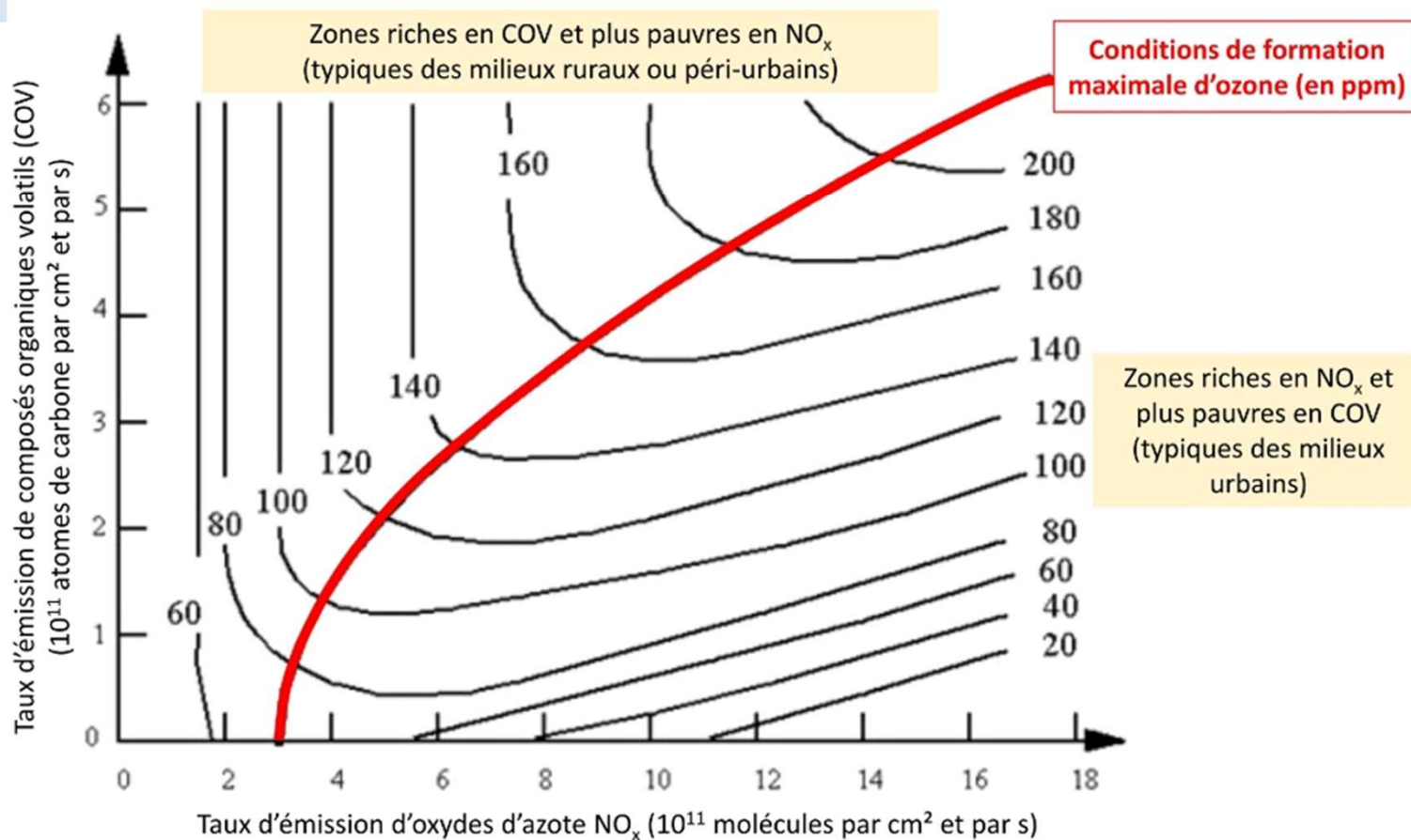
CONSÉQUENCE DES RÉGIMES CHIMIQUES

Ozone :
nb de jours
> $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
(max 8h/jour)

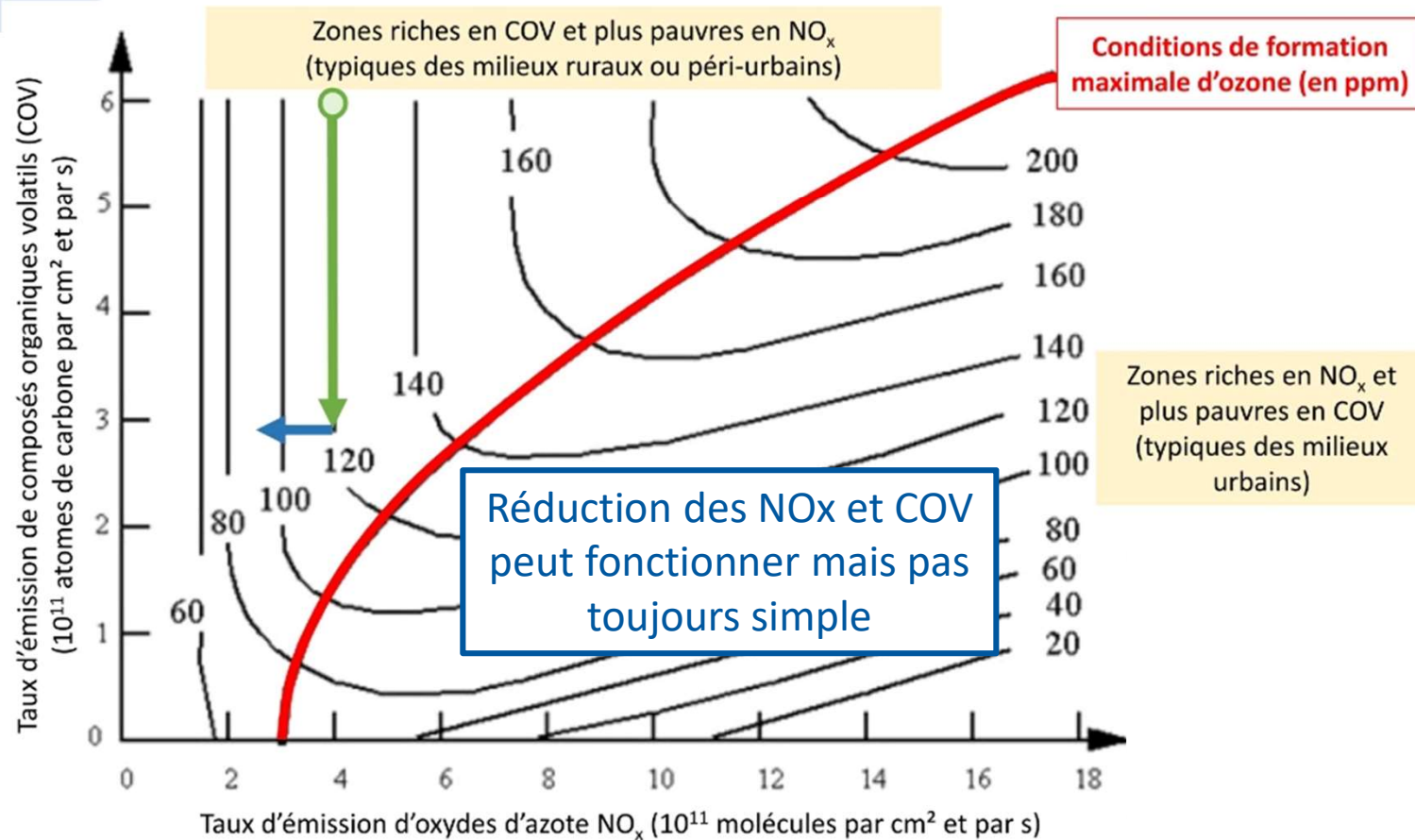
**Maxima d'ozone à
plusieurs dizaines
de km sous le vent
des grandes
agglomérations
urbaines**



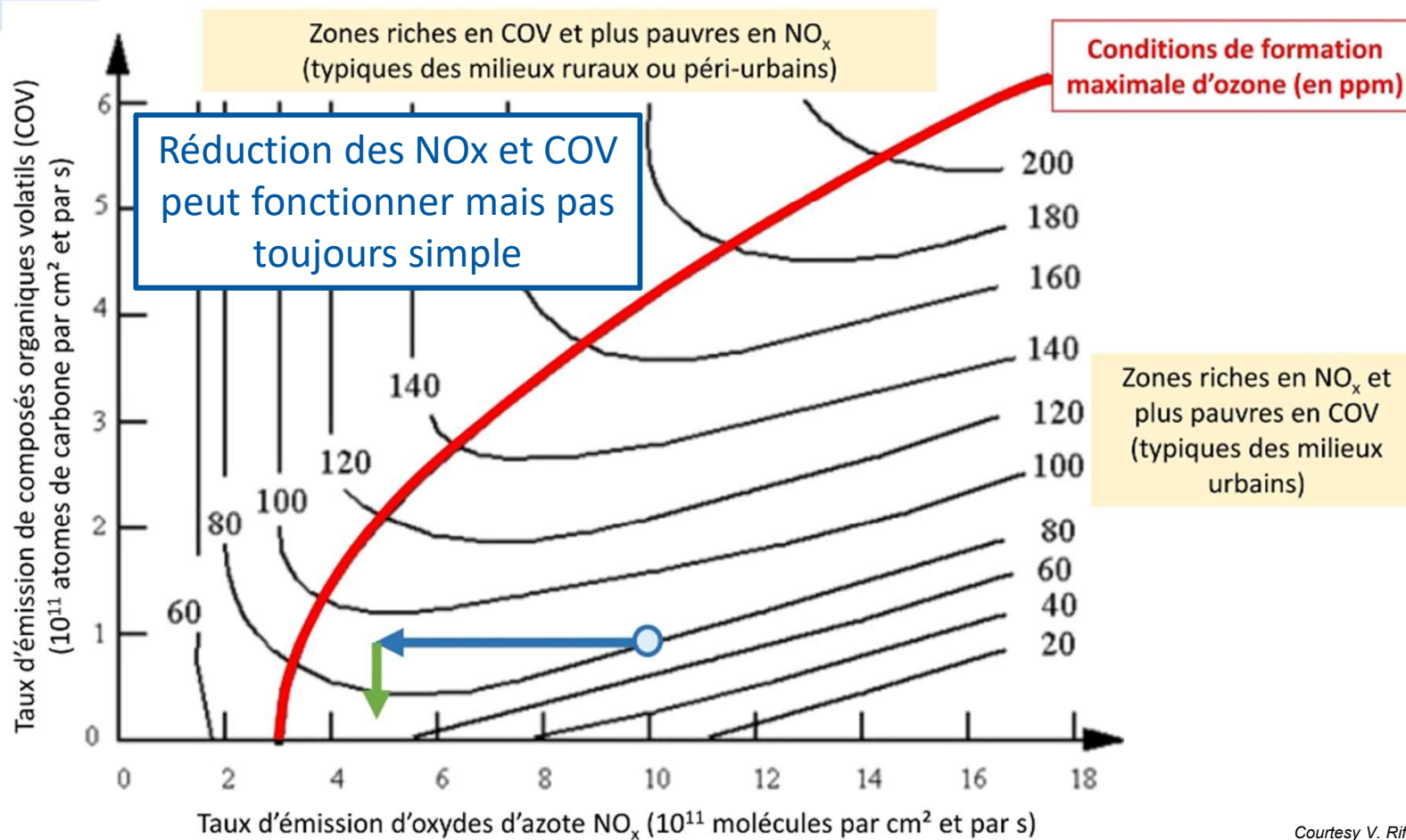
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



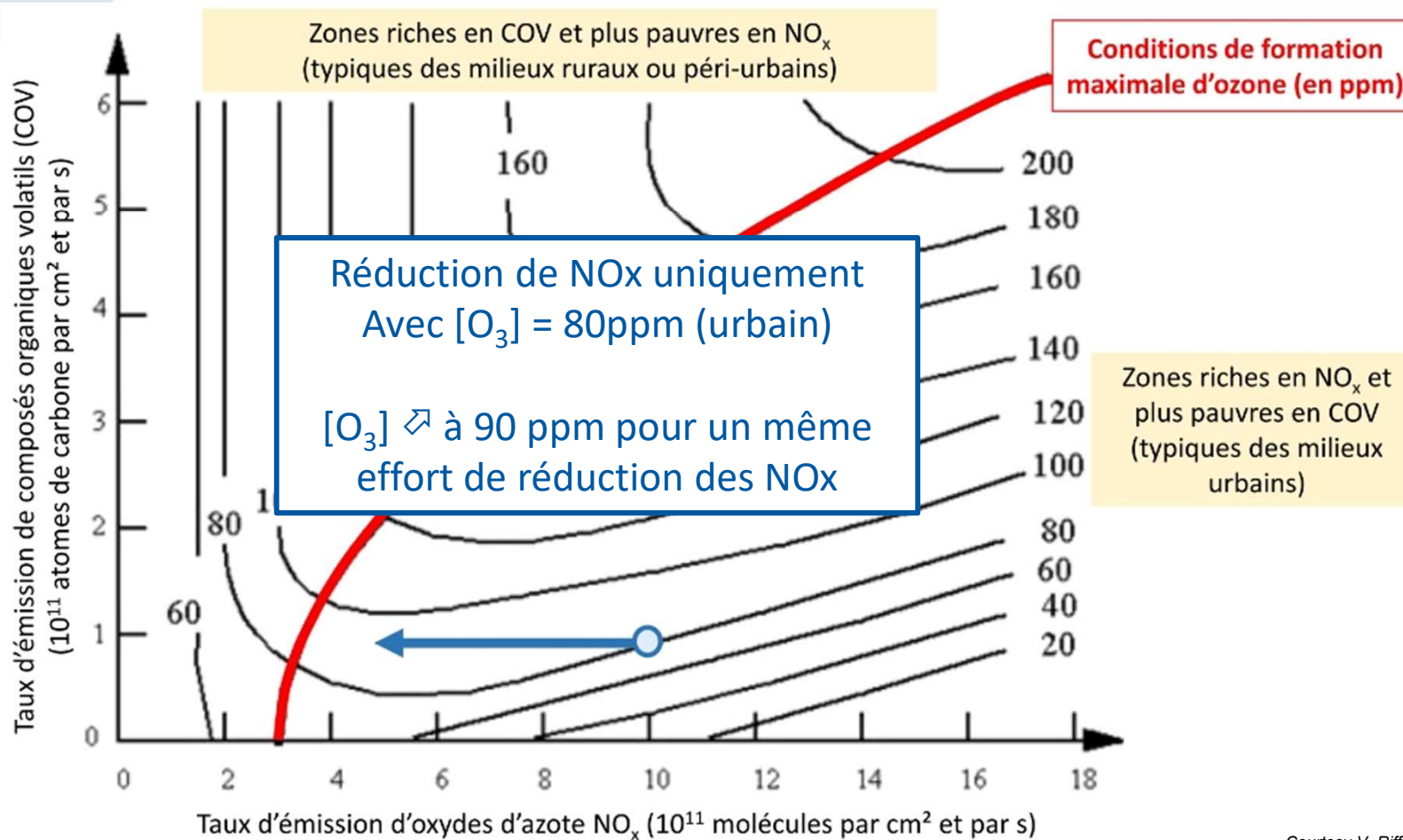
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



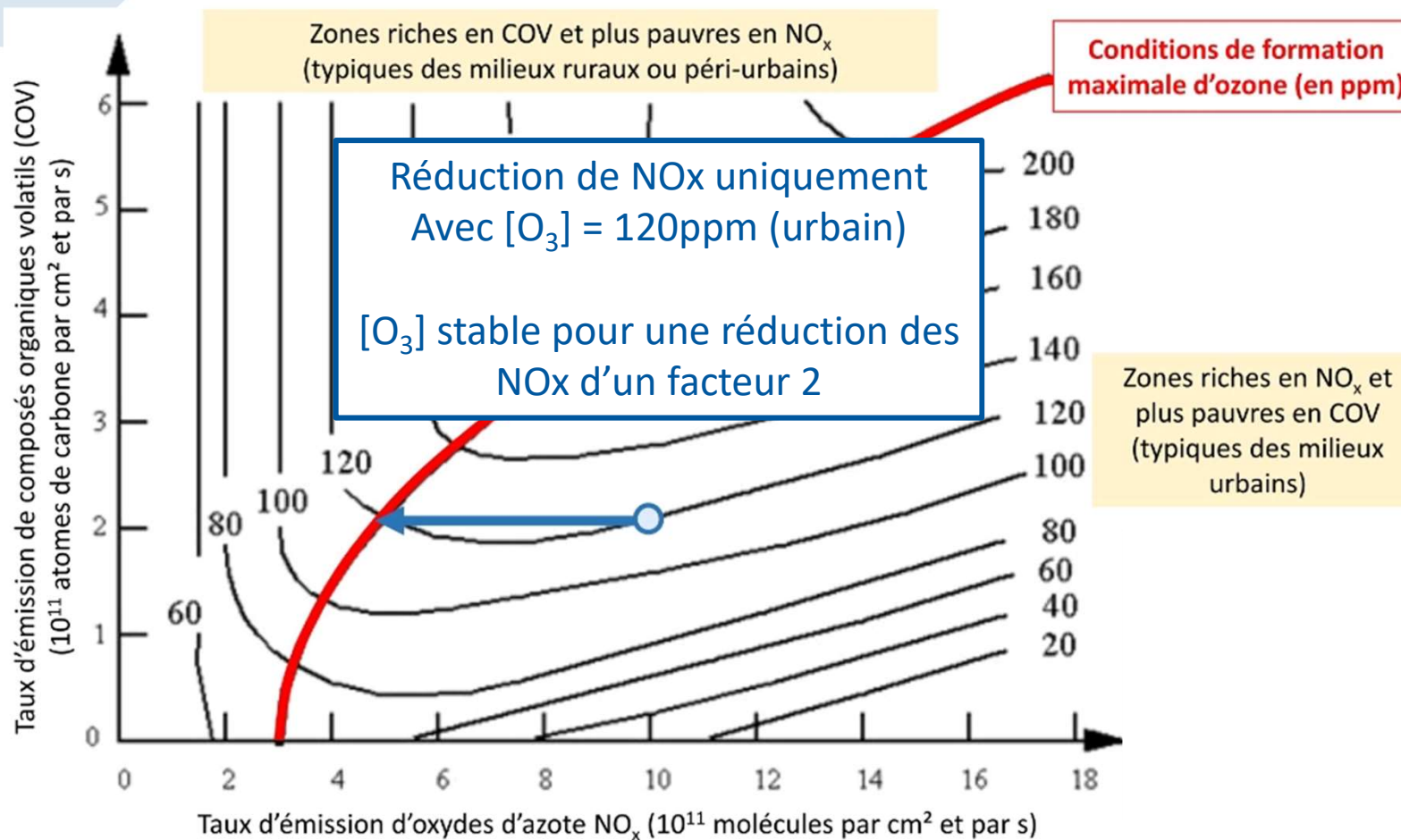
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



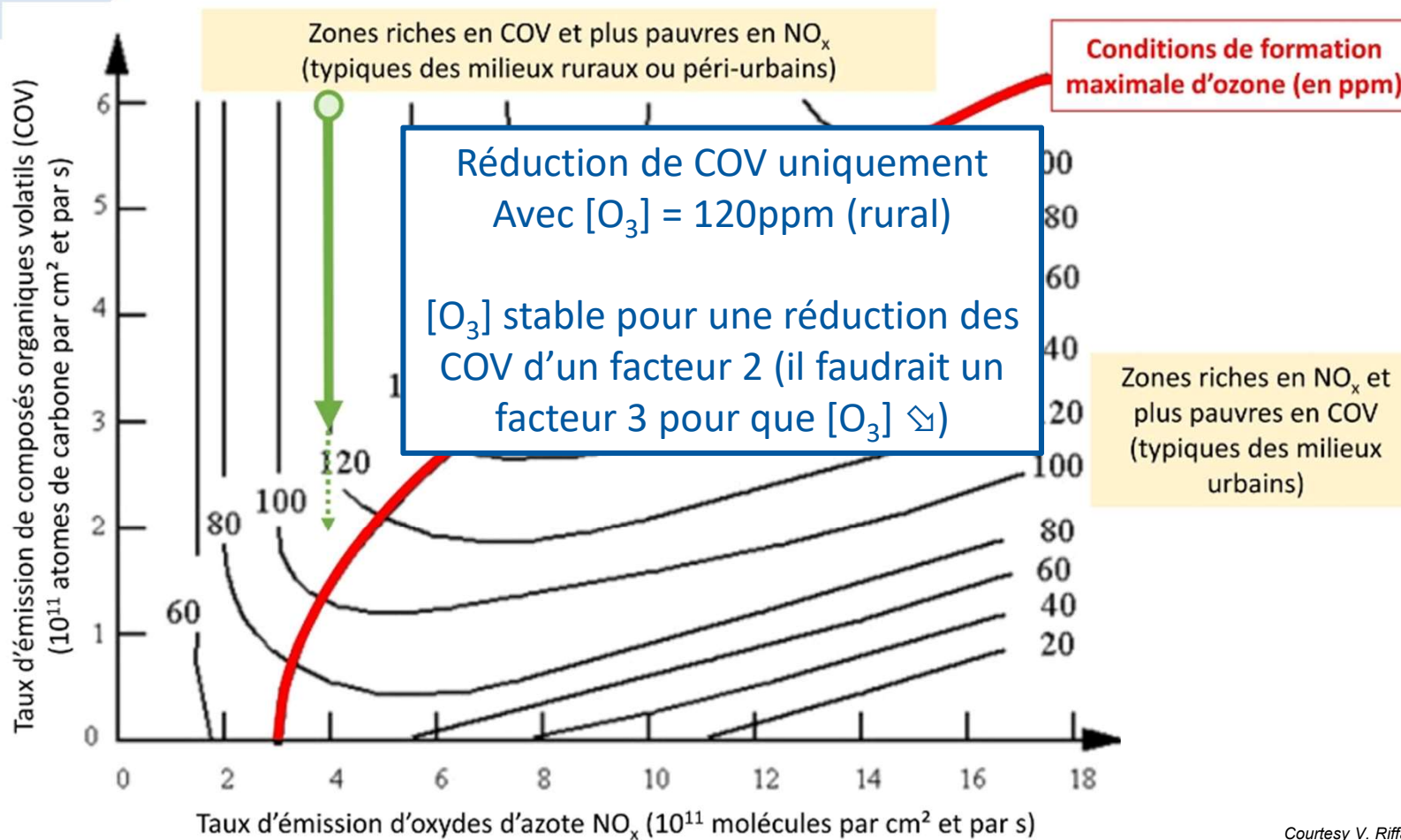
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



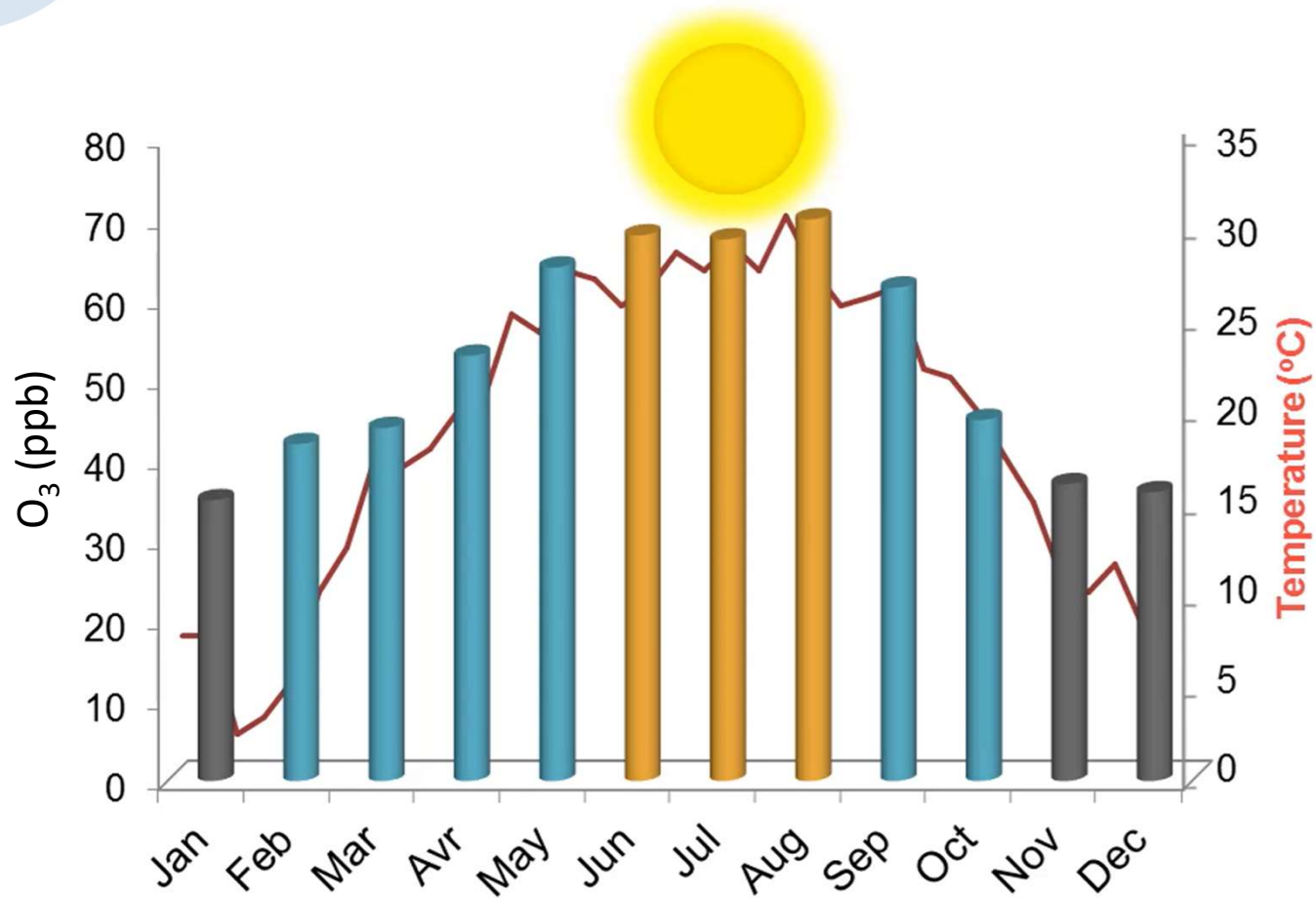
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



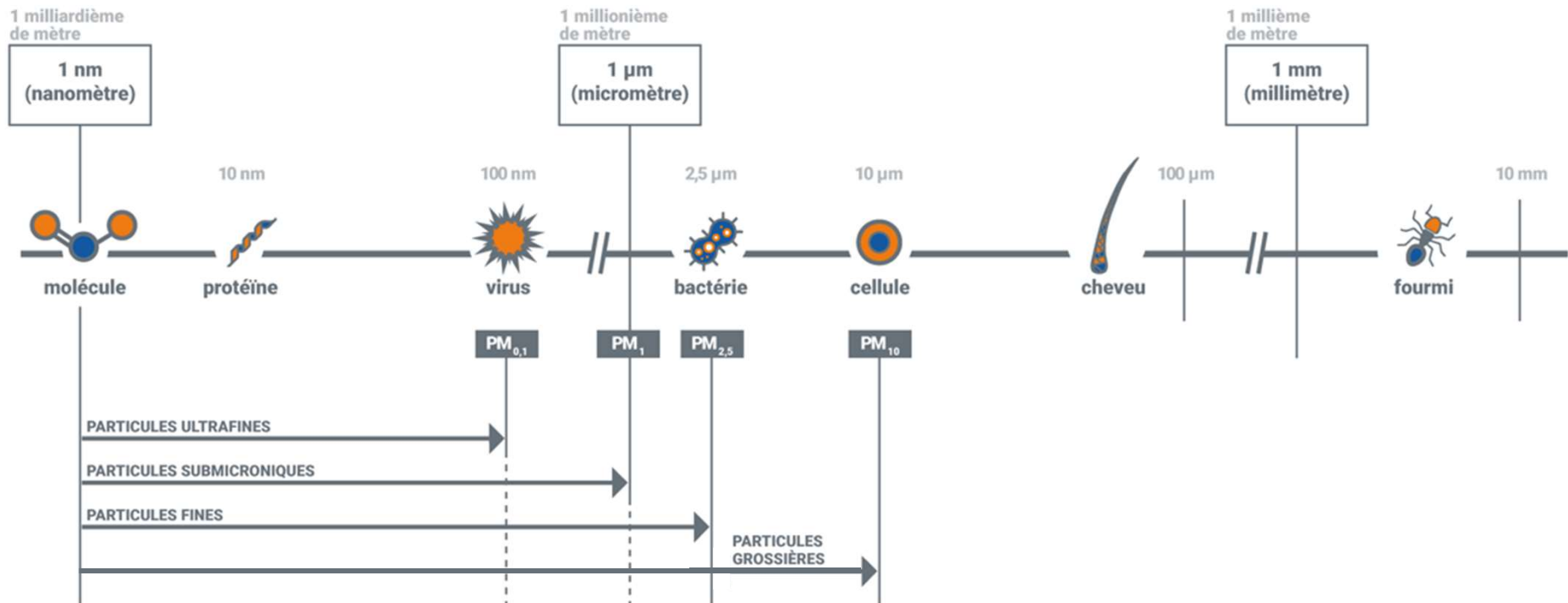
L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE



L'OZONE TROPOSPHÉRIQUE

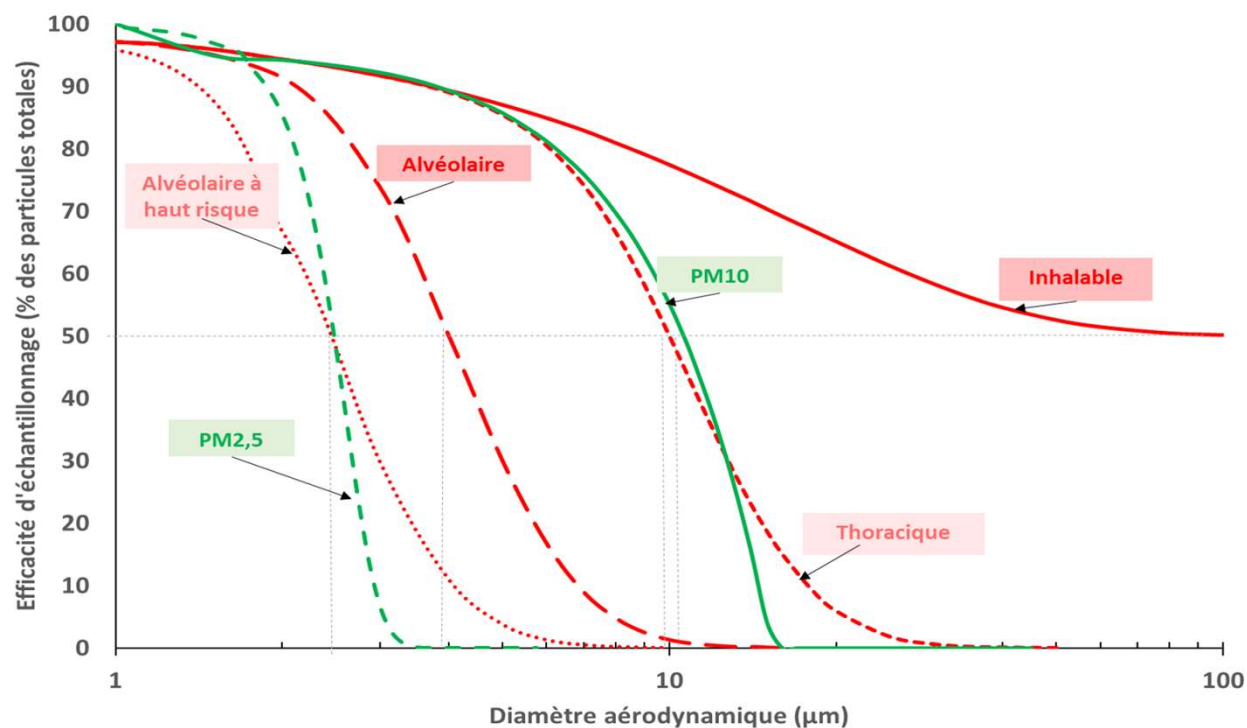


LA PHASE PARTICULAIRE



PM10 ? PM2,5 ?

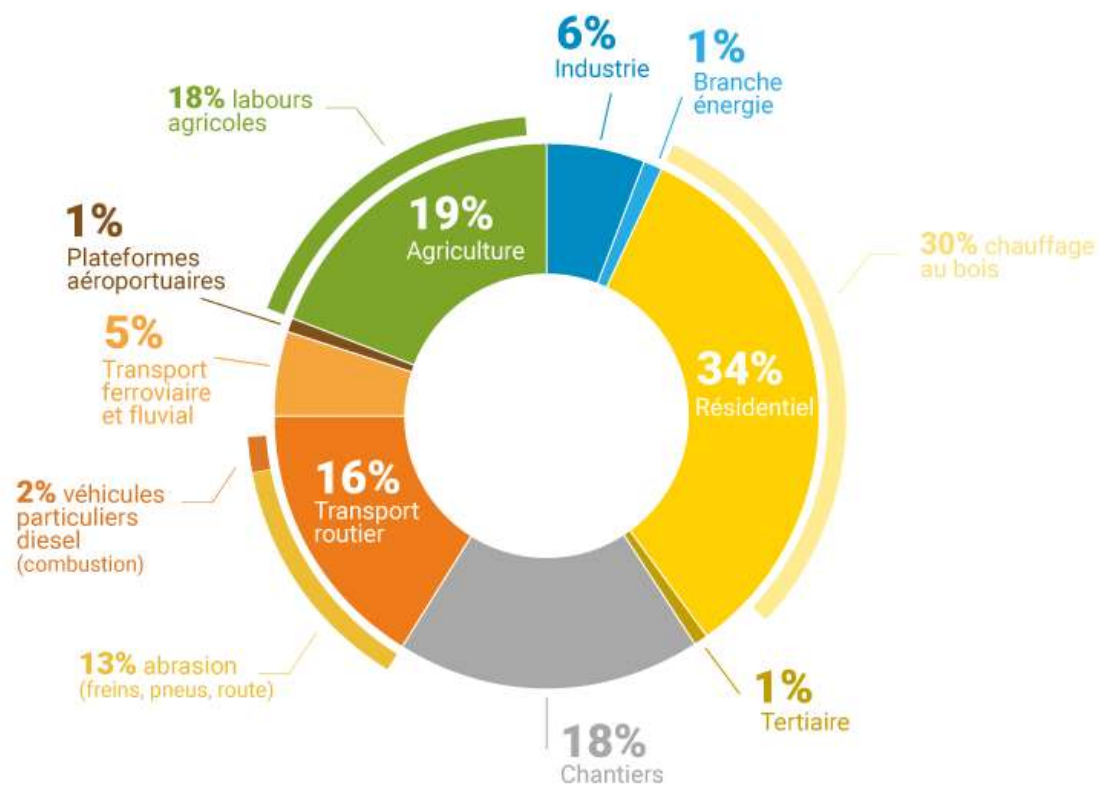
➔ Convention PM10 : signifie que les particules de **taille inférieures à 10µm** sont prélevées avec une **efficacité supérieure à 50%** (diamètre de coupure)



<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2018SA0076Ra.pdf>

À RETENIR...

LES ÉMISSIONS EN ÎLE-DE-FRANCE DE PARTICULES PM₁₀ EN 2021



-37%
BAISSE DES ÉMISSIONS
ENTRE 2005 ET 2021



-61%  TRANSPORT ROUTIER

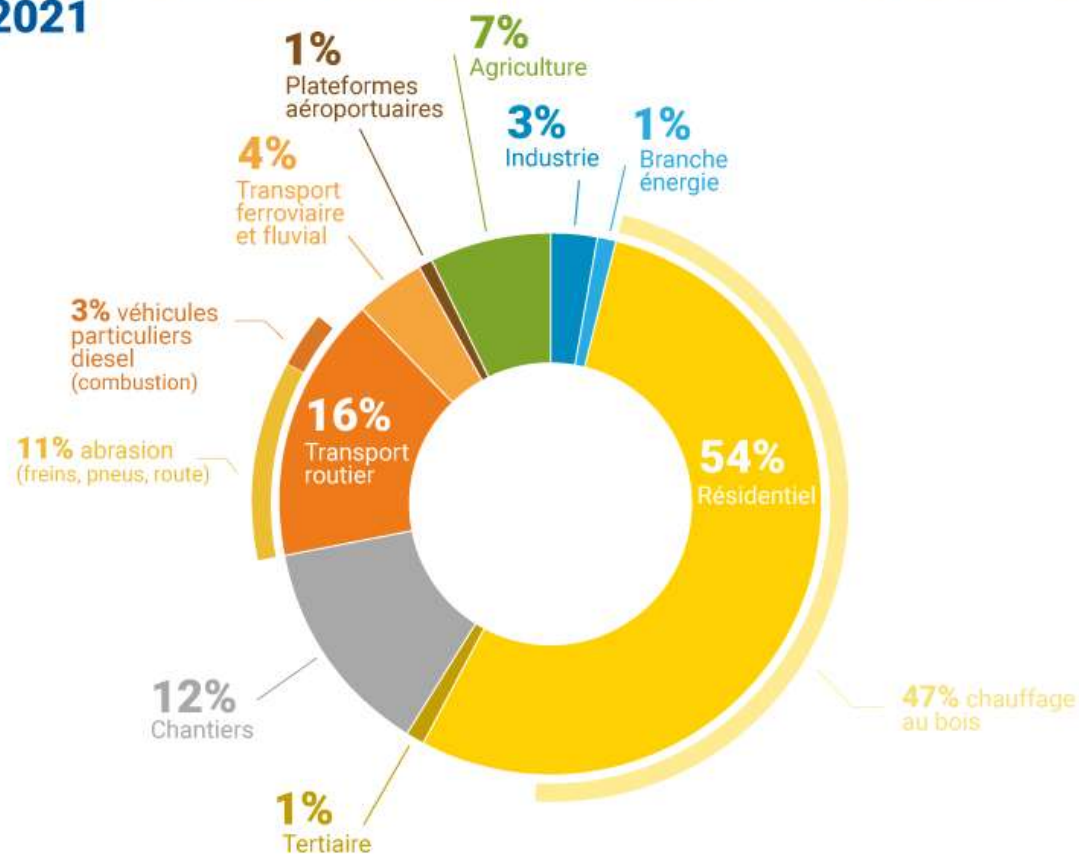
-32%  SECTEUR RÉSIDENTIEL

-4%  AGRICULTURE



À RETENIR...

LES ÉMISSIONS EN ÎLE-DE-FRANCE DE PARTICULES PM_{2.5} EN 2021

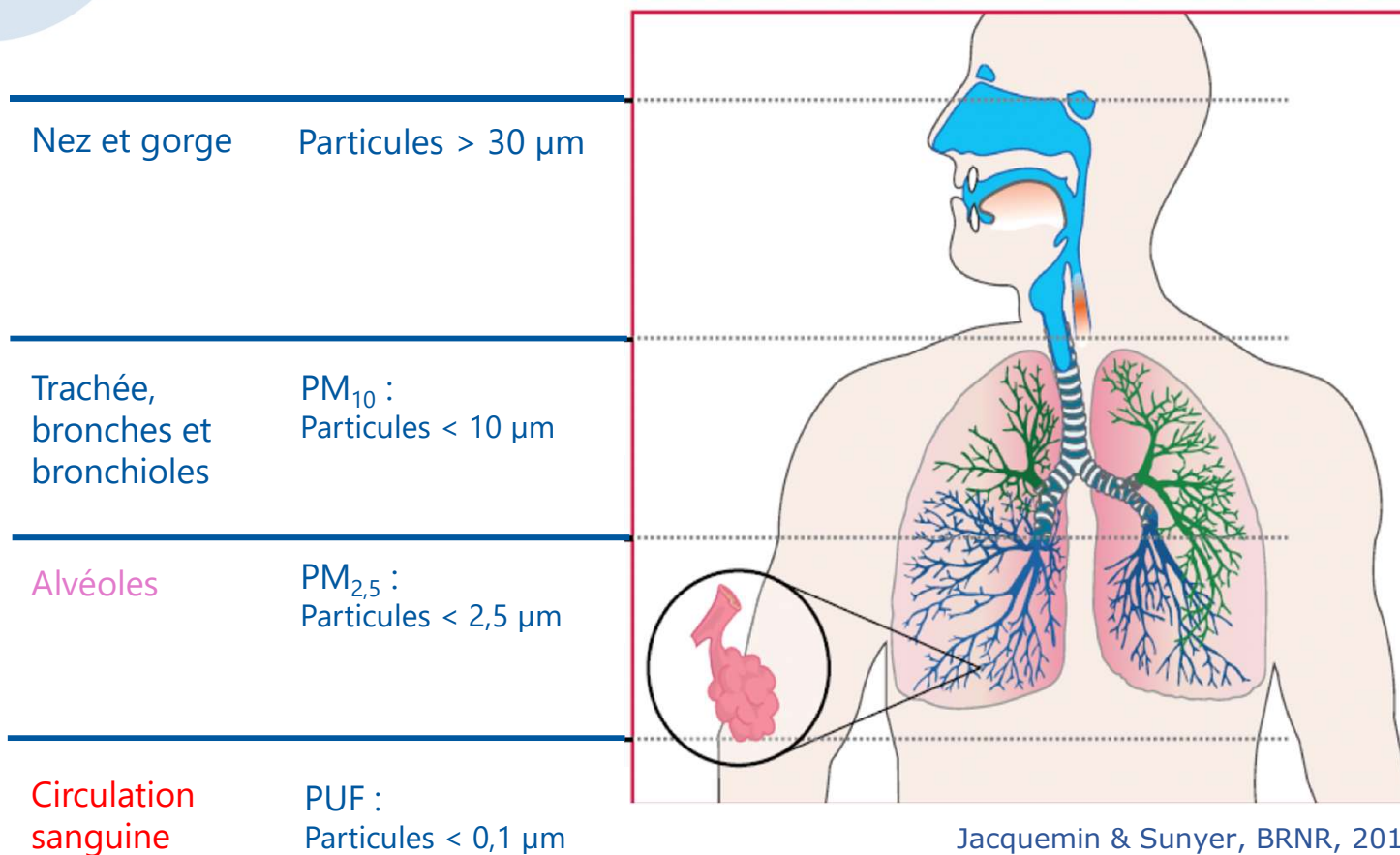


-47%
BAISSE DES ÉMISSIONS
ENTRE 2005 ET 2021

Chauffage urbain : inclus
dans la branche énergie, 1%
des émission totale de PM_{2,5}

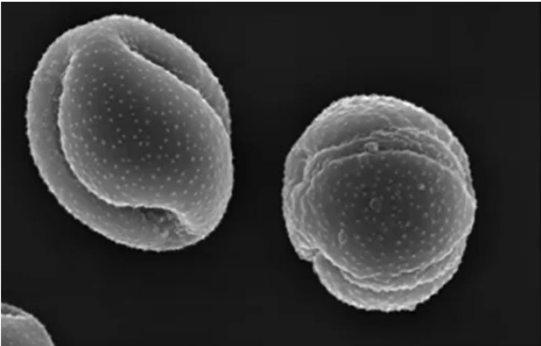


PÉNÉTRATION DES PARTICULES DANS L'ORGANISME

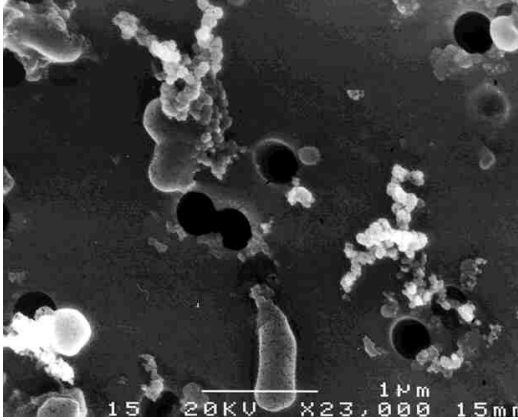


LES DIFFÉRENTS TYPES DE PARTICULES

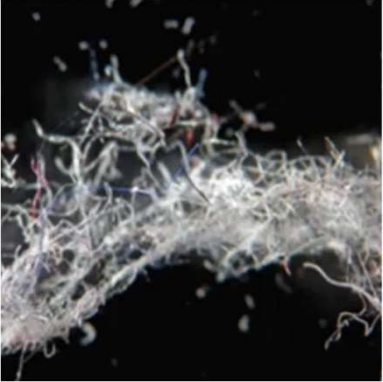
Pollens



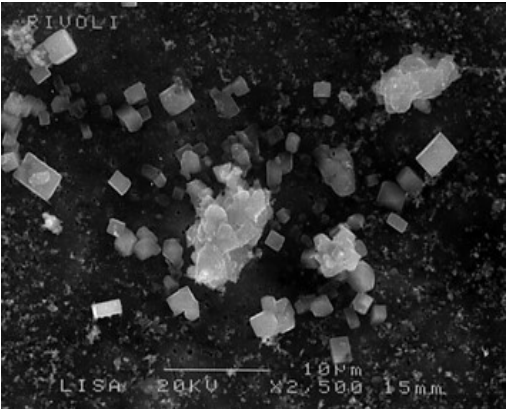
Suies



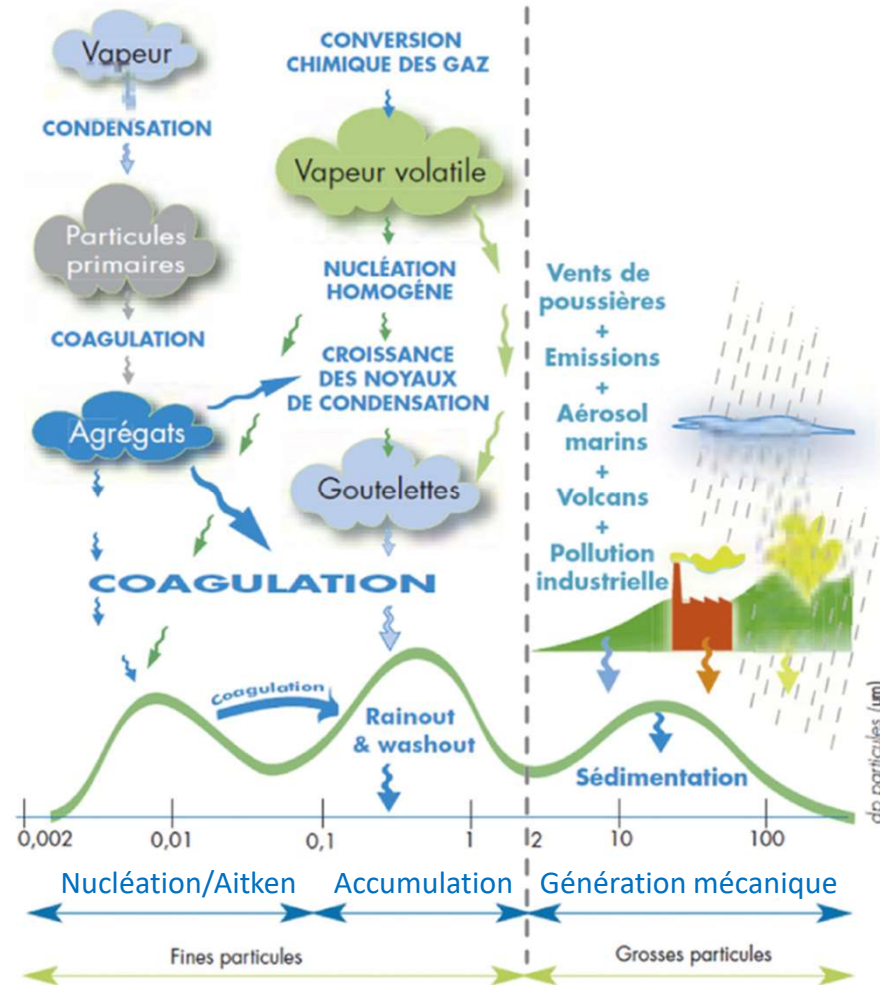
Fibres



Sel marin



LES AÉROSOLS ATMOSPHÉRIQUES



Source : A. Renoud et D. Boulaud.

LES SOURCES D'AEROSOLS

Emissions primaires

Emissions secondaires

Sources naturelles

Sources anthropiques

Sources naturelles

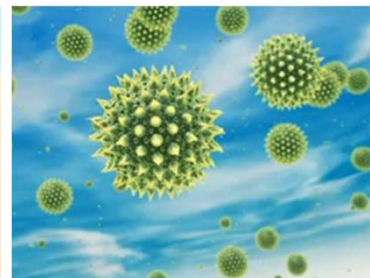
Sources anthropiques

Océans

Déserts

Pollens

Eruption volcanique



LES SOURCES D'AEROSOLS

Emissions primaires

Emissions secondaires

Sources naturelles

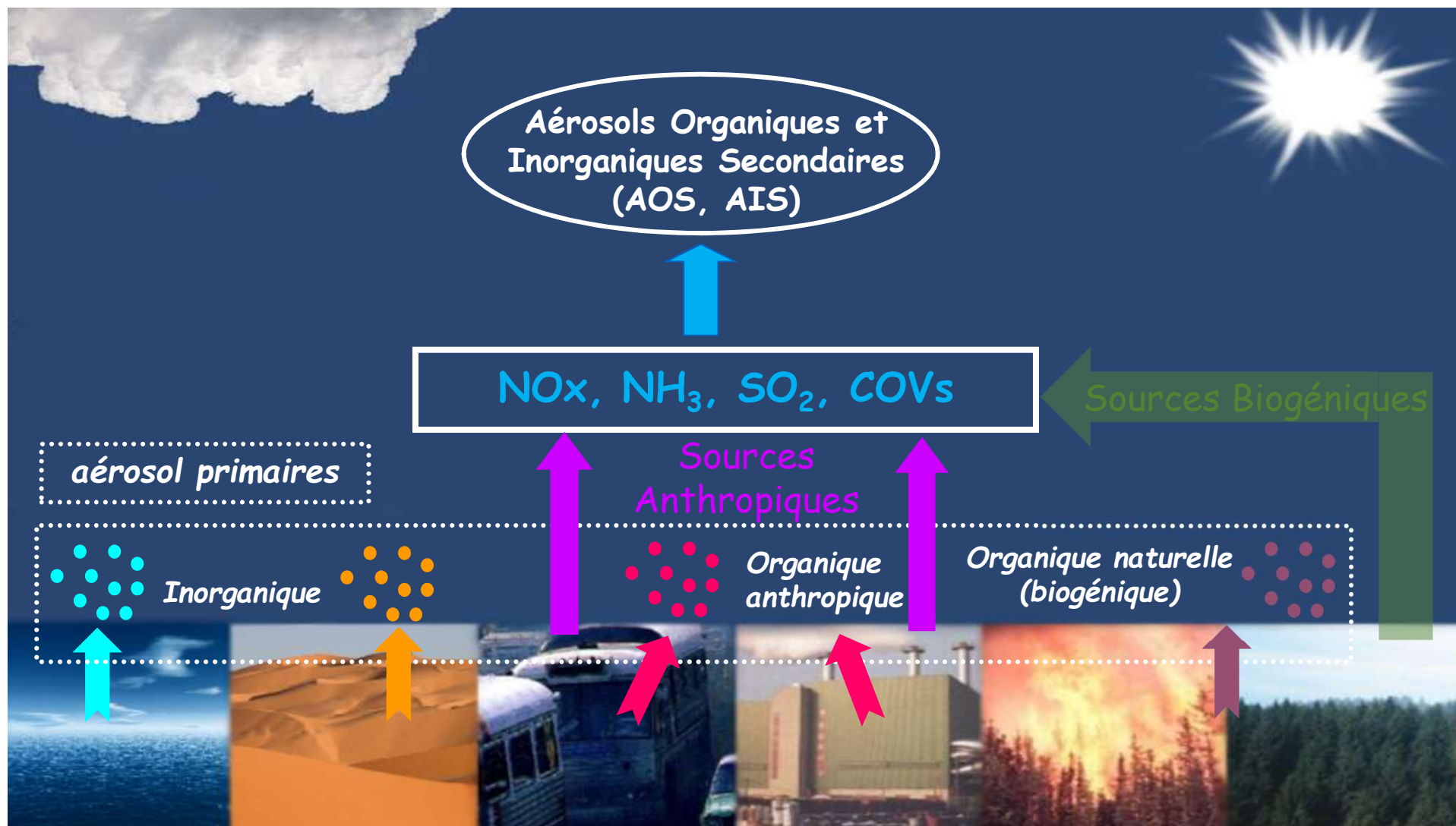
Sources anthropiques

Sources naturelles

Sources anthropiques

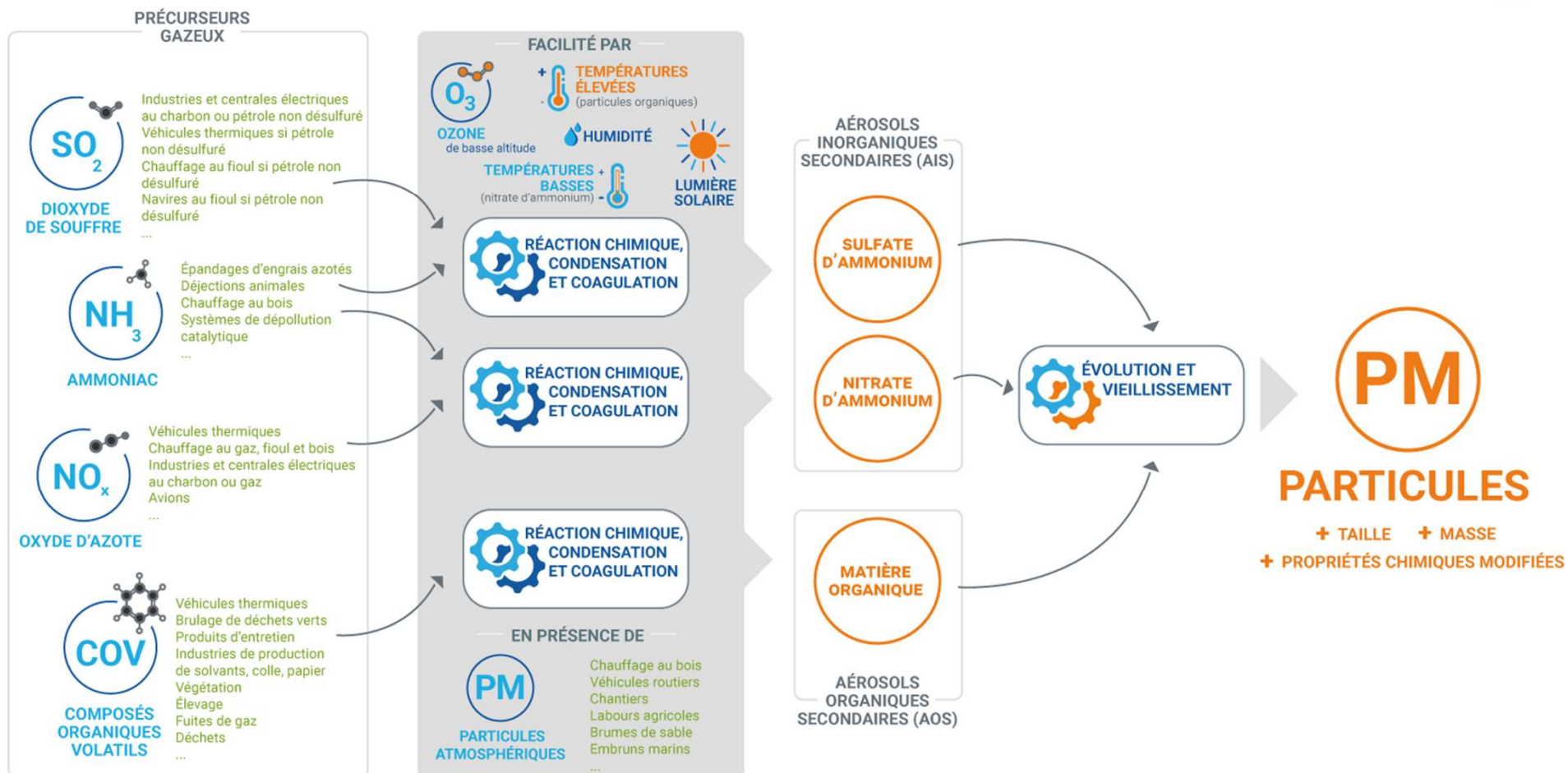
Processus de combustion





LA FORMATION DES PARTICULES SECONDAIRES

en Île-de-France



LES SOURCES D'AEROSOLS

Emissions primaires

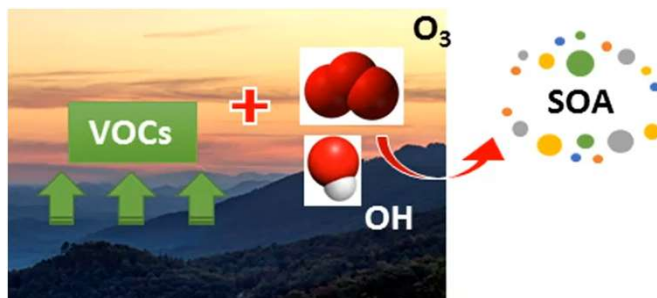
Emissions secondaires

Sources naturelles

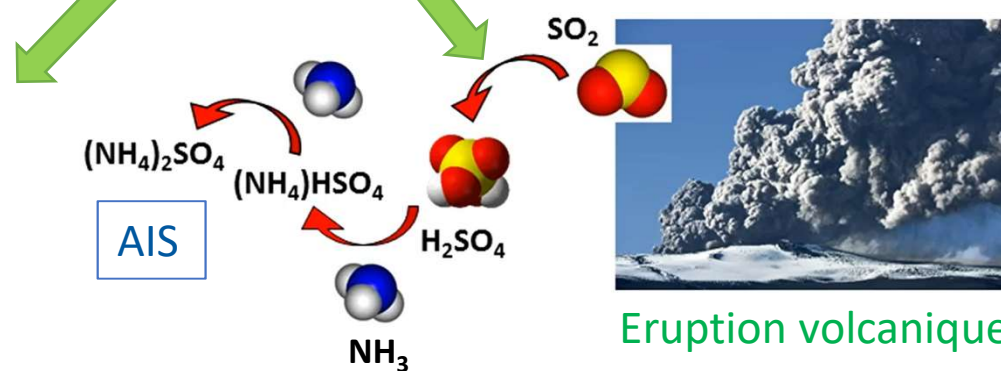
Sources anthropiques

Sources naturelles

Sources anthropiques



Arbres, plantes



Eruption volcanique

LES SOURCES D'AEROSOLS

Emissions primaires

Emissions secondaires

Sources naturelles

Sources anthropiques

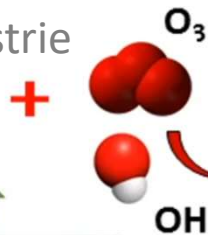
Sources naturelles

Sources anthropiques

Solvants, industrie



VOCs



Photochemical smog

SOA

Combustion, Industrie, agriculture



NO_2



HNO_3



H_2SO_4

NH_3

NH_4NO_3

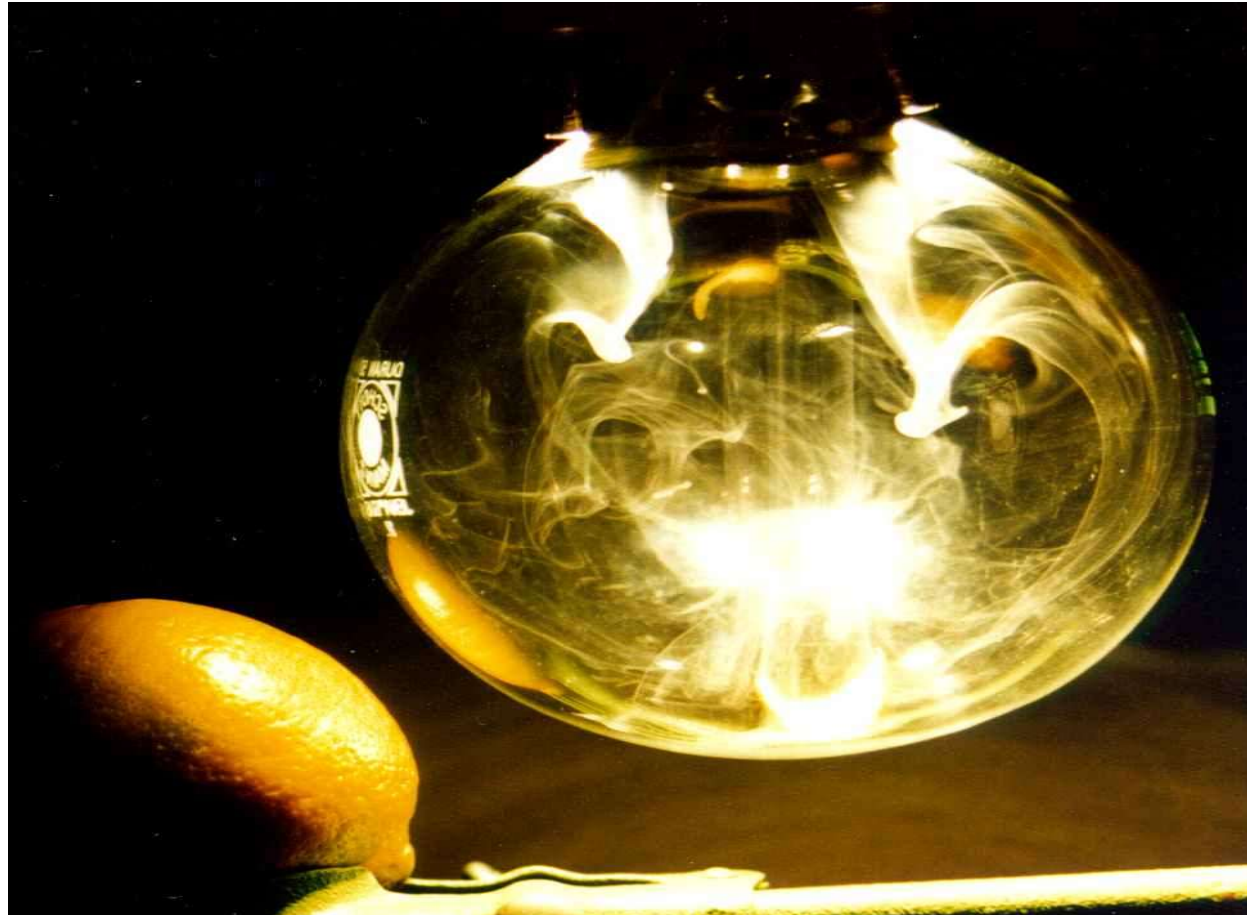
AIS

$(NH_4)_2SO_4$

FORMATION D'AOS PAR RÉACTION DU LIMONÈNE AVEC O₃

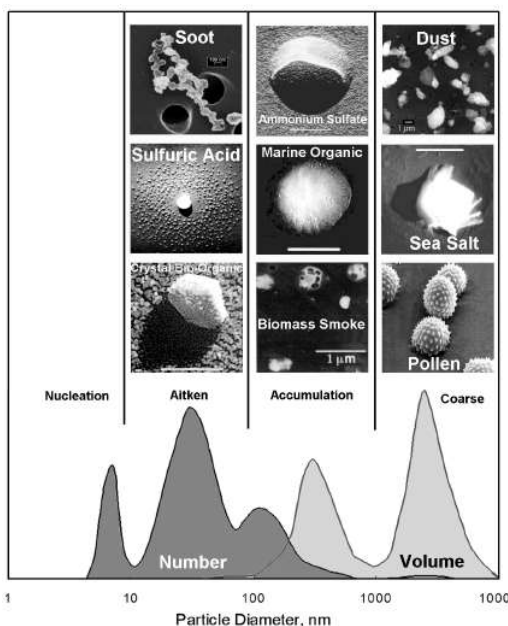


Expérience
de
laboratoire



LA COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES

La composition chimique permet de remonter aux sources de PM



ESPECES	ORIGINE
FRACTION FINE (inférieure à 2,5 μm)	
BC	Emissions primaires (combustion)
MOP	Emissions primaires ou oxydation des COV
Sulfates (SO_4^{2-})	Oxydation du SO_2 anthropique ou oxydation du diméthylsulfure émis par les vagues
Nitrates (NO_3^-)	Oxydation des NO_x , associé au NH_4^+
Ammonium (NH_4^+)	Condensation de l'ammoniac NH_3
FRACTION GROSSIERE (comprise entre 2,5 et 10 μm)	
Poussières minérales	Erosion et remise en suspension
Na^+ , Cl^-	Sels de mer
MOP	Débris biogéniques
Nitrates (NO_3^-)	Réaction hétérogène, associé au Na^+ (en présence de sels de mer) ou Ca^{2+} (en présence de carbonate de calcium lors de transport de poussières minérales)
BC	Débris de pneus ou suie déposée sur des particules remises en suspension

(Image: C. Leck)



5

LES OUTILS DE LA SURVEILLANCE DE LA POLLUTION DE L'AIR

Mesure d'un polluant = Prélèvement + Analyse

➔ **Quoi ?**

Air ambiant, Emission (concentration des polluants)
Nature des polluants (gaz ou particules)
Caractéristiques de l'échantillon

➔ **Où ? Quand ?**

Représentativité spatiale et temporelle de l'échantillon
Exemple : Position de la station de mesure (air ambiant)
Position de la tête de prélèvement dans la cheminée
Mesure en continu ou ponctuellement

➔ **Comment ?**

Prélèvement manuel ? Mesure automatique ?
Coût

UN SYSTÈME COMPLET DE SURVEILLANCE

Stations de référence

Analyseurs + Tubes de diffusion +
Campagnes de mesure

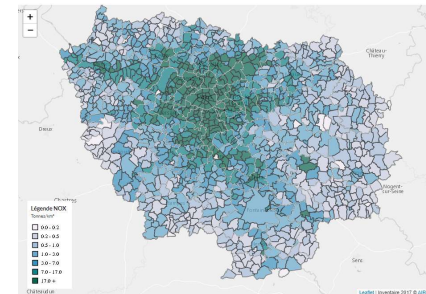


Inventaire d'émissions

Ex : Données trafic en temps réel

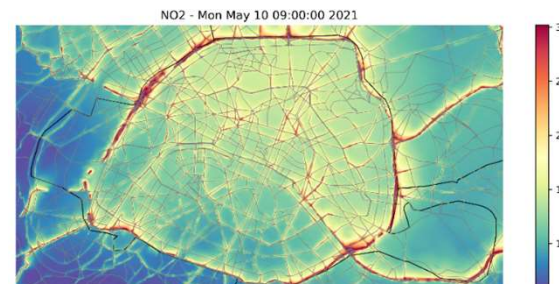
Informations météo

Modèles large échelle + données satellites
(météo, topographie, occupation des sols)

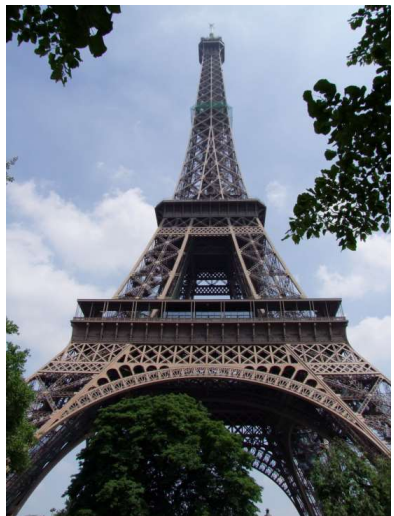


Outils de modélisation

Plate-forme de prévision
Trafic + fond : haute résolution (10m à Paris)
Mise à jour toutes les heures - 5 polluants ([voir ici](#))



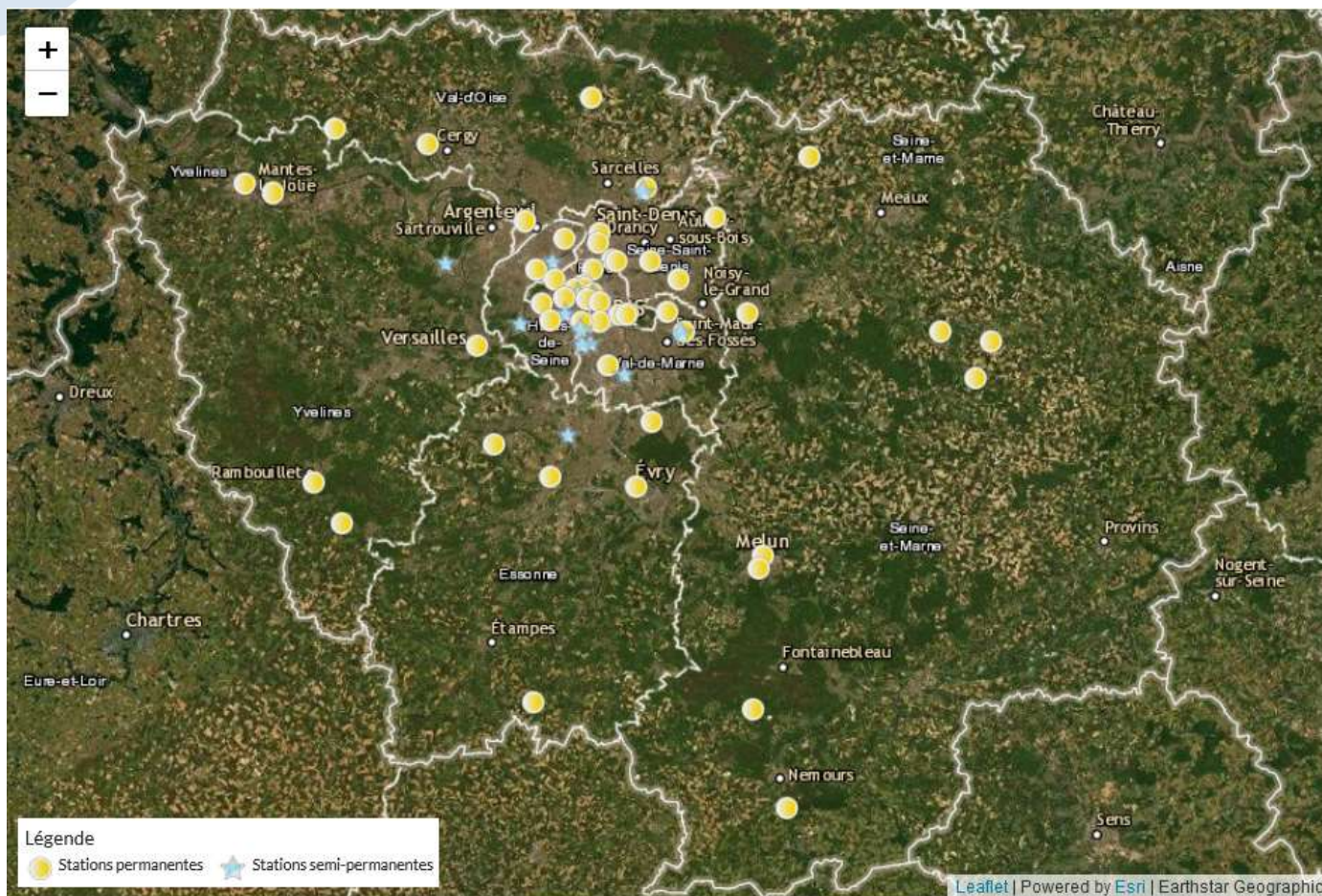
STATIONS PERMANENTES



LE RÉSEAU FIN 2021



LE RÉSEAU DE SURVEILLANCE FRANCILIEN



LES CAMPAGNES DE MESURE

Evaluation de la pollution de l'air dans les zones de « hot spot » (boulevard périphérique, échangeurs routiers, aéroports, etc.)

Evaluation de l'exposition des citoyens tout au long de la journée (exposition extérieure, transports, en air intérieur, etc.)

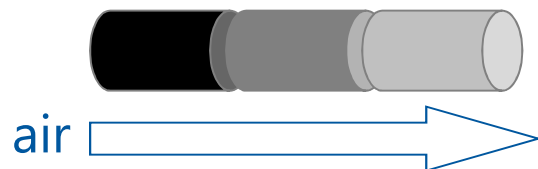


Diagnostic sur des polluants particuliers (pesticides, dioxines, métaux lourds, carbone suie, particules ultrafines)

Méthodes par adsorption

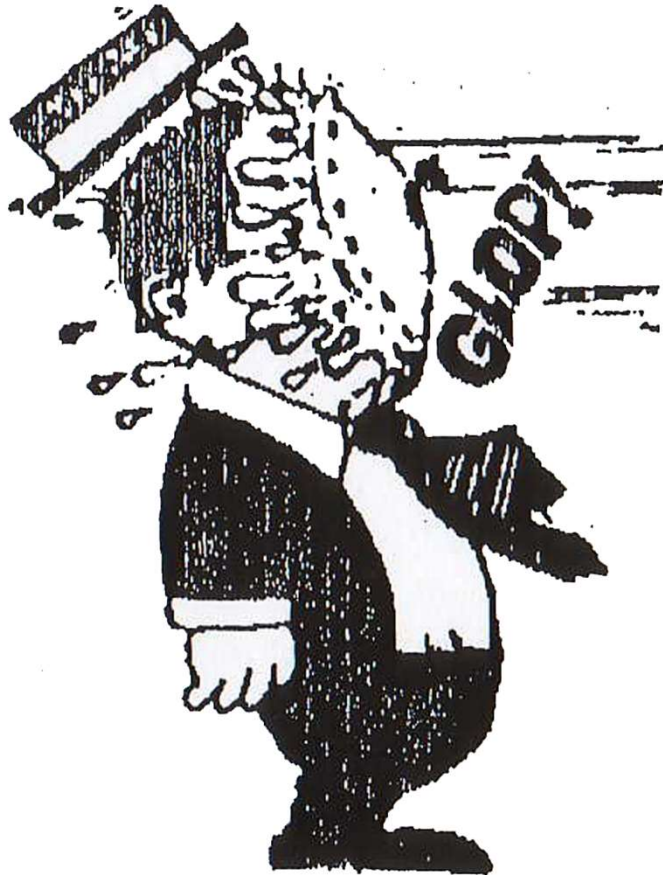
- ➔ L'air traverse une cartouche remplie d'une substance adsorbante
- ➔ Le choix de l'adsorbant est déterminé par sa spécificité et par sa surface développée qui doit être importante
- ➔ L'adsorption peut être:
 - Chimique : désorption par des solvants organiques spécifiques
 - Physique (thermique) : désorption par élévation de température

Gel de silice Tenax Charbon actif



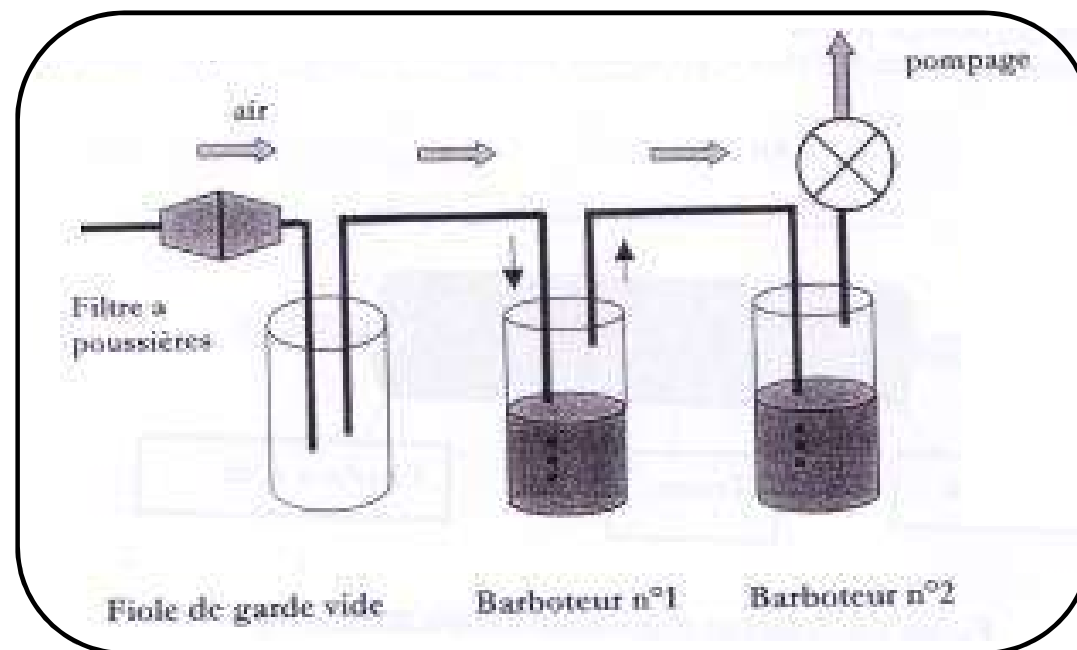
- Gel de silice : polaire, non spécifique
- Tenax : polymérique
- Charbon actif : peu spécifique

ADSORPTION VS ABSORPTION



Méthodes par absorption

L'air traverse un barboteur (principe de solubilité dans une phase liquide)



Méthodes automatiques: Mesure des NOx (chimiluminescence à l'ozone)

- ➔ Chimiluminescence : émission de photons après réaction chimique
- ➔ Oxydation des molécules de NO par les molécules d'ozone:

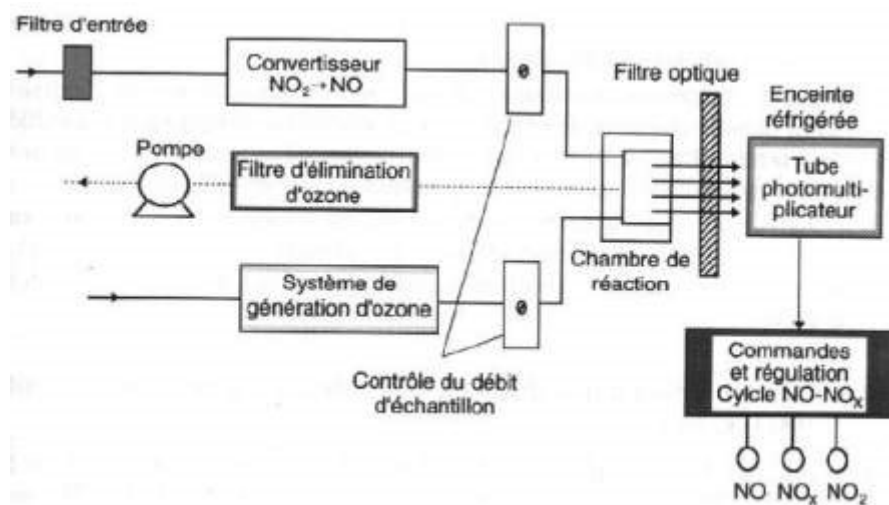


- ➔ Retour à un état électronique fondamental des molécules NO_2^* excitées, par émission d'un rayonnement sur un spectre de 600 à 1200 nm



- ➔ Pour mesurer NO_2 : il faut le réduire en NO en amont

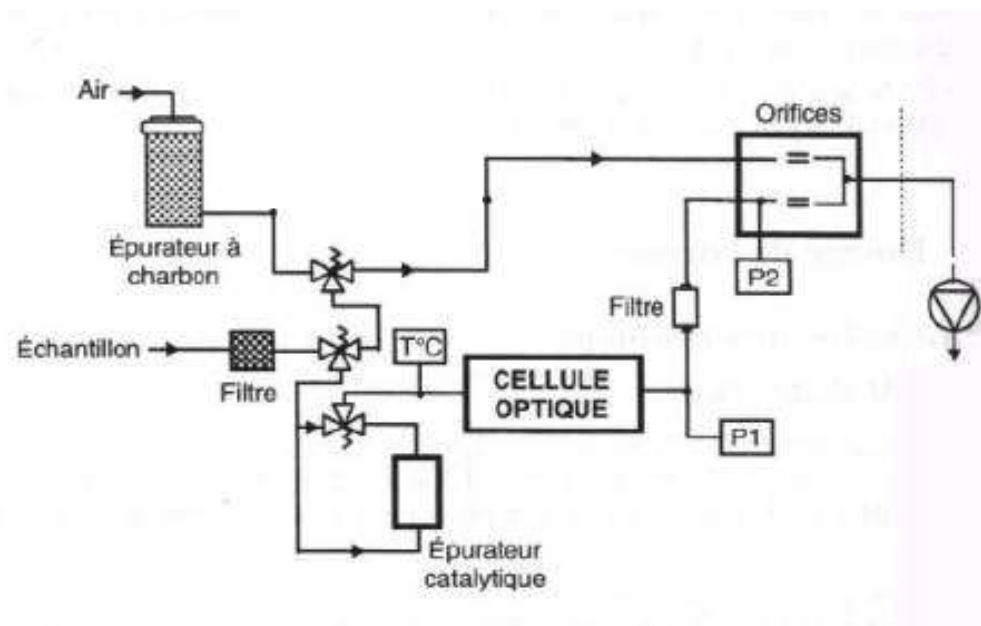
Méthodes automatiques: Mesure des NOx (chimiluminescence à l'ozone)



Méthodes automatiques: Mesure de l'O₃ (Photométrie UV)

- ➔ Mesurer la **lumière UV absorbée** par les molécules d'ozone
- ➔ Concentration déduite en appliquant un rapport entre un **signal de référence** et le **signal de mesure** + Loi de Beer-Lambert
 - Signal de référence: déterminé après le passage de l'échantillon dans un épurateur d'ozone
 - Signal de mesure: déterminé dans la chambre de mesure

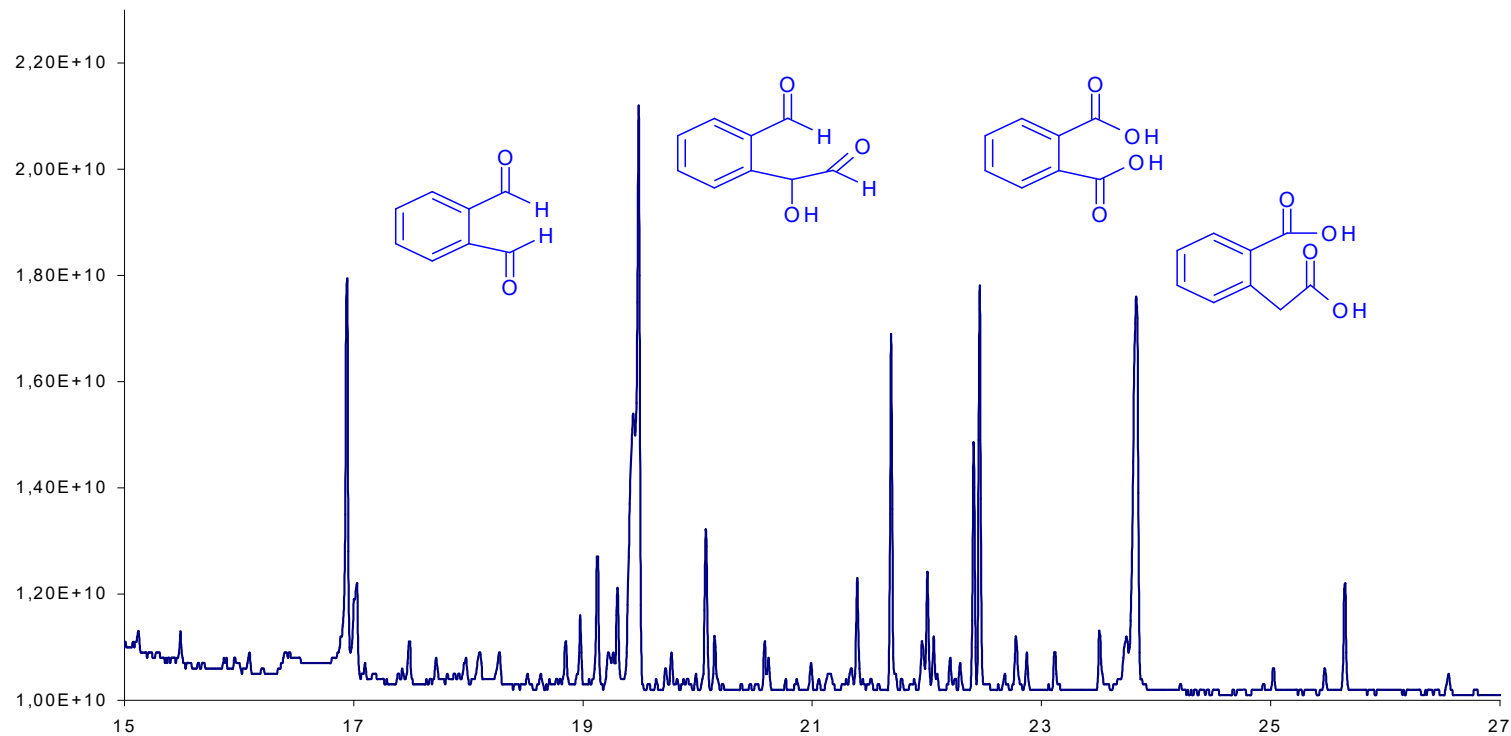
Méthodes automatiques: Mesure de l'O₃ (Photométrie UV)



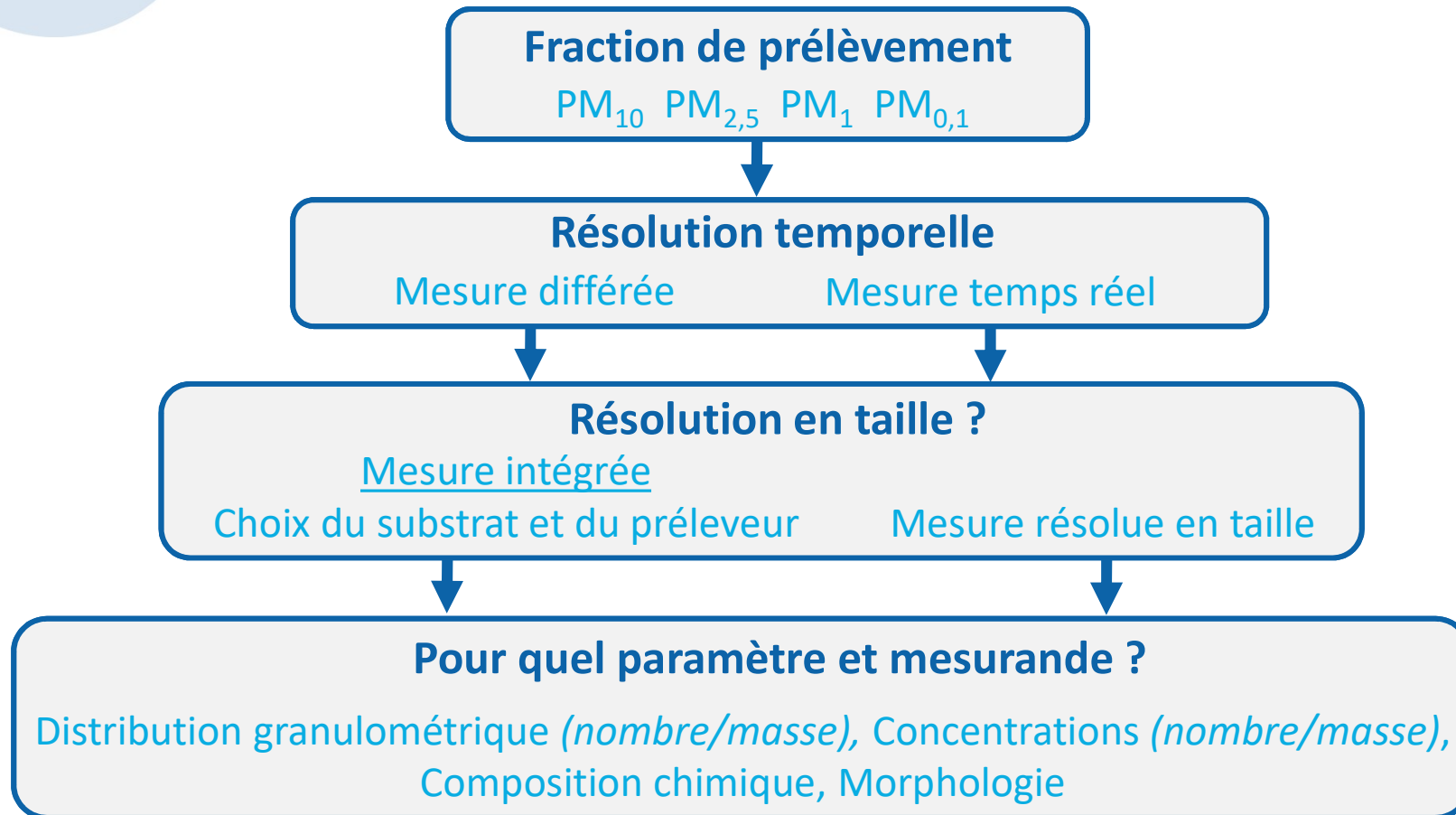
LA MESURE DES GAZ

Mesure des composés organiques volatils (COV)

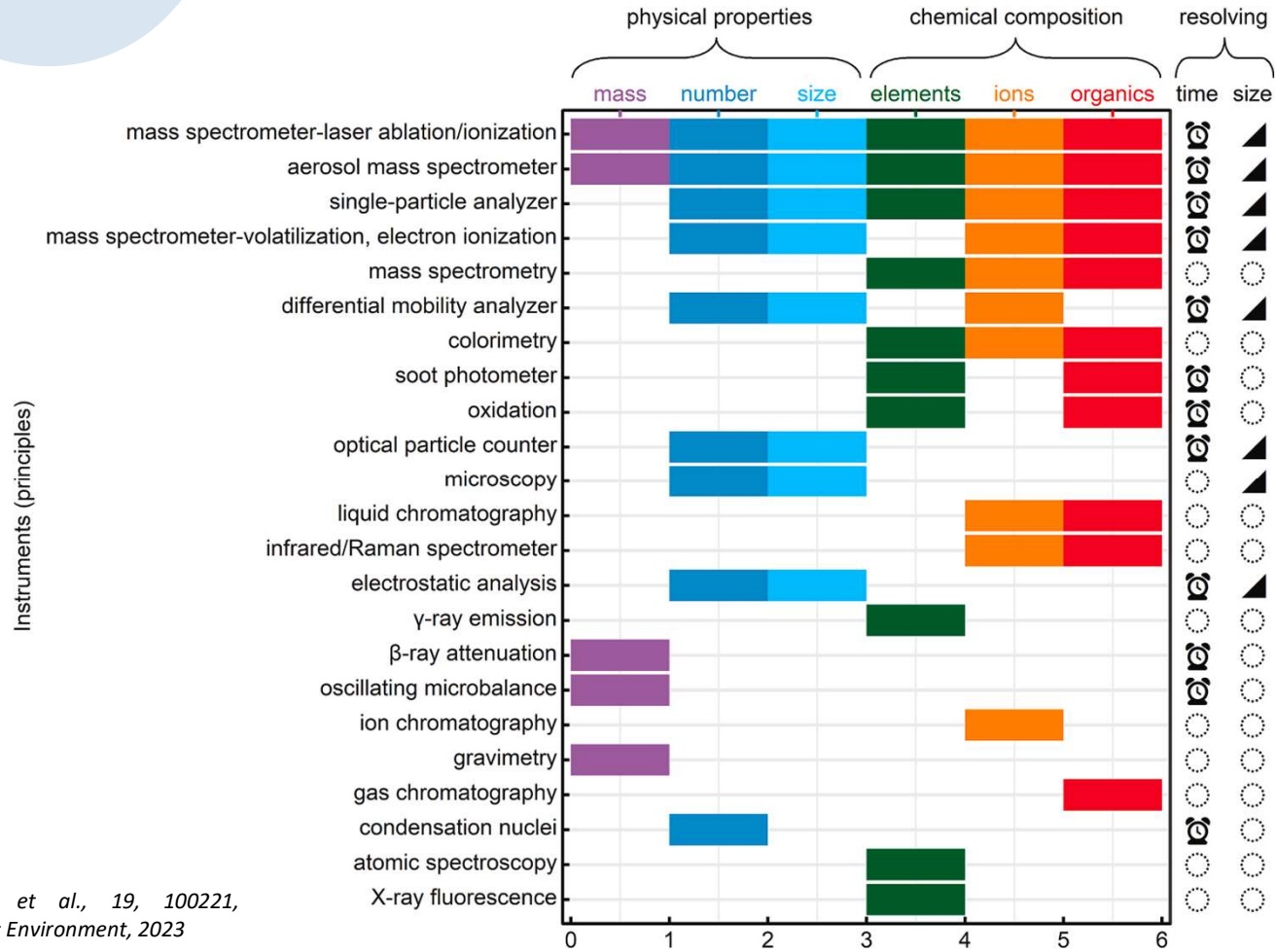
- ➔ La technique choisie dépend de: la structure chimique, les fonctionnalités, la volatilité
- ➔ Techniques chromatographiques (gazeuses ou liquide)



MESURER LES AÉROSOLS, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?



MESURER, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?



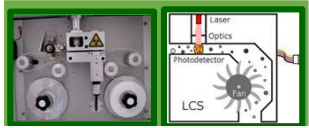





Qin-Qin Li et al., 19, 100221, Atmospheric Environment, 2023

MESURER, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?

	Mesures de concentrations		Mesures de distribution granulométrique	
	Mesure différée	Mesure temps réel	Mesure différée	Mesure temps réel
Nombre	Prélèvement + Analyse par microscopie électronique	Compteur à noyaux de condensation (CNC)	Prélèvement + Comptage par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Analyseur de mobilité électrique (SMPS= DMA+CNC) (d_{me}) - Techniques de mobilité électrique équipée délectromètres (d_{me}) (DMS, FMPS et EEPS) - Spectromètre aérodynamique (d_{ae}) et optique (d_{opt}) - Batterie de diffusion (Diffusional Particle Sizer = batterie diffusion+ CNC) - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) (d_{ae})
Masse	Prélèvement sur filtre + Mesure gravimétrique	Microbalance : - Quartz crystal - A variation de fréquence (TEOM) - Jauge radiométrique - Epiphaniomètre	Impacteur basse pression	<ul style="list-style-type: none"> - Aerosol Particle Mass Analyser (APM) : rapport d'une masse à la charge des particules - Distribution en masse des particules (SMPS+APM)
Surface	Prélèvement + BET	- Chargeur par diffusion + électromètre (NSAM, LQ1-DC, EAD, PPS) - Chargeur à effet photoélectrique (PAS2000)	Prélèvement + Mesure par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Epiphaniomètre en cascade - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) - Analyseur de mobilité électrique (SMPS)
Composition chimique	Prélèvement + Composition chimique élémentaire (MEB-EDX, FX, ICP-MS)	Concentration massique spécifique à un composé chimique (ACSM, Aethalomètre, LIBS FX)	Prélèvement par impacteur + Composition chimique (MEB-EDX,...)	Composition chimique élémentaire et/ou moléculaire en fonction de la taille particulaire (AMS, LIBS)

MESURER, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?

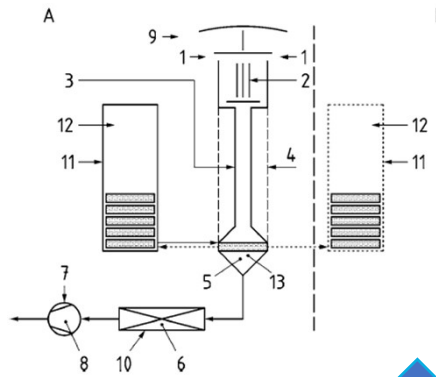
	Mesures de concentrations		Mesures de distribution granulométrique	
	Mesure différée	Mesure temps réel	Mesure différée	Mesure temps réel
Nombre	Prélèvement + Analyse par microscopie électronique		Prélèvement + Comptage par microscopie électronique	
Masse	Prélèvement sur filtre + Mesure gravimétrique		Impacteur basse pression	- Aerosol Particle Mass Analyser (APM) : rapport d'une masse à la charge des particules - Distribution en masse des particules (SMPS+APM)
Surface	Prélèvement + BET		Prélèvement + Mesure par microscopie électronique	
Composition chimique	Prélèvement + Composition chimique élémentaire (MEB-EDX, FX, ICP-MS)		Prélèvement par impacteur + Composition chimique (MEB-EDX,...)	Composition chimique élémentaire et/ou moléculaire en fonction de la taille particulaire (AMS, LIBS)

MESURE DE CONCENTRATIONS MASSIQUES

Paramètres physico-chimiques & Mesurandes	
Concentration	Nombre (Cn)
	Masse (Cm)
Distribution granulométrique	Concentration: Nombre (Cn), Masse (Cm)
	Diamètre:
	$d_{\text{mobilité électrique}} (d_{\text{me}})$ $d_{\text{aérodynamique}} (d_{\text{ae}})$ $d_{\text{optique}} (d_{\text{opt}})$

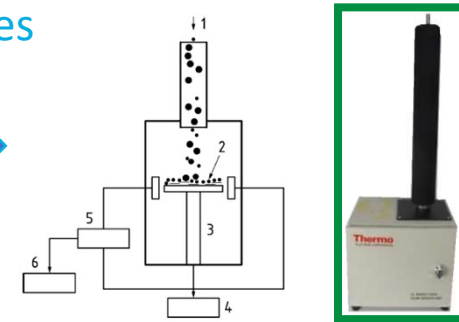
Contexte normatif:
EN12341:2014
& CEN/TS 16450:2017

Gravimétrie

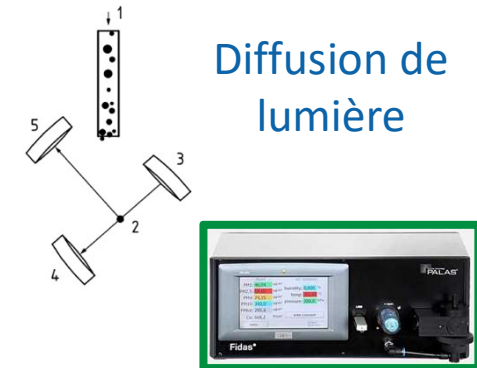


Méthodes équivalentes

Microbalance à élément oscillant



Diffusion de lumière

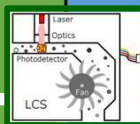


Atténuation du rayonnement bêta

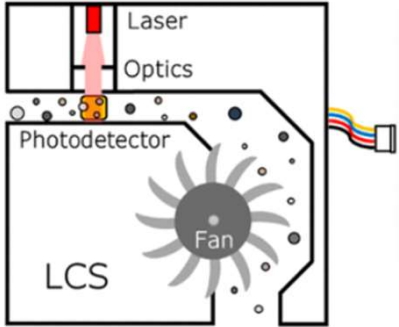
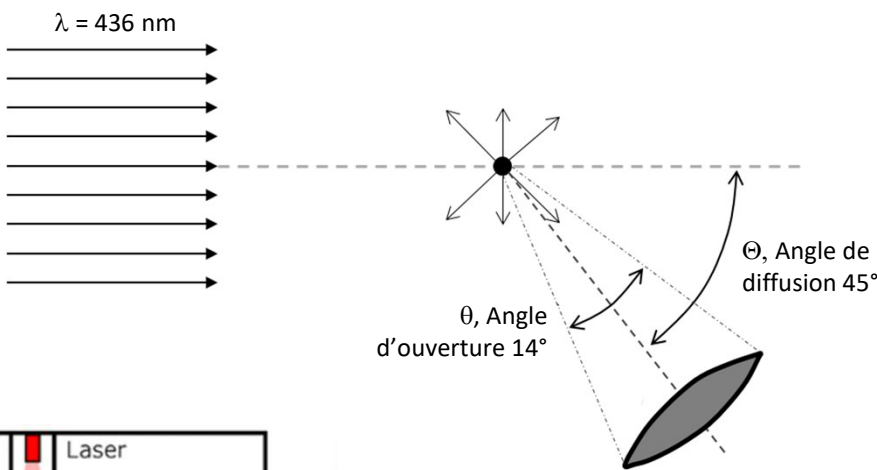


MESURER, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?

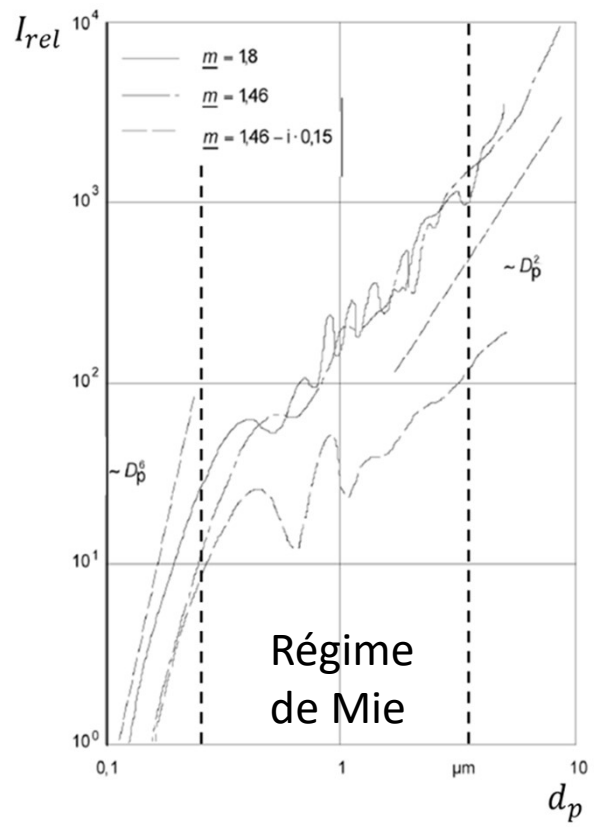
	Mesures de concentrations		Mesures de distribution granulométrique	
	Mesure différée	Mesure temps réel	Mesure différée	Mesure temps réel
Nombre	Prélèvement + Analyse par microscopie électronique	Compteur à noyaux de condensation (CNC)	Prélèvement + Comptage par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Analyseur de mobilité électrique (SMPS= DMA+CNC) (d_{me}) - Techniques de mobilité électrique équipée délectromètres (d_{me}) (DMS, FMPS et EEPS) - Spectromètre aérodynamique (d_{ae}) et optique (d_{opt}) - Batterie de diffusion (Diffusional Particle Sizer = batterie diffusion+ CNC) - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) (d_{ae})
Masse	Prélèvement sur filtre + Mesure gravimétrique	Microbalance : - Quartz crystal - A variation de fréquence (TEOM) - Jauge radiométrique	Impacteur basse pression	<ul style="list-style-type: none"> - Aerosol Particle Mass Analyser (APM) : rapport d'une masse à la charge des particules - Distribution en masse des particules (SMPS+APM)
Surface	Prélèvement + BET	- Epiphaniometre - Chargeur par diffusion + électromètre (NSAM, LQ1-DC, EAD, PPS) - Chargeur à effet photoélectrique (PAS2000)	Prélèvement + Mesure par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Epiphaniometre en cascade - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) - Analyseur de mobilité électrique (SMPS)
Composition chimique	Prélèvement + Composition chimique élémentaire (MEB-EDX, FX, ICP-MS)	Concentration massique spécifique à un composé chimique (ACSM, Aethalomètre, LIBS FX)	Prélèvement par impacteur + Composition chimique (MEB-EDX,...)	Composition chimique élémentaire et/ou moléculaire en fonction de la taille particulaire (AMS, LIBS)



LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS

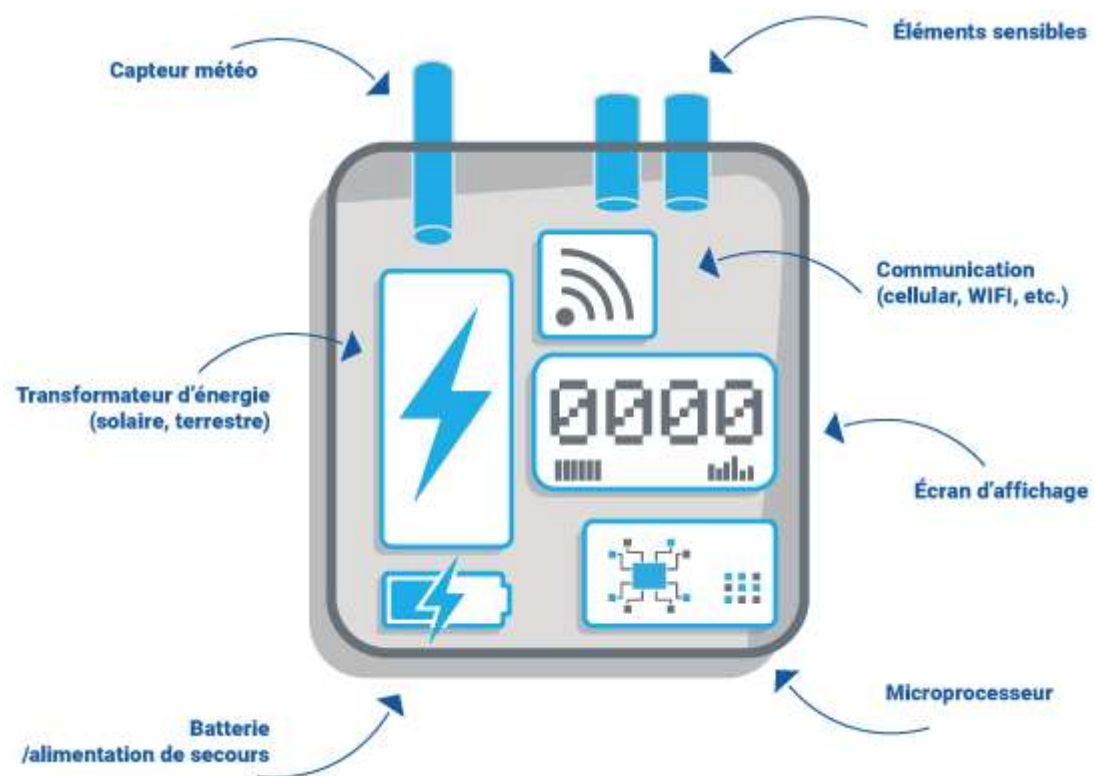


➡ Mesure en nombre !



Intensité diffusée dépend de $\lambda, \theta, \Theta, d_p, m$

STRUCTURE D'UN MICROCAPTEUR



LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS

Version OEM

Alphasense



PN1/PN2,5/PN10 (pcl/cm³)
PM1/PM2,5/PM10 (µg/m³)

PLANTOWER

攀藤科技



PN0,5/PN1/PN2,5/PN5/PN10 (pcl/mL)
PM1/PM2,5/PM10 (µg/m³)

Novafitness



PM2,5/PM10 (µg/m³)

TERA
SENSOR



PN1/PN2,5/PN10 (pcl/mL)
PM1/PM2,5 (µg/m³)

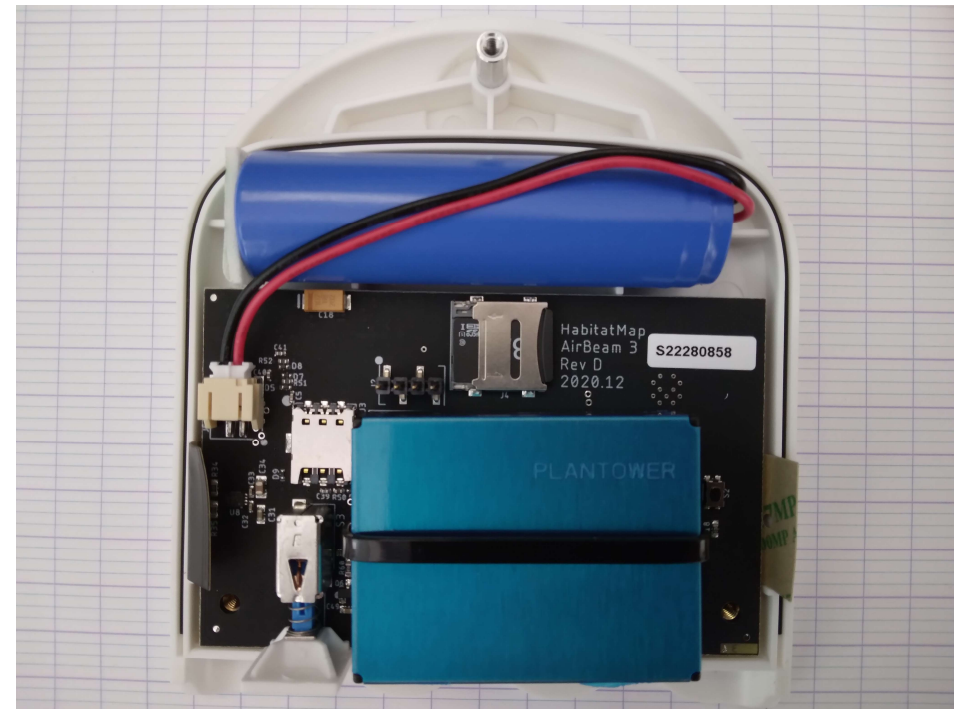
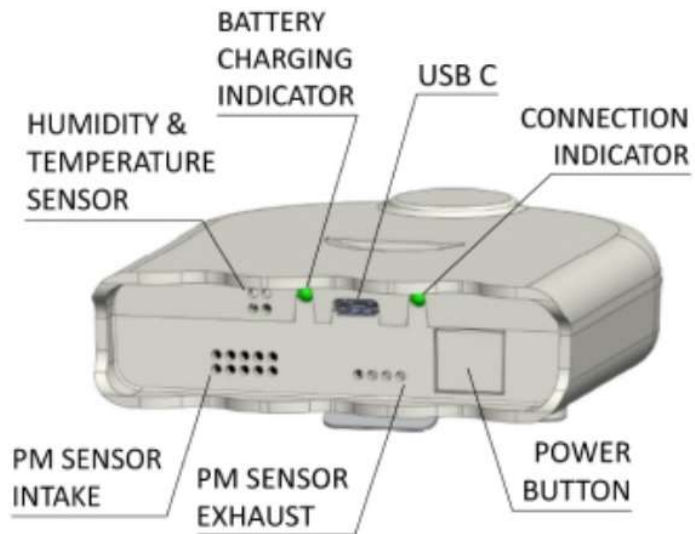
SENSIRION



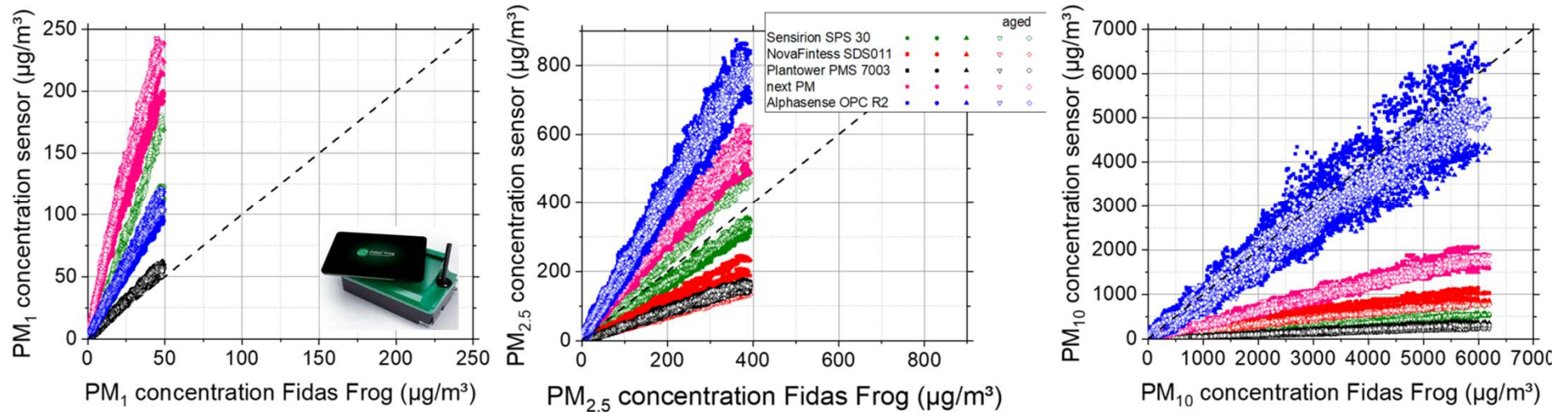
PN0,5/PN1/PN2,5/PN4/PN10 (pcl/mL)
PM1/PM2,5/PM4/PM10 (µg/m³)

Conversion
nombre vers
masse !

AIRBEAM 3 – DESCRIPTION VISUELLE



Conversion en masse (PM1, PM2.5, PM10)



Vote en cours



CEN/TC 264	Qualité de l'air — Évaluation des performances des systèmes capteurs de la qualité de l'air — Partie 2 : Particules dans l'air ambiant
Date : 2024-06	<i>Air quality — Performance evaluation of air quality sensor systems — Part 2: Particulate matter in ambient air</i>
FprCEN/TS 17660-2:2024	<i>Luftbeschaffenheit — Leistungsbewertung von Luftqualitätssensoren — Teil 2: Partikelförmige Stoffe in der Außenluft</i>
CEN/TC 264	
Secrétariat : DIN	

LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS



Microsensors CHALLENGE 2023



Air ambiant (OA)

Air intérieur (IA)

Air citoyen (CA)

Comparaison aux instruments de référence

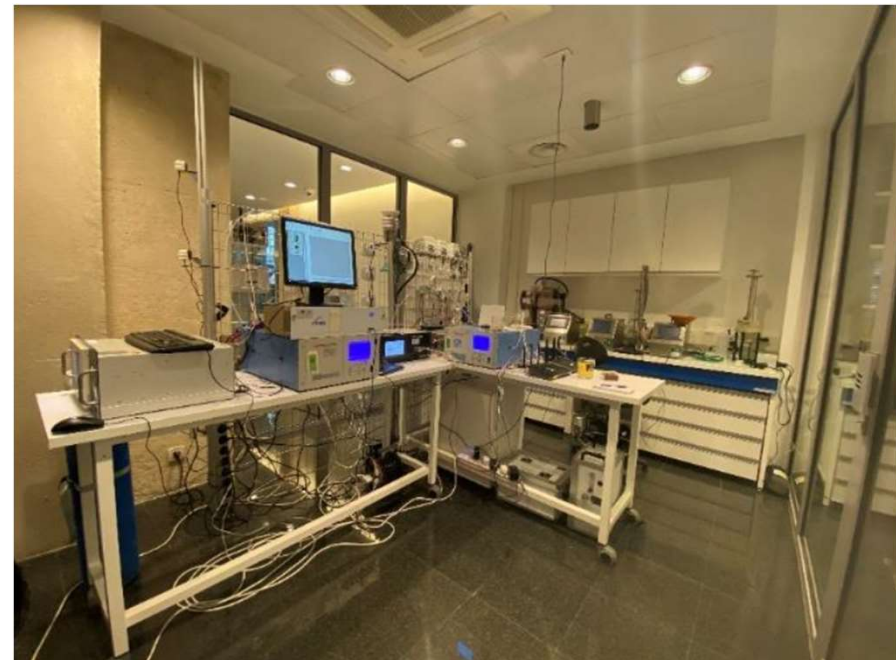
LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS

Air ambiant (OA)



LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS

Air intérieur (IA)



LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS

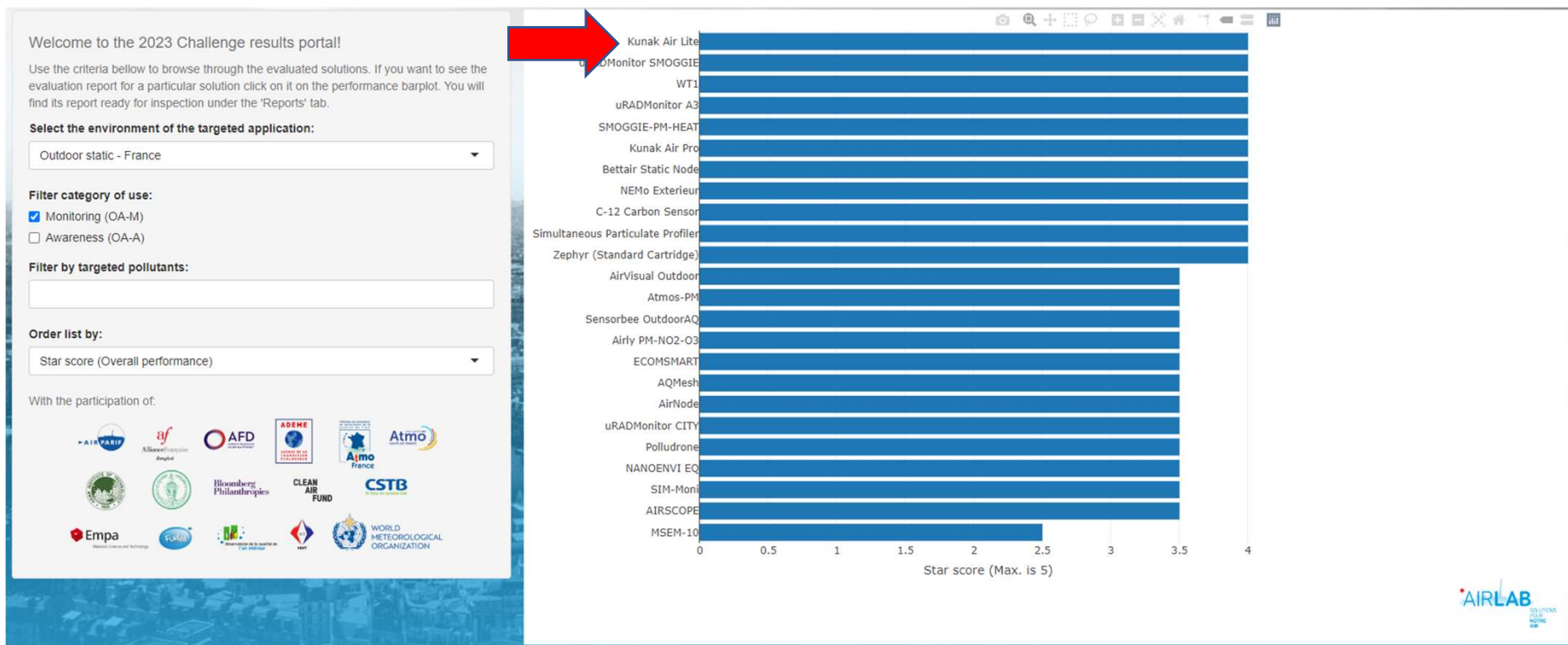
Air citoyen (CA)



LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS

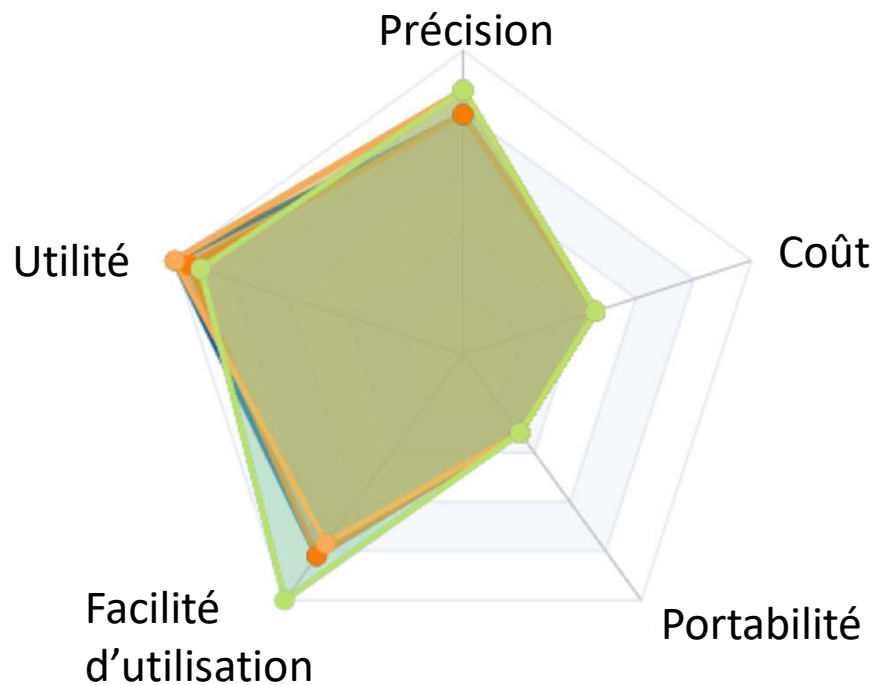
Air ambient (OA)

<https://airparif.shinyapps.io/2023ChallengeResultsEN/>



LES MESURES OPTIQUES/CAPTEURS

■ IA-A
 ■ IA-M
 ■ OA-A - France
 ■ OA-M - France
 ■ OA-A - Thailand
 ■ OA-M - Thailand



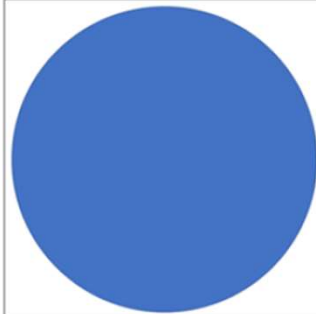
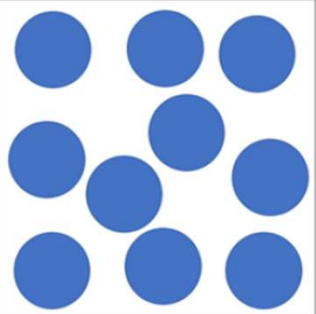
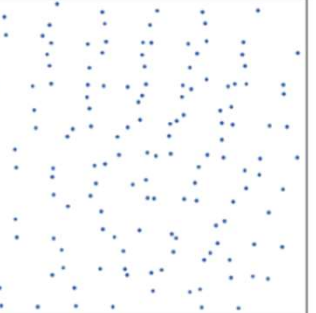
Measured pollutants

- CH₂O NO₂ (NO_x)
- CO O₃
- CO₂ PM₁
- VOC PM_{2.5}
- H₂S PM₁₀
- NH₃ SO₂
- NO Particle number (concentration)
- BC WB

Other measurements

- Temperature Atmospheric pressure
- Humidity Luminosity
- Odours Acoustic comfort
- GPS Anemometer


LA MASSE VS LE NOMBRE

	10 μm (Coarse)	2.5 μm (Fine)	0.1 μm (Ultrafine)
			
Total mass	1	1	1
Particle number	1	64	1,000,000
Surface area per particle	1	0.0625	0.0001
Total surface area per mass	1	4	100

Kwon, HS., et al., Exp Mol Med 52, 318–328 (2020)

➔ **Il faut donc compter les PUF avec des instruments adaptés à leur détection**

MESURER, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?

	Mesures de concentrations		Mesures de distribution granulométrique	
	Mesure différée	Mesure temps réel	Mesure différée	Mesure temps réel
Nombre	Prélèvement + Analyse par microscopie électronique	Compteur à noyaux de condensation (CNC)	Prélèvement + Comptage par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Analyseur de mobilité électrique (SMPS= DMA+CNC) (d_{me}) - Techniques de mobilité électrique équipée délectromètres (d_{me}) (DMS, FMPS et EEPS) - Spectromètre aérodynamique (d_{ae}) et optique (d_{opt}) - Batterie de diffusion (Diffusional Particle Sizer = batterie diffusion+ CNC) - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) (d_{ae})
Masse	Prélèvement sur filtre + Mesure gravimétrique	 Microbalance : - Quartz crystal - A variation de fréquence (TEOM)	Impacteur basse pression	<ul style="list-style-type: none"> - Aerosol Particle Mass Analyser (APM) : rapport d'une masse à la charge des particules - Distribution en masse des particules (SMPS+APM)
Surface	Prélèvement + BET	<ul style="list-style-type: none"> - Jauge radiométrique - Epiphaniomètre - Chargeur par diffusion + électromètre (NSAM, LQ1-DC, EAD, PPS) - Chargeur à effet photoélectrique (PAS2000) 	Prélèvement + Mesure par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Epiphaniomètre en cascade - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) - Analyseur de mobilité électrique (SMPS)
Composition chimique	Prélèvement + Composition chimique élémentaire (MEB-EDX, FX, ICP-MS)	Concentration massique spécifique à un composé chimique (ACSM, Aethalomètre, LIBS FX)	Prélèvement par impacteur + Composition chimique (MEB-EDX,...)	Composition chimique élémentaire et/ou moléculaire en fonction de la taille particulaire (AMS, LIBS)

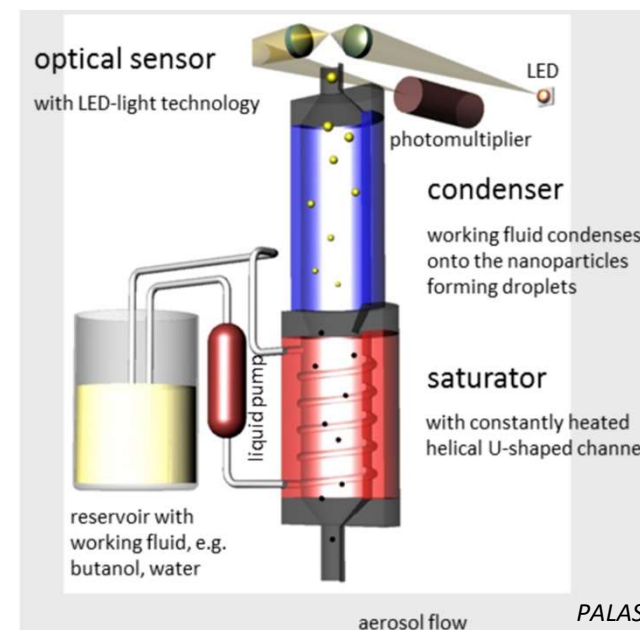
LES MESURES DE CONCENTRATIONS EN NOMBRE

CNC: compteurs à noyaux de condensation

Paramètres physico-chimiques & Mesurandes	
Concentration	Nombre (Cn)
	Masse (Cm)
Distribution granulométrique	Concentration: Nombre (Cn), Masse (Cm)
	Diamètre: $d_{\text{mobilité électrique}} (d_{\text{me}})$ $d_{\text{aérodynamique}} (d_{\text{ae}})$ $d_{\text{optique}} (d_{\text{opt}})$



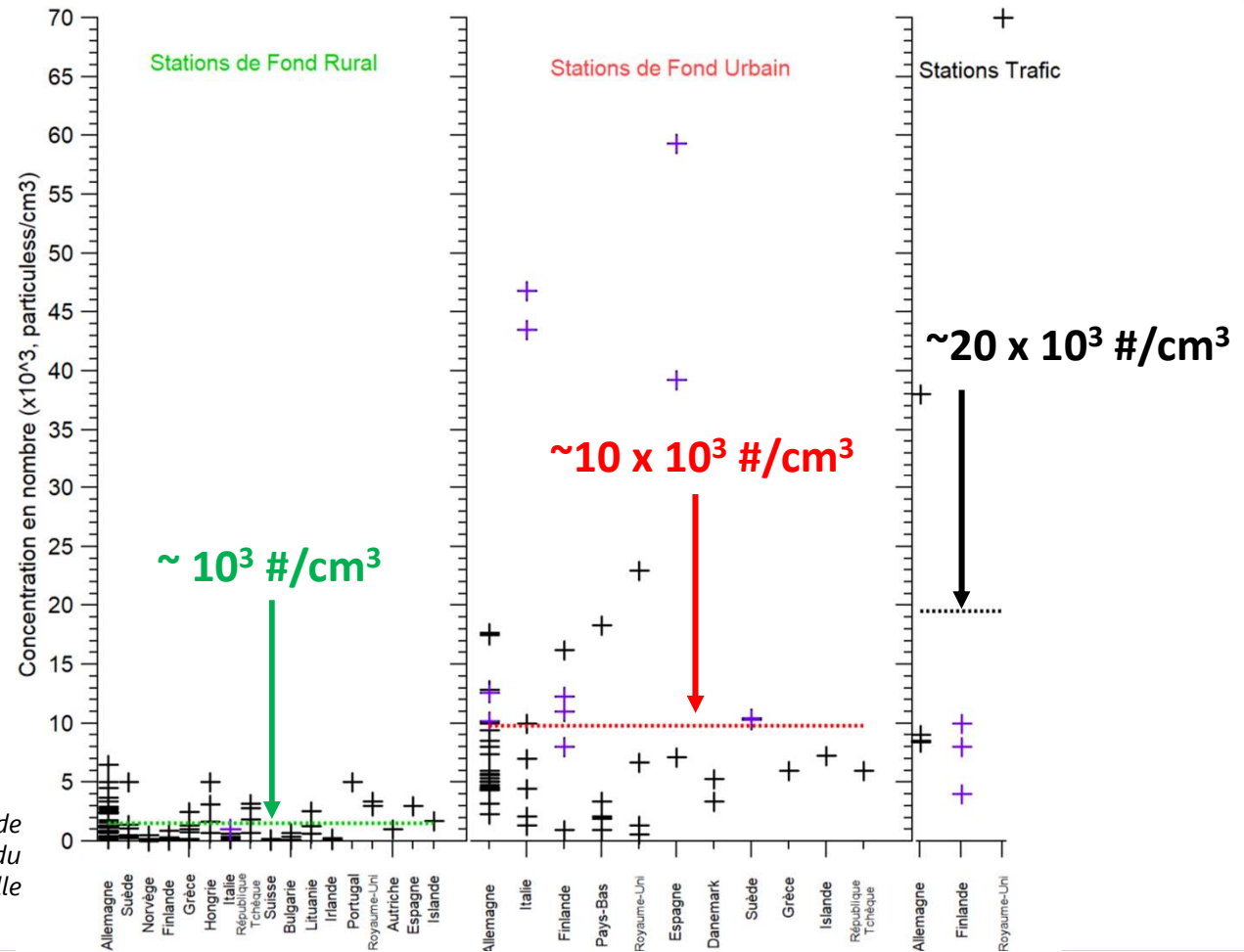
TSI inc.



Contexte normatif:
CEN/TS 16976:2016
ISO 27891:2015

$$d_{50} = 10 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$$

CONCENTRATION EN NOMBRE AU NIVEAU EUROPÉEN



Gaie-Levrel et al., Bilan des niveaux de concentrations particulières en nombre au sein du dispositif national en comparaison à l'échelle européenne, 2020

MESURER, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?

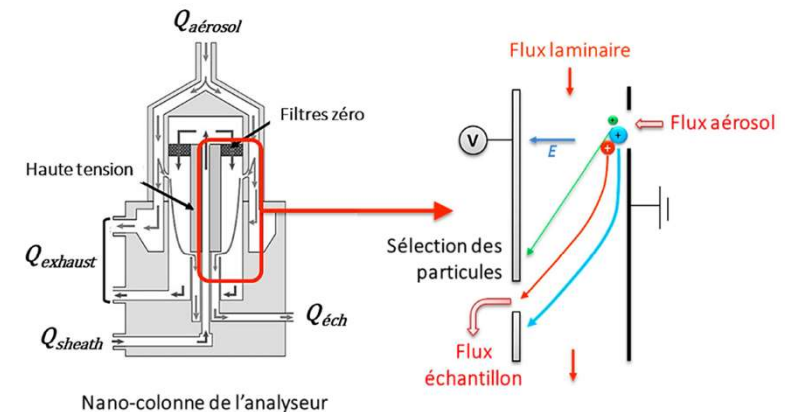
	Mesures de concentrations		Mesures de distribution granulométrique	
	Mesure différée	Mesure temps réel	Mesure différée	Mesure temps réel
Nombre	Prélèvement + Analyse par microscopie électronique	Compteur à noyaux de condensation (CNC)	Prélèvement + Comptage par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Analyseur de mobilité électrique (SMPS= DMA+CNC) (d_{me}) - Techniques de mobilité électrique équipée délectromètres (d_{me}) (DMS, FMPS et EEPS) - Spectromètre aérodynamique (d_{ae}) et optique (d_{opt}) - Batterie de diffusion (Diffusional Particle Sizer = batterie diffusion+ CNC) - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) (d_{oe})
Masse	Prélèvement sur filtre + Mesure gravimétrique	Microbalance : - Quartz crystal - A variation de fréquence (TEOM) - Jauge radiométrique - Epiphaniomètre	Impacteur	<ul style="list-style-type: none"> - Aerosol Particle Mass Analyser (APM) : rapport d'une masse à la charge des particules - Distribution en masse des particules (SMPS+APM)
Surface	Prélèvement + BET	- Chargeur par diffusion + électromètre (NSAM, LQ1-DC, EAD, PPS) - Chargeur à effet photoélectrique (PAS2000)	Prélèvement + Mesure par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Epiphaniomètre en cascade - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) - Analyseur de mobilité électrique (SMPS)
Composition chimique	Prélèvement + Composition chimique élémentaire (MEB-EDX, FX, ICP-MS)	Concentration massique spécifique à un composé chimique (ACSM, Aethalomètre, LIBS FX)	Prélèvement par impacteur + Composition chimique (MEB-EDX,...)	Composition chimique élémentaire et/ou moléculaire en fonction de la taille particulaire (AMS, LIBS)



MESURE DE DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE EN NOMBRE

SMPS: spectromètre de mobilité électrique

Paramètres physico-chimiques & Mesurandes	
Concentration	Nombre (Cn)
	Masse (Cm)
Distribution granulométrique	Concentration: Nombre (Cn), Masse (Cm)
	Diamètre: $d_{\text{mobilité électrique}} (d_{\text{me}})$ $d_{\text{aérodynamique}} (d_{\text{ae}})$ $d_{\text{optique}} (d_{\text{opt}})$



Contexte normatif:

ISO 15900:2020

NF EN ISO 28439:2011

XP/CEN TS 17434:2020

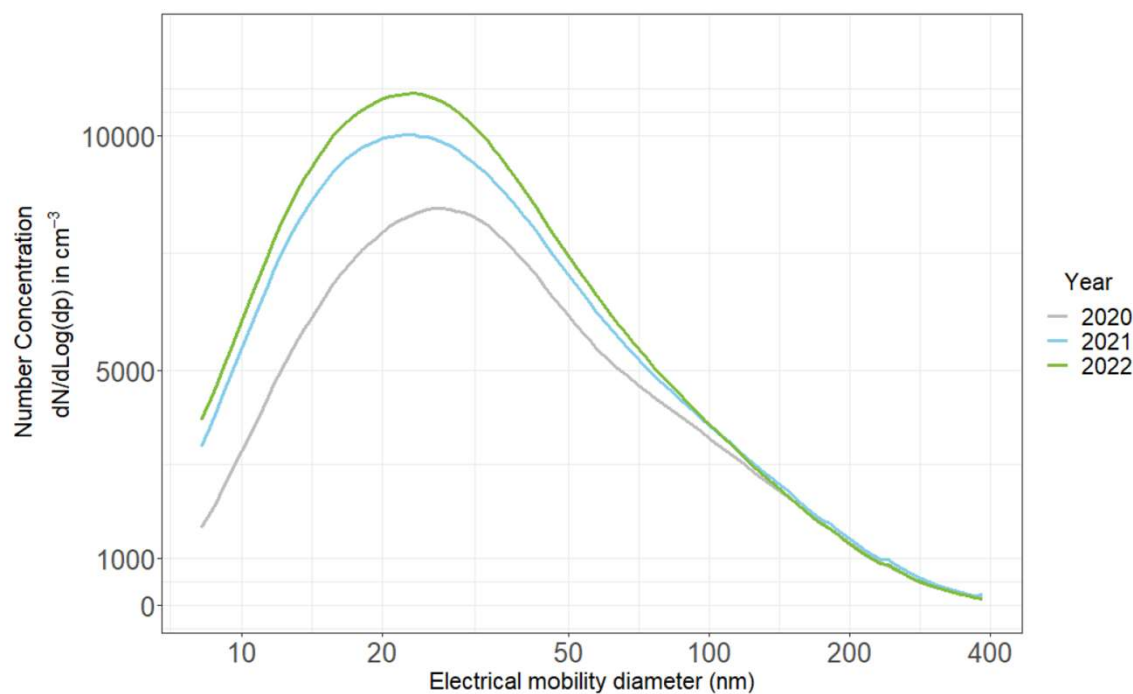
Permet la mesure de concentrations en nombre dans une gamme de taille donnée, dont les PUF

LES PARTICULES ULTRAFINES À PARIS



G. Abbou, et al., Ultrafine particles monitoring in Paris: moving beyond total particle number concentrations, in review

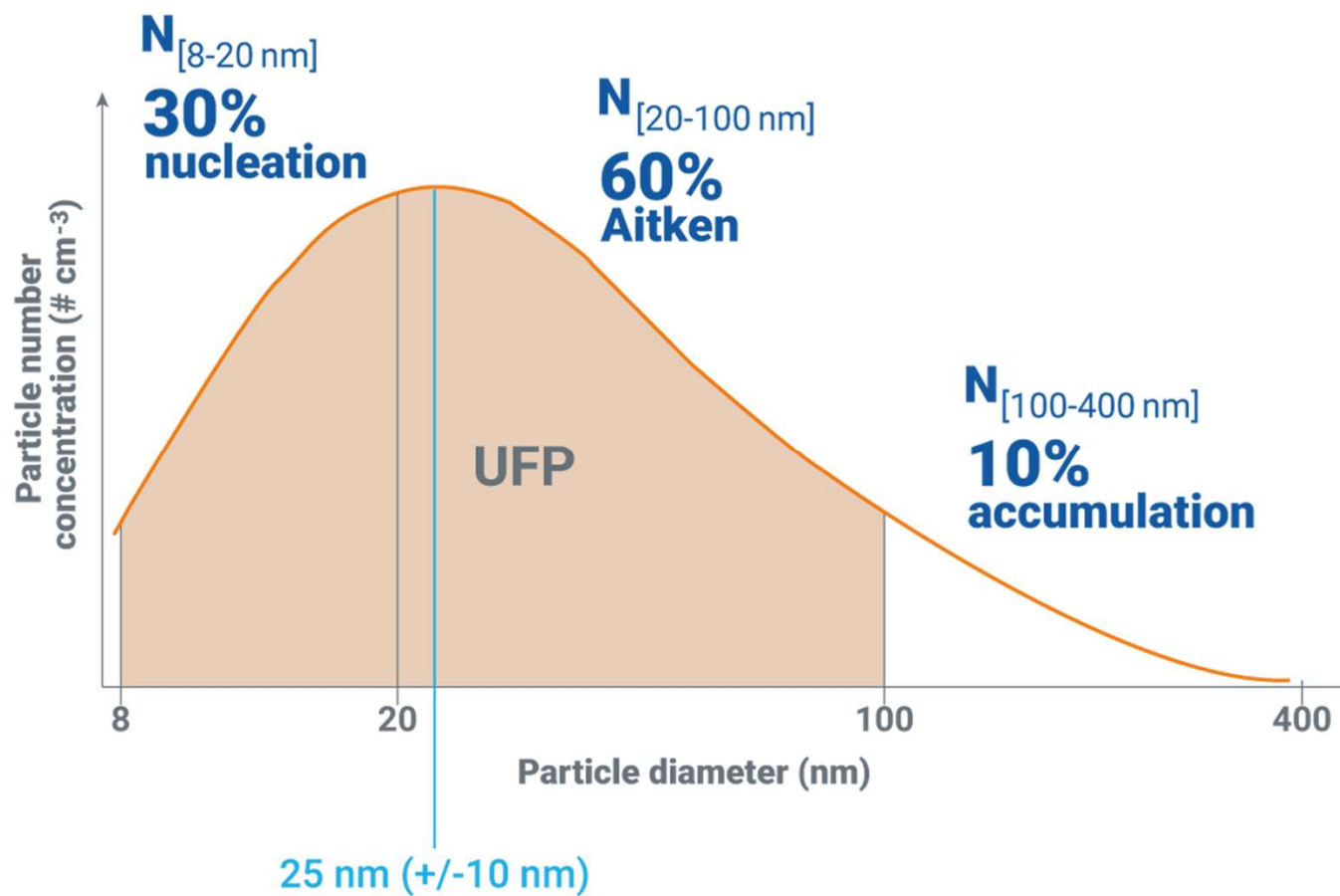
LES PARTICULES ULTRAFINES À PARIS




	2020		2021		2022	
d_{me}	Average (nm)	STD_R (nm)	Average (nm)	STD_R (nm)	Average (nm)	STD_R (nm)
Modal	27	±7	22	±6	23	±6
Median	32	±2	29	±1	29	±1
Mean	50	±2	47	±2	44	±2

Diamètre modal moyen
25 nm ± 10 nm

LES PARTICULES ULTRAFINES À PARIS

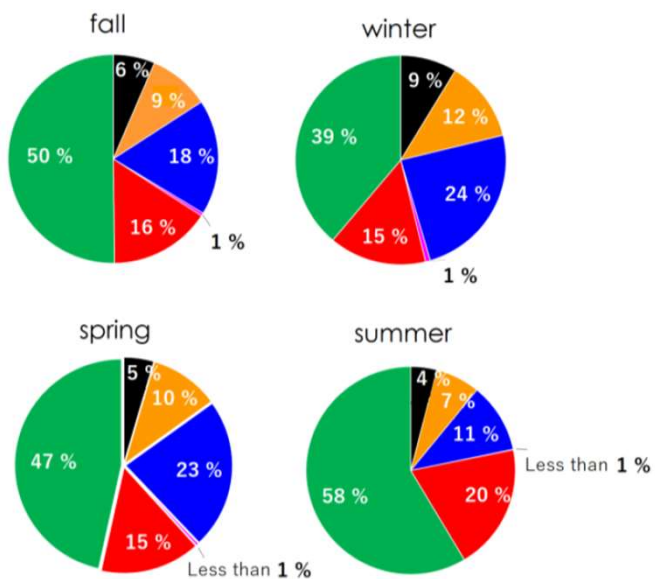


MESURER, MAIS AVEC QUELLE STRATÉGIE ?

	Mesures de concentrations		Mesures de distribution granulométrique	
	Mesure différée	Mesure temps réel	Mesure différée	Mesure temps réel
Nombre	Prélèvement + Analyse par microscopie électronique	Compteur à noyaux de condensation (CNC)	Prélèvement + Comptage par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Analyseur de mobilité électrique (SMPS= DMA+CNC) (d_{me}) - Techniques de mobilité électrique équipée délectromètres (d_{me}) (DMS, FMPS et EEPS) - Spectromètre aérodynamique (d_{ae}) et optique (d_{opt}) - Batterie de diffusion (Diffusional Particle Sizer = batterie diffusion+ CNC) - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) (d_{ae})
Masse	Prélèvement sur filtre + Mesure gravimétrique	Microbalance : - Quartz crystal - A variation de fréquence (TEOM) - Jauge radiométrique - Epiphaniomètre - Chargeur par diffusion + électromètre (NSAM, LQ1-DC, EAD, PPS) - Chargeur à effet photoélectrique (PAS2000)	Impacteur basse pression	<ul style="list-style-type: none"> - Aerosol Particle Mass Analyser (APM) : rapport d'une masse à la charge des particules - Distribution en masse des particules (SMPS+APM)
Surface	Prélèvement + BET	- Chargeur par diffusion + électromètre (NSAM, LQ1-DC, EAD, PPS) - Chargeur à effet photoélectrique (PAS2000)	Prélèvement + Mesure par microscopie électronique	<ul style="list-style-type: none"> - Epiphaniomètre en cascade - Impacteur basse pression à mesure électrique (ELPI) - Analyseur de mobilité électrique (SMPS)
Composition chimique	Prélèvement + Composition chimique élémentaire (MEB-EDX, FX, ICP-MS)		Prélèvement par impacteur + Composition chimique (MEB-EDX,...)	Composition chimique élémentaire et/ou moléculaire en fonction de la taille particulaire (AMS, LIBS)

LES MESURES DE COMPOSITION CHIMIQUE: SPÉCIATION DE SOURCES

■ Equivalent black carbon - PM₁
■ Ammonium ■ Nitrate ■ Chloride ■ Sulfate ■ Organic



Rural background station (Melpitz)
Atabakhsh et al., ACP, 23, 12, 6963 (2023)

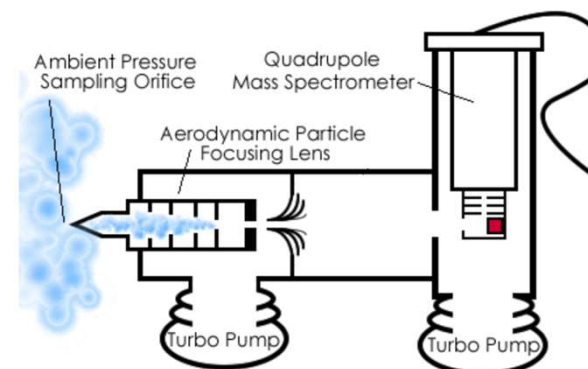


AEROSOL
MAGEE SCIENTIFIC

« fuel fossil » PM_{10ff} = 2 x BCff
 « wood burning » PM_{10wb} = 10 x BCwb

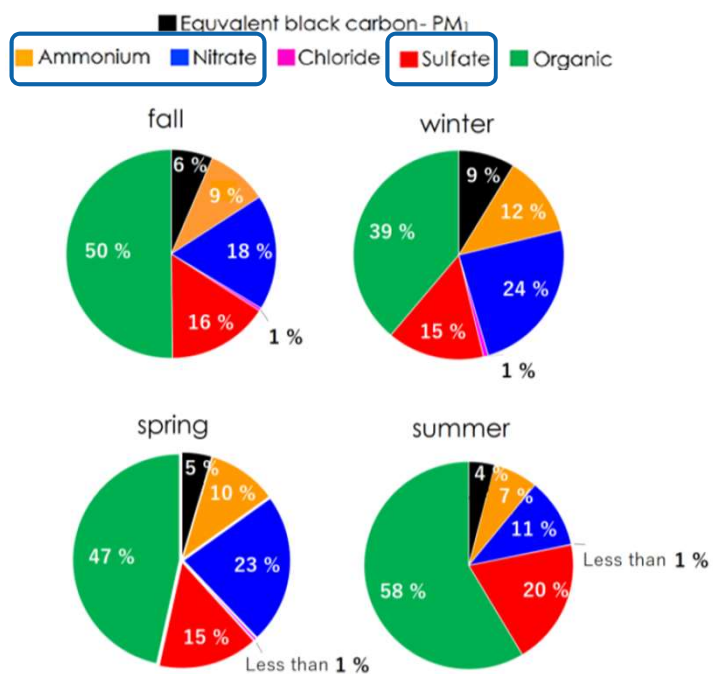


Aerodyne
Research

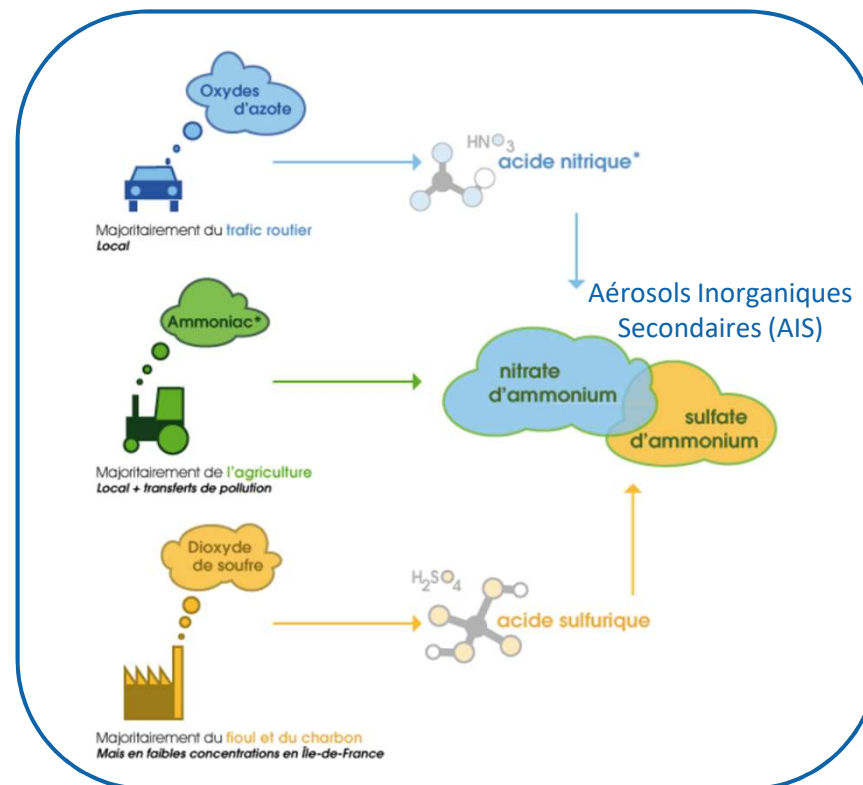


<https://cires1.colorado.edu/jimenez/ams.html>

LES MESURES DE COMPOSITION CHIMIQUE: SPÉCIATION DE SOURCES



Rural background station (Melpitz)
Atabakhsh et al., ACP, 23, 12, 6963 (2023)



Sulfate d'ammonium indique contribution des imports (peu d'émission de SO_2 en IdF)

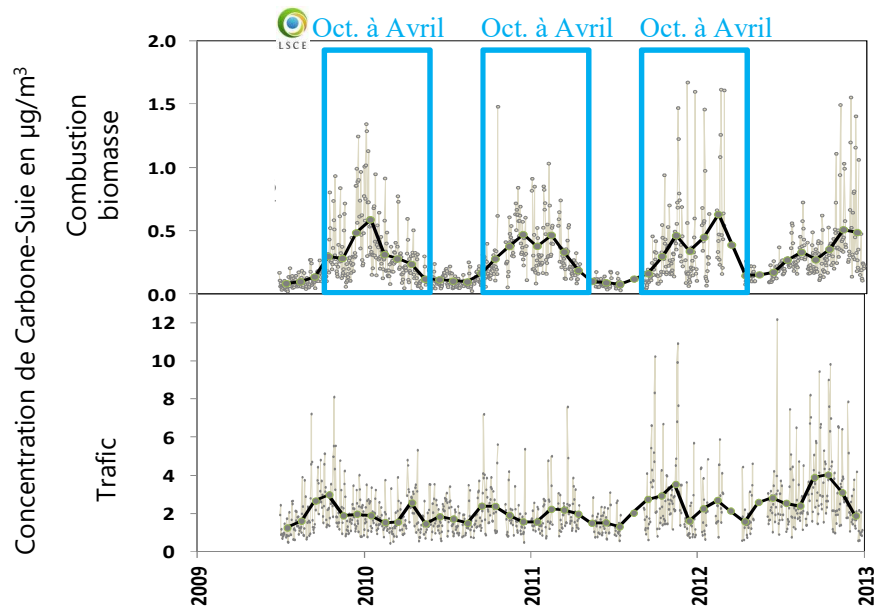
CONTRIBUTION DES SOURCES DE COMBUSTION



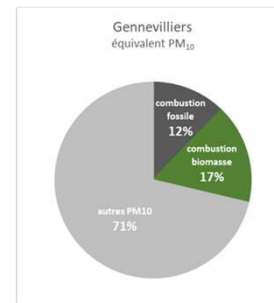
AEROSOL
MAGEE SCIENTIFIC

« fuel fossil » $PM_{10ff} = 2 \times BCff$
« wood burning » $PM_{10wb} = 10 \times BCwb$

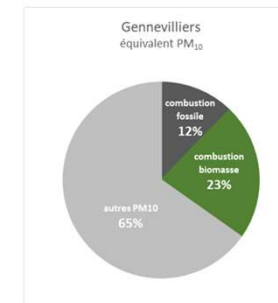
Evolution des 2 fractions de carbone suie



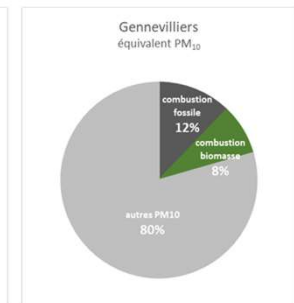
Année 2022



Période hivernale



Période estivale

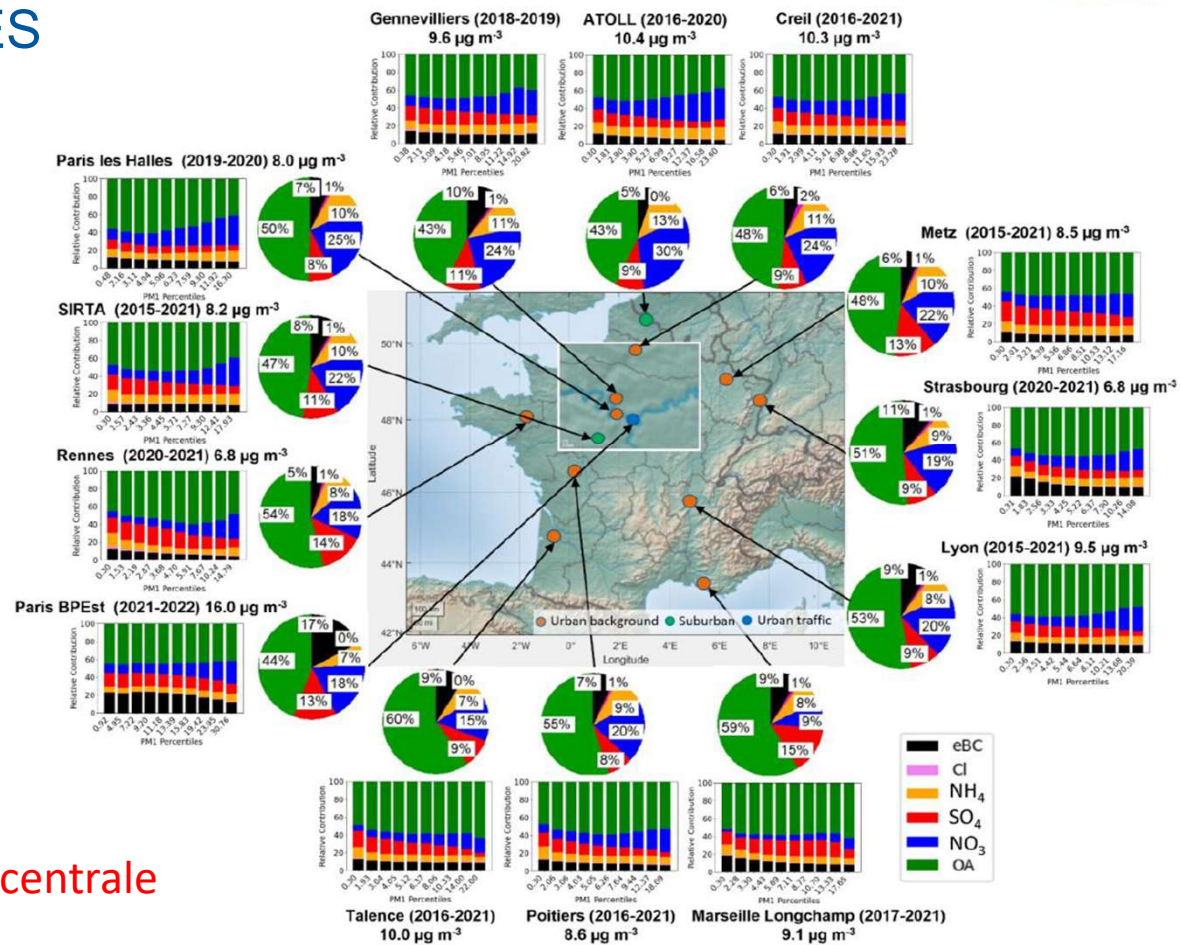


Contribution de la combustion biomasse allant de 5% (en juillet) jusqu'à 25% en janvier

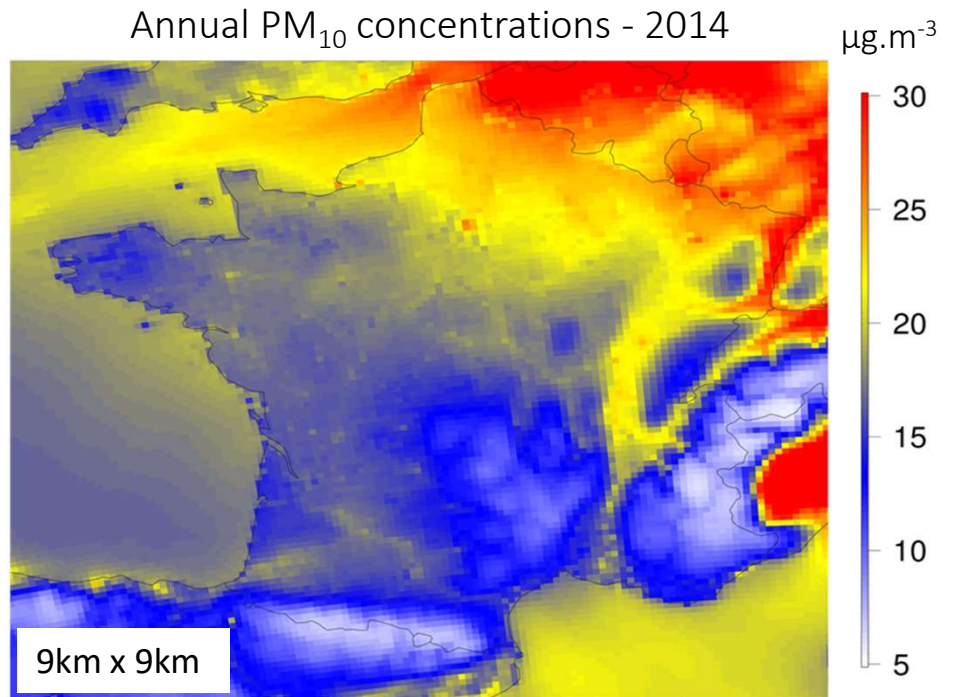
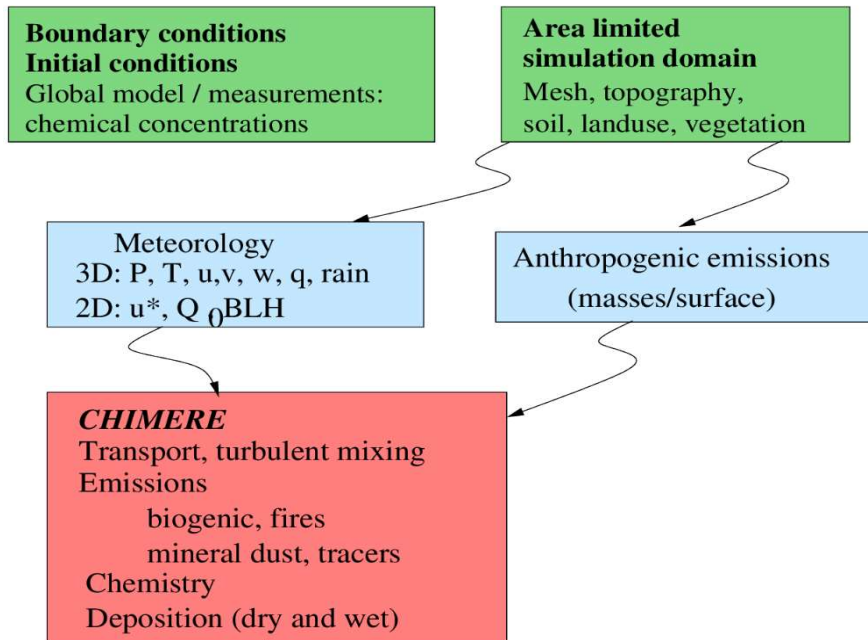
LES MESURES DE COMPOSITION CHIMIQUE: SPÉCIATION DE SOURCES



- ➔ 1^{ère} contribution:
Composés organiques
(43 à 60 % des PM1)
- ➔ 2^{ème} contribution majeure:
Nitrate
Au nord majoritairement
(conditions plus favorables à
la formation d'AIS)
- ➔ 3^{ème} contribution majeure:
Sulfate
Liée aux imports depuis l'Europe centrale



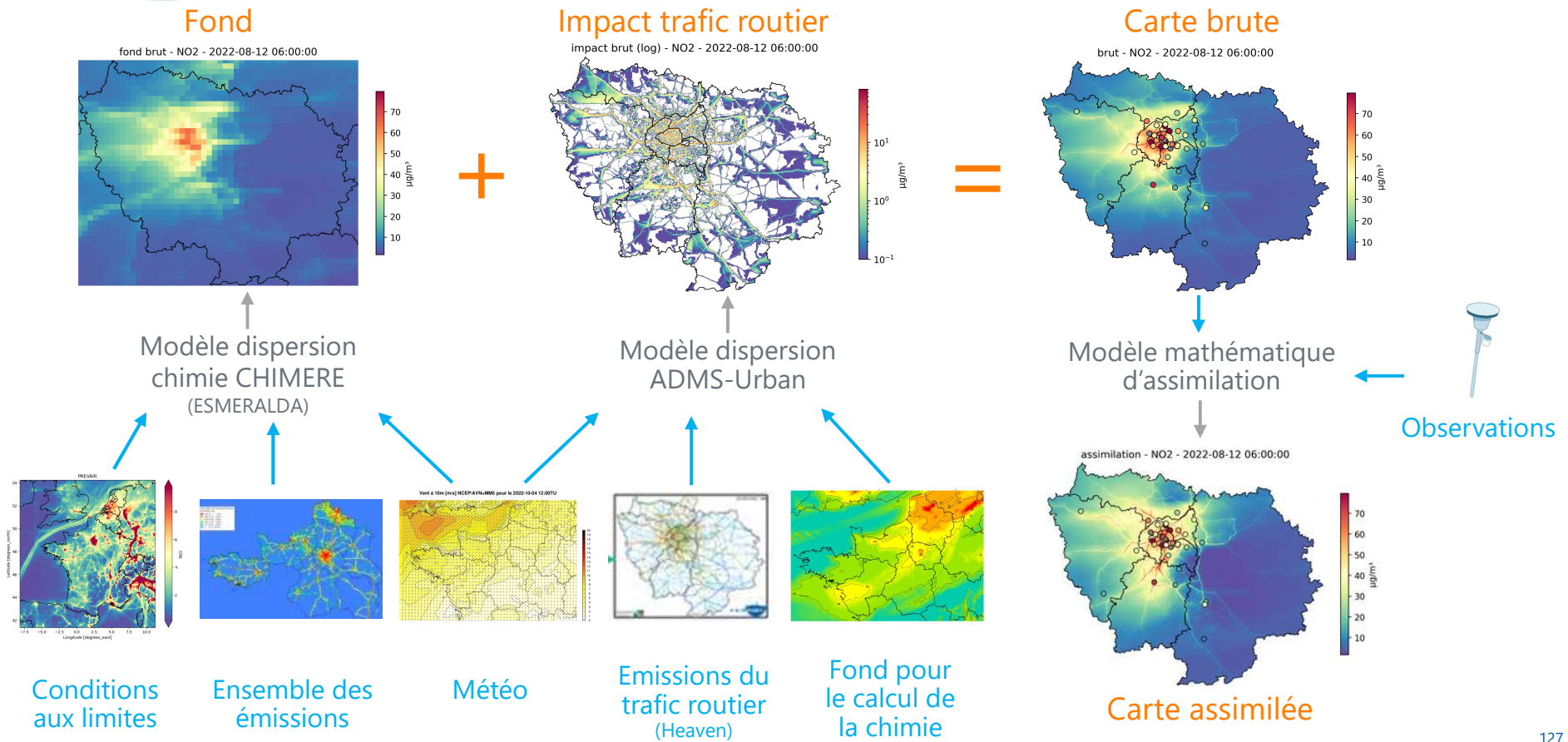
LA MODÉLISATION: MODÈLE DE CHIMIE-TRANSPORT



Crédit : M. Vida

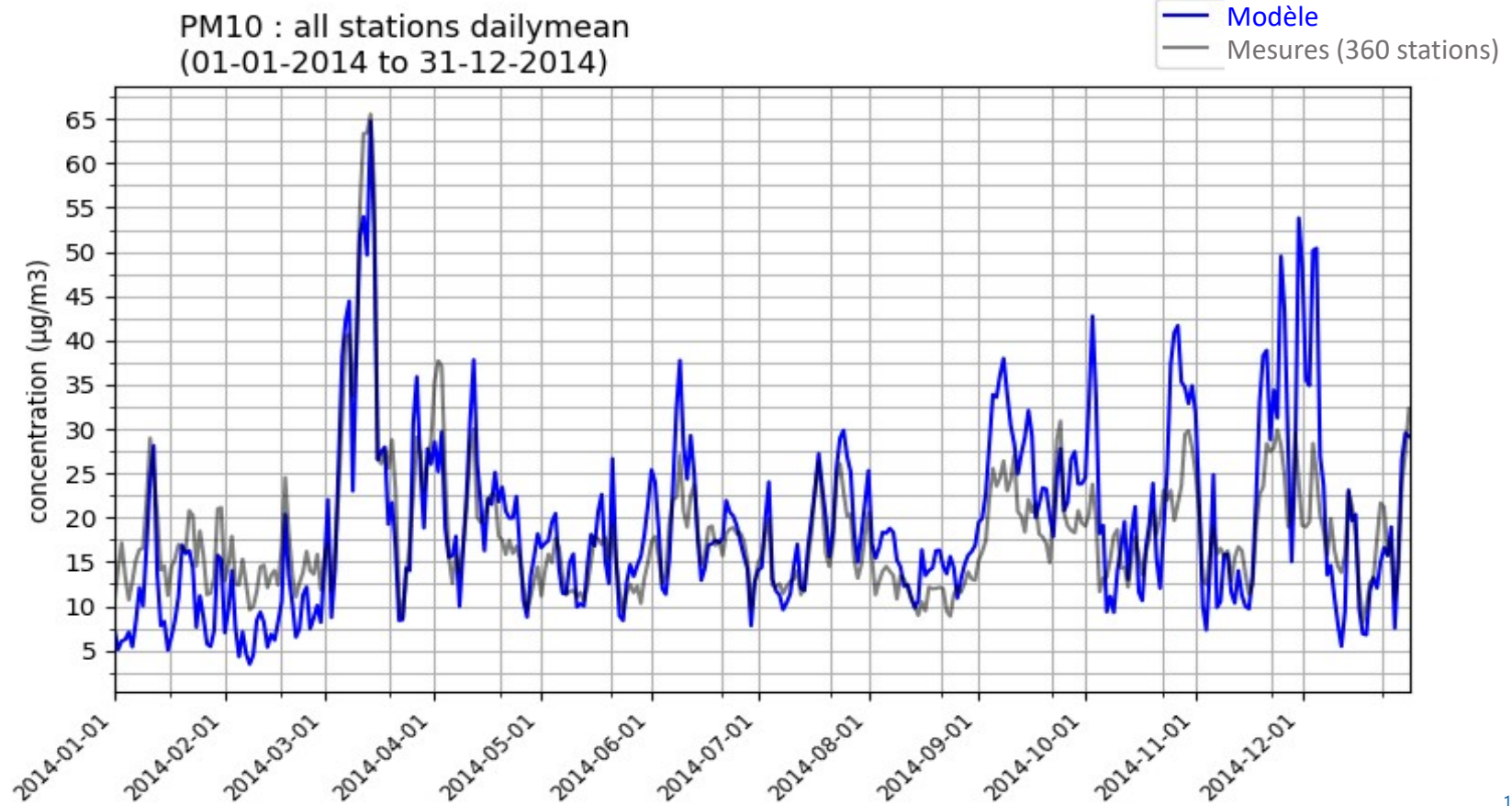
$$\frac{\delta c_i}{\delta t} = -div(V c_i) + div(\rho K grad(\frac{c_i}{\rho})) + (\frac{\delta c_i}{\delta t})_{chimie} + (\frac{\delta c_i}{\delta t})_{émissions} + (\frac{\delta c_i}{\delta t})_{dépôts}$$

LA MODÉLISATION



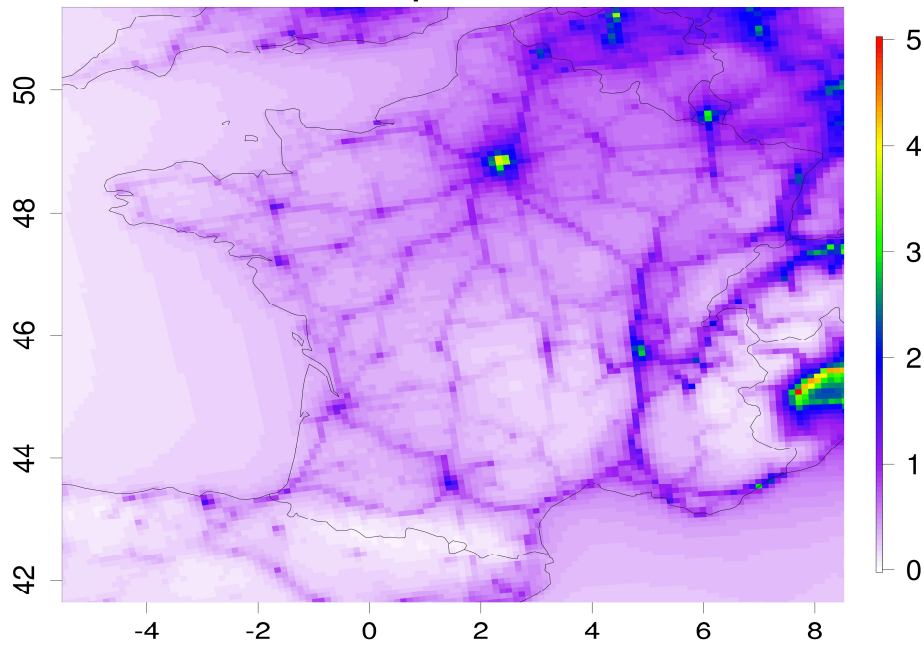
LA MODÉLISATION VS OBSERVATIONS

PM10

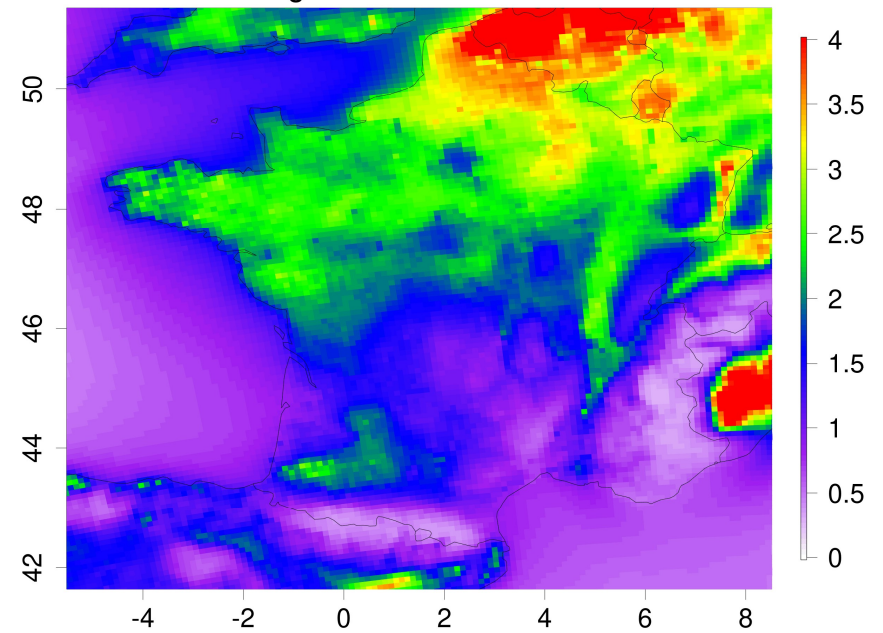


LA MODÉLISATION

RoadTransport 2014 EUR09



Agriculture 2014 EUR09



Courtesy M. Vida

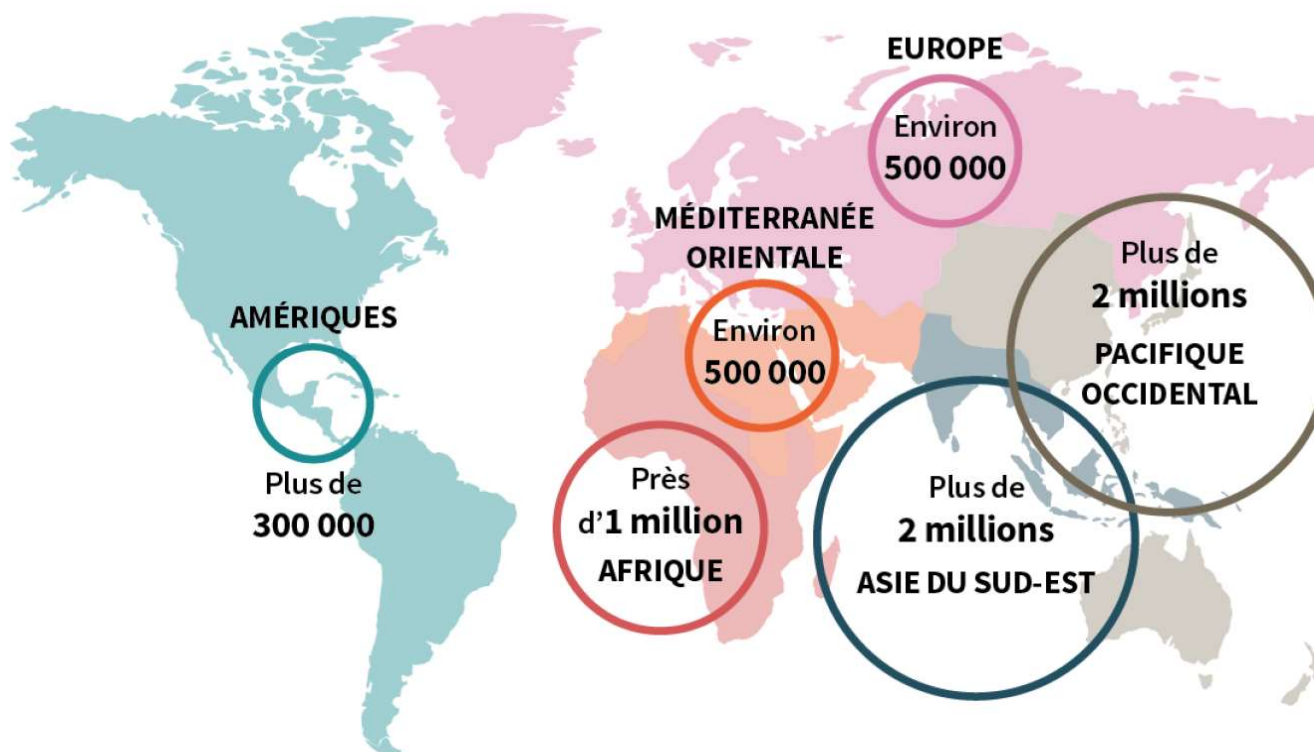


LES CONSÉQUENCES DE LA POLLUTION DE L'AIR

Santé, environnement, bâti, économie

L'IMPACT DE LA POLLUTION DE L'AIR SUR LA SANTÉ DANS LE MONDE

RÉPARTITION DES DÉCÈS LIÉS À LA POLLUTION DE L'AIR,
PAR GRANDES RÉGIONS DU MONDE



Données OMS (2018), Infographie Le Monde

L'IMPACT DE LA POLLUTION DE L'AIR SUR LA SANTÉ EN ÎLE-DE-FRANCE



En France

Sur la période 2016-2019 :

40 000 décès

attribuables chaque année à une exposition des personnes âgées de 30 ans et plus aux particules fines (PM_{2,5}).

Près de 8 mois

d'espérance de vie perdus en moyenne pour les personnes âgées de 30 ans et plus en raison d'une exposition aux PM_{2,5}.

7 %

de la mortalité totale annuelle attribuable à une exposition aux PM_{2,5} pour les personnes âgées de 30 ans et plus.

En Île-de-France

Paris

1 780 décès prématurés

Métropole du Grand Paris

5 040 décès prématurés

Île-de-France

7 920 décès prématurés

EXPOSITION CHRONIQUE entre 2010 et 2019, le nombre annuel de décès attribuables à la pollution de l'air a baissé en Île-de-France



-40% décès prématurés

soit **+8 MOIS** un gain moyen d'espérance de vie de



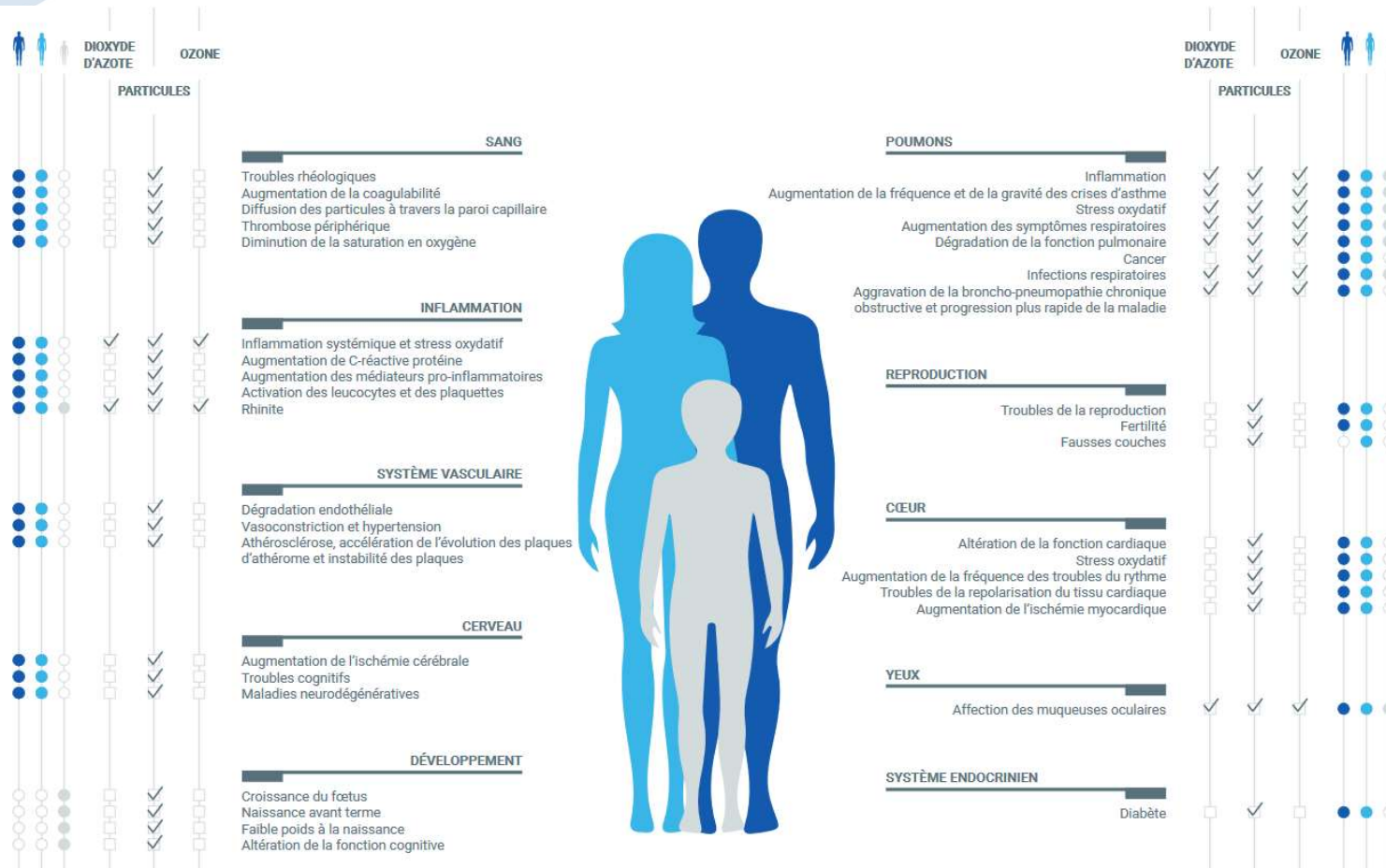
-19% décès prématurés

soit **+2 MOIS** un gain moyen d'espérance de vie de

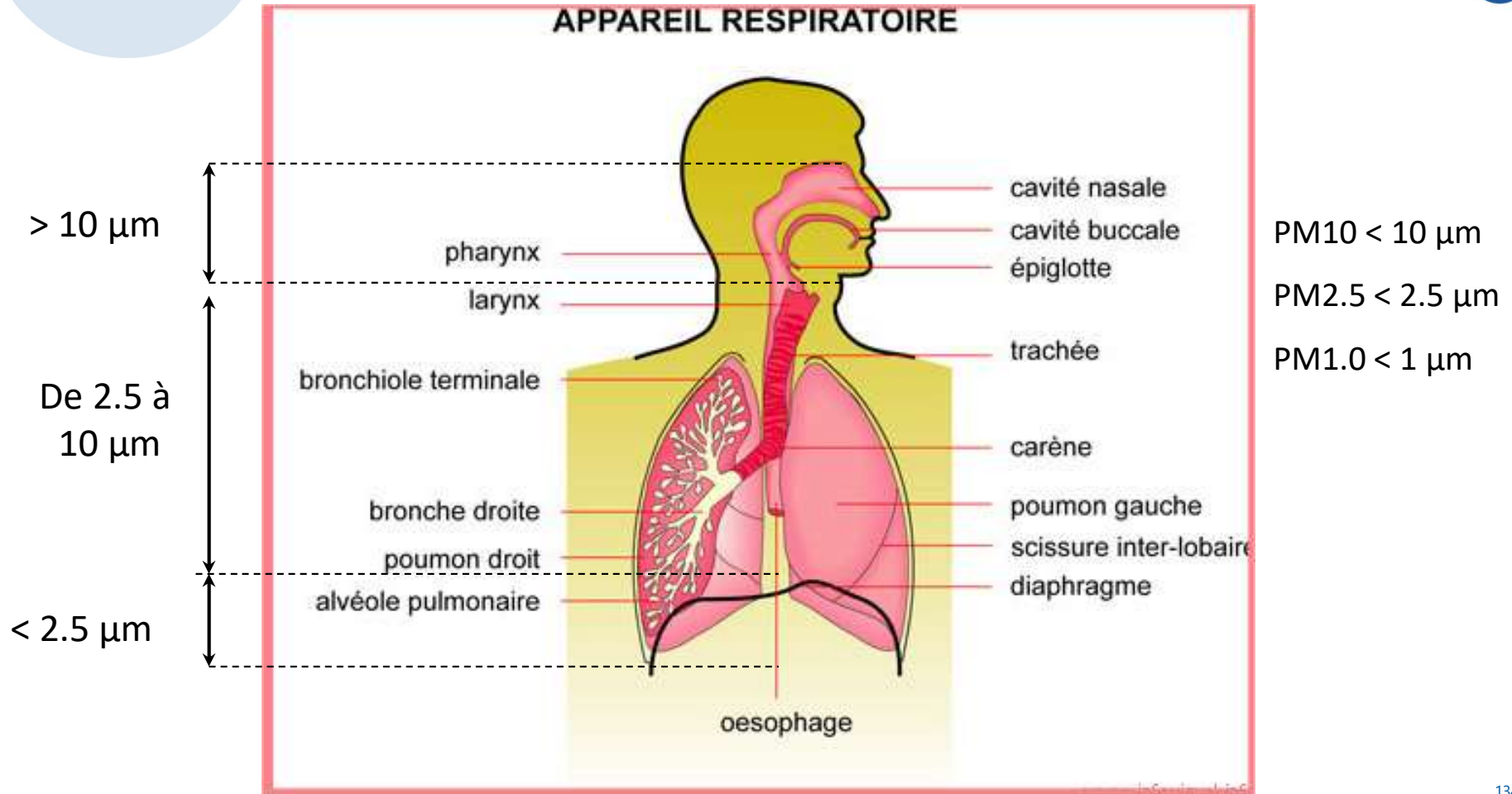


décès évitables par an avec le respect des recommandations de l'OMS (2021) pour les particules fines PM_{2,5} et l'ozone (publication 2022 - années de référence 2017-19)

LA POLLUTION DE L'AIR NOCIVE POUR LES POUMONS, MAIS PAS SEULEMENT



IMPACTS SANITAIRES DES AÉROSOLS



IMPACTS SANITAIRES DES AÉROSOLS

PM10

COARSE PARTICLES

PM2.5 & PM1

FINE PARTICLES

PM0.1

ULTRAFINE PARTICLES



#SEETHEAIR

IMPACTS SANITAIRES DES AÉROSOLS



➔ En 2021: **97 %** de la population urbaine exposée à des concentrations de **particules fines supérieures** aux dernières lignes directrices fixées par l'**OMS**



European Environment Agency

The Lancet

Articles



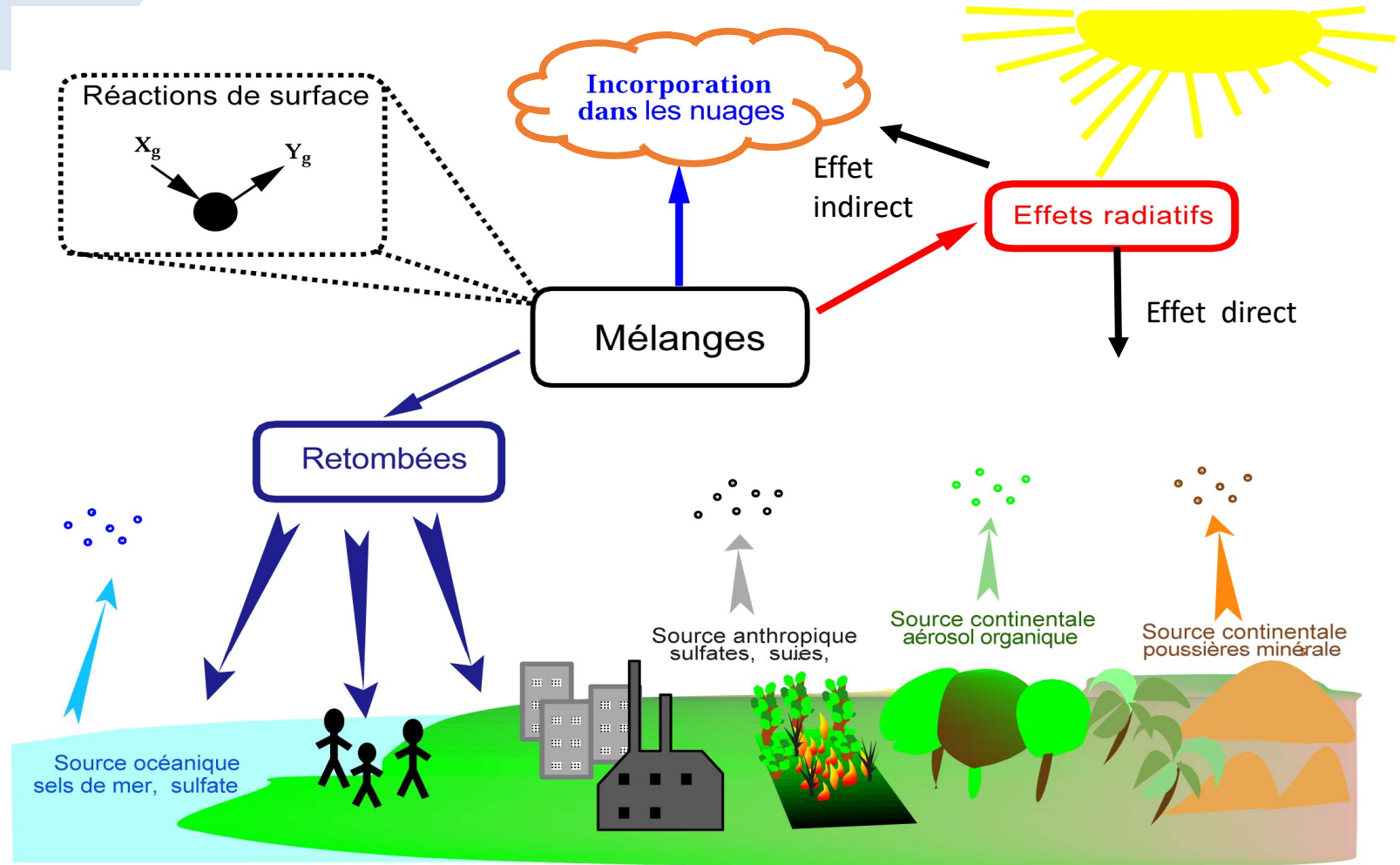
Estimates of global mortality burden associated with short-term exposure to fine particulate matter (PM_{2.5})

Wenhua Yu, Rongbin Xu, Tingting Ye, Michael J Abramson, Lidia Morawska, Bin Jalaludin, Fay H Johnston, Sarah B Henderson, Luke D Knibbs, Geoffrey G Morgan, Eric Lavigne, Jane Heyworth, Simon Hales, Guy B Marks, Alistair Woodward, Michelle L Bell, Jonathan M Samet, Jiangning Song, Shanshan Li, Yuming Guo



Entre 2000 et 2019:
Exposition de **qq h/jour** aux **PM2,5** a entraîné **~1 millions de décès prématurés** par an au niveau mondial

IMPACTS DES AÉROSOLS



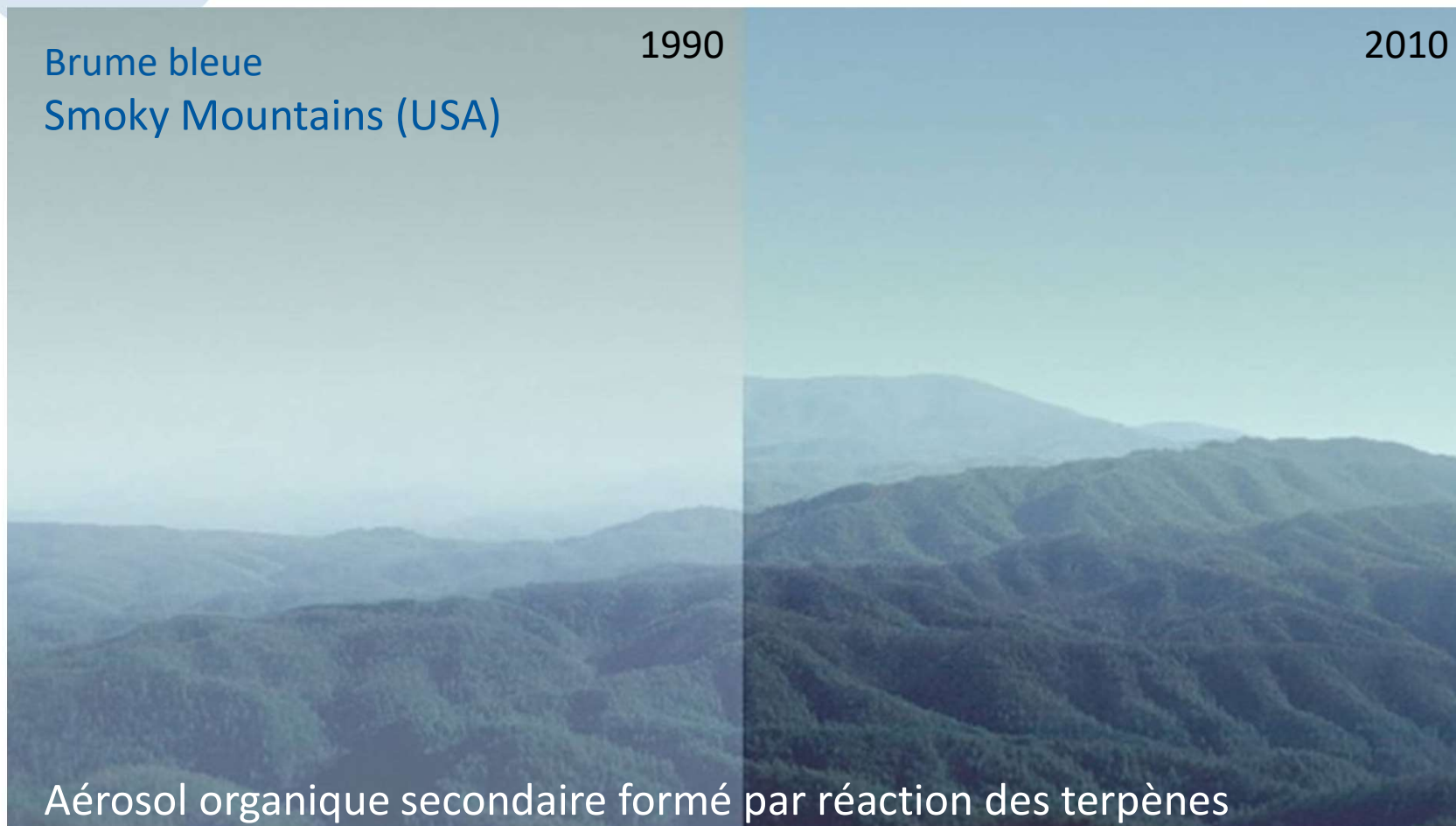
IMPACTS DES AÉROSOLS SUR LA VISIBILITÉ



Brume bleue
Smoky Mountains (USA)

1990

2010



Aérosol organique secondaire formé par réaction des terpènes

IMPACTS DES AÉROSOLS



La ligne bleue des Vosges



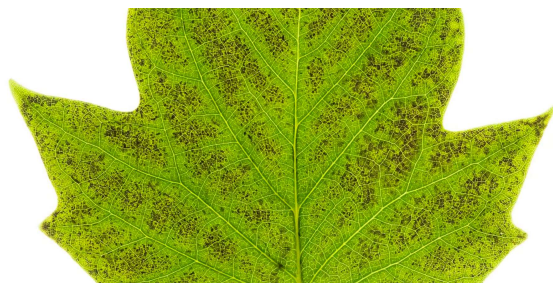
Galerie de photos: Boris Baillet

LES EFFETS DE LA POLLUTION DE L'AIR SUR LA BIODIVERSITÉ



Sur les végétaux

- Nécrose des plantes
- Réduction de la croissance
- Baisse de rendement de certaines productions agricoles (céréales, ...)
- Résistance amoindrie à certains agents infectieux
- Pluies acides : destruction de forêts



LES EFFETS DE LA POLLUTION DE L'AIR SUR LE BÂTI



Sur les bâtiments:

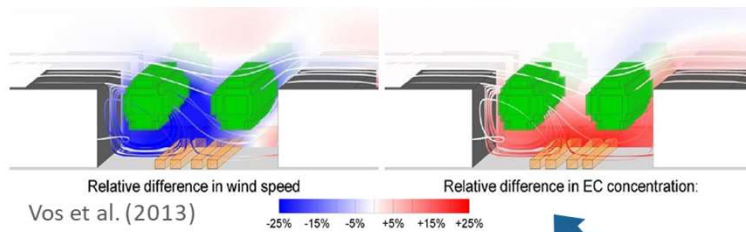
- Corrosion
- Noircissement et encroûtement
- Altérations diverses, aggravées par le gel, l'humidité et les micro-organismes



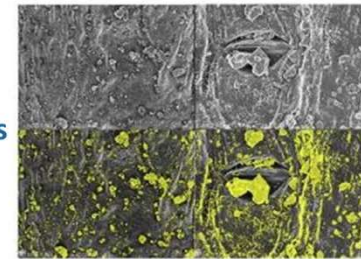
Figure 4 : illustration des effets de la pollution sur le bâti à Paris : a) présence de croûtes noires sur le Pont Neuf
b) détachement spontané de croûtes noires sur une pierre poreuse (sculpture de l'église St-Eustache)

IMPACTS DES ARBRES EN VILLE SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

2) Aerodynamic effect



3) Deposition on leaves

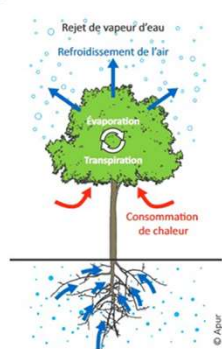
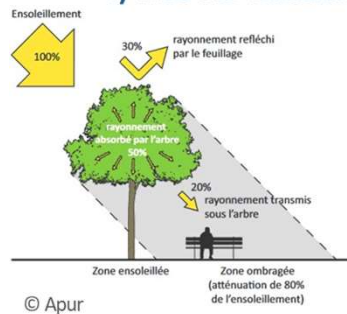


Lin et al. (2017)

source : Alice Maison.
CERA (2024)

Impact of trees on air quality

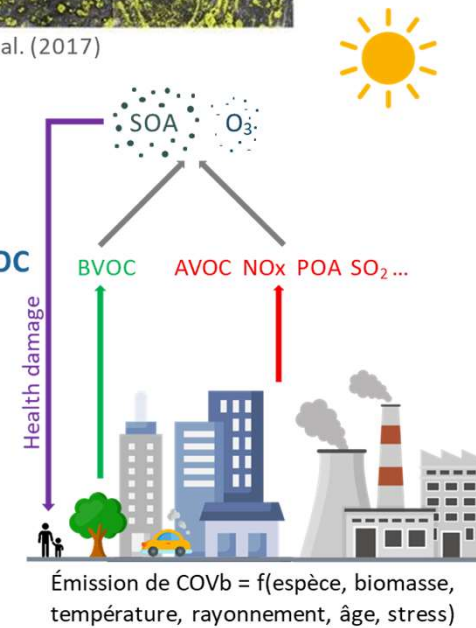
4) Thermo-radiatif effect



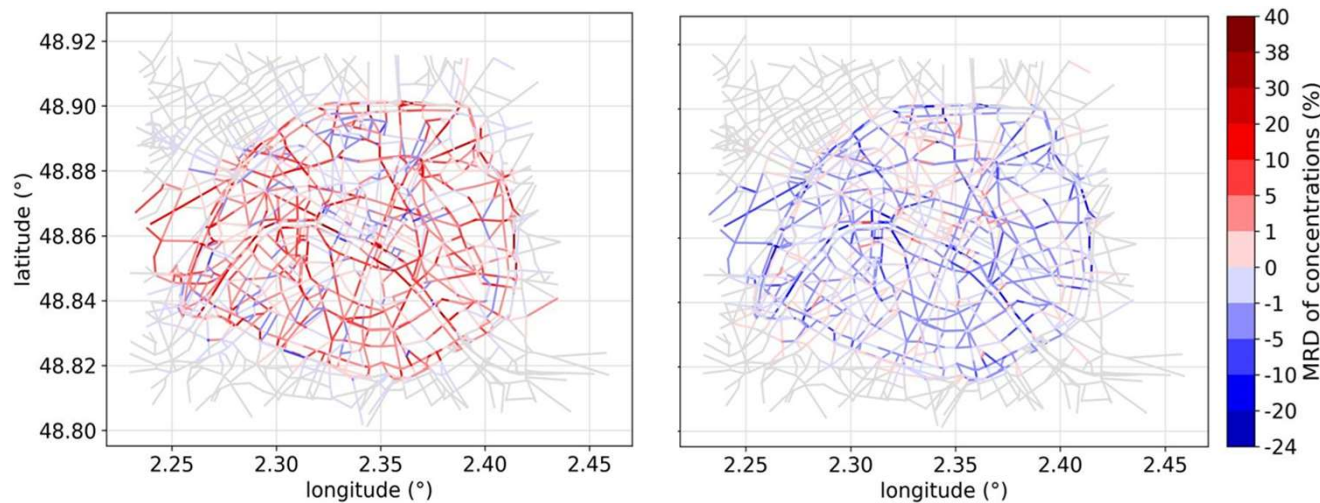
1) Emissions of BVOC

5) Indirect effect of vegetation stress

- Thermal stress (higher temperature)
- Water stress (planted in restricted soil volumes)



IMPACT DES EFFETS AÉRODYNAMIQUES



Alice Maison. CERE (2024)

Différence relative Moyenne des concentrations de NO₂ et d'O₃ liée à l'effet aérodynamique des arbres.

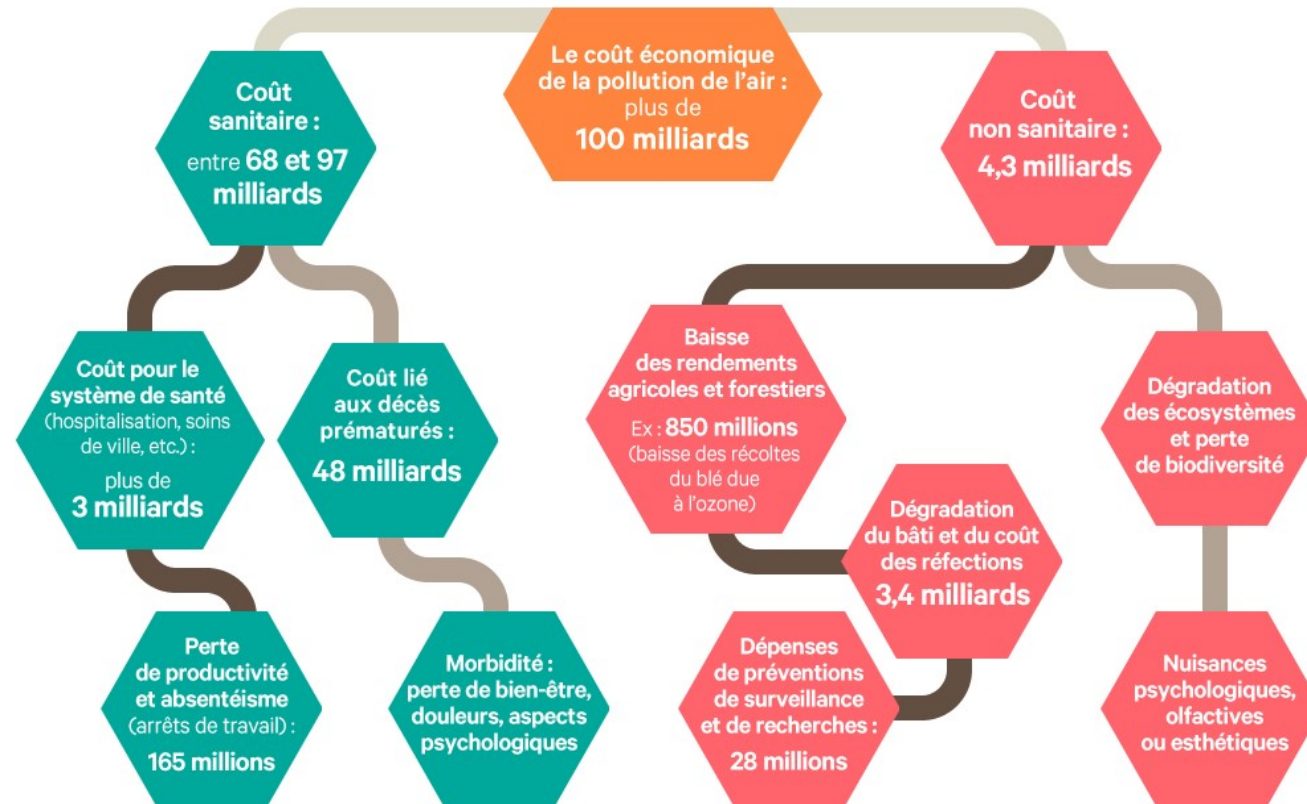
➔ Modification des flux d'air par la présence des arbres : responsable d'une augmentation moyenne de +4,6% des concentrations de NO₂ dans les rues arborées (max : +37%)

LES CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES



Le coût de la pollution atmosphérique en France

Montant annuel en euros



CRÉDITS : ELSA DICHARRY / GENEVIÈVE THIBAUD / MICHAËL MASTRANGELO

« LES ÉCHOS » / SOURCE : SÉNAT

Rapport Commission d'enquête sénatoriale, infographie Les Echos, 2015



LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

➔ Pour les impacts liés aux pollutions chroniques

- Réglementation française et européenne: des valeurs limites, valeurs cibles et des objectifs de qualité par polluant
- Consensus scientifique via OMS: des recommandations de concentrations à ne pas dépasser par polluant

➔ Pour les impacts liés aux pollutions aiguës

- Réglementation française : des seuils d'informations et d'alerte, déclencheurs des épisodes de pollution

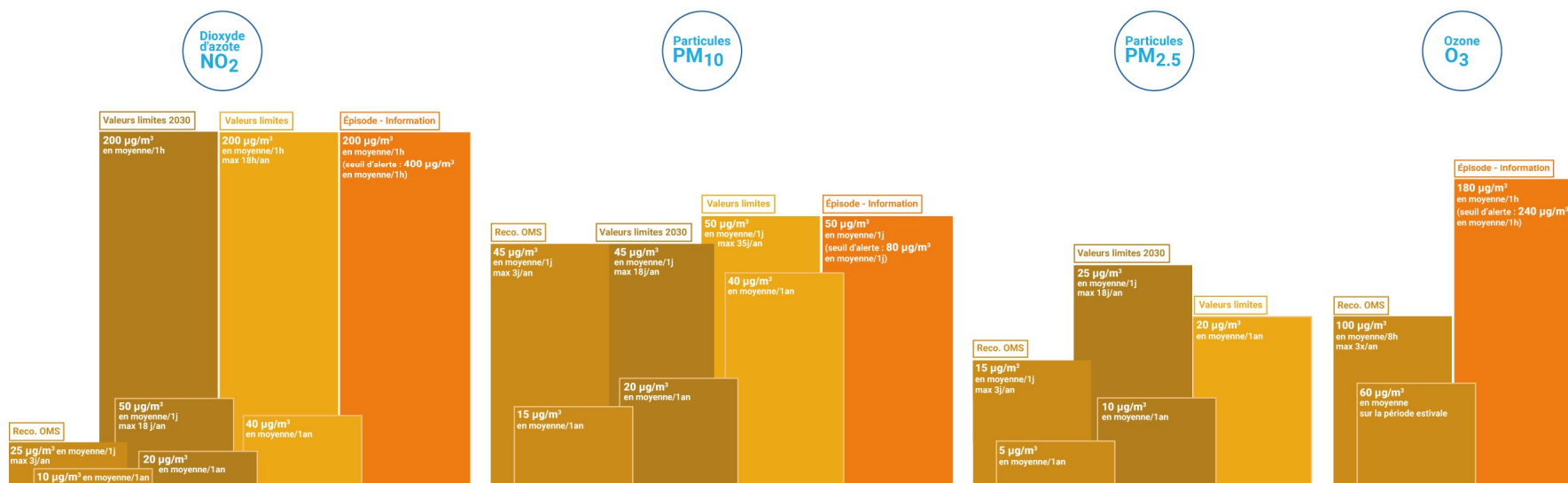
LES DIFFÉRENTS SEUILS RÉGLEMENTAIRES

SEUILS RÉGLEMENTAIRES RELATIFS À LA QUALITÉ DE L'AIR EN FRANCE

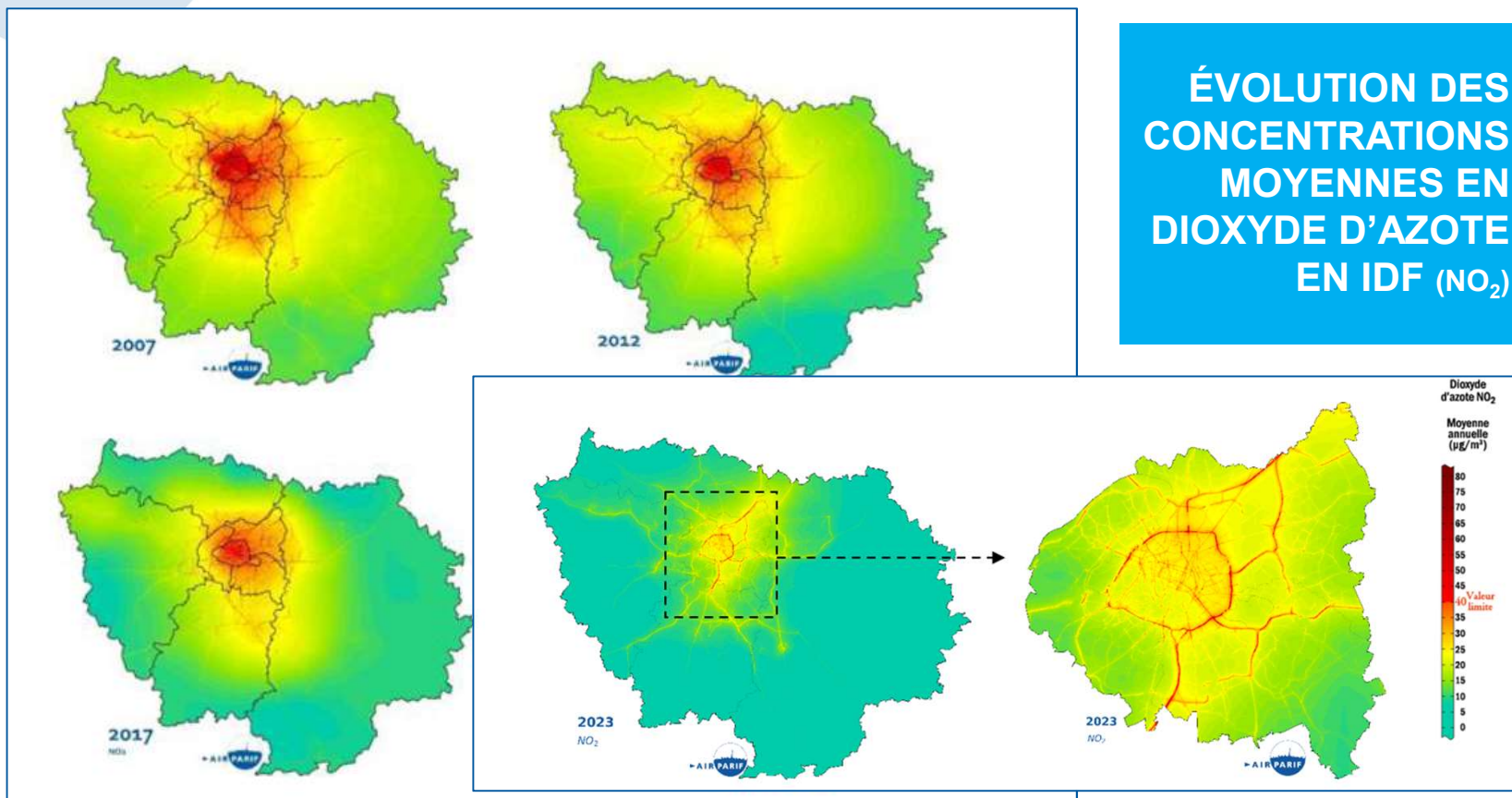
Il existe aussi des seuils réglementaires pour le SO₂ et le CO, non représentés ici.

Niveaux de pollution à respecter pour éviter des impacts sur la santé :

- à moyen et long terme :
 - recommandations de l'OMS
 - valeurs limites réglementaires 2030
 - valeurs limites réglementaires actuelles
- à court terme :
 - épisodes de pollution - seuils d'information et d'alerte



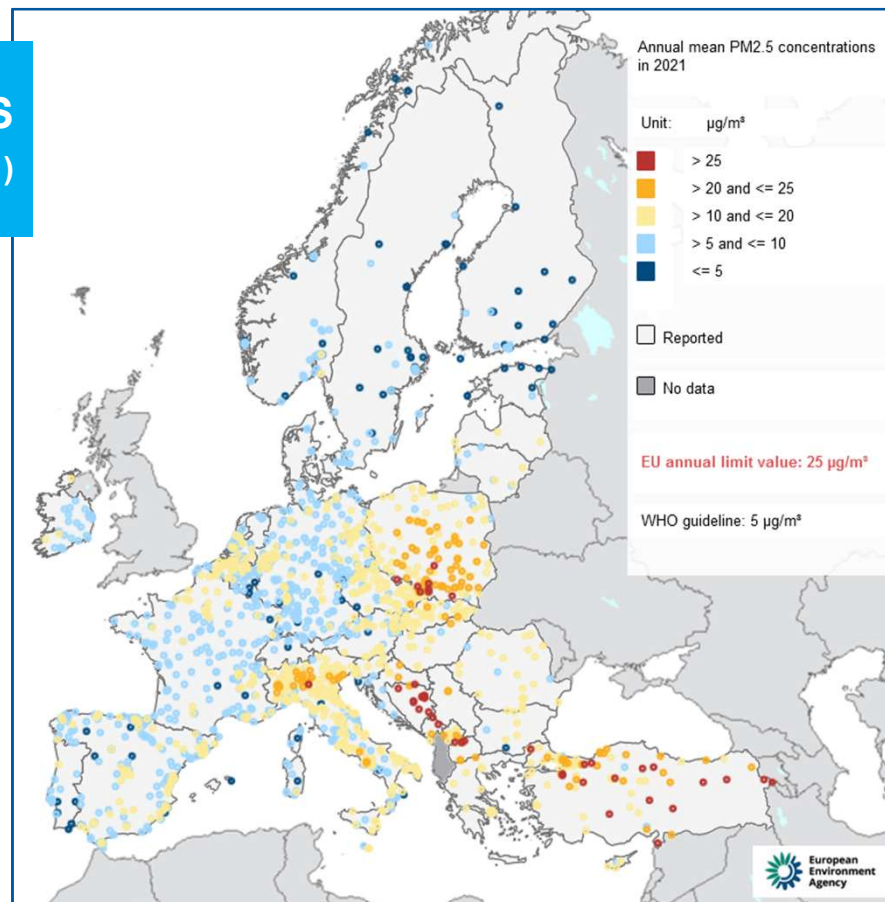
LA POLLUTION DE L'AIR DIMINUE DEPUIS 20 ANS...



... Mais des efforts à poursuivre !

DEZOOM : ET DANS LE RESTE DE L'UNION EUROPÉENNE ?

CONCENTRATIONS MOYENNES PM_{2,5} (2021)



source : « Europe's air quality status 2023 »,
Agence Européenne de l'Environnement (2023)

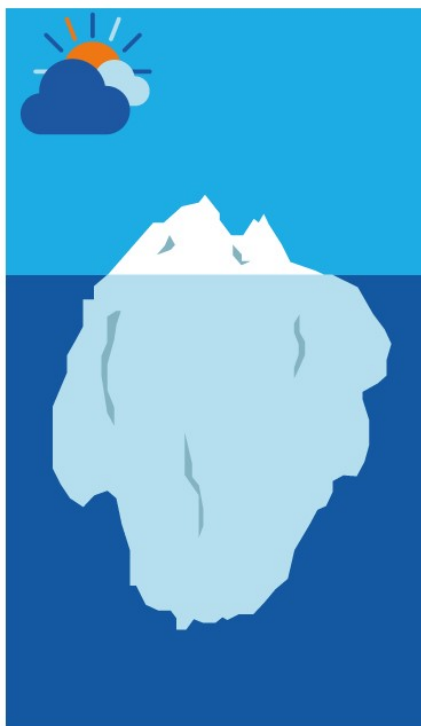
ÉPISODES DE POLLUTION ET POLLUTION CHRONIQUE

ÉPISODES DE POLLUTION

- Jours où la pollution de l'air atteint un niveau tel que l'Etat prend des mesures d'urgence pour réduire son impact à court terme sur la santé
- Caractérisation : dépassement des seuils d'information ou d'alerte
- Fréquence : plusieurs jours par an, en fonction des émissions, des conditions météorologiques et des imports
- Conséquences : mesures d'urgence ponctuelles

POLLUTION CHRONIQUE

- Jours pendant lesquels la pollution de l'air a un impact sur la santé
- Caractérisation : dépassement des recommandations de l'OMS
- Fréquence : en 2021, tous les jours en IDF
- Conséquences : mesures permanentes de réduction des émissions (plan de réduction des émissions ; mesures réglementaires)



UNE EXPOSITION VARIABLE AU COURS DE LA JOURNÉE



Nous passons l'essentiel de notre temps en intérieur : logement, travail, transports

Air intérieur = Air extérieur + Sources de pollution supplémentaires

UE : PROJET DE NOUVELLE DIRECTIVE QUALITÉ DE L'AIR



- ➔ Date d'entrée en vigueur des nouvelles valeurs limites : 2030
- ➔ Nouveaux seuils plus proches des recommandations de l'OMS
- ➔ Nouveaux droits d'indemnisation des personnes

NOUVELLES VALEURS RÉGLEMENTAIRES

Polluants	Valeurs UE 2008	Valeurs OMS	Valeurs UE réglementaires 2030
Dioxyde d'azote NO ₂	40 µg/m ³ moyenne annuelle	10 µg/m ³ moyenne annuelle	20 µg/m ³ moyenne annuelle
PM _{2.5}	25 µg/m ³ moyenne annuelle	5 µg/m ³ moyenne annuelle	10 µg/m ³ moyenne annuelle
PM ₁₀	40 µg/m ³ moyenne annuelle	15 µg/m ³ moyenne annuelle	20 µg/m ³ moyenne annuelle
Ozone O ₃	120 µg/m ³ pendant une année civile	100 µg/m ³ moyenne sur 8 heures	120 µg/m ³ moyenne sur 8 heures
Dioxyde de soufre SO ₂	125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 jours par an	40 µg/m ³ sur 24 heures	50 µg/m ³ sur 24 heures

UE : PROJET DE NOUVELLE DIRECTIVE QUALITÉ DE L'AIR

RECOURS ACCRU À LA MODÉLISATION



Si **dépassement du seuil d'évaluation** : possibilité de compléter les mesures fixes par de la **modélisation** et de la **mesure indicative**



Si **dépassement de valeur limite/cible** : **nécessité** de compléter les mesures fixes avec de la **modélisation**



Si la modélisation montre un **dépassement de valeur limite/cible en l'absence de mesures fixes** : nécessité de réaliser des **mesures fixes ou indicatives supplémentaires pendant 1 an**

RENFORCEMENT DES CRITÈRES RELATIFS AUX POINTS DE PRÉLÈVEMENTS



Mise en place de **6 super-sites** (emplacement à définir) pour la collecte de **données à long terme sur l'impact** des polluants sur la santé et l'environnement.

QUELLES PERSPECTIVES ?



Article 10 introduit **les supersites de surveillance** et **régit leur nombre et leur localisation.**

- ⇒ Au moins 1 supersite pour 10 millions d'habitants en situation de fond urbain
- ⇒ Au moins 1 supersite pour 100 000 km² en situation de fond rural

- ➔ Ces supersites de surveillance combinent plusieurs points de prélèvement afin de recueillir des **données à long terme** sur :
 - les **polluants atmosphériques couverts par la directive actuelle,**
 - les **polluants atmosphériques émergents et autres paramètres pertinents:**

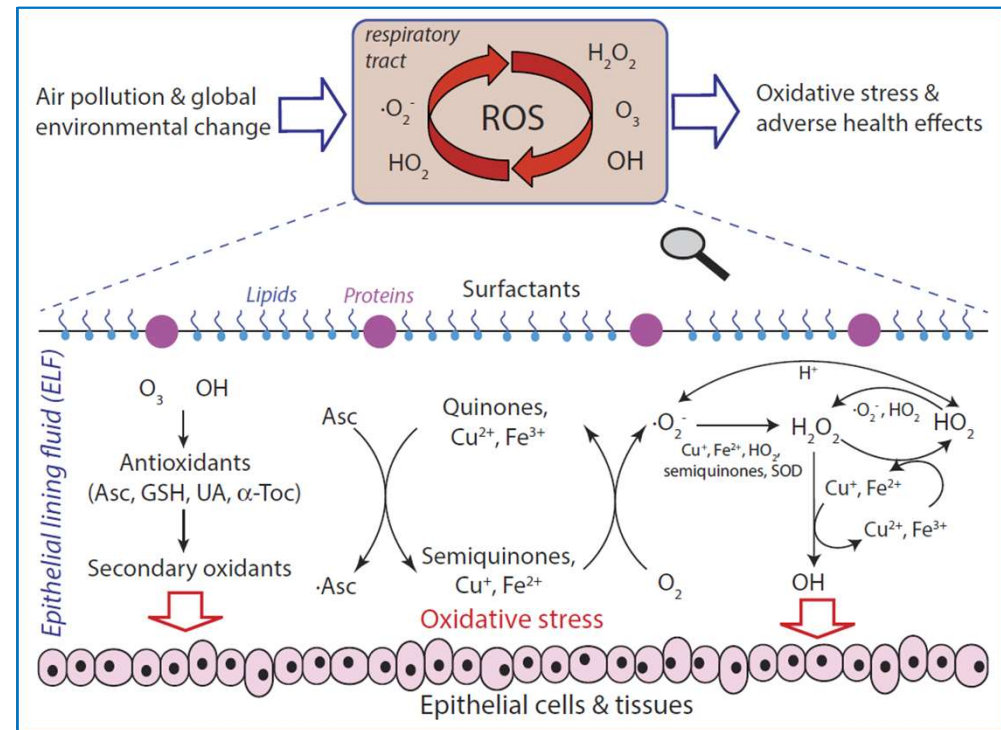
Particules ultrafines (PUF), carbone suie (BC), ammoniac (NH₃), potentiel oxydant (PO)

LE POTENTIEL OXYDANT

Caractériser capacité des PM à induire un **Stress oxydant**

Espèces réactives de l'oxygène (ROS) > Antioxydants

Objectif: quantifier la génération de ROS dans des conditions biologiques simulées (capacité des particules à oxyder des molécules cibles au cours du temps)



Lakey et al., Scientific Report, 6, 32916, 2016



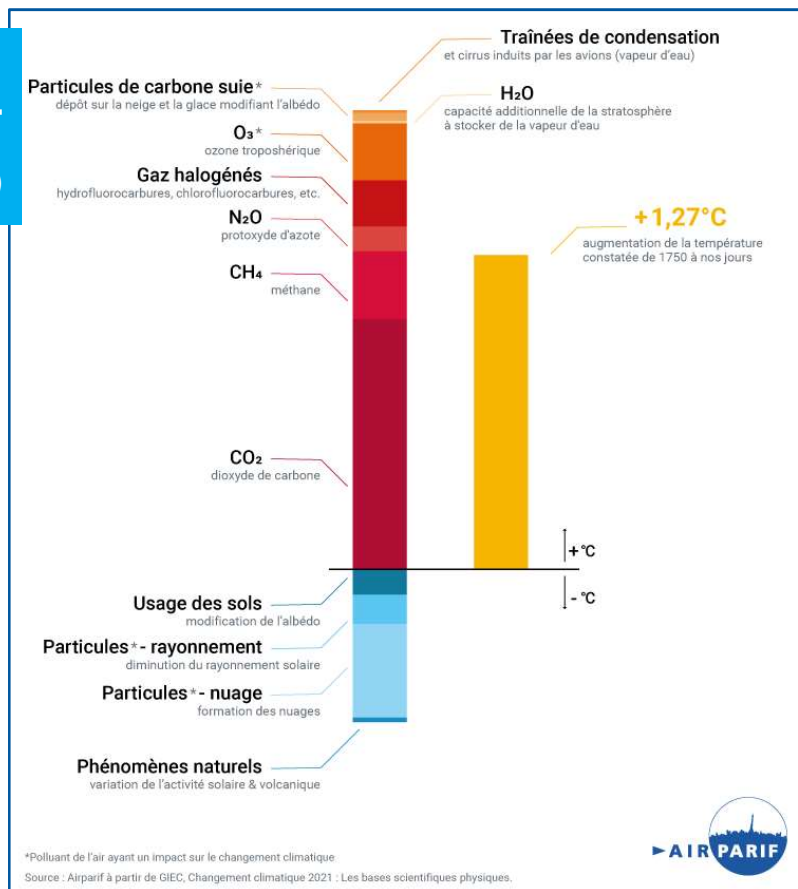
8

POLLUTION DE L'AIR ET CHANGEMENT CLIMATIQUE : NE PAS CONFONDRE

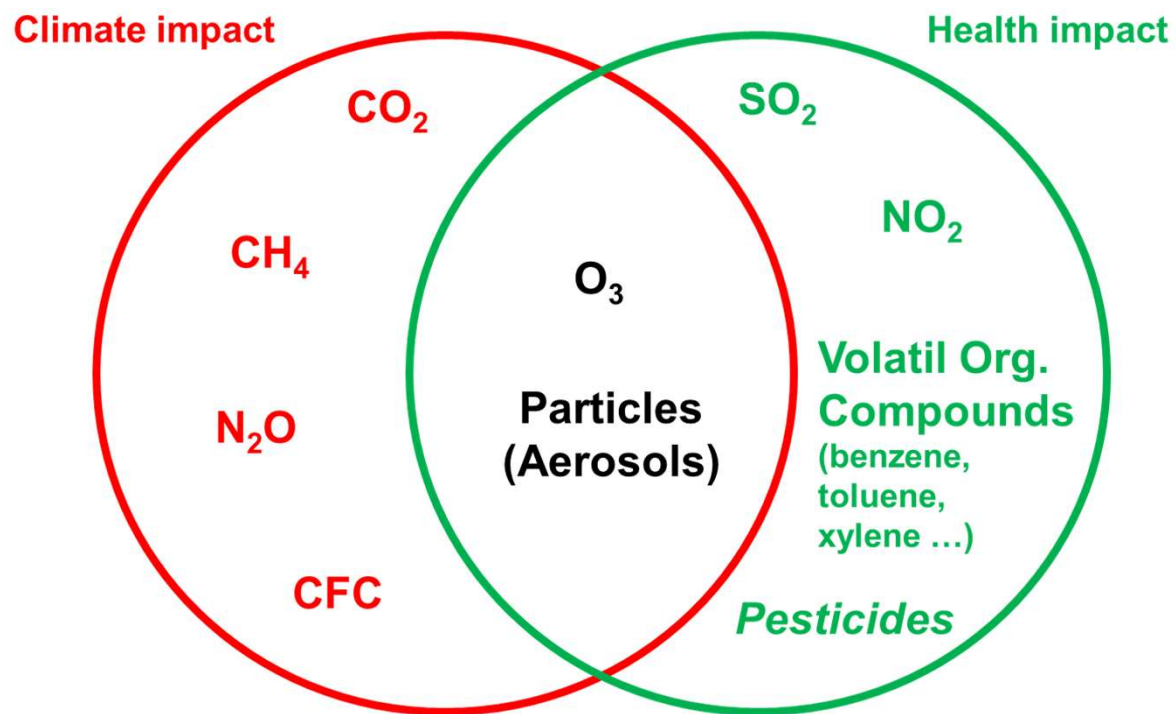
Des sources semblables, des conséquences et des enjeux différents

CERTAINS POLLUANTS DE L'AIR IMPACTENT LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

CONTRIBUTIONS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE (1750 – 2019)

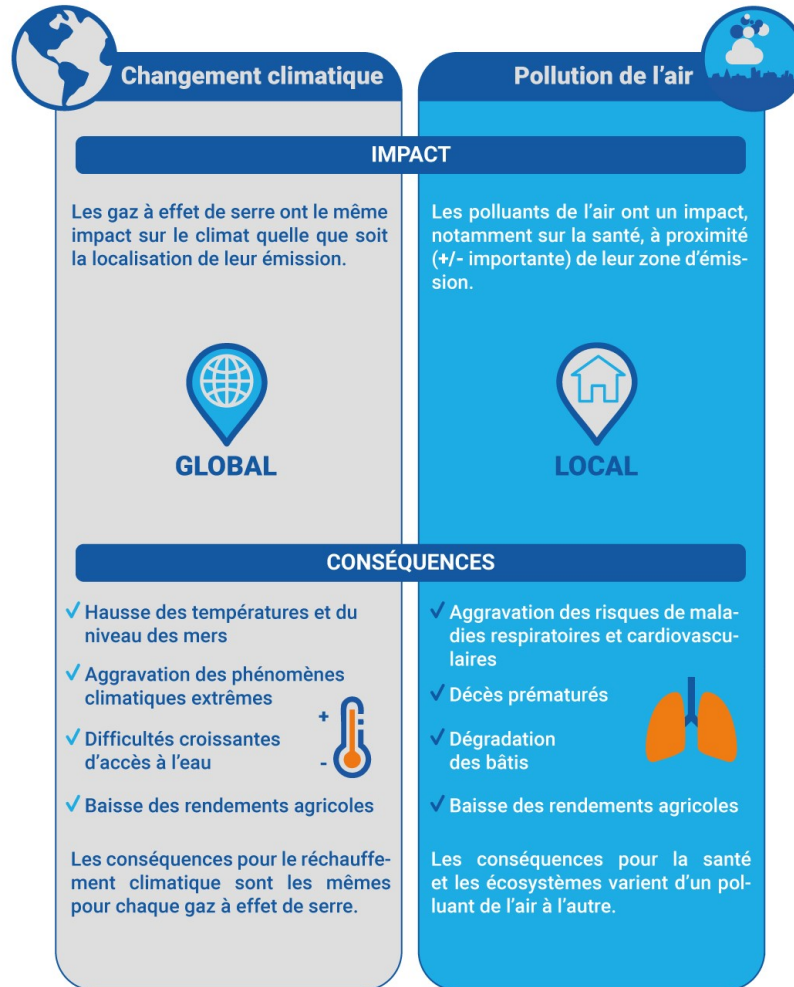


CERTAINS POLLUANTS DE L'AIR IMPACTENT LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

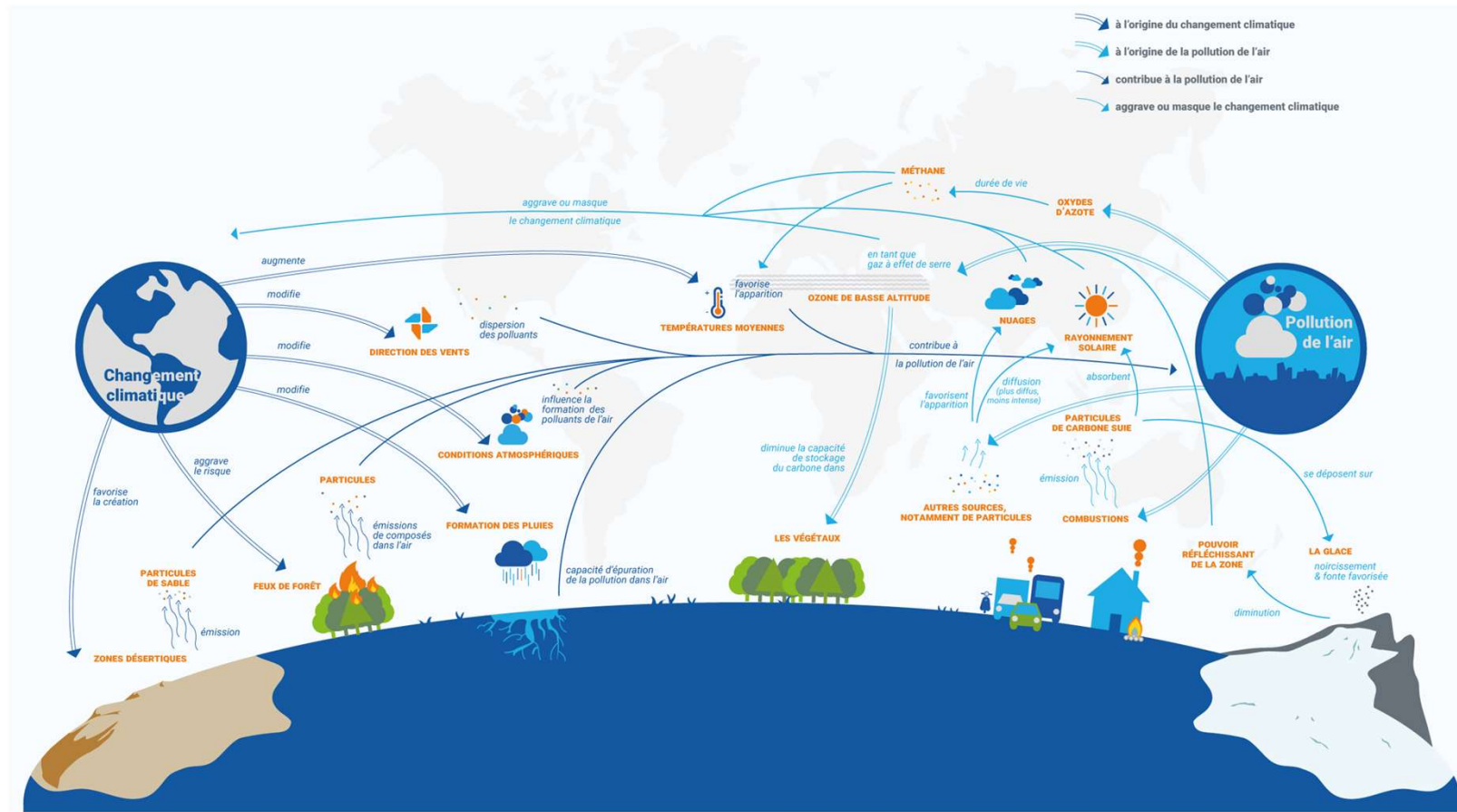


Courtesy: G. Foret

DEUX PHÉNOMÈNES DISTINCTS...



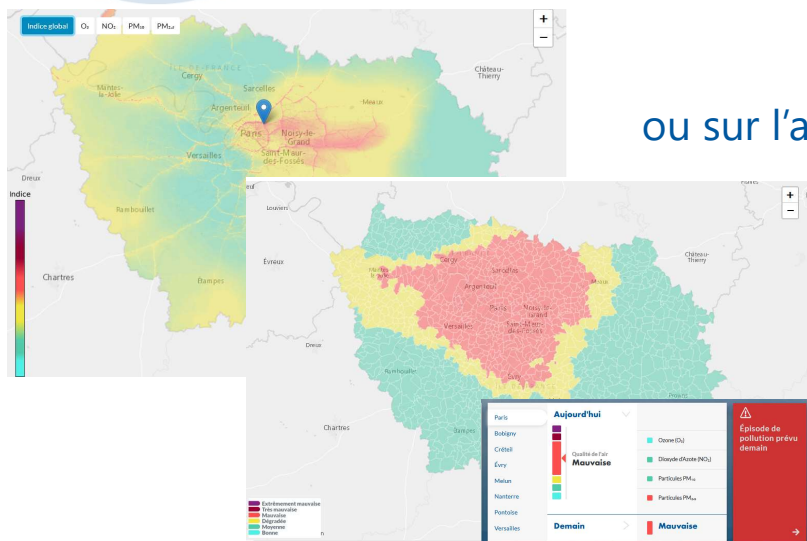
LES INTERACTIONS ENTRE CHANGEMENT CLIMATIQUE ET POLLUTION DE L'AIR





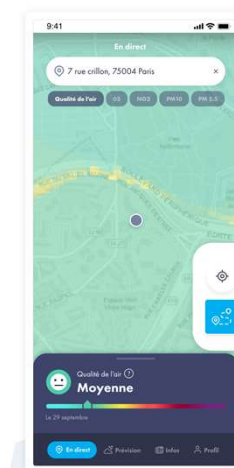
S'INFORMER AUTOUR DE LA QUALITÉ DE L'AIR

LA POLLUTION DE L'AIR EN TEMPS RÉEL ET EN PRÉVISION POUR LE LENDEMAIN



airparif.fr
ou sur l'application Airparif

Vérifier la pollution en direct
en Île-de-France



Connaitre la qualité de l'air
pour demain



La pollution en direct

- Cartes haute résolution (10-50m)
- Mise à jour toutes les heures
- 5 polluants les plus problématiques

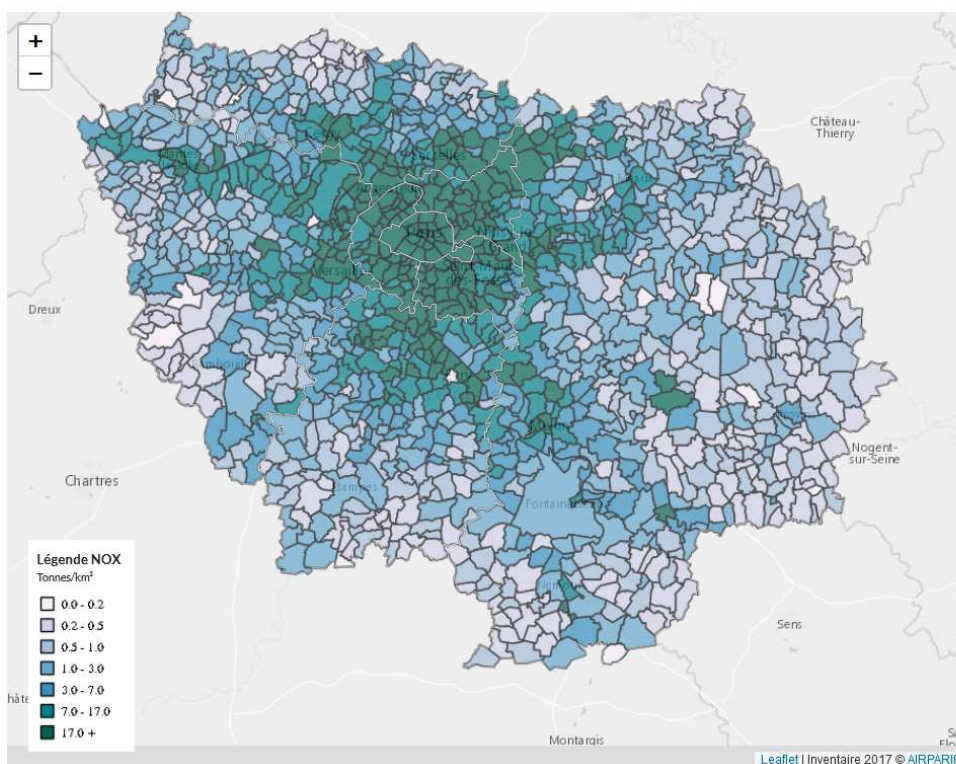
Prévision pour demain et annonce des épisodes de pollution

- Bulletin
- Information par commune

INVENTAIRE DES ÉMISSIONS (POLLUANTS DE L'AIR ET GES) COMMUNE PAR COMMUNE



NO_x
PM₁₀
PM_{2.5}
COVNM
NH₃
SO₂
GES
Consommation énergétique
RÉGION
DÉPARTEMENT
INTERCOMMUNALITÉ
MÉTROPOLE



Émissions et consommations 2018 en Île-de-France (estimations faites en 2020)

Saisissez une adresse ou cliquez sur la carte

En 2018, les émissions de NO_x sont de 72 720 Tonnes pour la région Île-de-France et de 6 404 Tonnes pour le département Val de Marne réparties selon les secteurs d'activité suivants :



DES SYNTHÈSES DES CONNAISSANCES

Mai 2021



Comprendre la pollution > Air et météo

Les polluants réglementés

NO₂

Le dioxyde d'azote

Principalement émis par le trafic routier, il impacte les fonctions respiratoires. Les concentrations restent problématiques d'hiver.

[Voir la page >](#)

PM₁₀

Les particules

De sources multiples, les PM₁₀ impactent la santé respiratoire et cardiovasculaire. Les niveaux en France

[Voir la page >](#)

Les g

Les Ph et cart

[Voir la page >](#)

Au bureau

Les études sur la qualité de l'air intérieure dans les bureaux sont moins nombreuses que celles dans les écoles, mais la prise de conscience est forte.

[Voir la page >](#)

L'osone

Formé par réaction d'oxygène et d'oxyde d'azote, c'est un oxydant puissant qui agit sur les fonctions respiratoires. Les concentrations en France sont faibles.

[Voir la page >](#)

SO₂

Le dioxyde de soufre

C'est un indicateur de la pollution due aux combustibles fossiles.

[Voir la page >](#)

SOMMAIRE

- Qualité de l'air et climatologie
- Les gaz à effet de serre

Qualité de l'air et météorologie

D'un jour à l'autre, la pollution de l'air ambiant peut varier de façon importante à l'échelle locale. Ces variations s'expliquent par la mise en jeu de la complexité des phénomènes météorologiques ou au contraire leur accumulation.

La santé et le climat favorisent la diffusion, la formation et l'aggravation par l'inertie et la durée d'exposition et l'effet photochimique et vent des vents (du sud dominant).

En outre, les chaudières industrielles (particulaires) et les usages agricoles (pesticides) contribuent à la formation de l'ozone troposphérique, ainsi qu'à l'augmentation des températures. En outre, la végétation et l'accumulation des polluants favorisent la formation de particules, ainsi qu'à l'aggravation.

[Accéder](#)

Effets sur la végétation

Les études expérimentales montrent que :

- Les espèces les plus sensibles sont le hêtre, le mélèze, la hêtre, l'érable, le tilleul, le châtaignier, le frêne, le peuplier et certaines légumineuses comme le haricot.
- La période de sensibilité, le stade, le climat et la fertilité jouent un rôle important dans la sensibilité.
- Plus les espèces sont sensibles, plus elles sont affectées par la pollution.

[Accéder](#)

Rechercher par mots-clés Tous les types de contenus 2021 Toutes les zones géographiques

8 janvier 2022

Mesure dioxyde d'azote - Gare de bus Vaires-Torcy 2021

[Etudes](#)

3 janvier 2022

Bilan 2020 - Carnelle Pays de France

[Bilan](#)

30 novembre 2021

Qualité de l'air intérieur - Quais RER C - Pont de l'Alme - 2021

[Etudes](#)

28 octobre 2021

Bilan 2020 - Val-de-Marne

[Bilan](#)

28 octobre 2021

Bilan 2020 - Seine-Saint-Denis

[Bilan](#)

28 octobre 2021

Bilan 2020 - Paris Est Marne et Bois

[Bilan](#)

13 octobre 2021

Challenge AIRLAB microcapteurs 2021

[Plaquettes et rapport d'activité](#)

DOSSIER ET COMMUNIQUÉ DE PRESSE

13 octobre 2021

Résultats du Challenge AIRLAB Microcapteurs 2021

[Communiqués / Doussiers de presse](#)



Expérimentation pour une meilleure connaissance de la qualité de l'air dans les écoles parisiennes

2019-2020

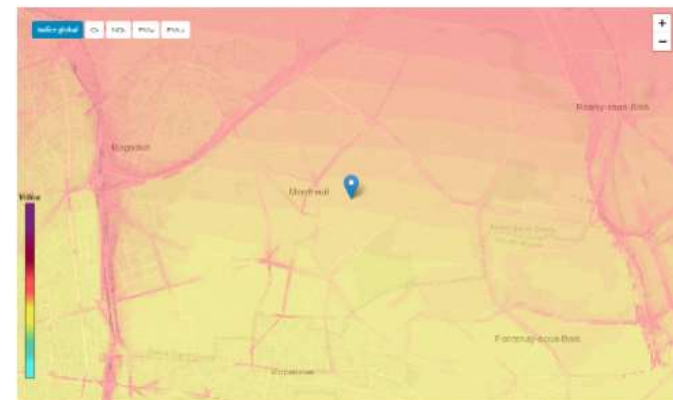


DONNÉES ACCESSIBLES EN OPEN DATA



Disponibles sous forme de widget et d'API, à intégrer dans ses supports

- Indice de qualité de l'air à J et J+1
- Cartes en direct
- Prévision d'un épisode de pollution (pour J ou J+1)



LA FRESQUE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

A graphic for the 'LA FRESQUE DE LA QUALITÉ DE L'AIR EXTÉRIEUR' project. It features a blue square with a white outline containing a stylized human figure with lungs and a cloud. To the right, the text 'LA FRESQUE DE LA QUALITÉ DE L'AIR EXTÉRIEUR' is written in blue. Logos for AIR PARIS and Aimo France are in the top right corner.

Fédération des associations de surveillance de la qualité de l'air
Aimo
France

LA FRESQUE DE LA QUALITÉ DE L'AIR
EXTÉRIEUR





francois.gaie-levrel@airparif.fr

Agir pour un air sain dans un monde plus durable

7 rue Crillon
75004 Paris

airparif.fr



[@Airparif](https://twitter.com/Airparif)



[Airparif](https://www.facebook.com/Airparif)



[Airparif](https://www.linkedin.com/company/Airparif)



[airparif](https://www.instagram.com/airparif)