

un  
nouveau  
souffle  
dans le  
BTP

## LES PARTICULES FINES

du 22 au 24  
MAI 2019

**METZ**

Centre des Congrès  
Robert Schuman

## Contrôle sur site du bon fonctionnement des FAP pour engins non-routiers

Denis BEMER – INRS – Vandoeuvre 54



$10^5 / \text{cm}^3$   
 $0,01 \text{ mg}_{\text{BC}} / \text{m}^3$

# Polluants générés par les moteurs diesel

## Gaz/Vapeurs

CO, CO<sub>2</sub>,  
NO, NO<sub>2</sub>,  
SO<sub>2</sub>,  
HC,  
Eau

➔ VLEP à  $50 \mu\text{g}_{\text{CE}} / \text{m}^3$   
Directive Européenne 2019

## Particules

(carbone, métaux, composés soufrés...)

- carbone élémentaire (CE)
- carbone organique (CO)

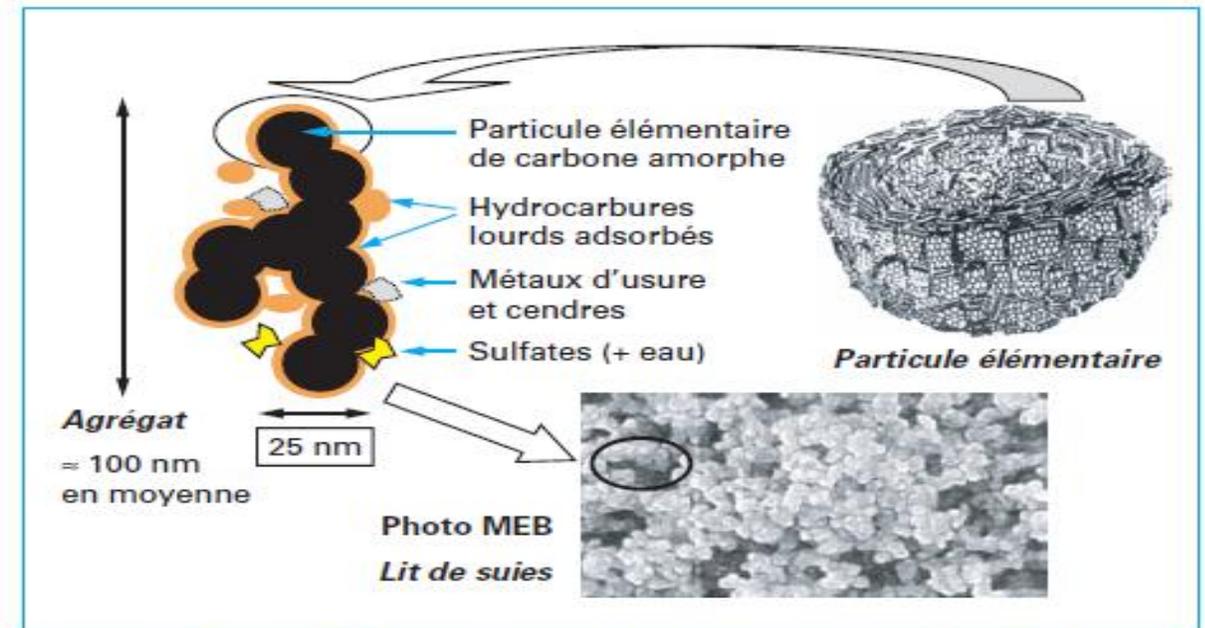
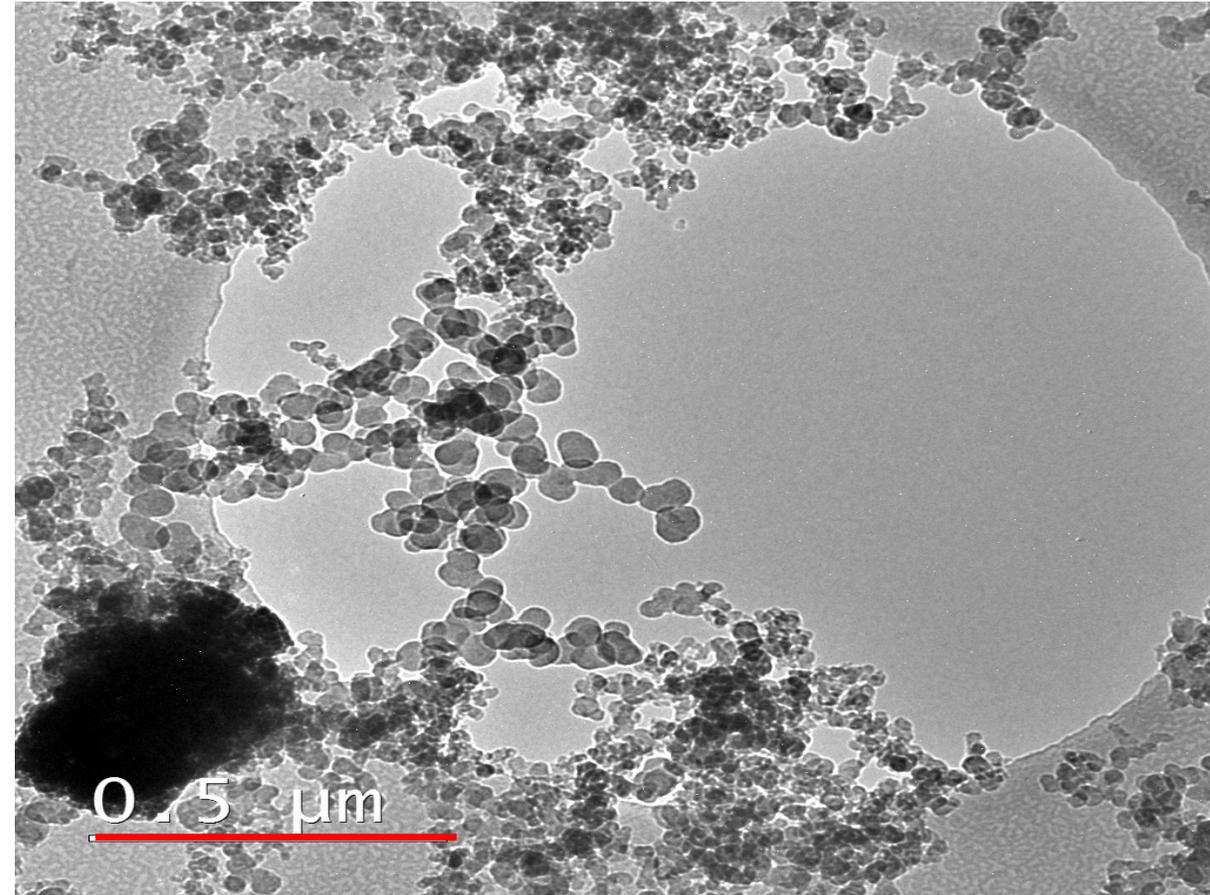
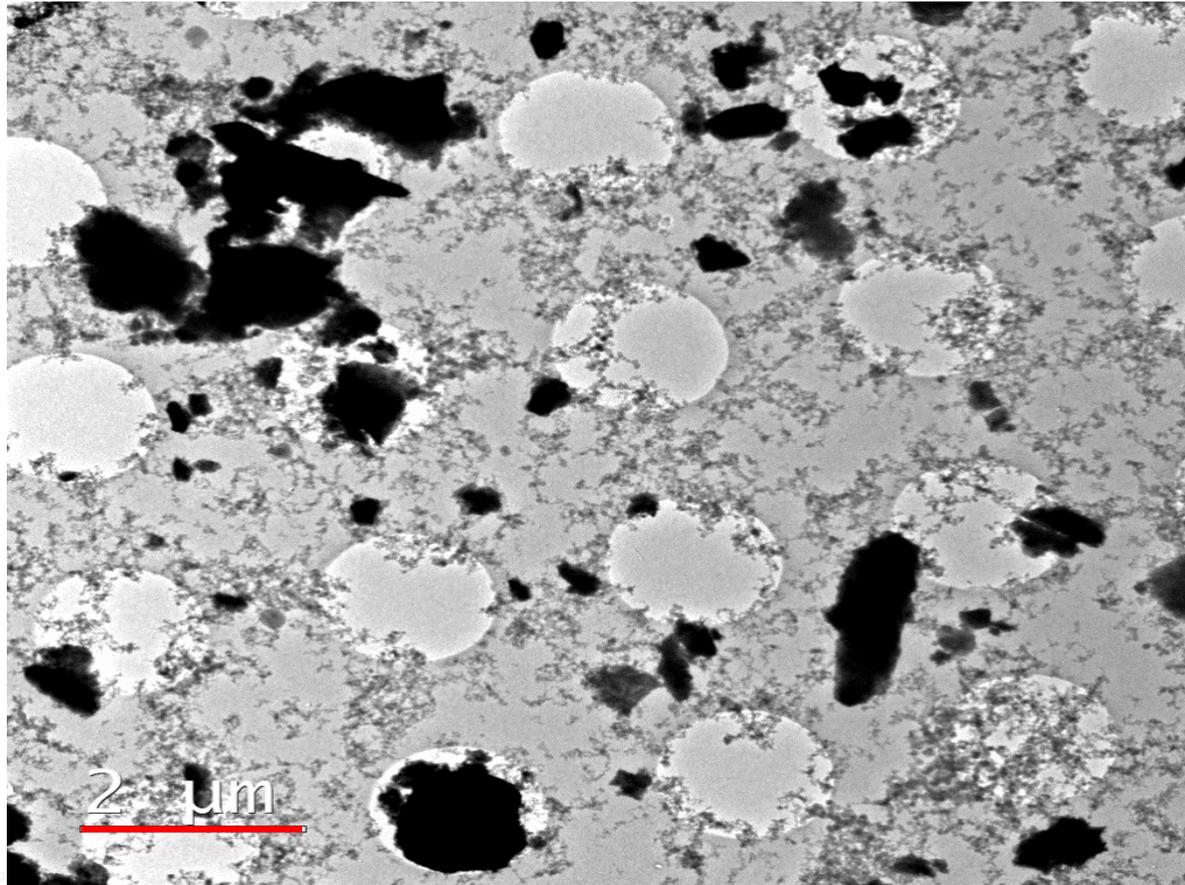


Figure 14 – Particules se formant dans la chambre de combustion d'un moteur Diesel (source IFP ENSPM Formation Industrie 2008)



# Evolution de la directive pour les engins mobiles non routiers Étape V

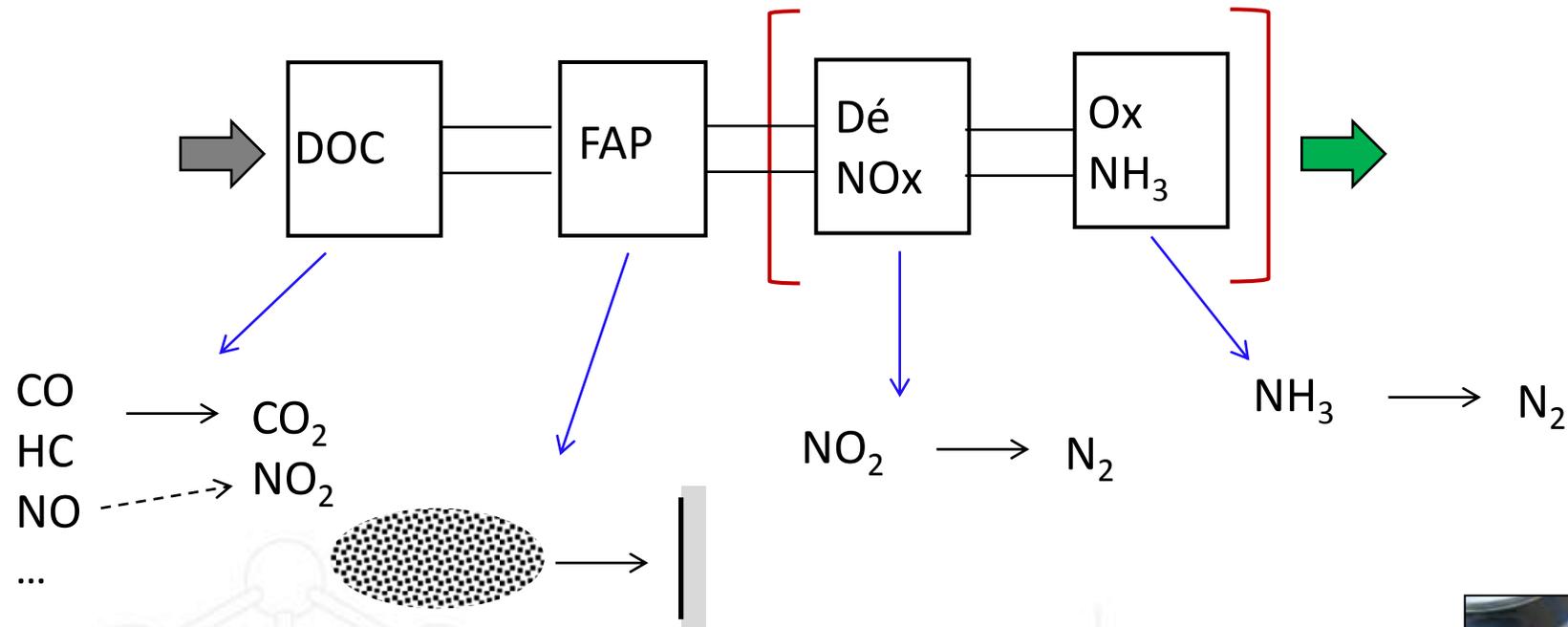
Catégorie	Allumage	Puissance kW	Date	CO	HC	NOx	PM	PN
				g/kWh				/kWh
NRE-v/c-1	C <sup>b</sup>	P < 8	2019	8.00	7.50 <sup>a</sup>		0.40	-
NRE-v/c-2	C	8 ≤ P < 19	2019	6.60	7.50 <sup>a</sup>		0.40	-
NRE-v/c-3	C	19 ≤ P < 37	2019	5.00	4.70 <sup>a</sup>		0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-4	C	37 ≤ P < 56	2019	5.00	4.70 <sup>a</sup>		0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-5	tous	56 ≤ P < 130	2020	5.00	0.19	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-6	tous	130 ≤ P ≤ 560	2019	3.50	0.19	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-7	tous	P > 560	2019	3.50	0.19	3.50	0.045	-

<sup>a</sup> HC+NO<sub>x</sub>, <sup>b</sup> C : allumage par compression (diesel)

NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>, PM : masse de particules, PN : nombre de particules.

10<sup>12</sup> /kWh → ≈ 2.10<sup>5</sup> /cm<sup>3</sup> → Engins avec FAP

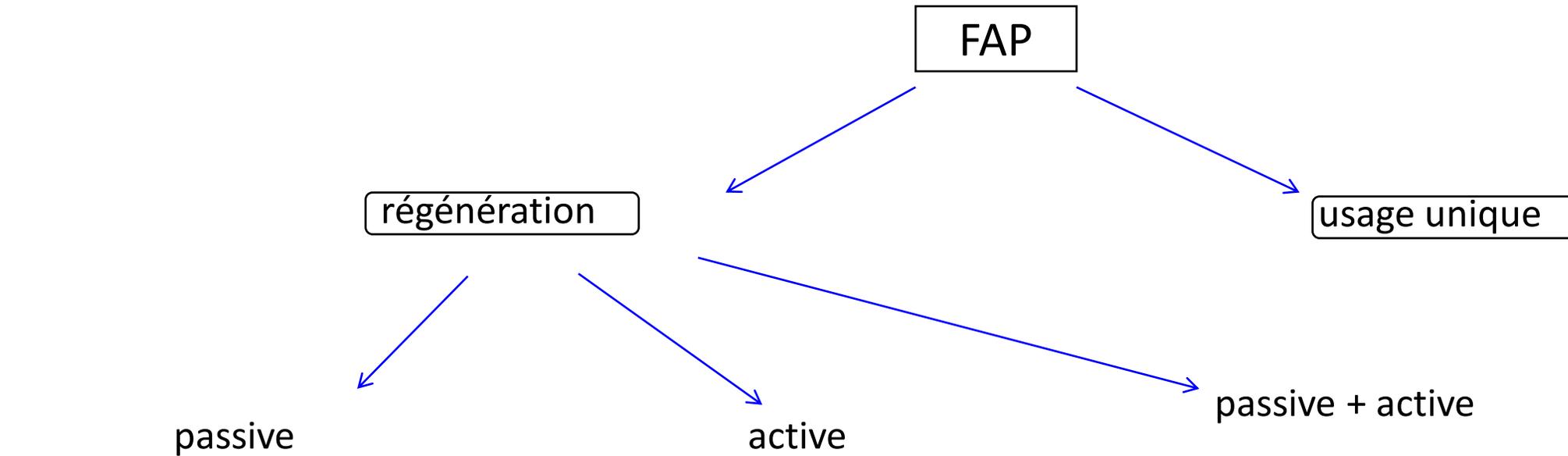
# Traitement des gaz d'échappement



FAP

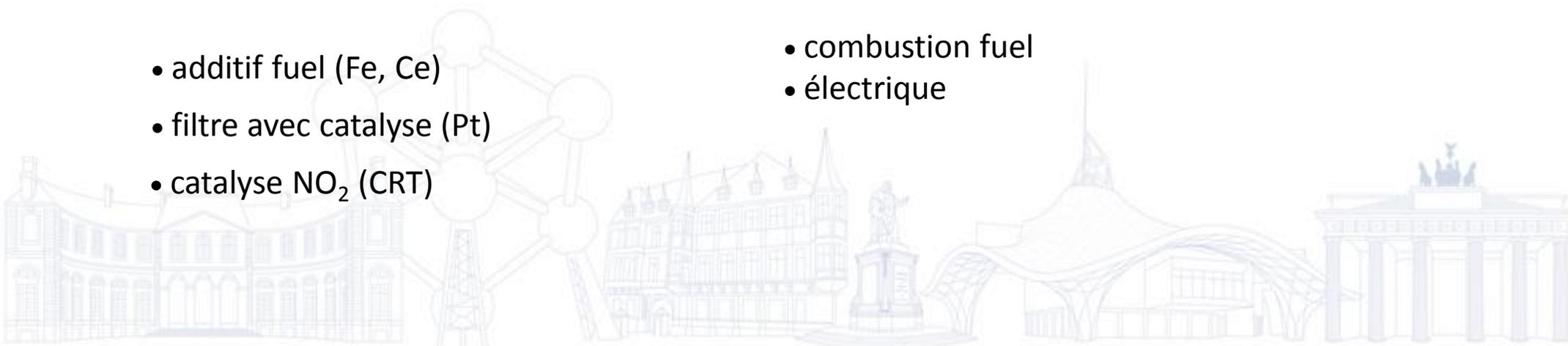


# Régénération des FAP



- additif fuel (Fe, Ce)
- filtre avec catalyse (Pt)
- catalyse NO<sub>2</sub> (CRT)

- combustion fuel
- électrique

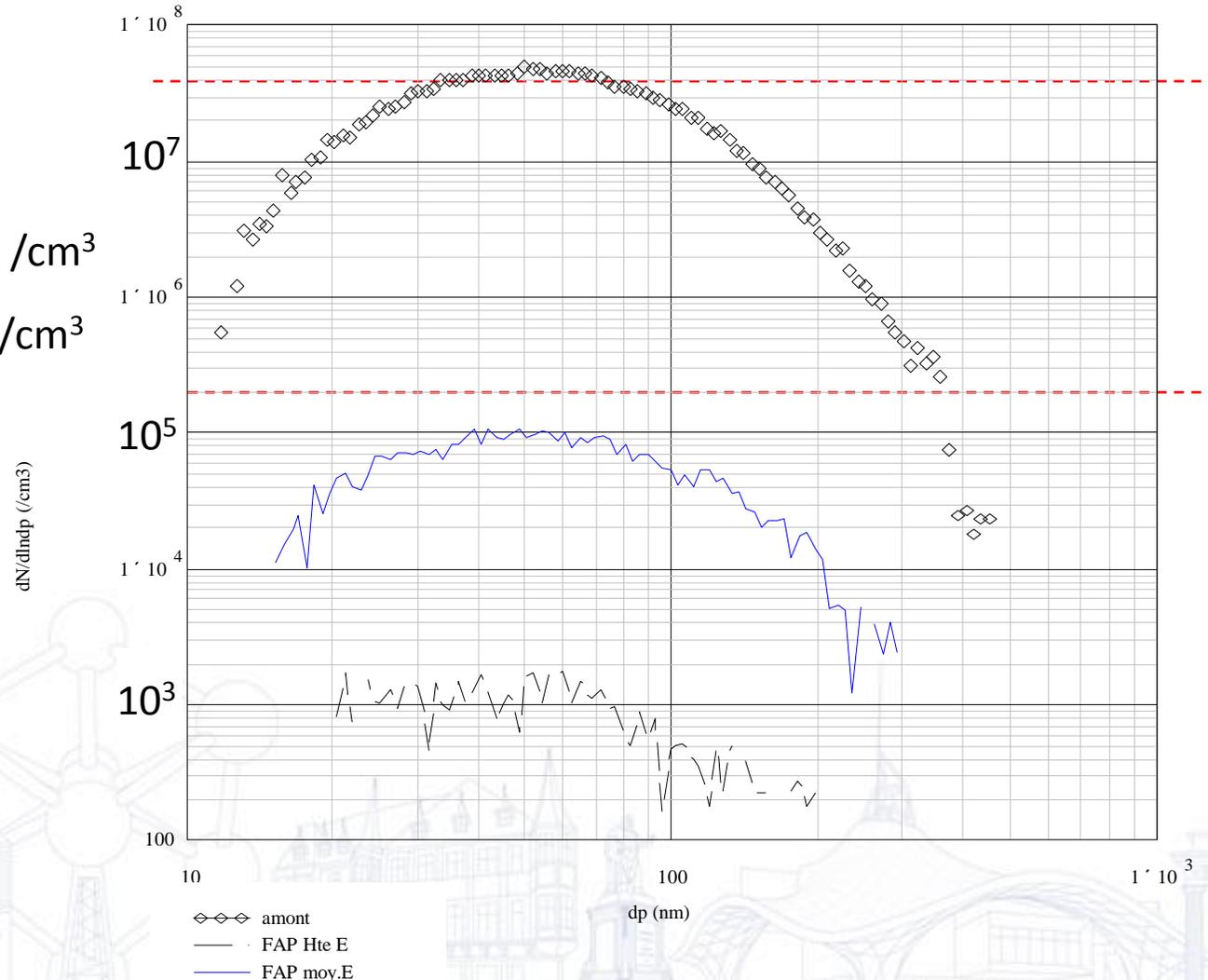


# Efficacité des filtres à particules (FAP)

Limites  
engins non-routiers :

➔ étape IV :  $\approx 4 \cdot 10^7 / \text{cm}^3$

➔ étape V :  $\approx 2 \cdot 10^5 / \text{cm}^3$



Conc. totale  
**Sans FAP**  
 $3 \cdot 10^7 / \text{cm}^3$

**FAP 1**  
 $4,6 \cdot 10^5 / \text{cm}^3$

**FAP 2**  
 $1,8 \cdot 10^3 / \text{cm}^3$

◆◆◆ amont  
— FAP Hte E  
— FAP moy.E

➤ La concentration en particules en sortie d'échappement avec un FAP performant et bien adapté à la machine peut être très faible:  $< 10^4 /\text{cm}^3$  ( $\approx 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

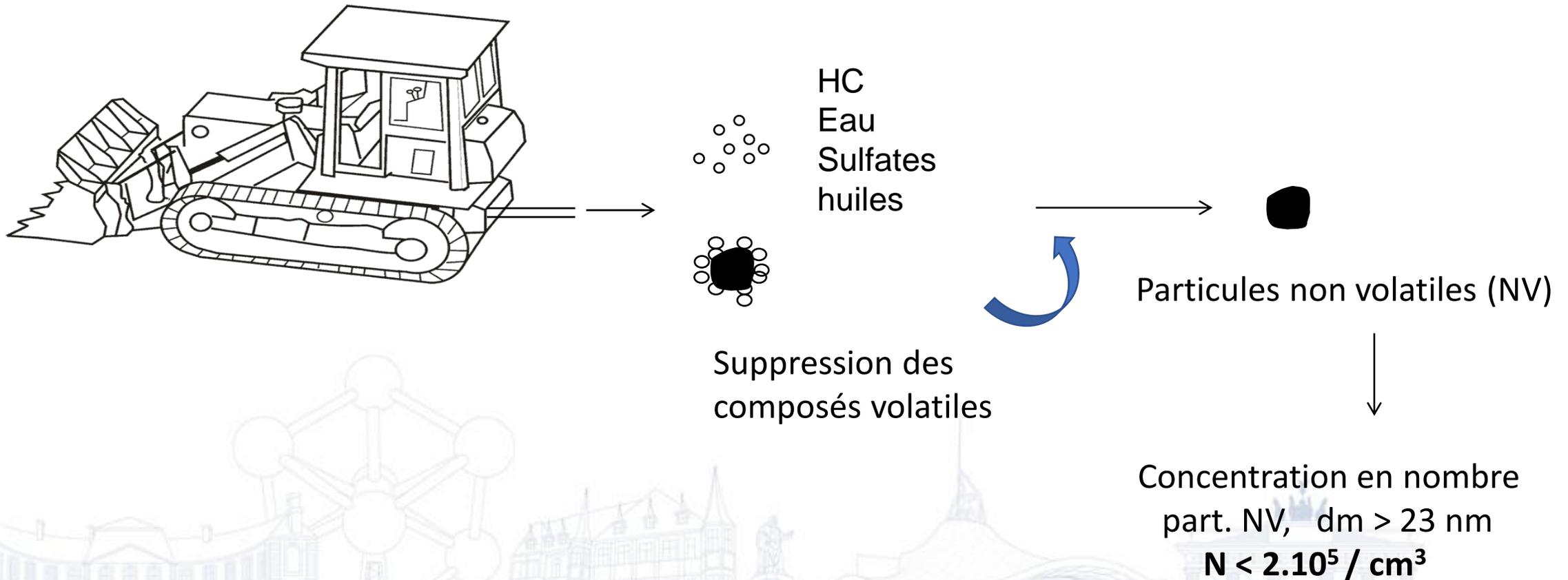
➤ Constat de nombreux dysfonctionnements des FAP installés en rétrofit:

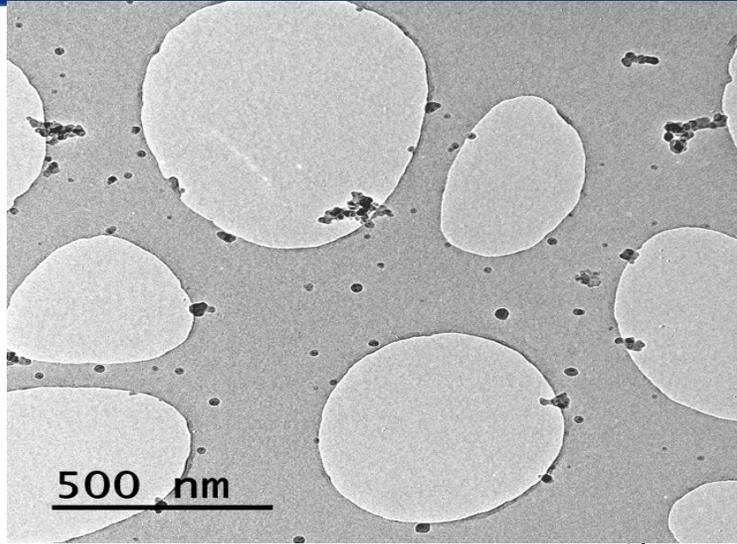
- Étude préalable insuffisamment conduite (profils de température, filtre inadapté, qualité carburant/huile),
- Maintenance défectueuse, montage inadapté (chocs → fissurations filtre),
- Contrôles automatiques du bon fonctionnement (indicateur contre-pression) inexistant ou information mal prise en compte (formation des personnes),



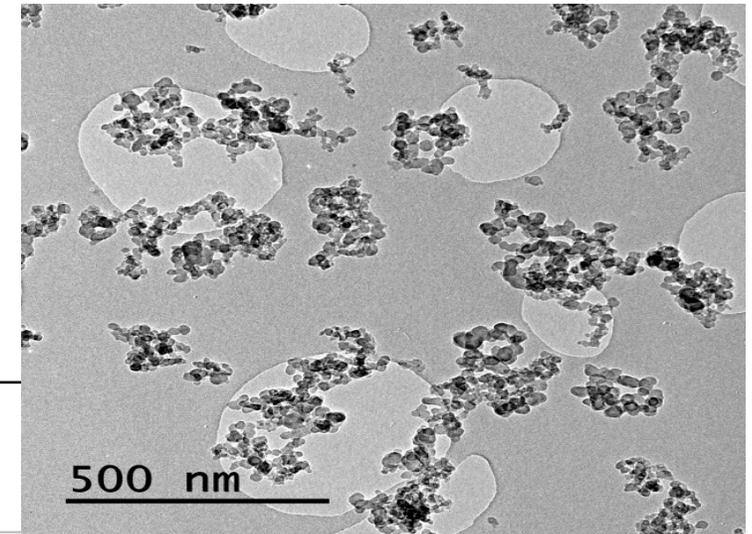
➔ Nécessité d'un contrôle sur site de la concentration en sortie FAP

# Mesure des particules non-volatiles (selon Particle Measurement Programme)

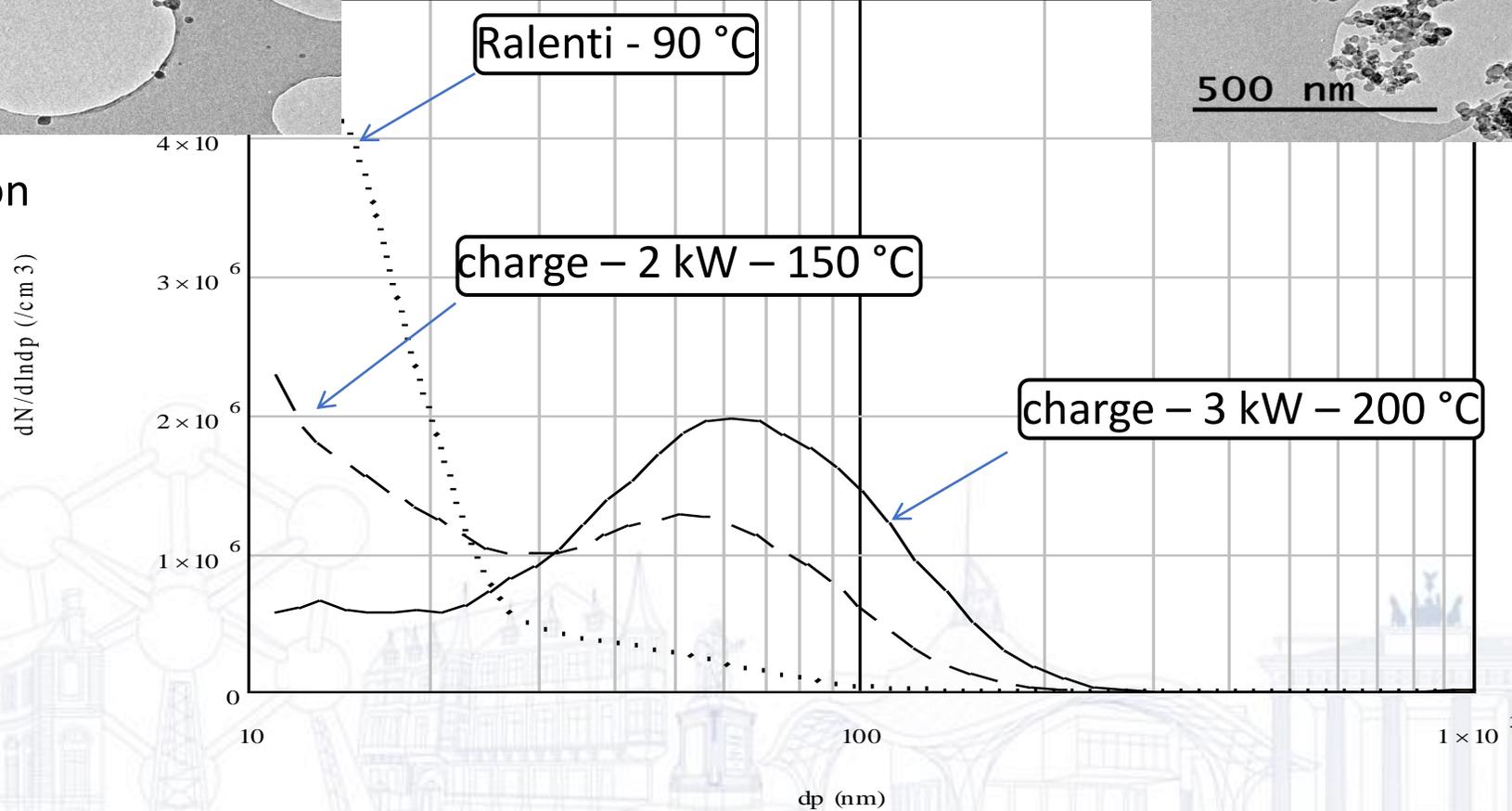




Mode nucléation



Mode agglomération

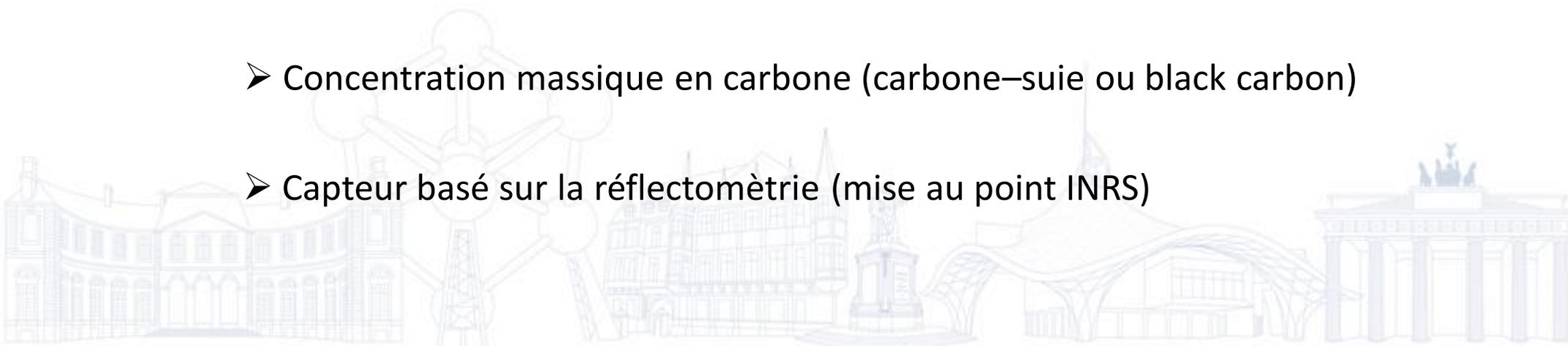


Mesure de la concentration en particules à l'émission :

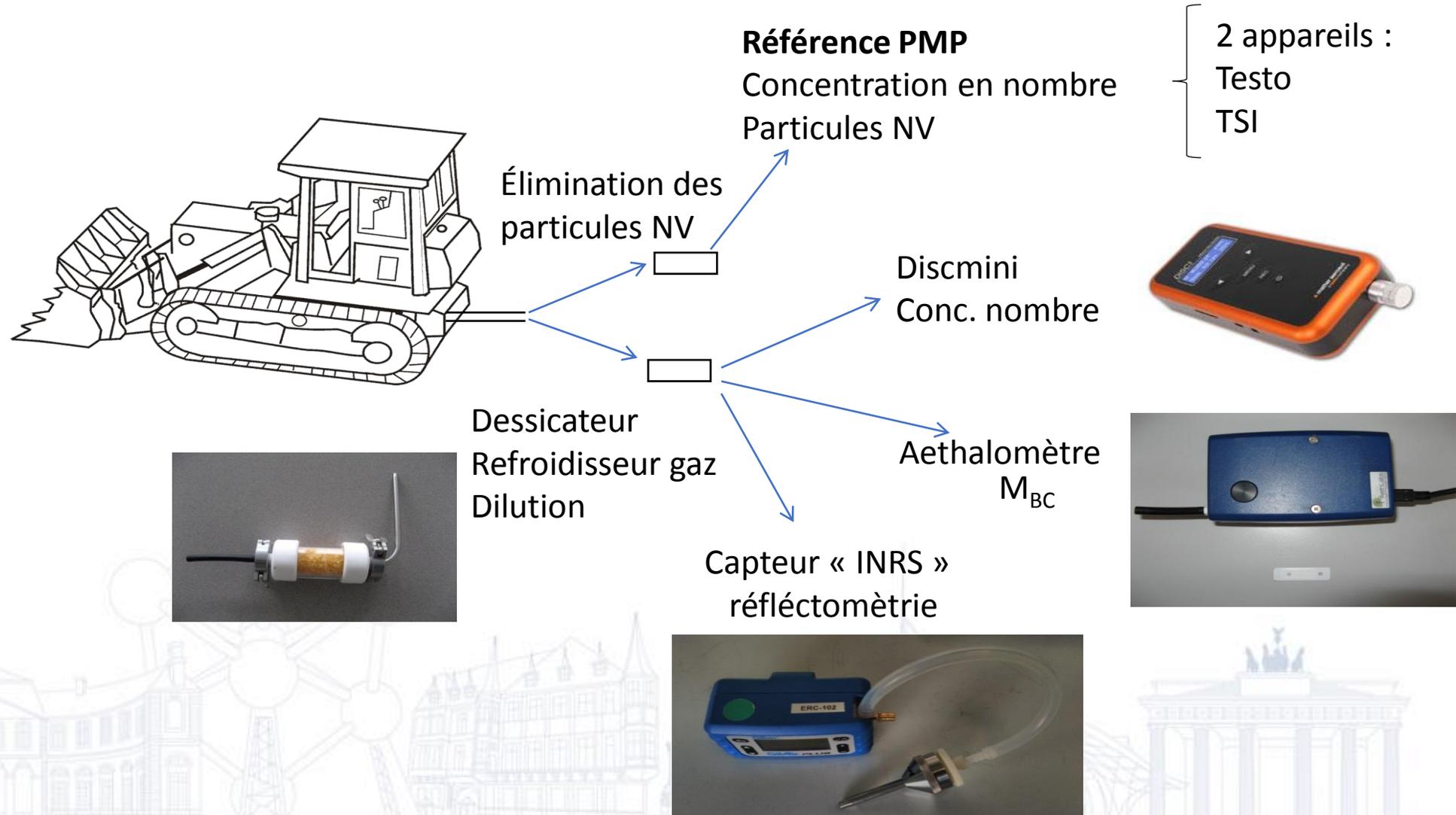
- Concentration en nombre particules non volatiles – réf. PMP

Recherche d'autres solutions:

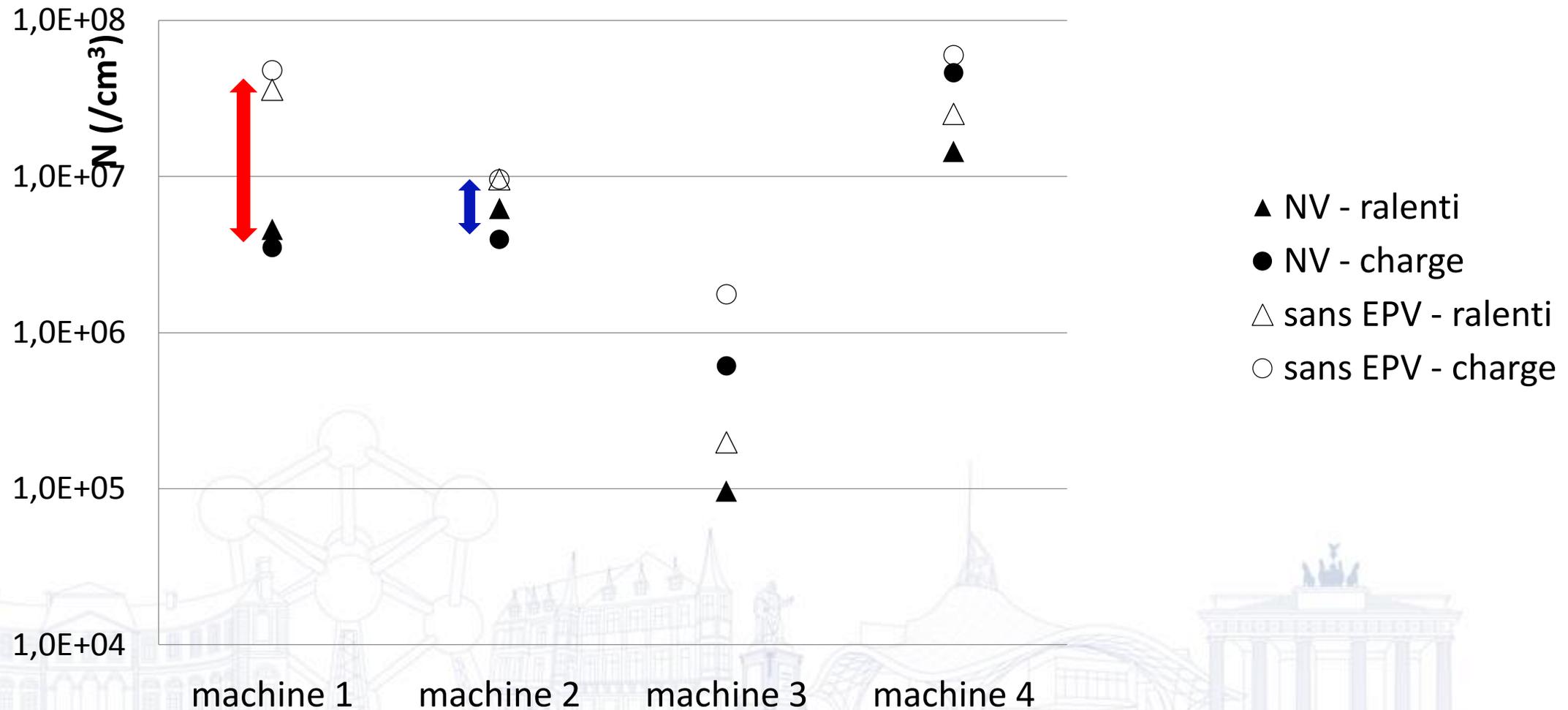
- Concentration en nombre sans élimination des composés volatils
- Concentration massique en carbone (carbone-suie ou black carbon)
- Capteur basé sur la réflectométrie (mise au point INRS)



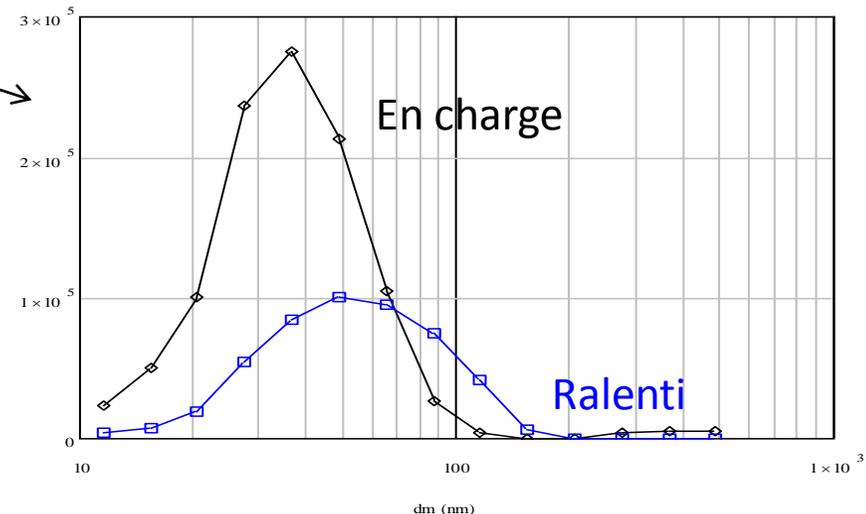
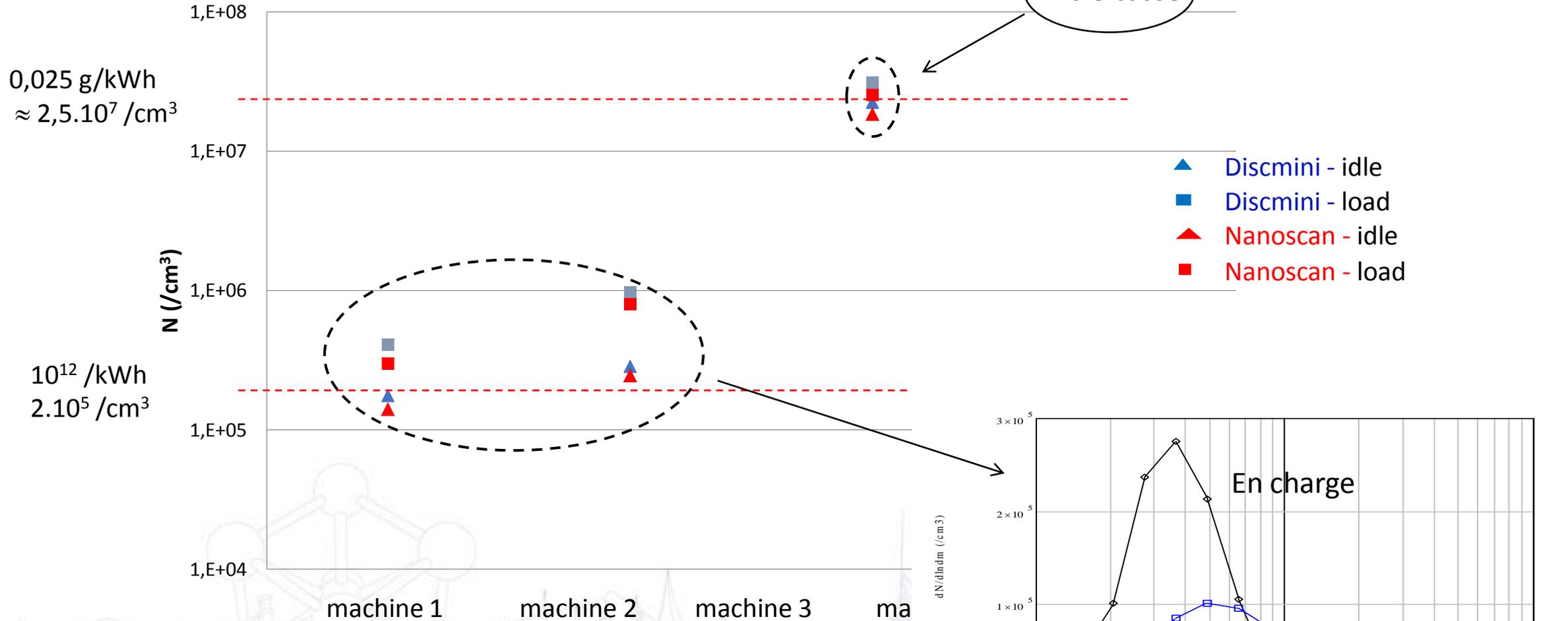
# Contrôle du bon fonctionnement des FAP



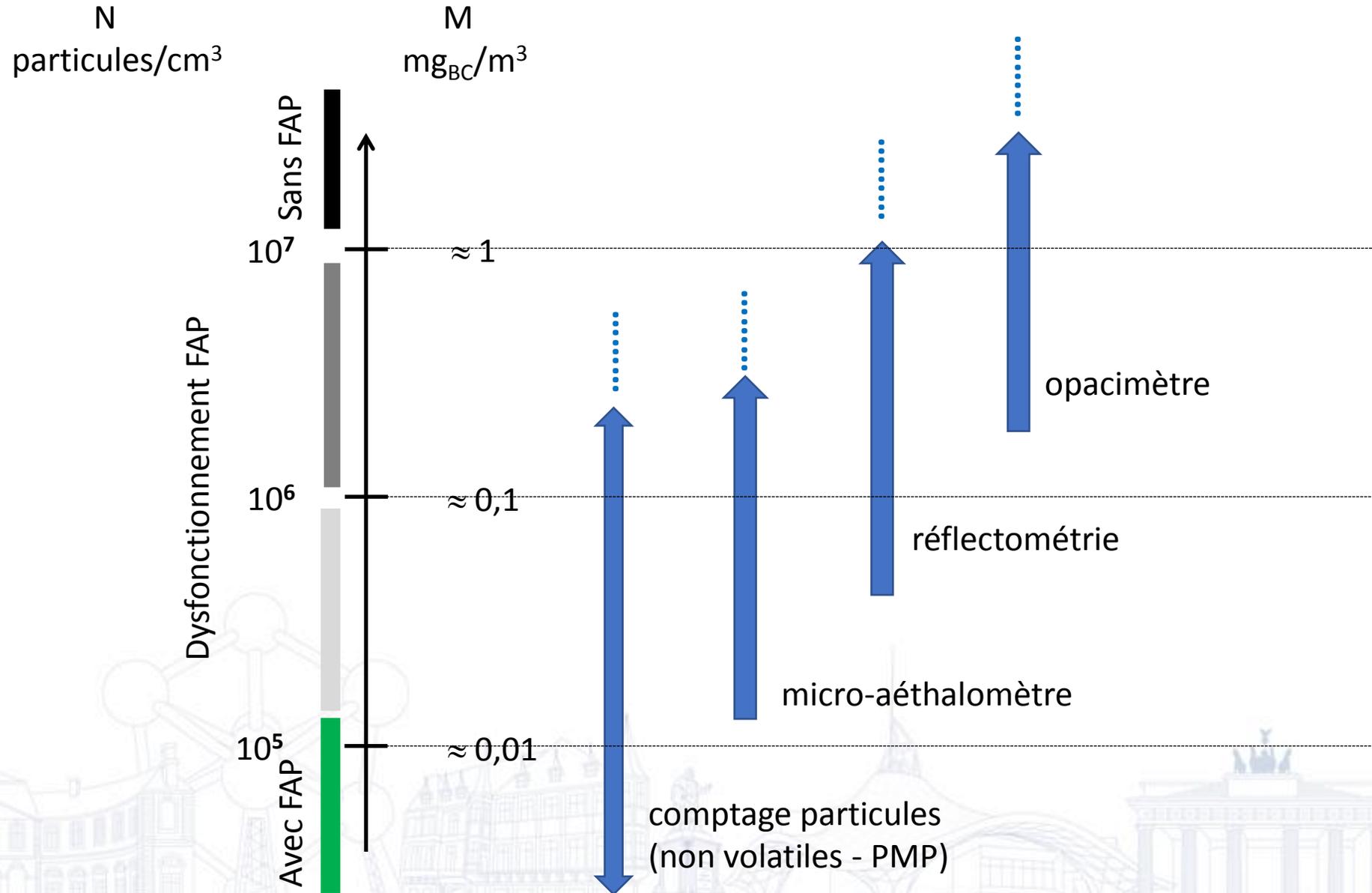
# DISCmini avec et sans thermo-dilution



## Particules NV



FAP: Céramique – régénération catalysée



Appareil	coût	Limite détection part./cm <sup>3</sup>	remarques
Compteur de particules NV (PMP)	++	10 <sup>2</sup>	référence
Discmini	+	10 <sup>2</sup>	↓ T, Hr détection part. volatiles
μAethalomètre AE51	+	≈ 10 <sup>5</sup>	↓ T, Hr mesures en ambiance et à l'émission
Opacimètre	+	≈ 10 <sup>6</sup>	détection part. volatiles
Détecteur « INRS »	ε	≈ 5.10 <sup>5</sup>	mise au point en cours

# Conclusions

FAP : moyen d'élimination très efficace des particules fines de suie.

Constat de trop nombreux dysfonctionnements des FAP montés en rétrofit (procédures à revoir).

→ Nécessité de contrôle de la concentration particules à l'émission.

- Mesure de la concentration en particules NV (référence selon PMP)
- Mesure de la concentration en BC (aéthalomètre) ou par réflectométrie

**Merci pour votre attention**

