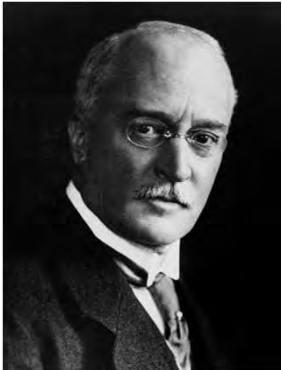




Emissions des moteurs Diesel : nature et impacts atmosphériques

N. Marchand

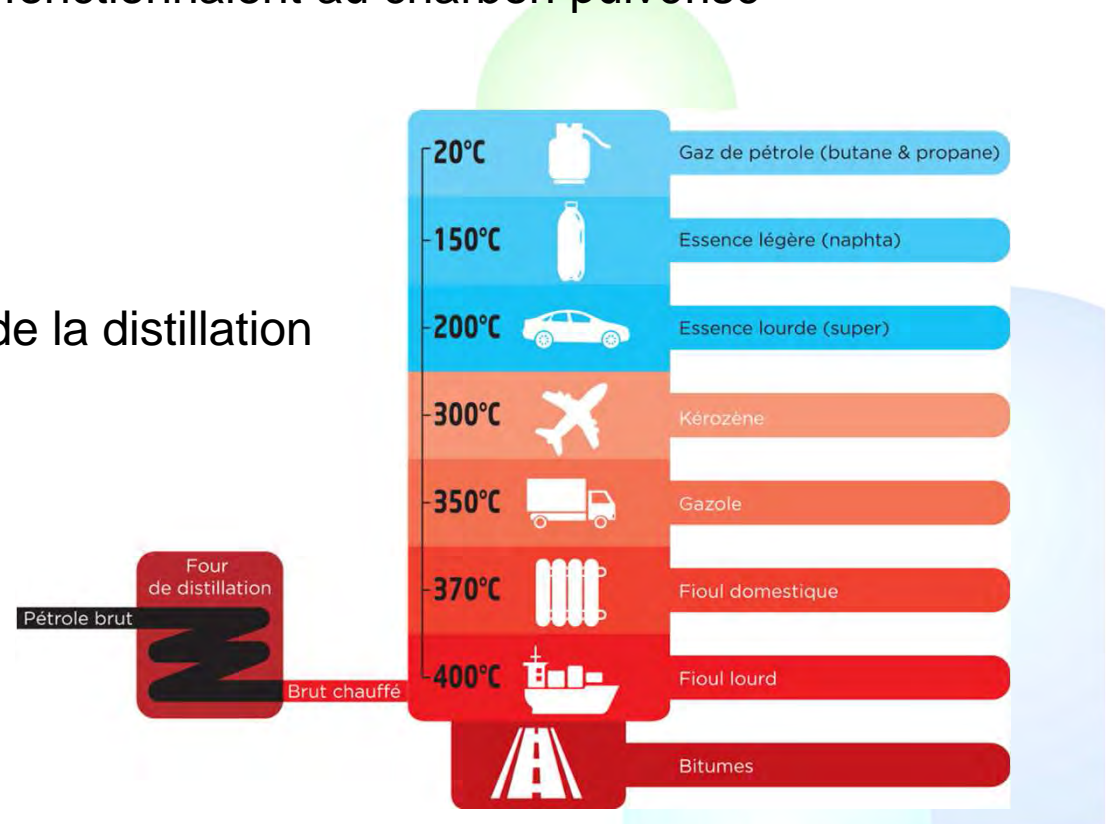


Rudolph Diesel
1858-1913

moteur Diesel (1897) est un moteur à combustion interne dont l'allumage est spontané lors de l'injection du carburant (forte compression/hautes températures)

Premiers modèles fonctionnaient au charbon pulvérisé

Gazole (≠ diesel) : fraction issue de la distillation du pétrole

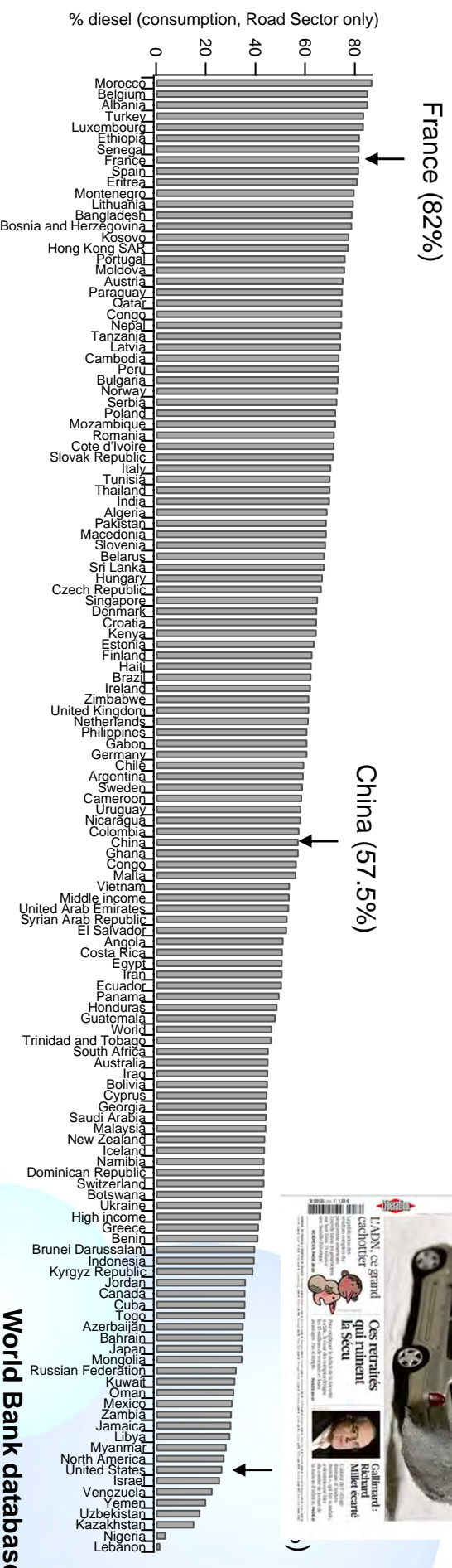


Diesel en France

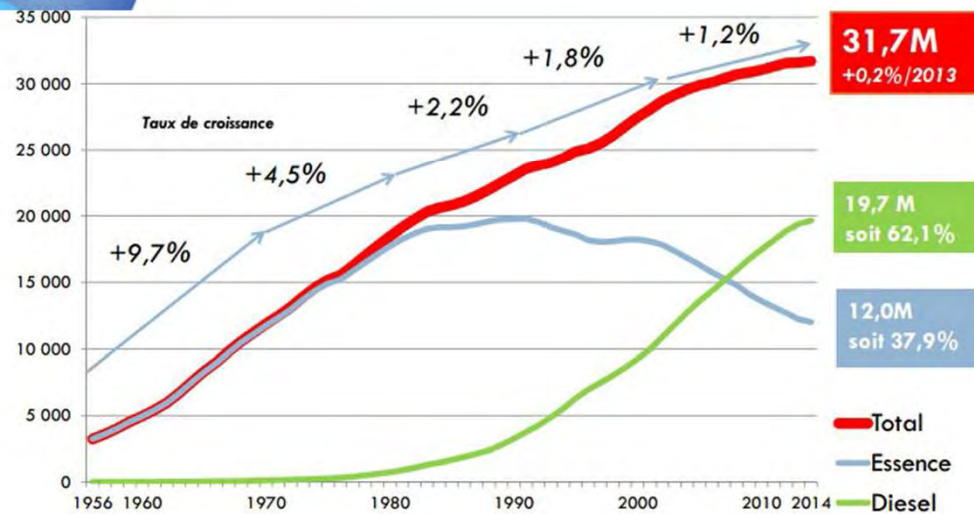
Principale caractéristique du parc automobile français : prédominance du Diesel

- 62% des véhicules légers
- 82% du fuel total (E+G) consommé en France (Road Sector only)

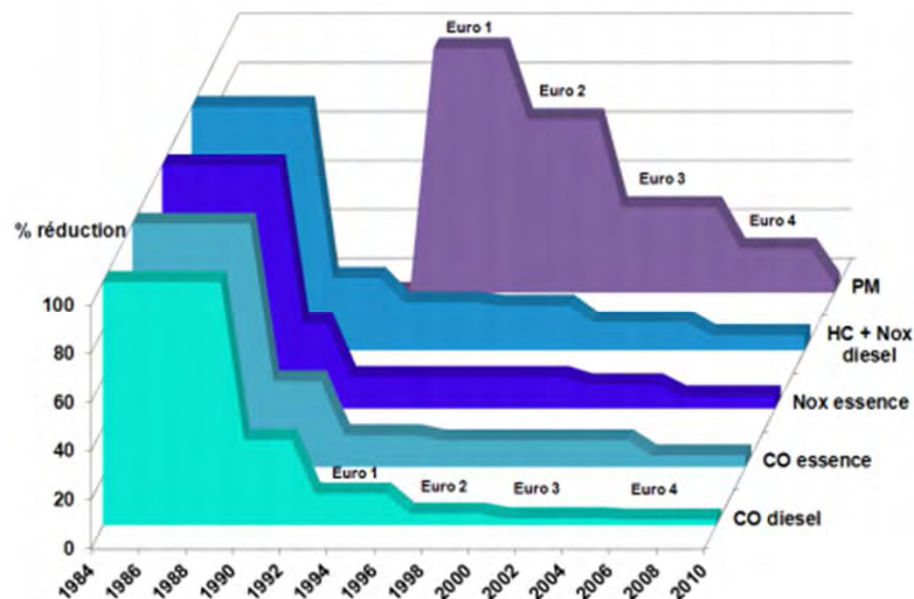
- Actuellement un sujet sensible (rapport de l'OMS sur l'impact sanitaire du BC)
- Interdiction des "vieux" Diesel dans les grandes agglomérations (avant 2020)



Diesel en France



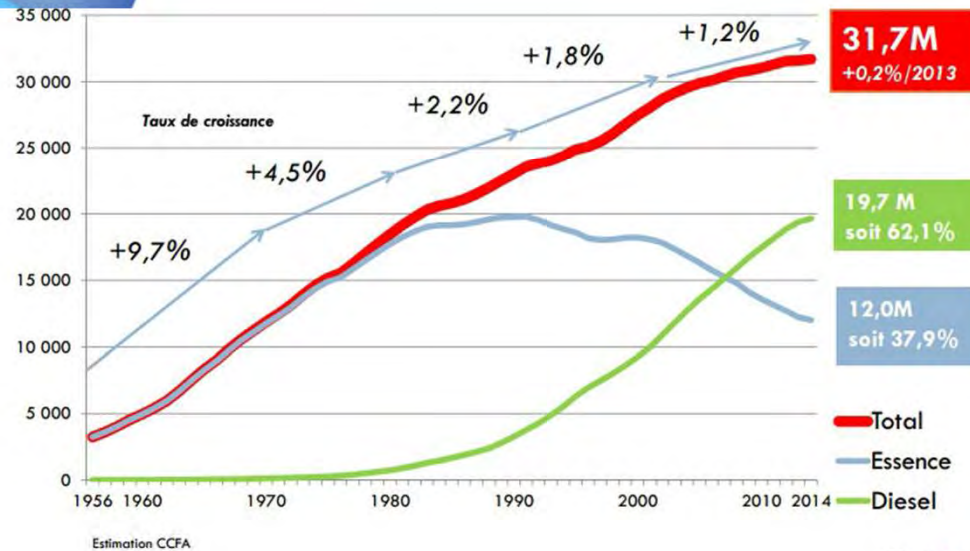
Evolution du Parc automobile français



Evolution des normes Euro

- Outil mis en place au début des années 90
- Normes Euro différentes selon les motorisations (D ou E)
- Il faut 7-10 pour renouveler le parc

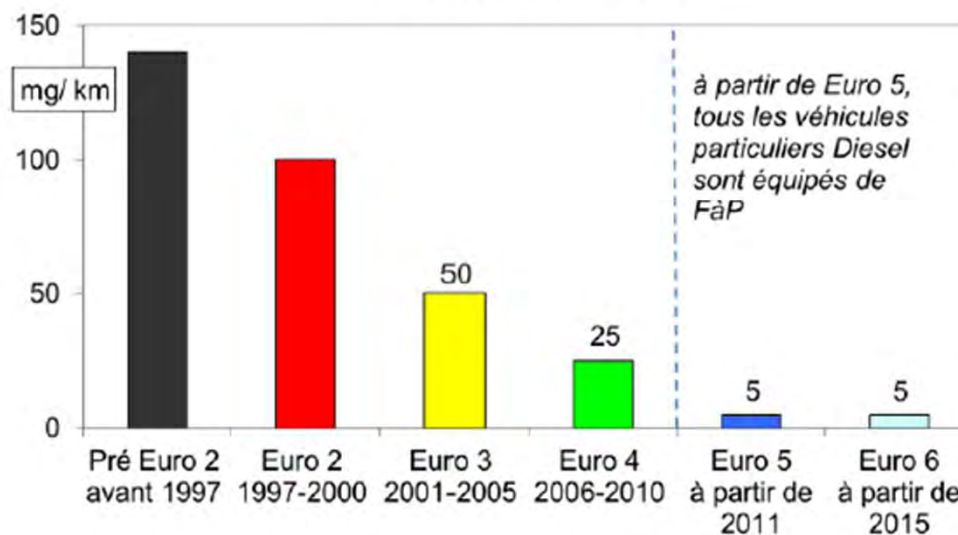
Diesel en France



Evolution du Parc automobile français

01/07/

Sévérisation des valeurs limites d'émissions de particules primaires - véhicules particuliers Diesel -



Evolution des normes Euro

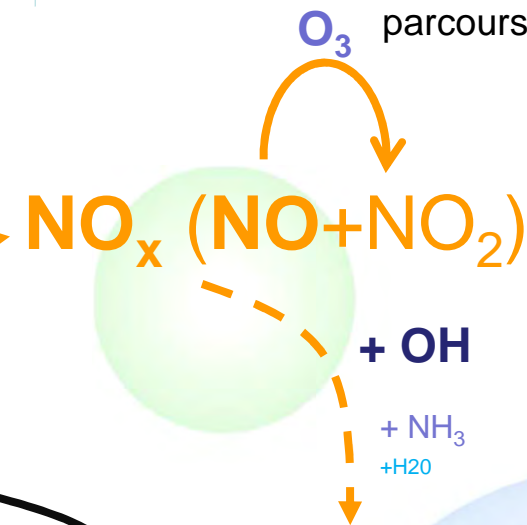
Exemple des particules pour les véhicules légers Diesel

(Diminution d'un facteur 30 du seuil réglementaire en moins de 15 ans)

Composition des émissions Diesel

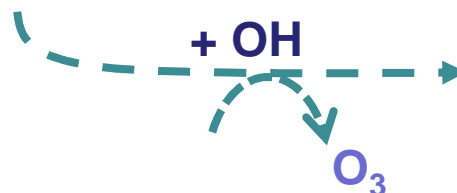


Tout est une question de proportions
(f de type EURO, Essence/Diesel, type de parcours, hiver/été)



Composés Organiques Volatils (COV ou HC)

Produits de combustion, résidus imbrulés



Particules

(PM10, PM2.5, PM1)

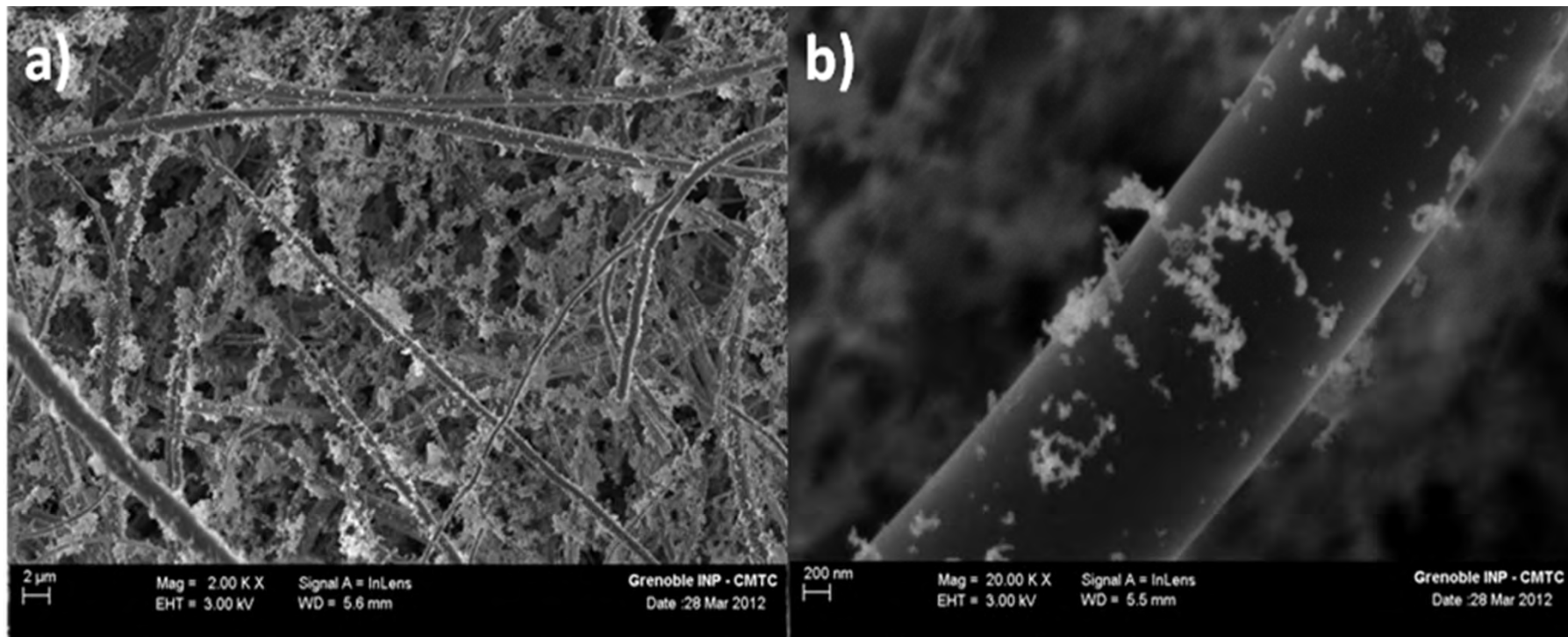
Black Carbon, Carbone Élémentaire (EC), Matière organique (OC/OM), métaux

HNO_3, NH_4NO_3

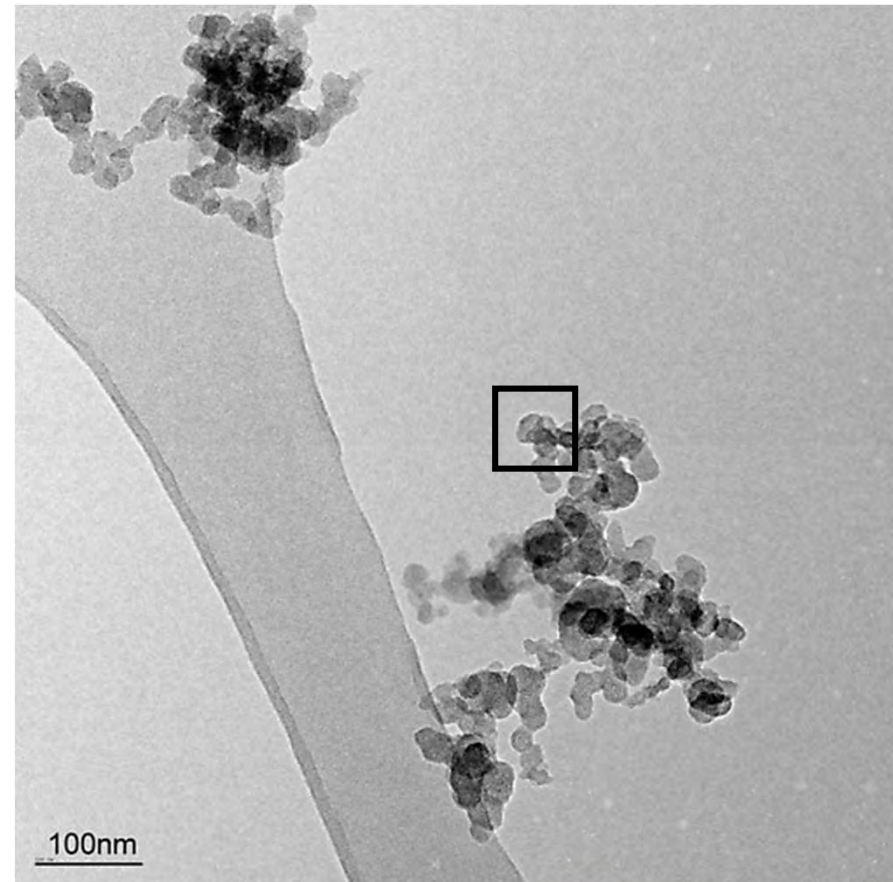
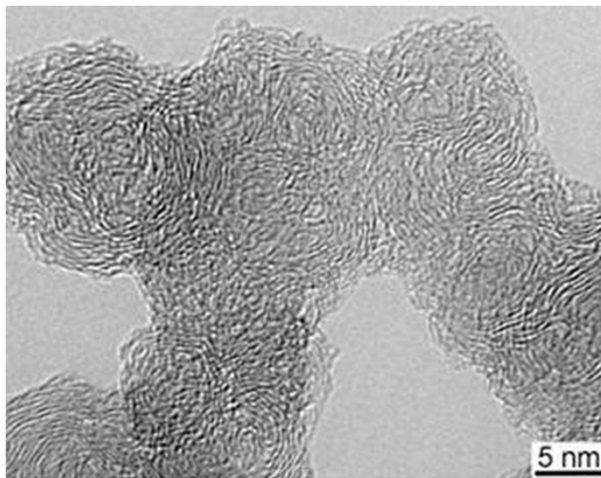
Aérosol Organique Secondaire (SOA)

Particules Diesel

Soot particle viewed by TEM-microscope of samples collected in a near Highway environment, Grenoble, Jaffrezo et al).

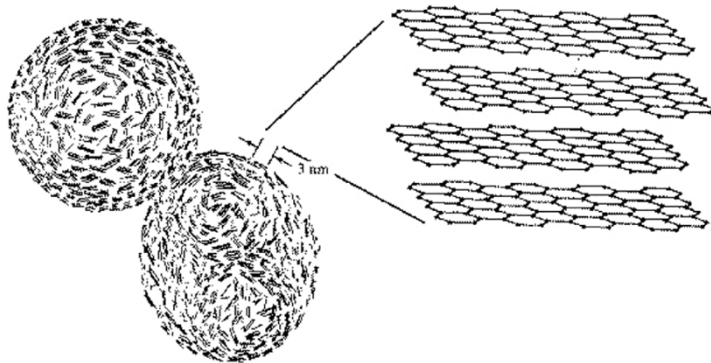


- Association de nano-sphères de carbone (~10 nm)

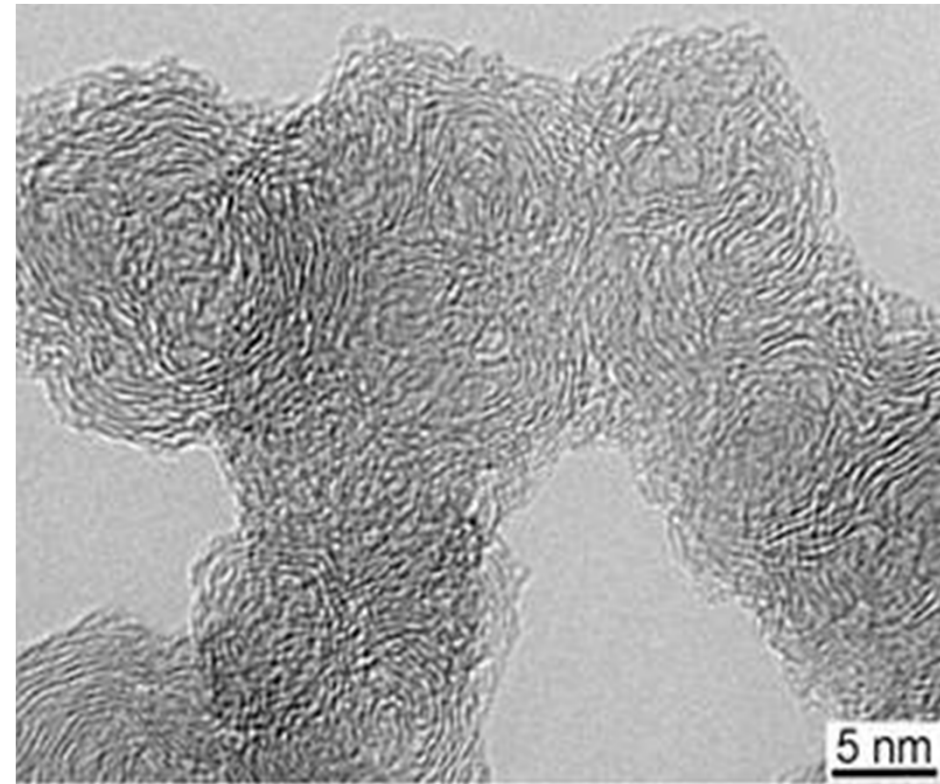
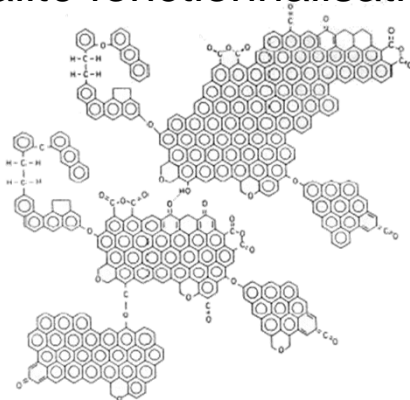


Diesel soot particle viewed by TEM-microscope.

- Agglomérat de nano-sphères de carbone (~10 nm)
- Structure graphitique (première approche)

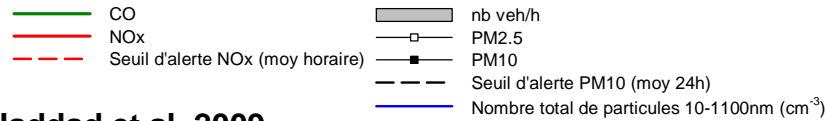


- En réalité fonctionnalisation partielle

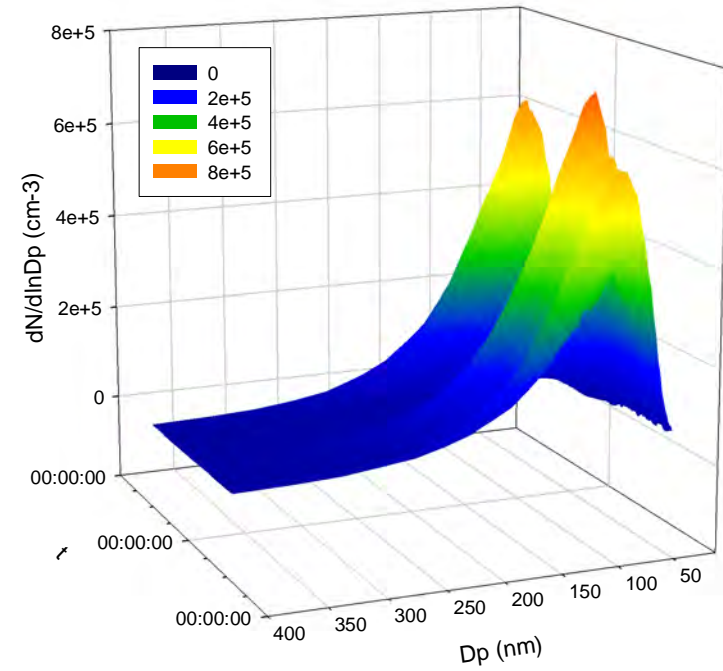
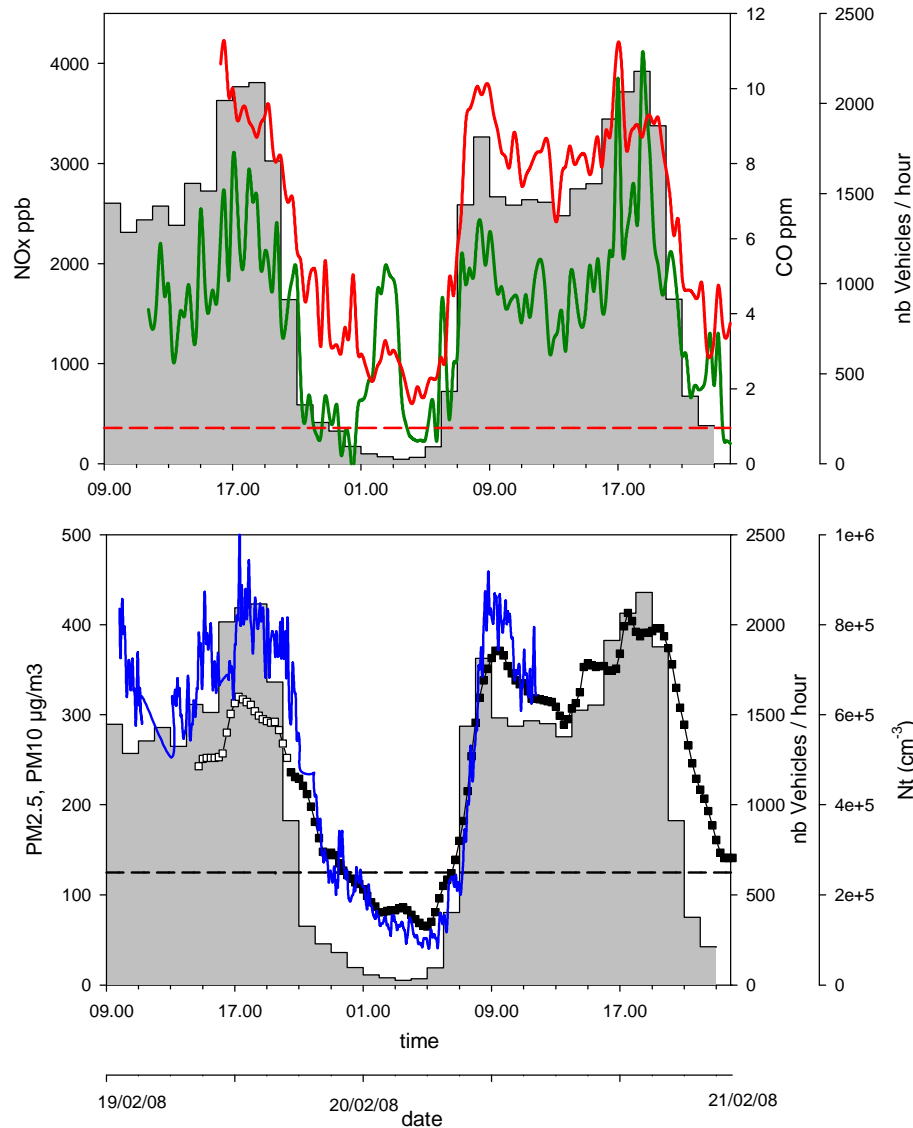


Diesel soot particle viewed by TEM-microscope.

Particules primaires (Tunnel)



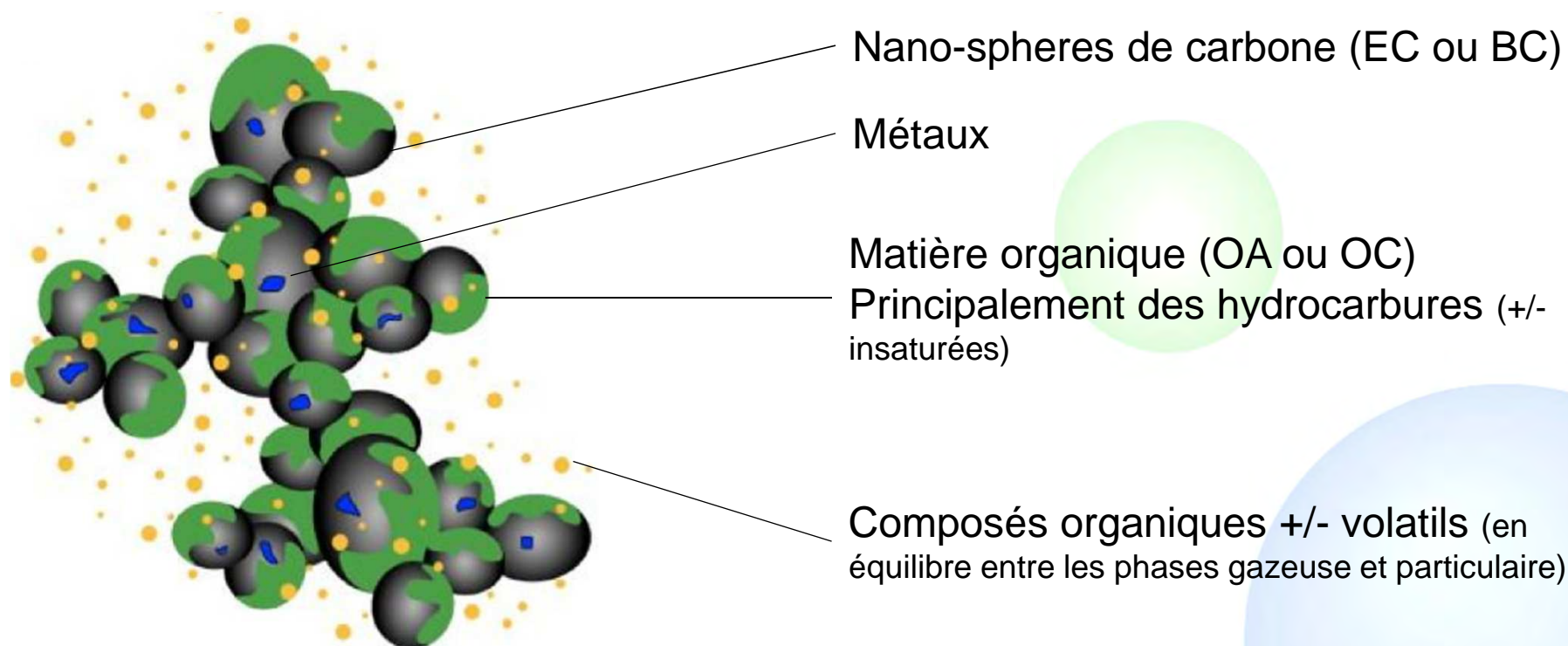
El Haddad et al, 2009



mode : ~60 nm

Particules Diesel primaires

Représentation simplifiée d'une suie Diesel (valable pour toutes les particules issues de combustions)



Particules Diesel primaires : Composition

Tunnel (Marseille)

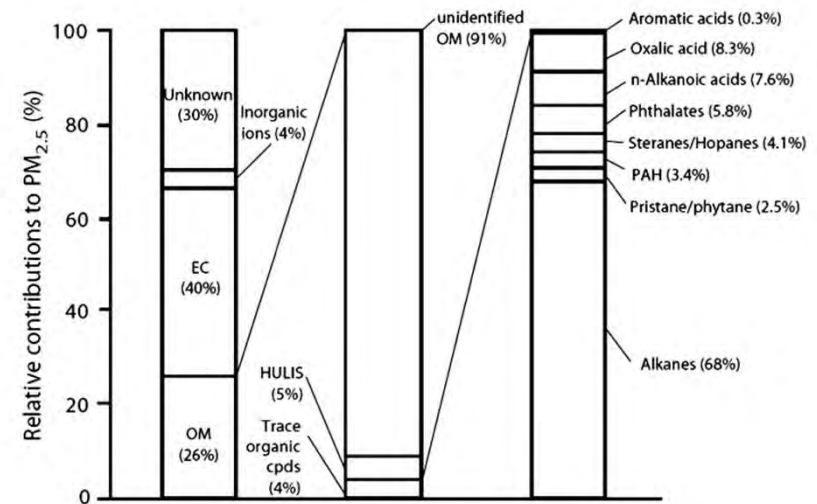
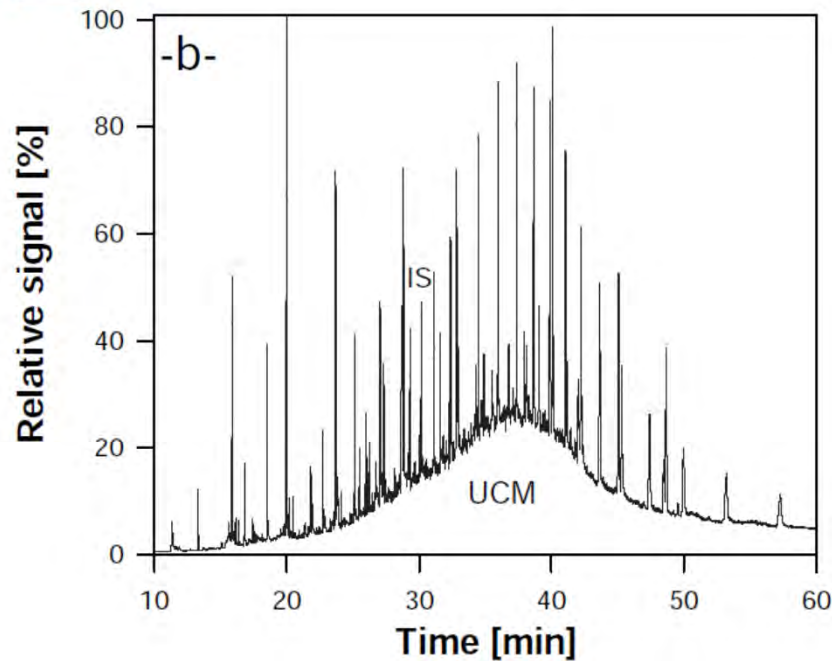


Fig. 2. $PM_{2.5}$ mass balance. OM fraction is calculated from OC values, considering OM/OC ratio of 1.2 (Turpin and Lim, 2001). OM and EC fractions are determined based on the measurements made by the NIOSH method. The HULIS contribution is determined using OM/OC ratio of 1.81 (Salma et al., 2007).

El Haddad et al, 2009

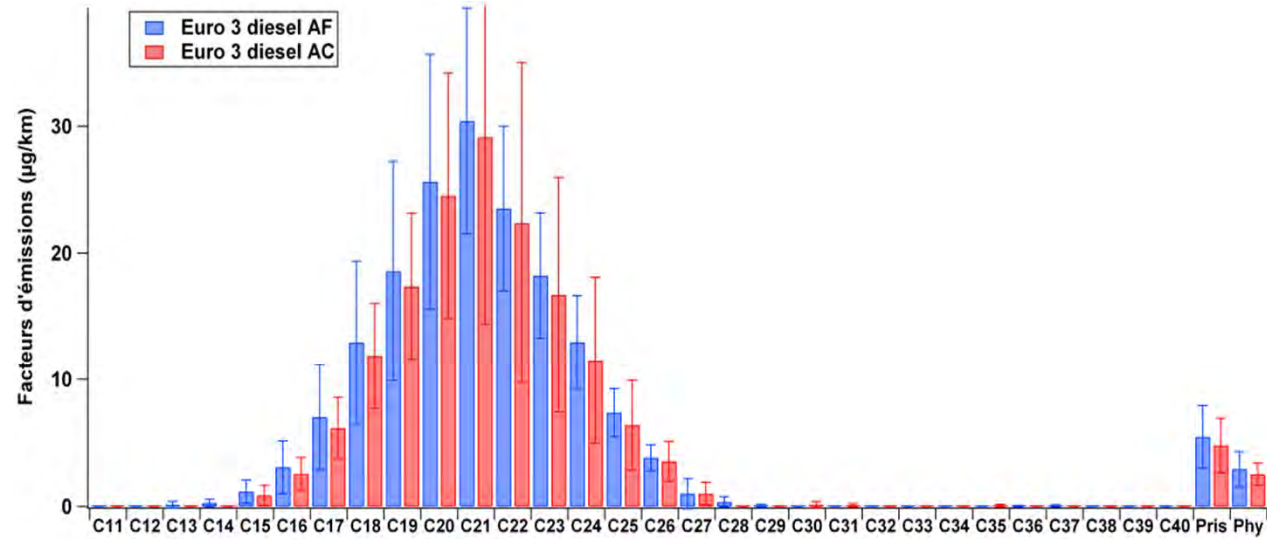
Matrice très complexe

Plusieurs centaines de molécules isolées
Quelques centaines quantifiées

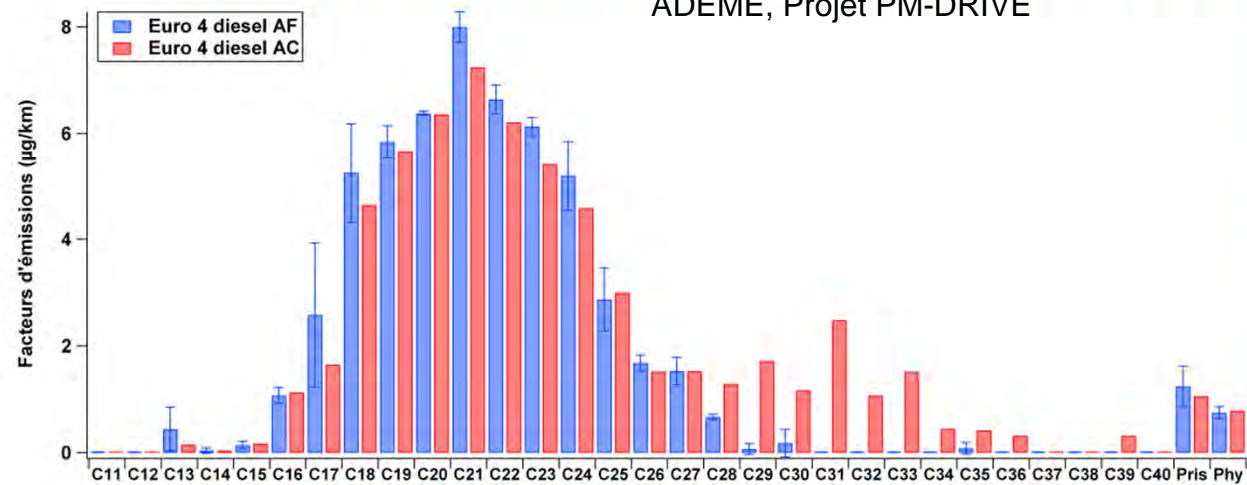
Près de 80% de la masse de l'OC reste non élucidée au niveau moléculaire

Particules Diesel primaires : Composition

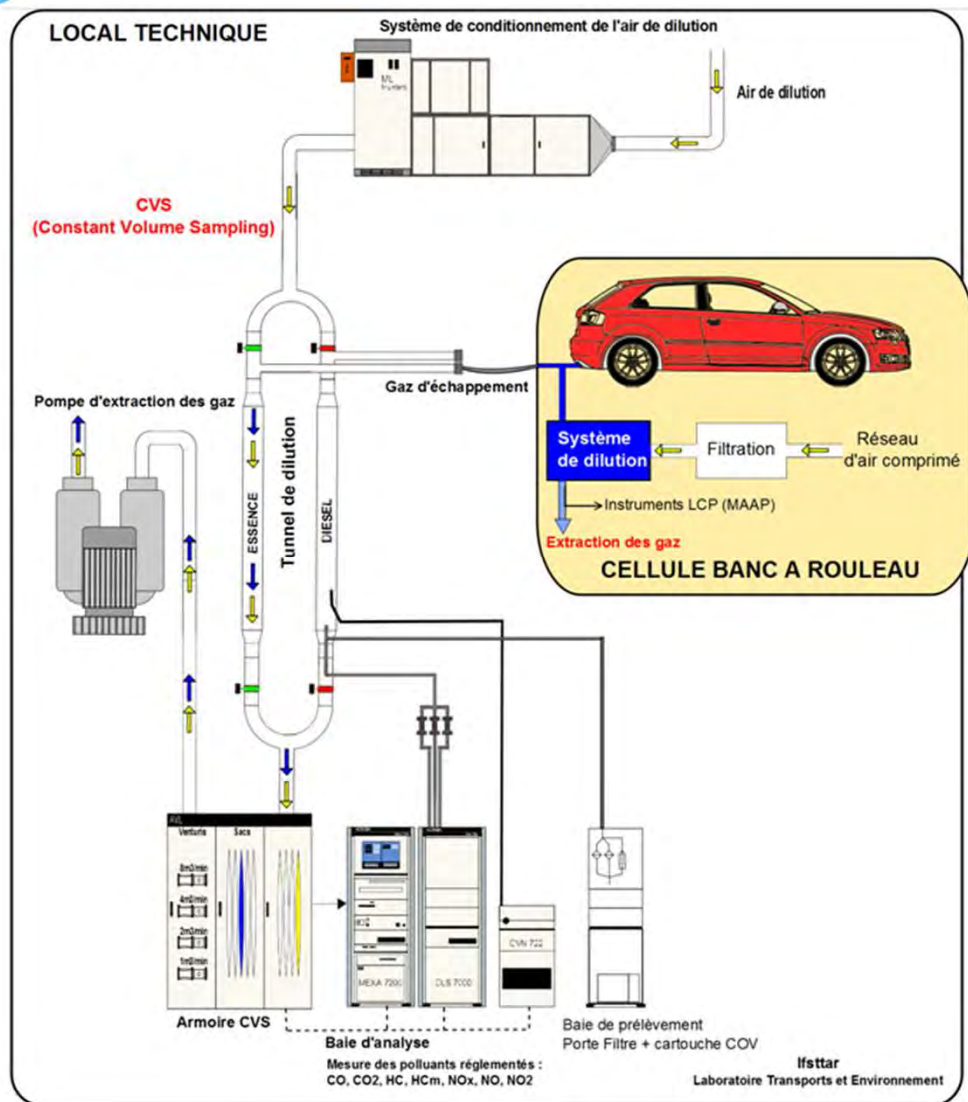
Distribution des alcanes linéaires pour 2 véhicules Diesel (Euro 3 et Euro 4)



ADEME, Projet PM-DRIVE

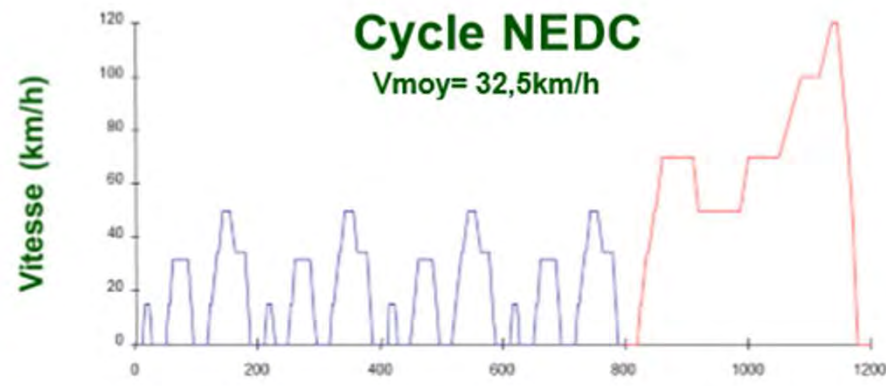


Facteurs d'émission / Comparaison



Banc à rouleaux

Source : IFSTARR



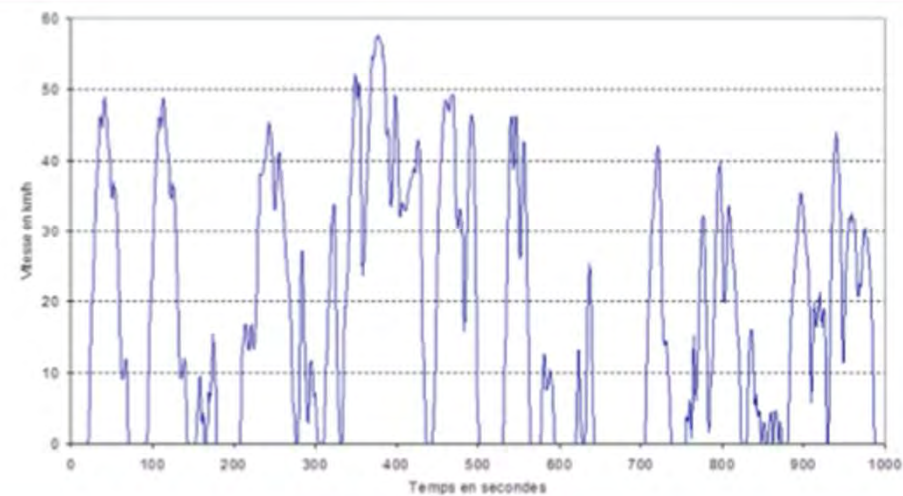
Cycle NEDC,
(V_{moy} = 32,5 km/h)

*Utilisé pour la vérification du respect
des critères des normes Euro –*

Temps (s)

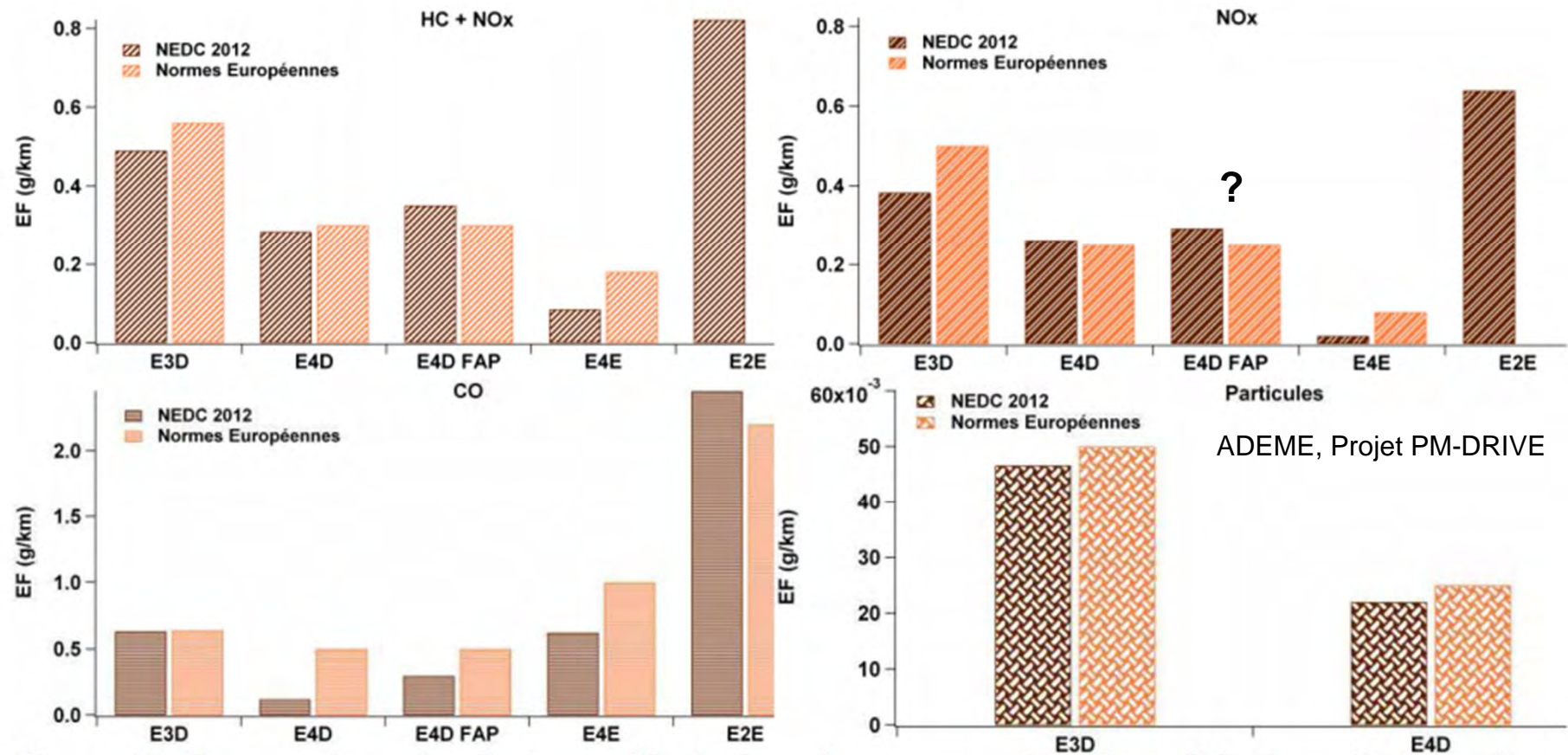
Cycle ARTEMIS Urbain
V_{moy} = 17,5 km/h

*Plus représentatif
des usages réels*



Emissions réglementées

4 véhicules issus du parc roulants : **3 Diesel** (EURO 3, 4, 4+FAP) et **2 essence** (Euro 2 et 4)



Emissions en conditions réelles



(i) EFM



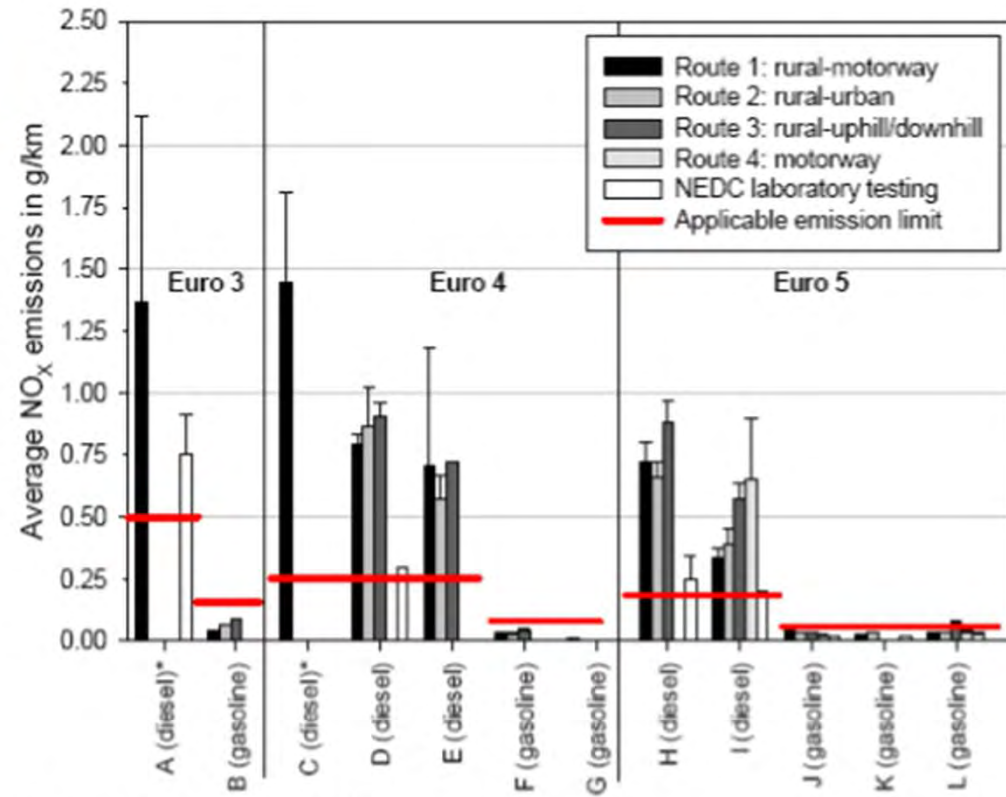
(ii) PEMS installation



(iii) PEMS main unit



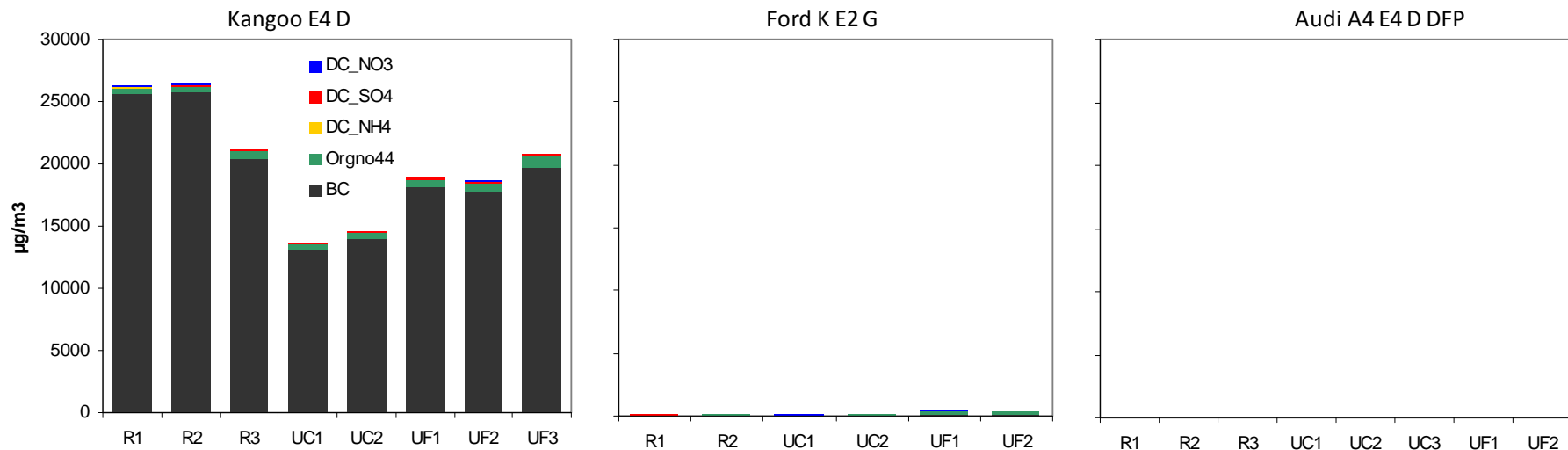
(iv) external battery



Source : JRC ISPRA 2011

Concentrations moyennes PM1

Cycle **ARTEMIS** modifiés : Urbain (**UF**), urbain chaud (**UC**) et routier (**R**)
Concentrations moyennes à l'échappement

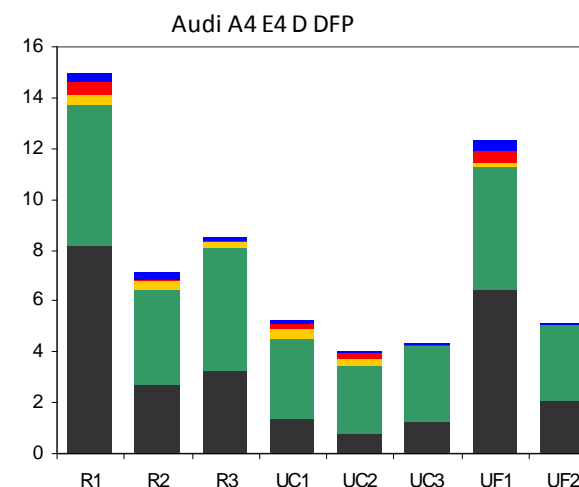
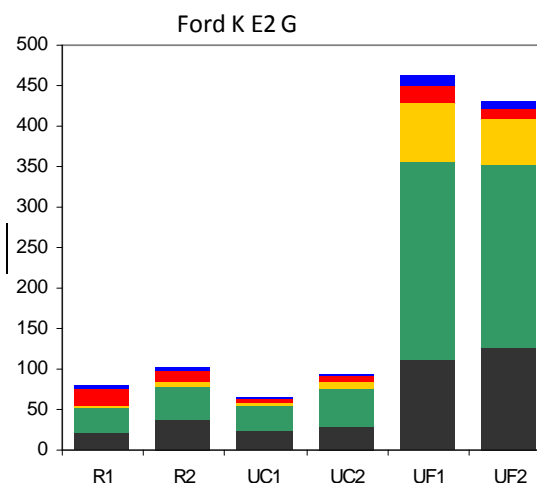
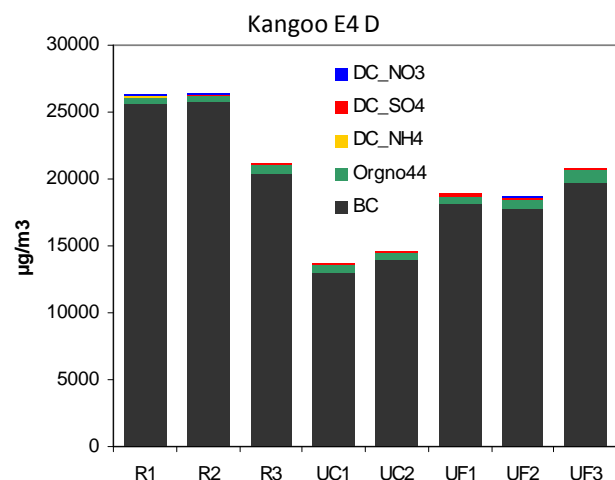


ADEME, Projet PM-DRIVE

- E4D : 15-25 mg/m³
- BC >92% de la masse en particules (réglage/entretien du véhicule?)
- 500 µg/m³ < Org < 1000 µg/m³
- Pas de sulfate ni nitrate (LOD)
- DPF : réduction de la masse émise d'un facteur 1500-2000 (avec notre ex.)

Concentrations moyennes : AMS + BC

Echelles différentes



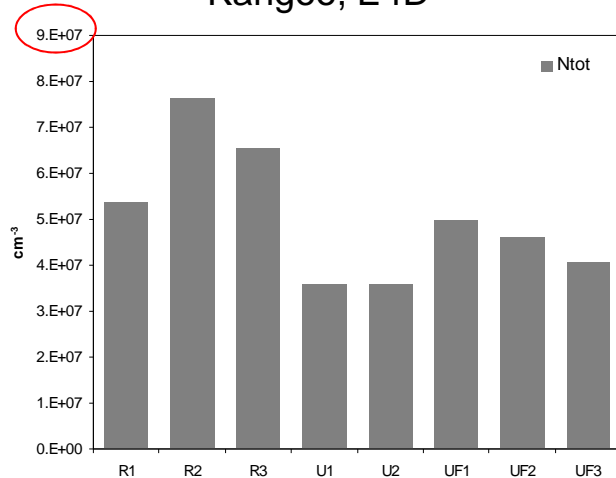
- Expériences répétables (~)
- Urbain Froid > Urbain « Chaud » (particulièrement véhicules essence ; peu d'amplitude pour veh. Diesel)
- Routier > Urbain « chaud » (Parfois sup. à UF)
- Abondance significative du BC pour E2G (~20% de la masse et rapport Org/BC entre 1.5 et 2.2)
- E4D + DPF : BC représente entre 20 et 60% de la masse et rapport Org/BC entre 0.7 et 3.6

ADEME, Projet PM-DRIVE

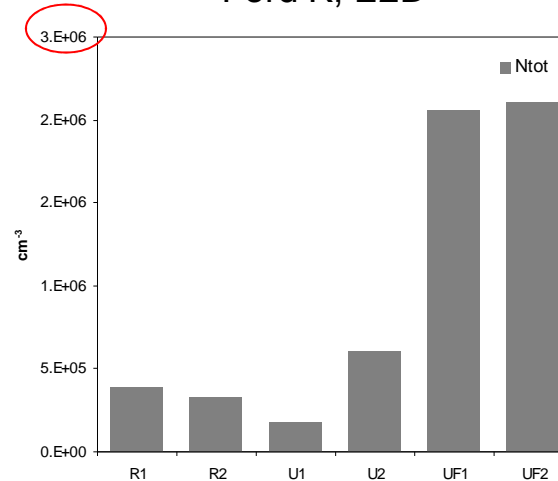
Concentrations moyennes : Nombre

Nombre total de particules/cc (>5 nm)

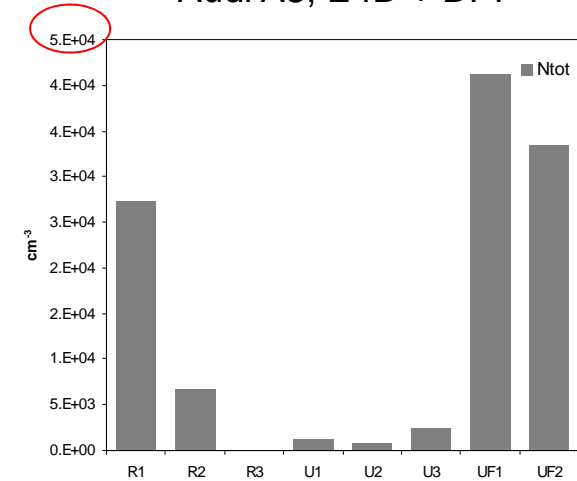
Kangoo, E4D



Ford K, E2D



Audi A3, E4D + DPF

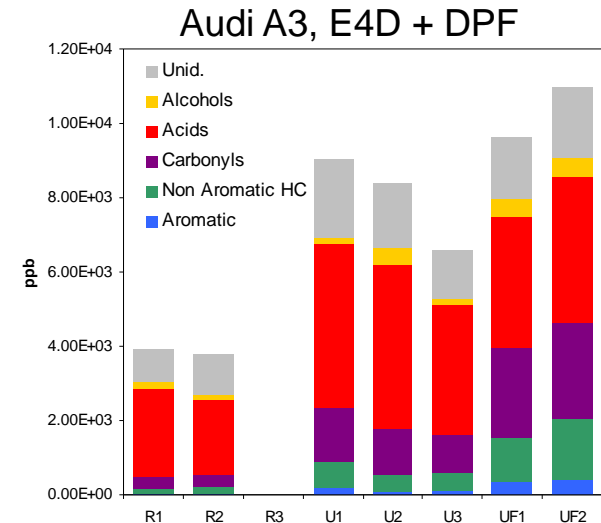
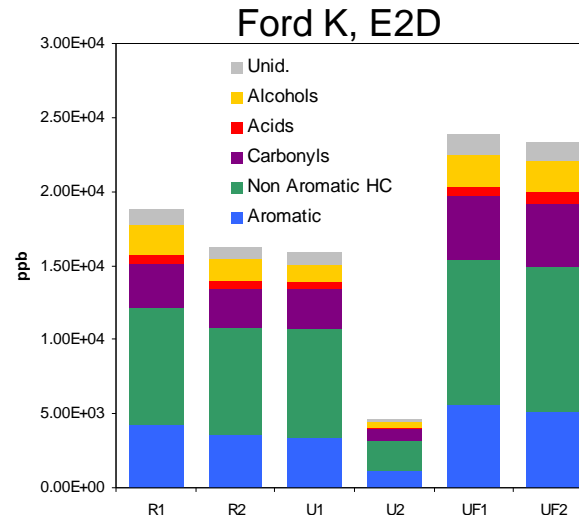
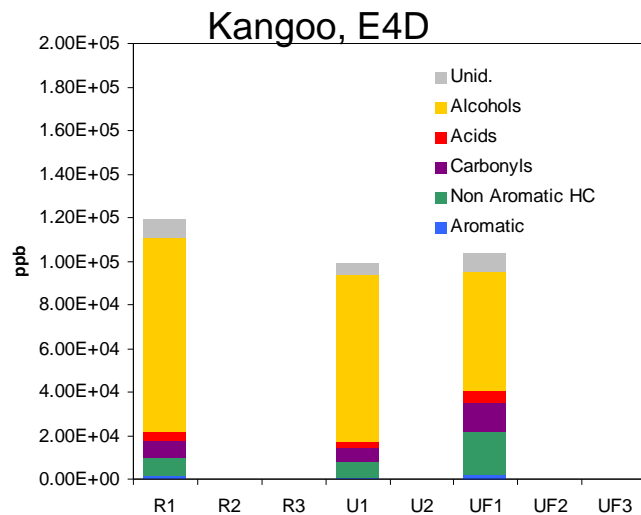


ADEME, Projet PM-DRIVE

- Mêmes conclusions que pour la masse (ordre de grandeurs, répétabilité, influence des cycle de conduite)
- UF pour E4D+DPF

Concentrations moyennes : COVs

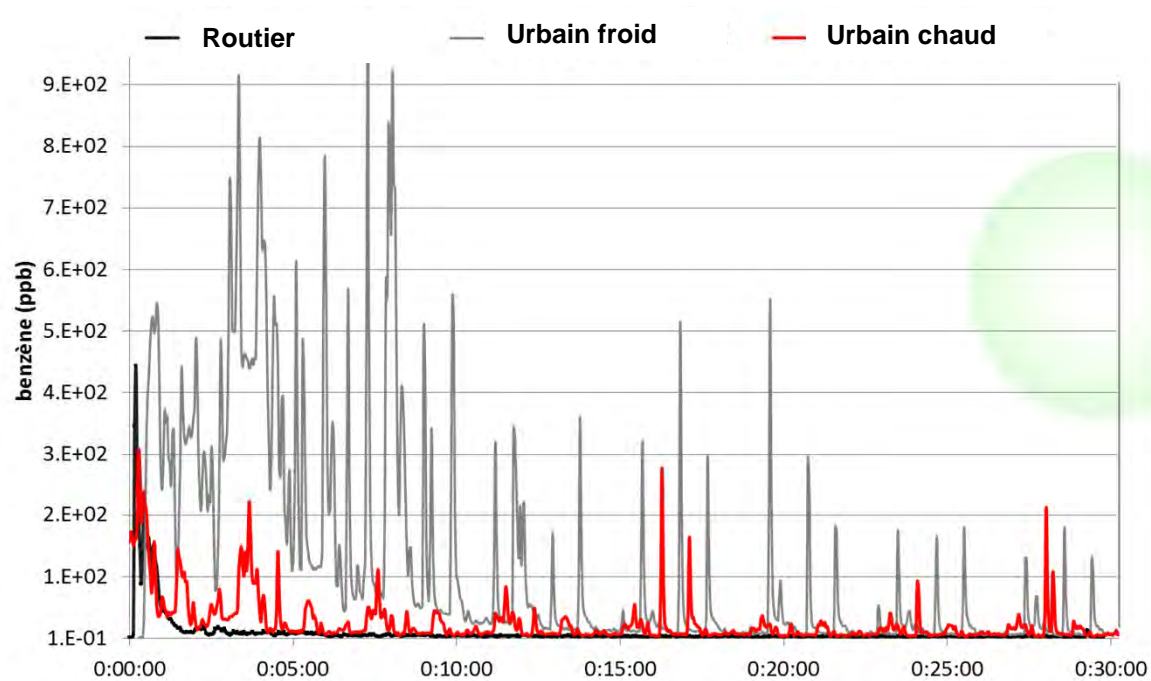
Répartition par familles chimiques (~100 COVs)



ADEME, Projet PM-DRIVE

- Moins de différences entre véhicules et cycles en terme d'émission
- Compositions différentes selon véhicule
 - E2G dominé par alcanes/alcenes et aromatiques
 - E4D dominé par alcools (très majoritairement méthanol)
 - E4D DPF dominé par acides (majoritairement acides acétique et formique)

Véhicule Diesel Euro 4 (sans FaP)

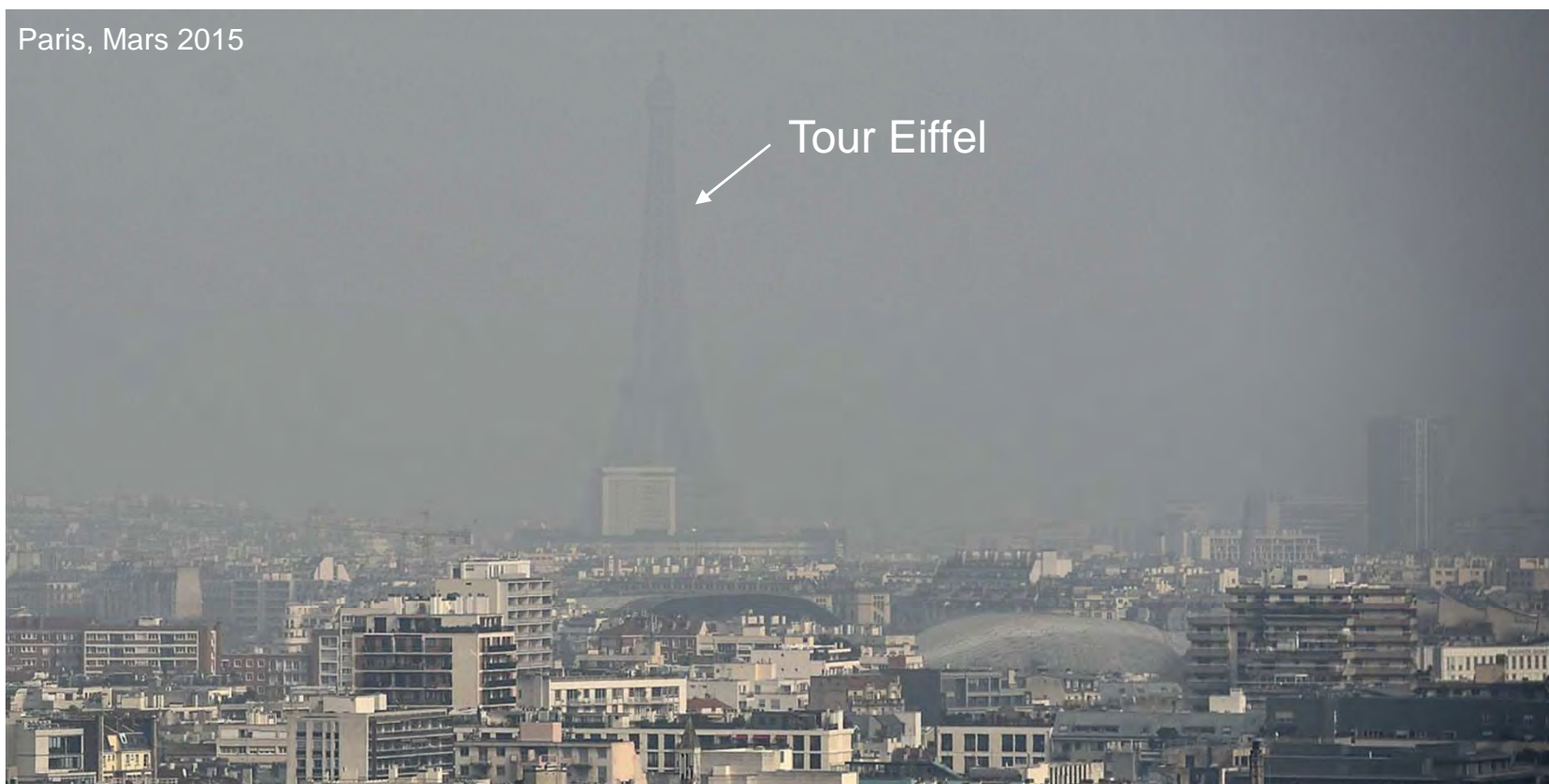


ADEME, Projet PM-DRIVE

Importance de la température moteur/catalyseur sur les émissions

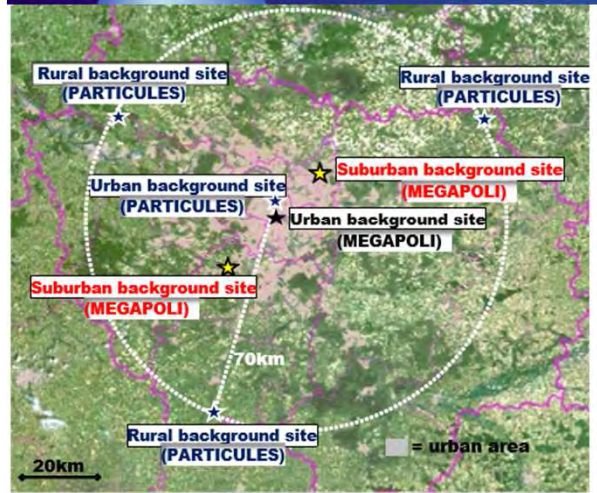
Impact des émissions véhiculaires sur la qualité de l'air?

Paris, Mars 2015



Source AFP

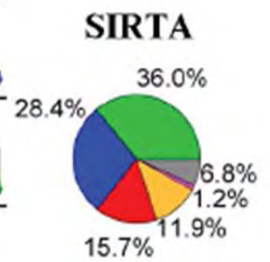
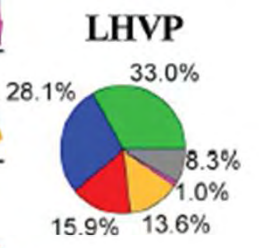
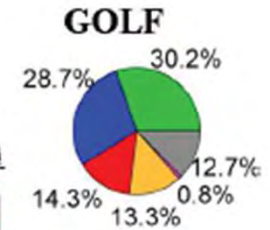
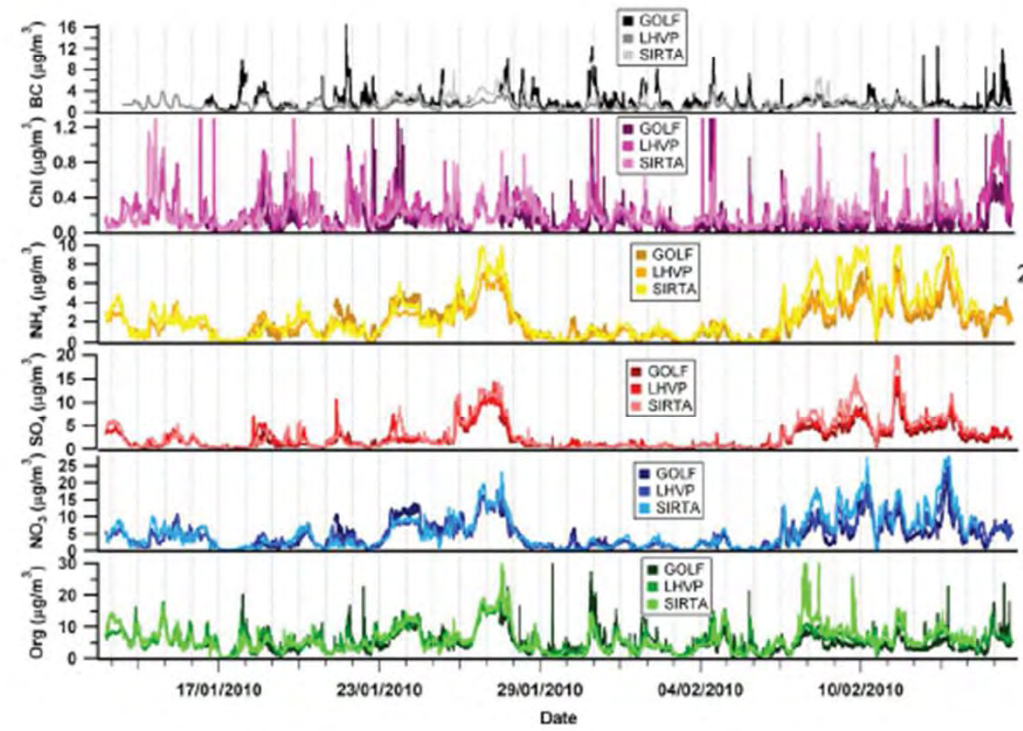
Impact : cas de Paris



Projet MEGAPOLI (FP7/ANR)

2 campagnes intensives (Hiver/Été)
3 sites de fond (éloignés des sources locales)

Cas de l'hiver :



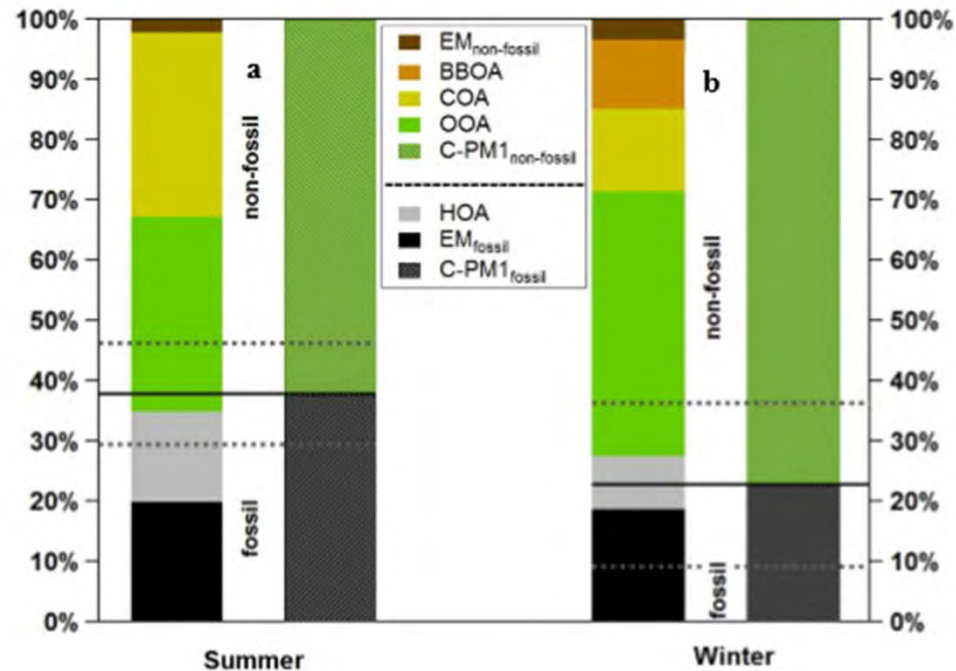


Projet MEGAPOLI (FP7/ANR)



Sources de la matière carbonée

LHVP



Beekmann et al, 2015

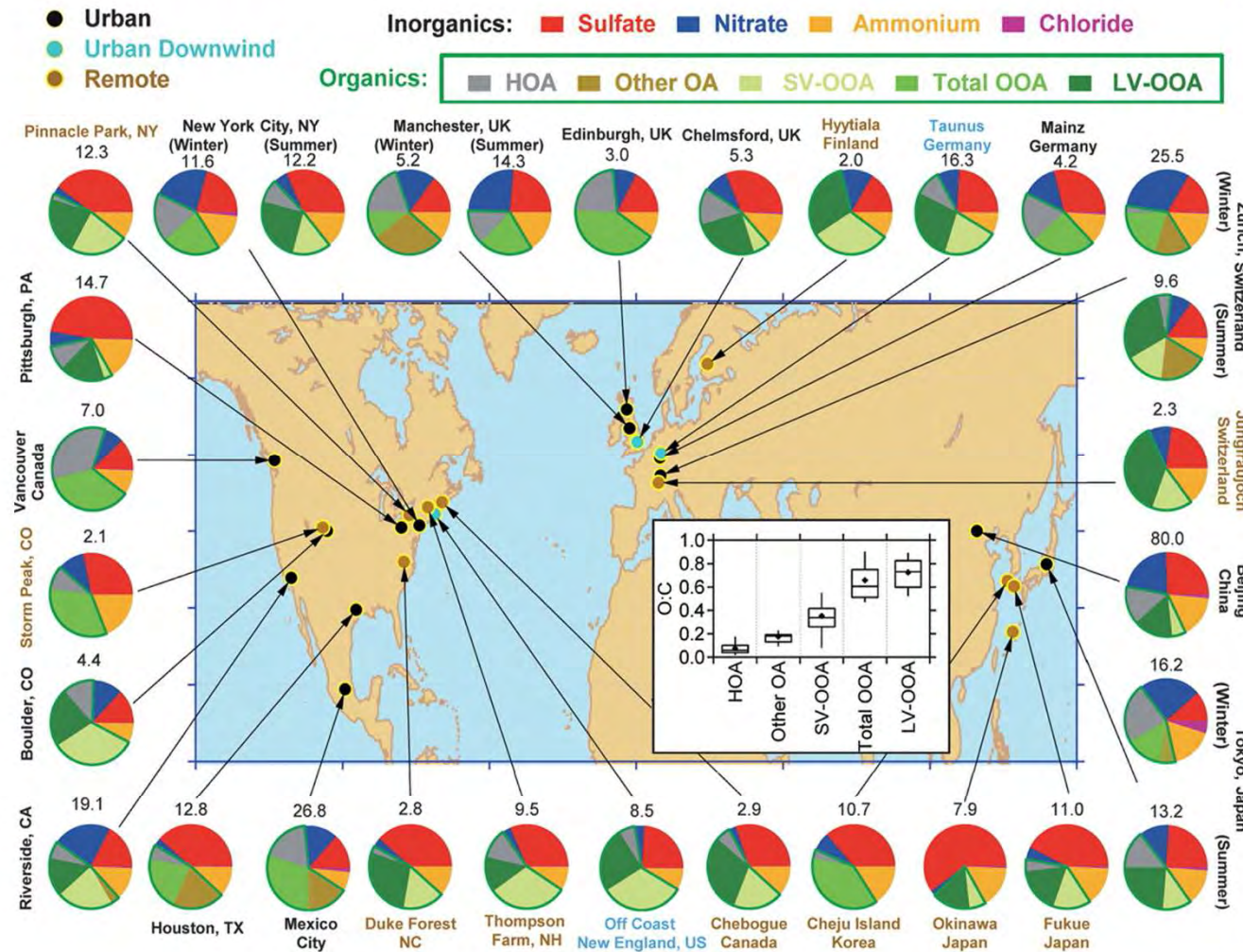
Méthodes de source attribution

- BC (Black Carbon)
- HOA (Hydrocarbon like Organic Aerosol) directement lié au trafic véhiculaire
- COA : Cooking OA
- BBOA : Biomass Burning OA
- OOA : Aerosol Organique Secondaire

Impact du trafic sur la masse des PM1 : 20-30%

Impact : Généralisation

Jimenez et al, Science, 2009



Impact du trafic sur l'OA : 5 à 20% (+ ~ 10% de BC)

L'OA très globalement dominé par la fraction secondaire

Devenir atmosphérique?

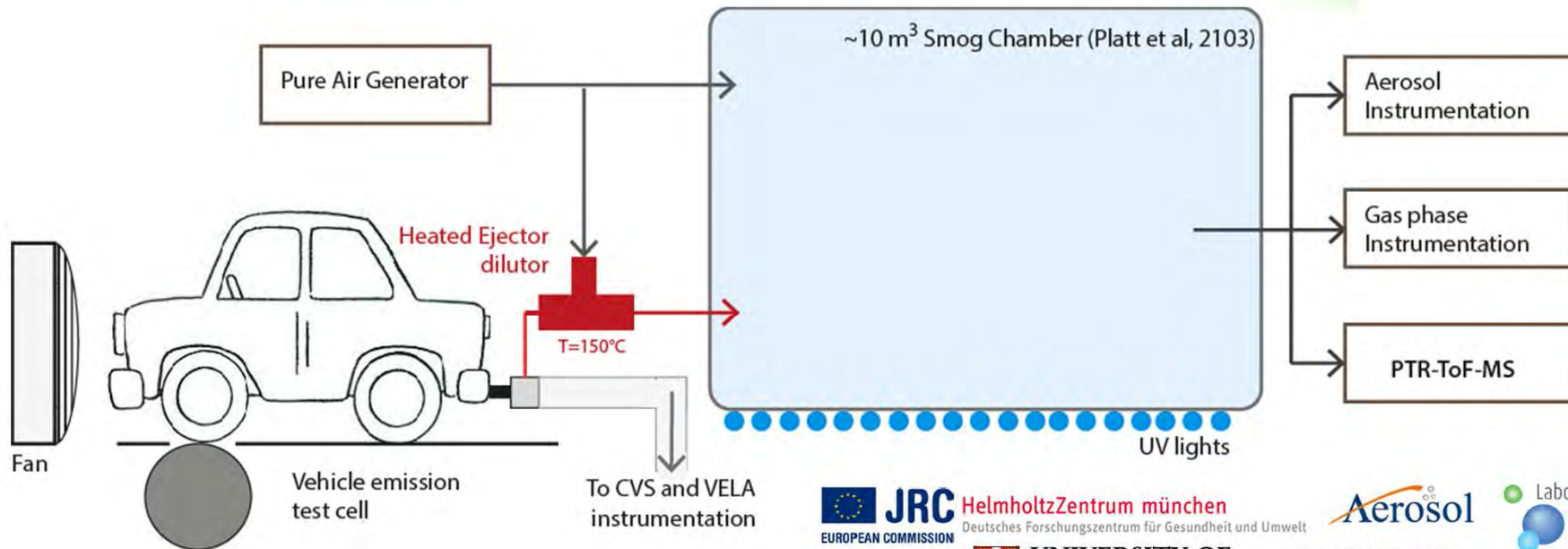
Vieillesse atmosphérique des émissions

Émissions de polluants atmosphériques par un véhicule thermique

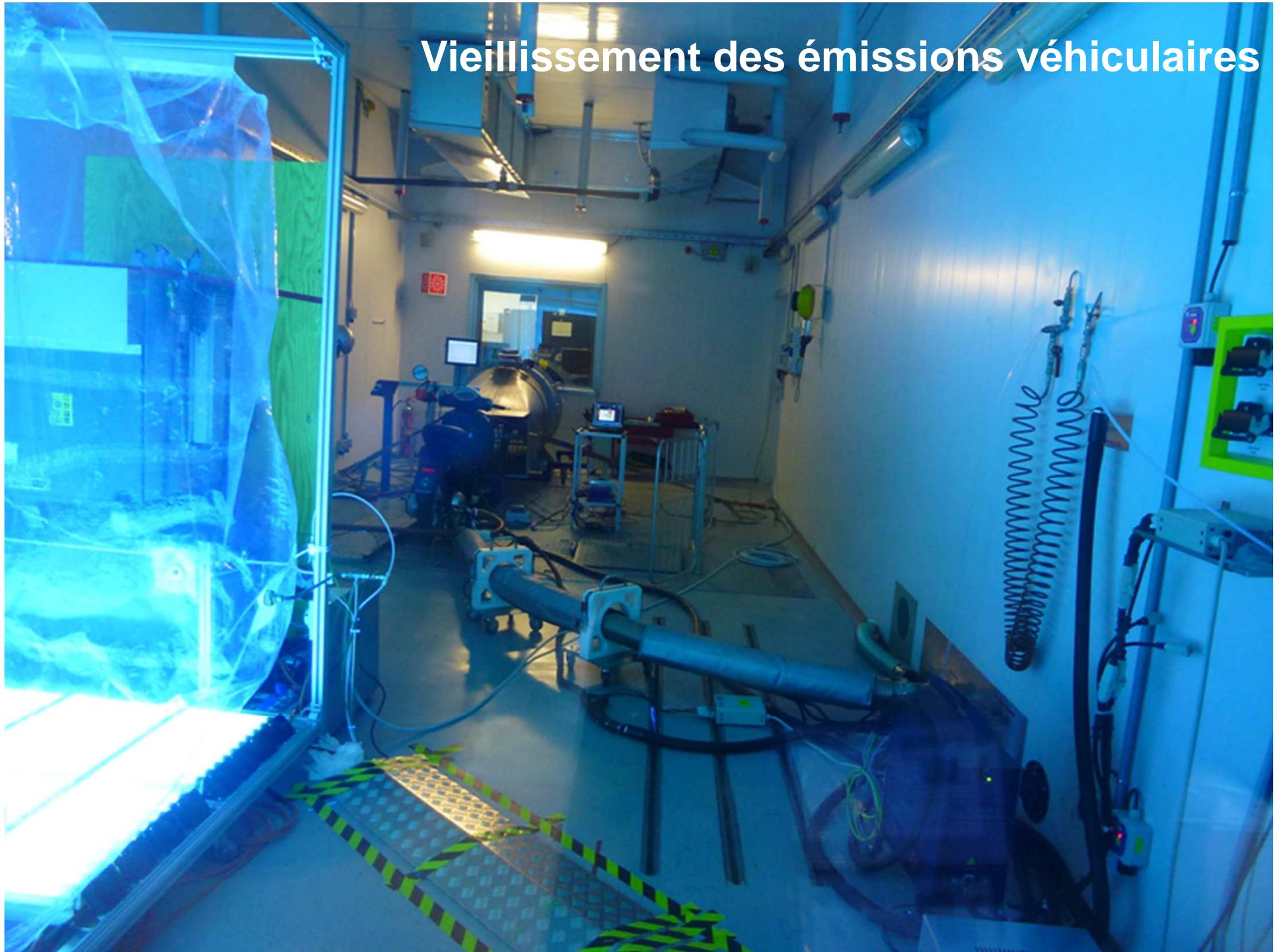


CO : monoxyde de carbone
 COV : composés organiques volatils
 NO : oxyde d'azote
 NO₂ : dioxyde d'azote
 O₃ : ozone
 PM₁ : particules primaires
 PM_s : particules secondaires

Source : ADEME/O'Communication



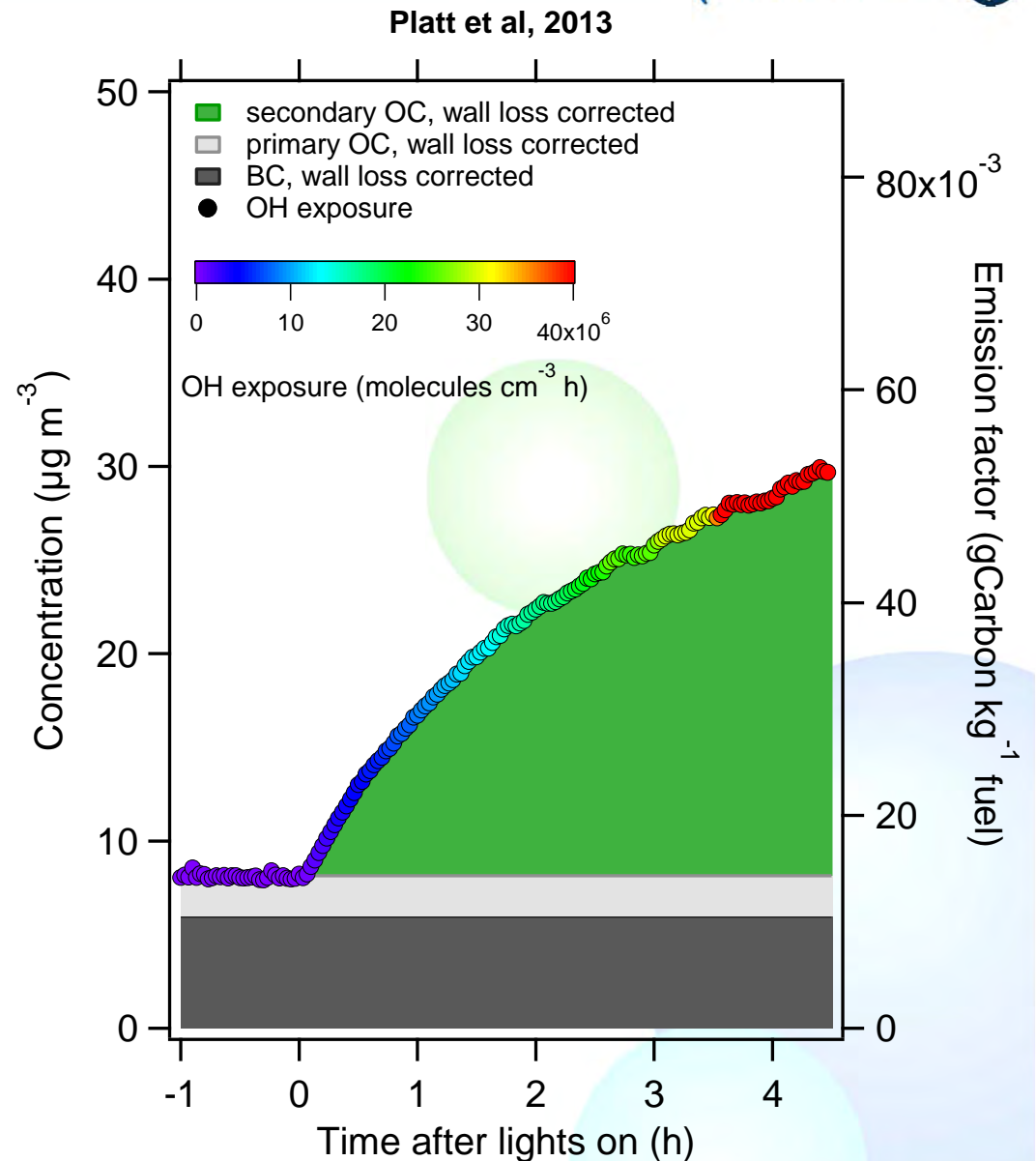
Vieillissement des émissions véhiculaires



Devenir atmosphérique?

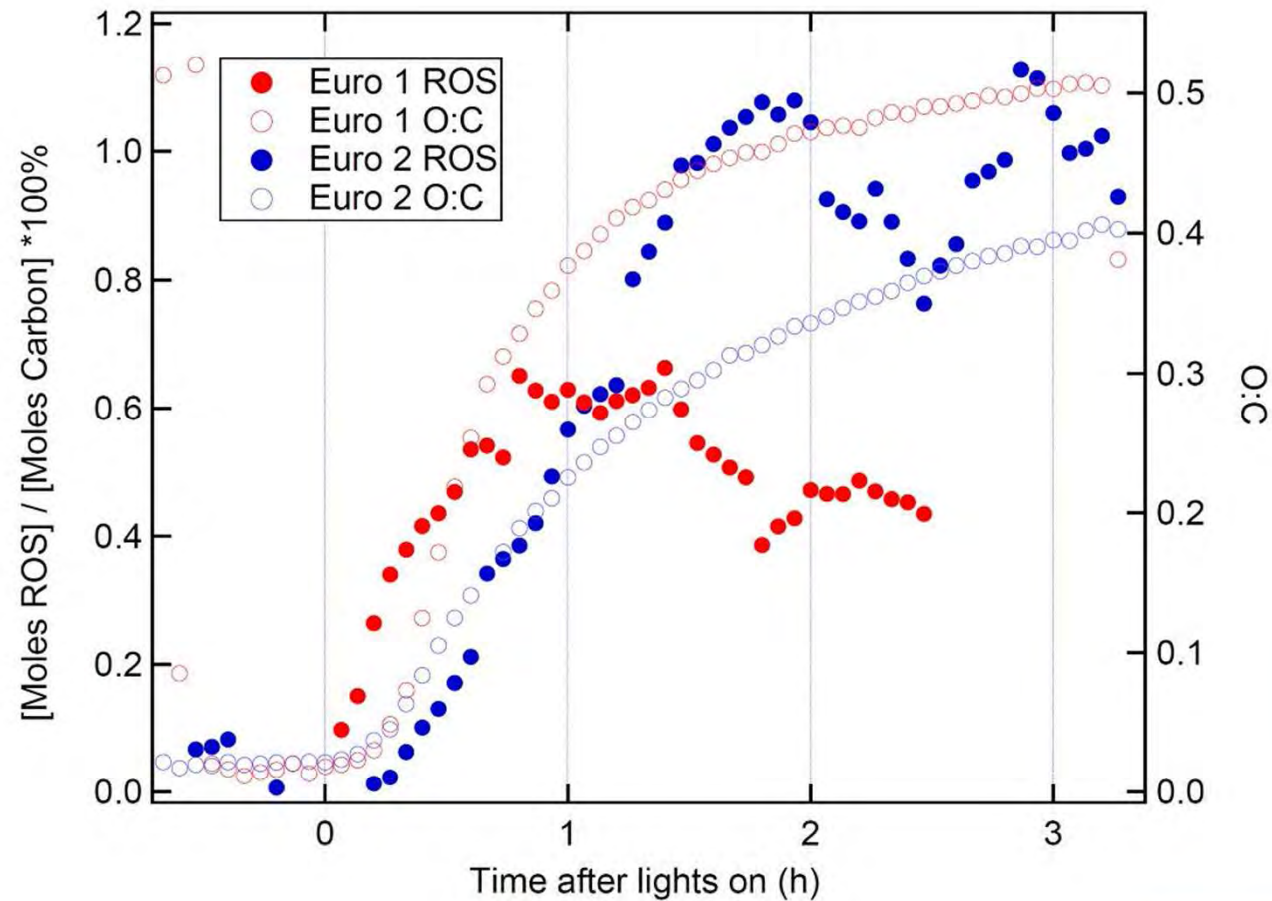
Véhicules testés :

- 11 véhicules essence (EURO5)
- 6 véhicules Diesel (Euro 5)
- + scooters 2 et 4 temps, camions



Devenir atmosphérique?

Platt et al, 2014, Nature Com.



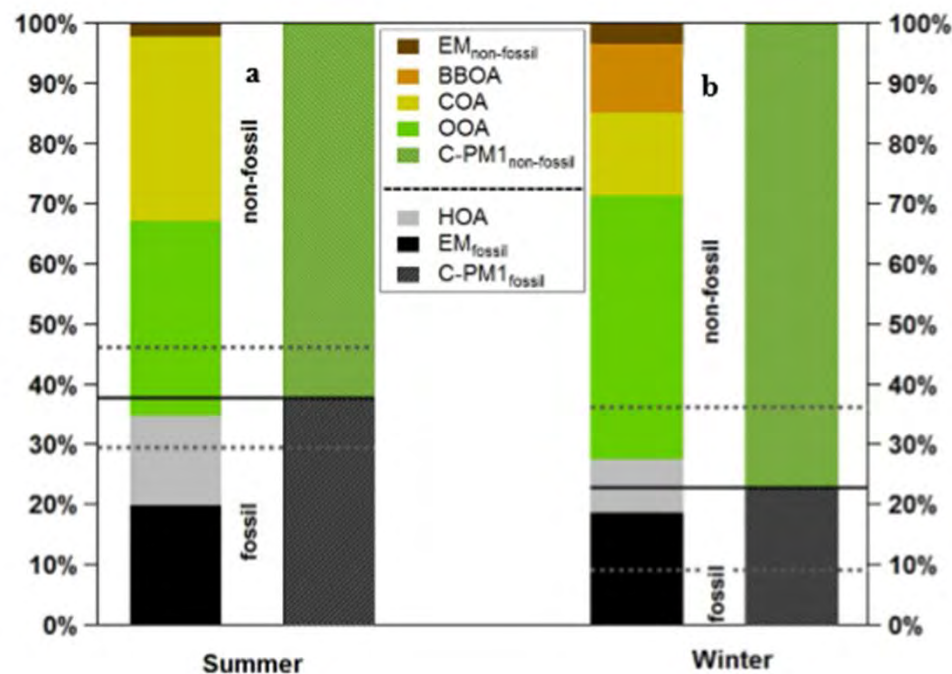
Reactive Oxygen Species (ROS) in two-stroke scooter emissions



Projet MEGAPOLI (FP7/ANR)

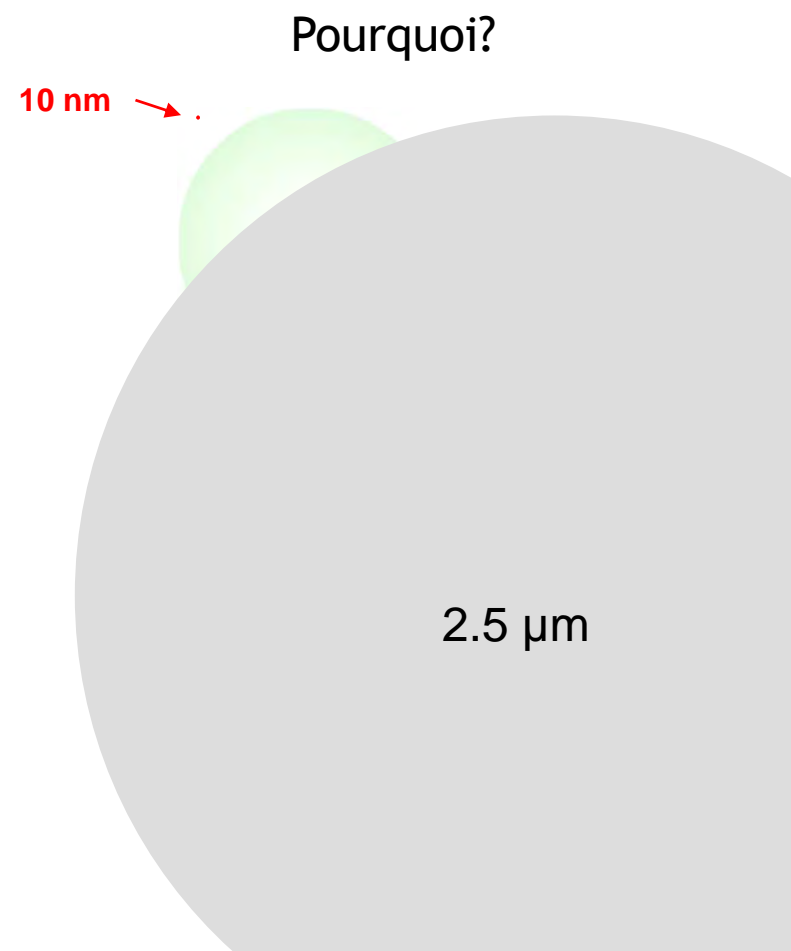
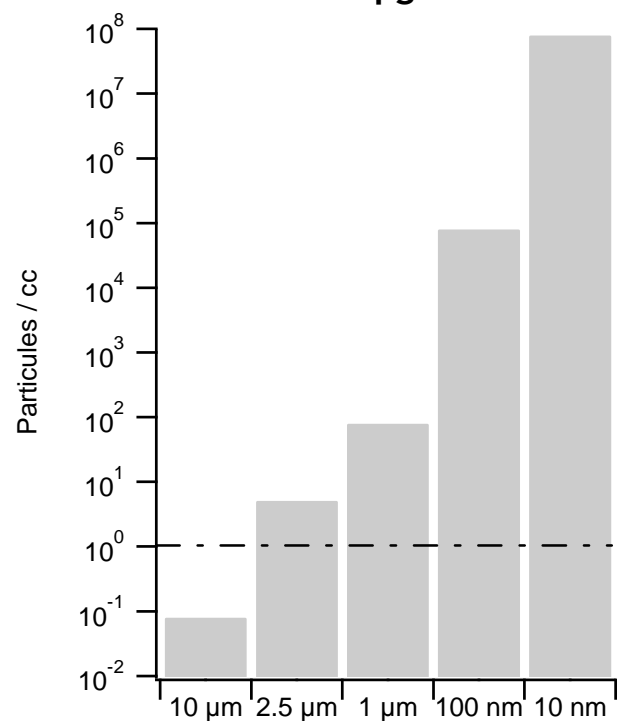
Sources de la matière carbonée

^{14}C renseigne directement sur le caractère fossil ou moderne du du Carbone



La très grande majorité du carbone secondaire est d'origine moderne (donc non issu des émissions véhiculaires)

Nombre de particules/cc
nécessaire pour atteindre
 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Merci pour votre attention

