

Colmatage des filtres THE industriels par les aérosols formés en cas d'incendie

F.-X. OUF, V.-M MOCHO, S. PONTREAU, Z. WANG*

IRSN / DSU / SERAC / LPMA - LECEV

Service d'Etudes et Recherches en Aérodispersion et Confinement des Polluants

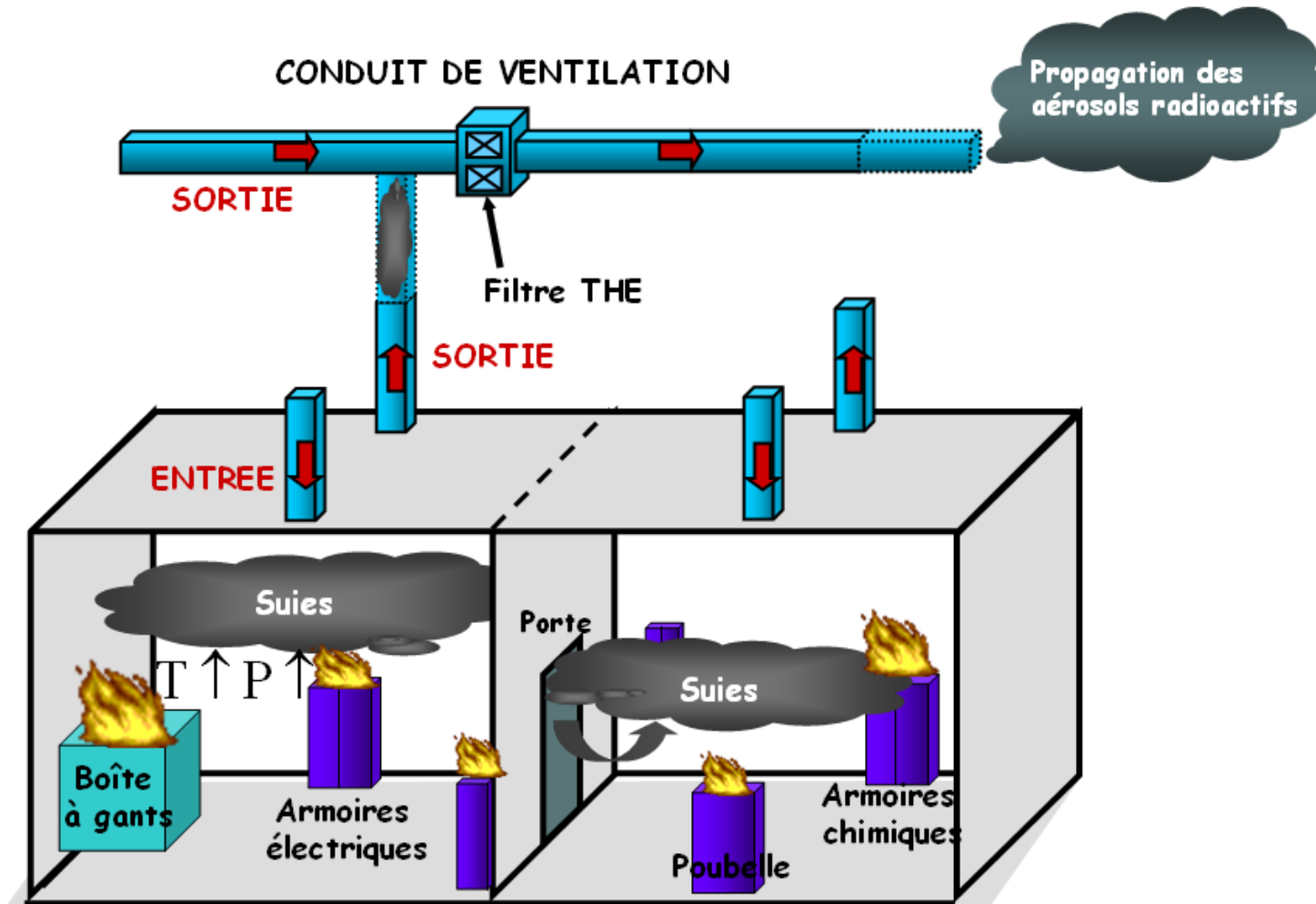
CEN de Saclay

*Stagiaire Ecole des Mines de Douai (21/03/11 - 29/09/11)

14^{ième} Journées du GDR Incendie, Nancy, 8 et 9 Décembre 2012

Contexte de l'étude

Maintien du confinement des substances radioactives en situation accidentelle



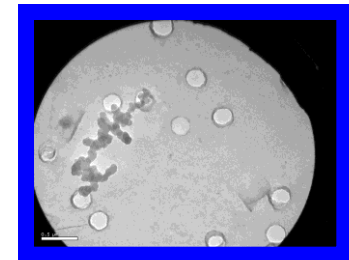
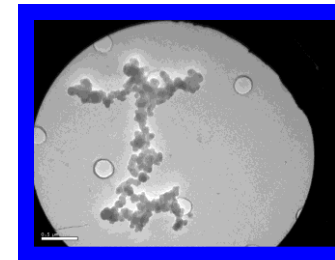
Objectif : amélioration des connaissances sur le comportement aéraulique des filtres THE en situation d'incendie

Principales difficultés :

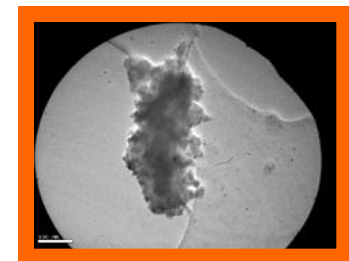
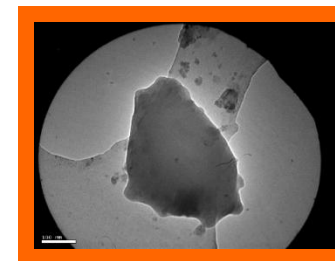
- ☒ *Filtres plissés.*
- ☒ *Température: ambiante à 200 °C.*
- ☒ *Fluctuations de pression.*

- ☒ *Propriétés des fumées:*
 - *multi-phasique: condensation sur filtre ou sur les particules,*
 - *morphologie fractale et compacte d'agrégats carbonés et de **particules organiques/inorganiques.***

- ☒ *Description simple du colmatage THE ?*

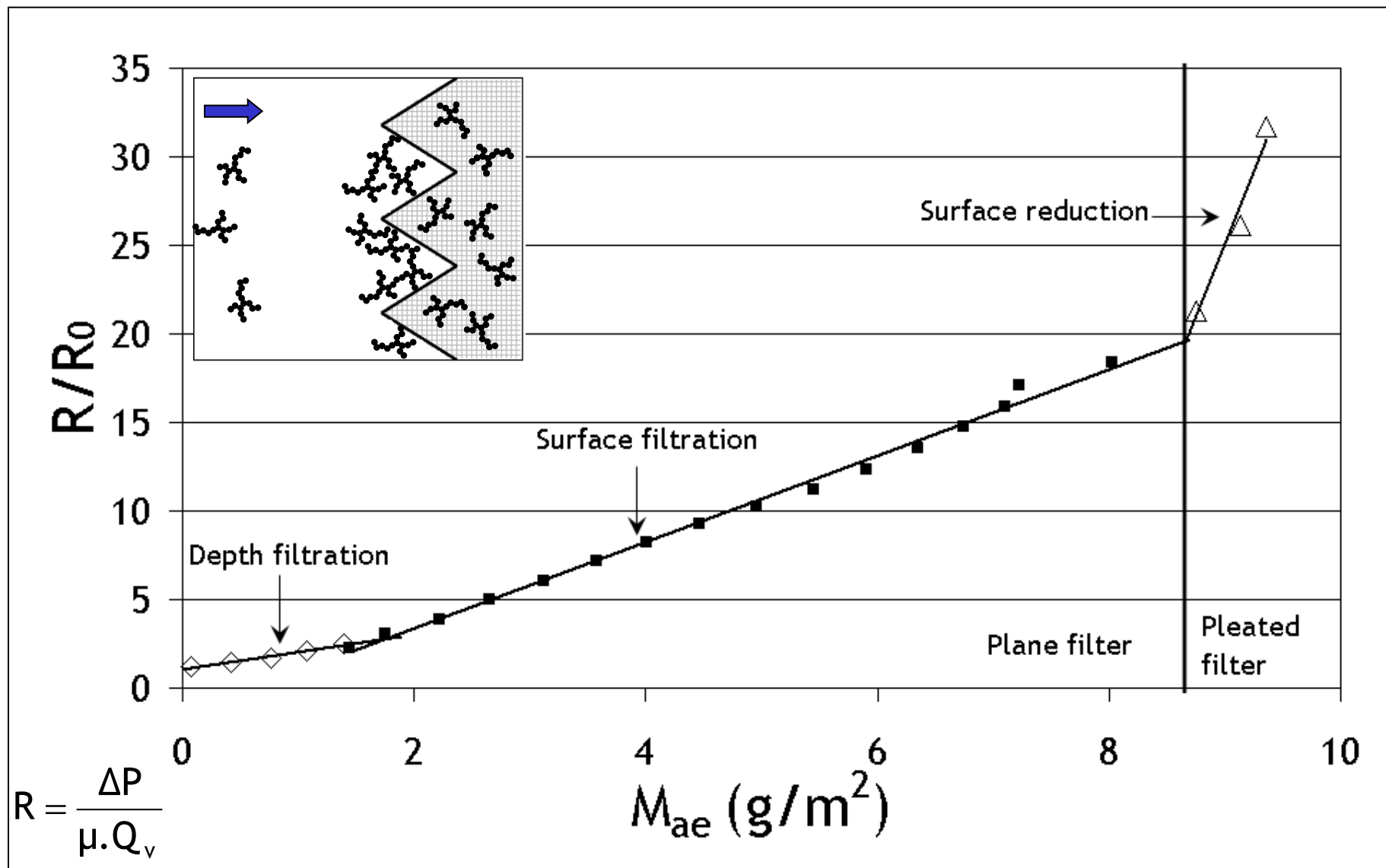


Polymères

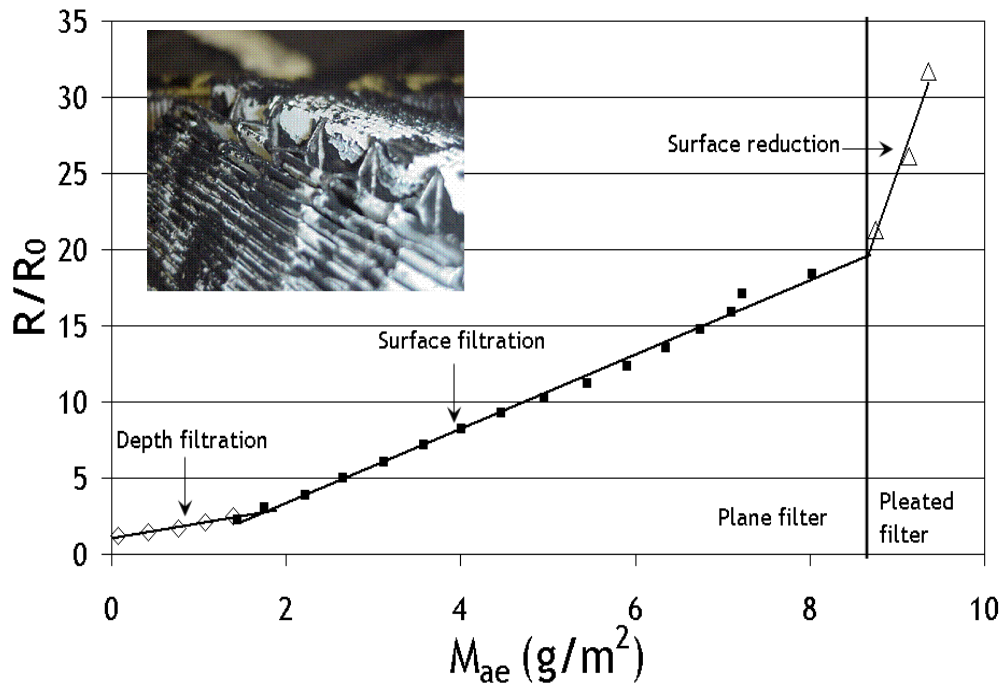


Armoire électrique

Phénoménologie du colmatage des filtres THE plissés



Etat des connaissances



$$\Delta P = \Delta P_P + \Delta P_G$$

Données sur des filtres plan → particules solides, standardisées («monodispersées»)

Pouvoir colmatant des particules solides >> Pouvoir colmatant des particules liquides

⇒ Approche empirique pour la situation d'incendie :

- Gregory et al (1991) → mais 1 seule condition de colmatage
- Mocho et al (2004) → Pic feux IRSN/COGEMA (liquides)

Filtration en profondeur

⇒ **Modélisable (amélioration loi de Davies)**

$$\Delta P_P = 16\mu_g \times U_o \times Z \times \frac{(\alpha + \alpha_p)^{3/2}}{r_f^2 \times (1 + \frac{\alpha_p}{\alpha})}$$

Filtration en surface (gâteau)

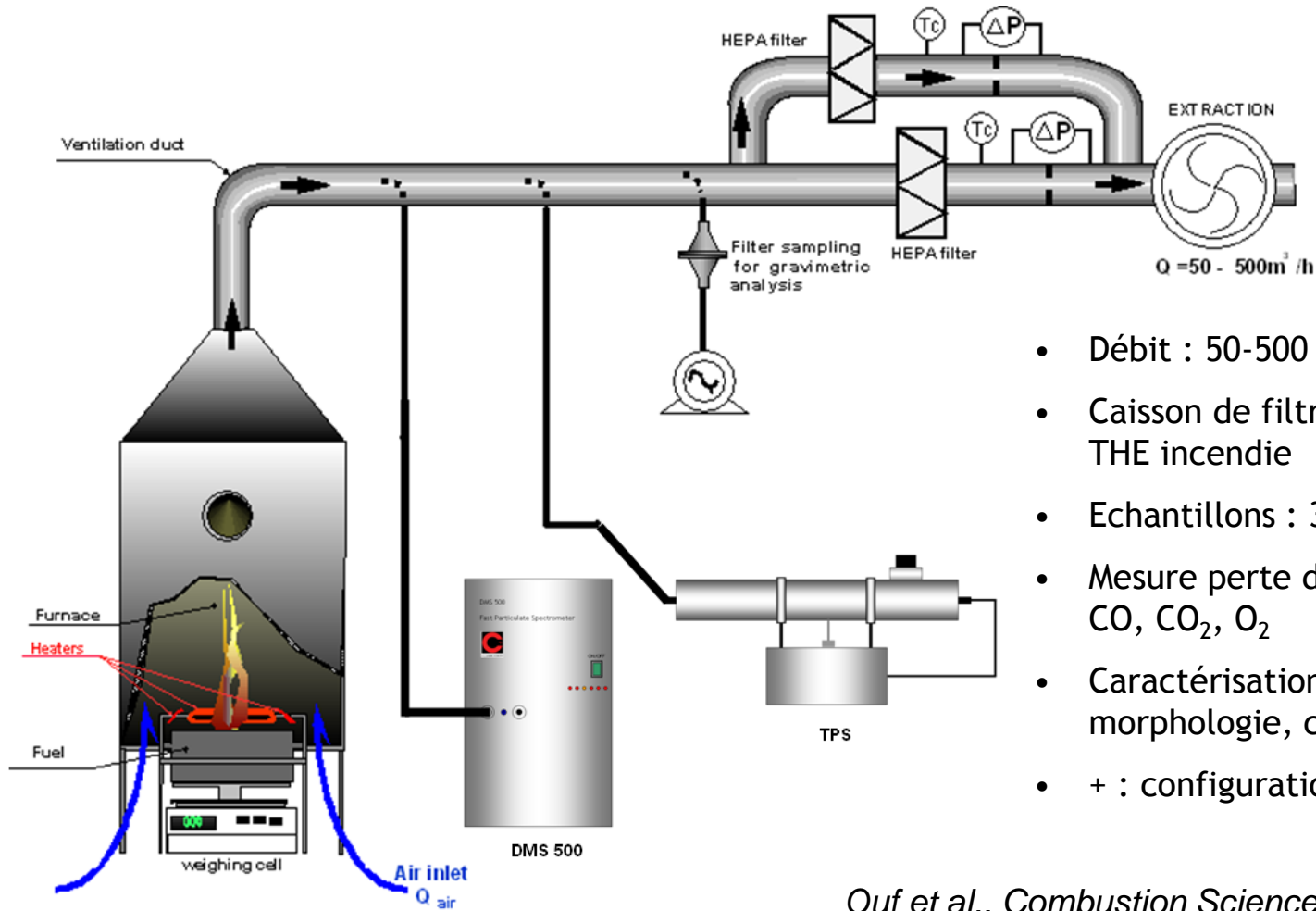
⇒ **Modélisable (Novick / Kozeny)**

$$\Delta P_G = \frac{\mu_g \cdot h_K \cdot \alpha_g \cdot a_{gp}^2}{(-\alpha_g)^3 \cdot \rho_p \cdot C_c} \cdot U_o \cdot \frac{m}{S}$$

Réduction de surface

⇒ **Pas de modèle prédictif couvrant une large gamme opératoire (Del Fabbro).**

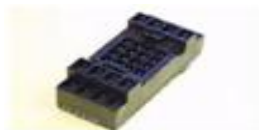
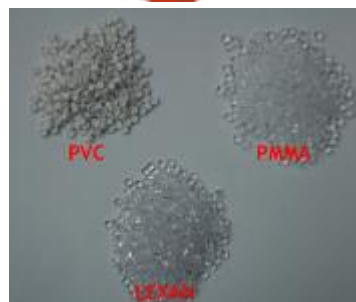
Installation BANCO : colmatage



- Débit : 50-500 m³/h
- Caisson de filtration : comportement THE incendie
- Echantillons : 30x30 cm²
- Mesure perte de masse, température, CO, CO₂, O₂
- Caractérisation aérosol (taille, morphologie, composition...)
- + : configurations diverses

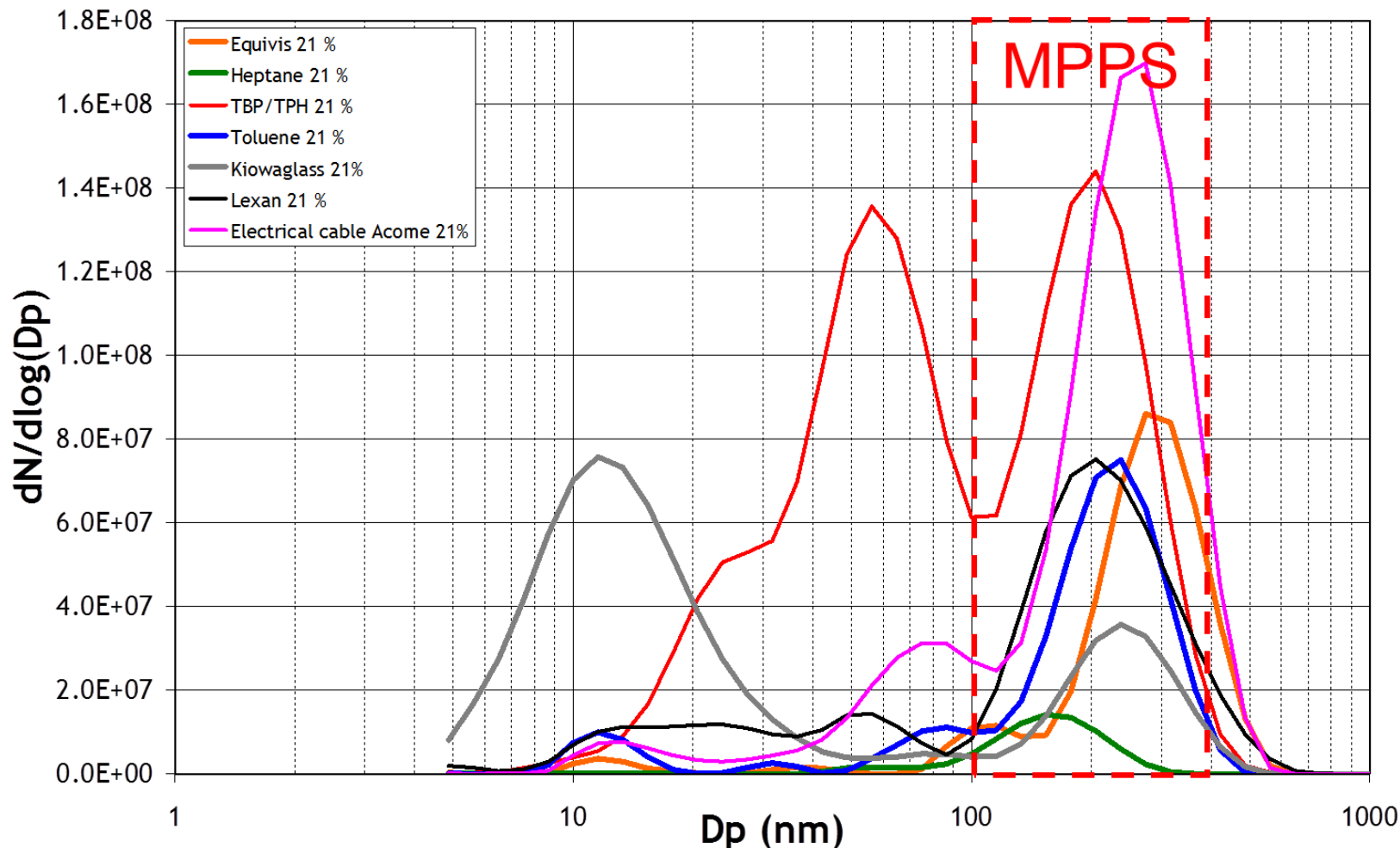
Ouf et al., Combustion Science and Technology, 2008.

Combustibles étudiés



Caractéristiques générales des aérosols d'incendie

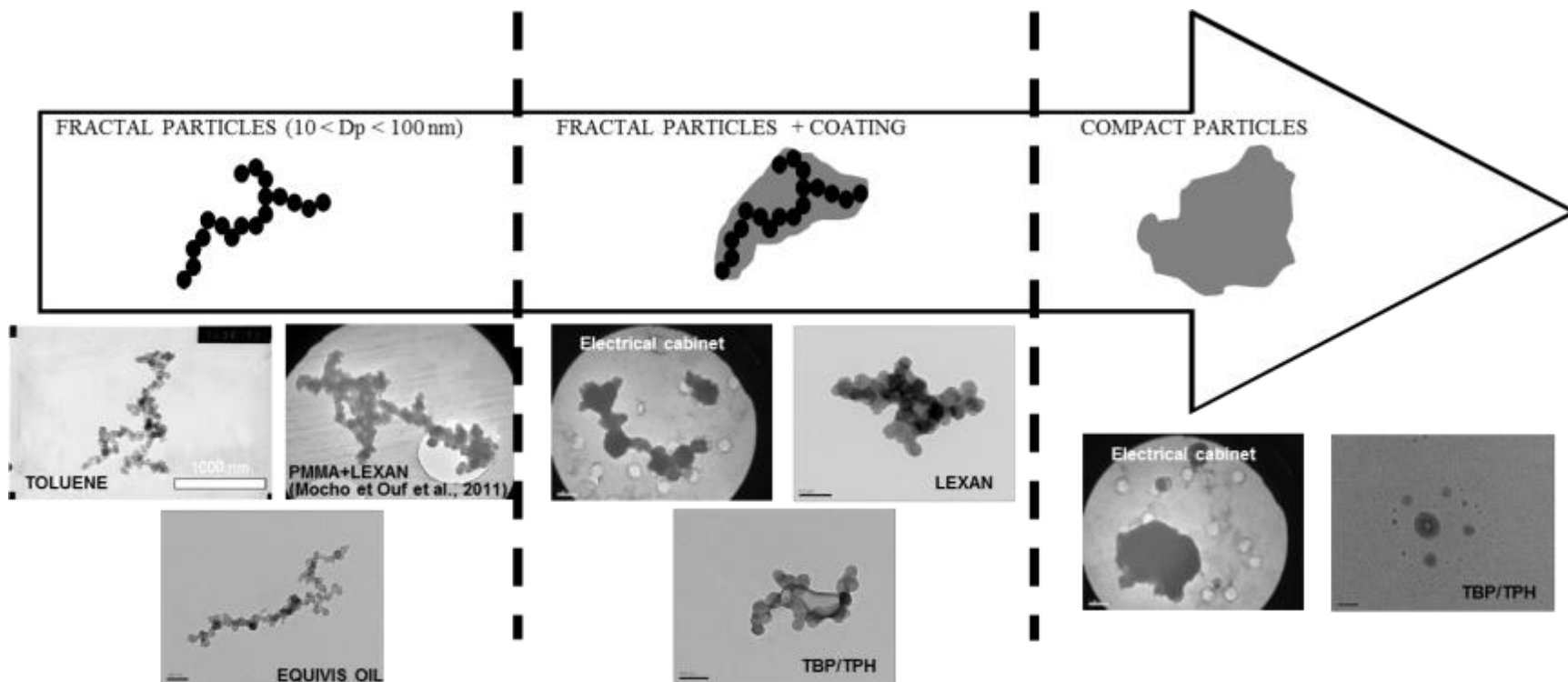
- ☒ Les aérosols émis par la dégradation thermique de nombreux matériaux courants sont majoritairement submicroniques (en nombre).



Ouf et al., Congrès Français sur les Aérosols, Paris, 2012.

Caractéristiques générales des aérosols d'incendie

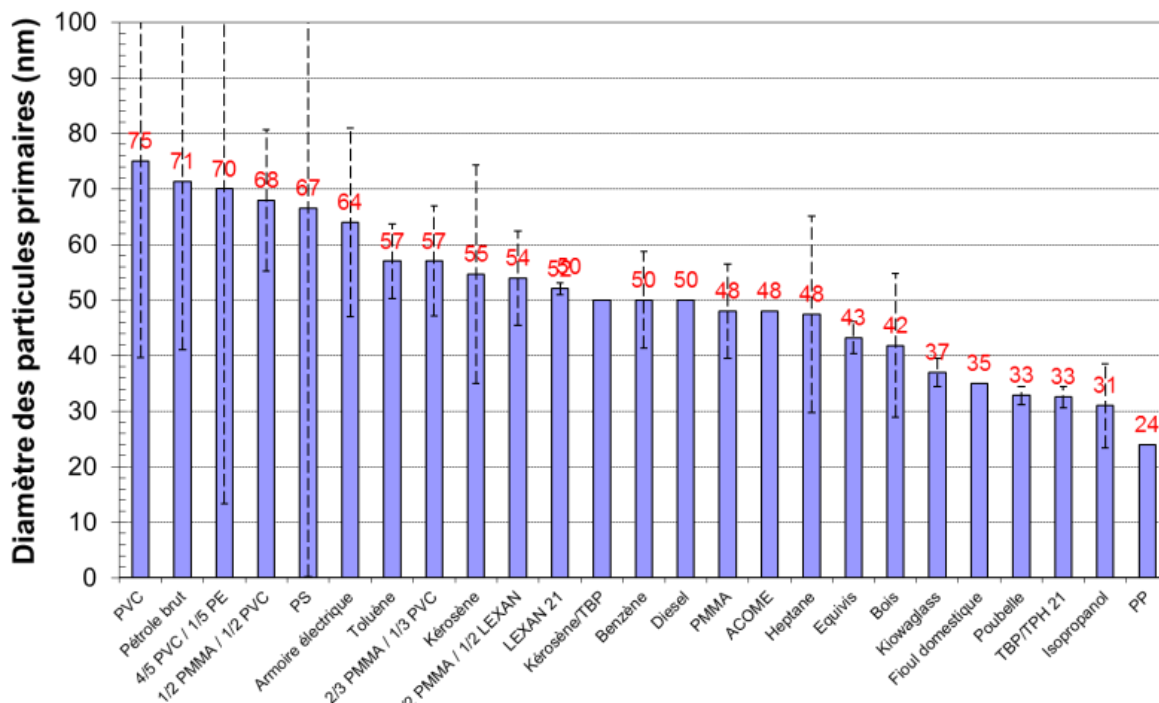
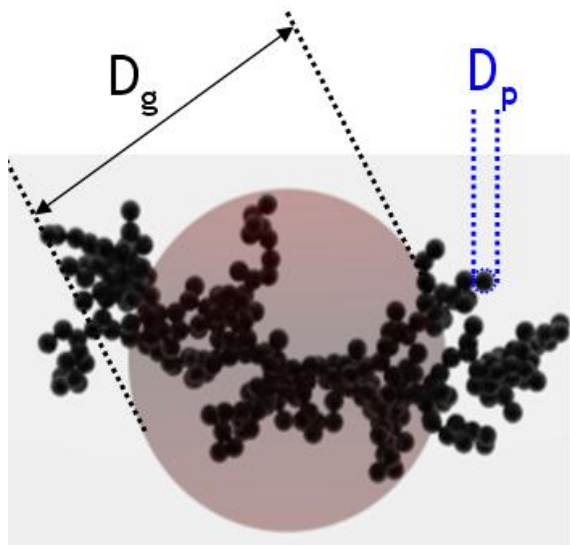
- ⊗ Les aérosols émis par la dégradation thermique de nombreux matériaux courants sont majoritairement submicroniques (en nombre).
- ⊗ La morphologie des particules est généralement fractale mais est sensible au type de combustible et conditions d'incendie (temps de résidence, $[O_2]$, température, humidité, COV, HAP...).



Ouf et al., Rapport interne IRSN, décembre 2011.

Caractéristiques générales des aérosols d'incendie

- ⊗ Les aérosols émis par la dégradation thermique de nombreux matériaux courants sont majoritairement submicroniques (en nombre).
- ⊗ La morphologie des particules est généralement fractale mais est sensible au type de combustible et conditions d'incendie (temps de résidence, $[O_2]$, température, humidité, COV, HAP...).
- ⊗ Diamètre des particules primaires des agrégats : 10 à 100 nm.

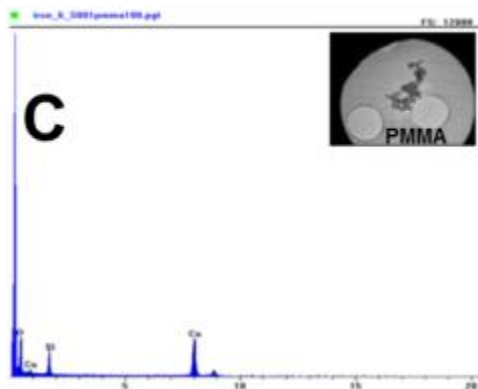


Ouf et al., Rapport interne IRSN, juillet 2011.

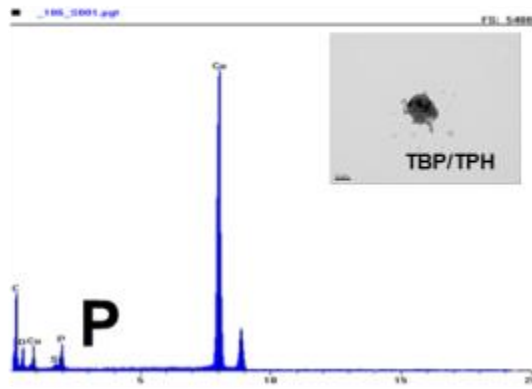
Caractéristiques générales des aérosols d'incendie

- ⊗ Les aérosols émis par la dégradation thermique de nombreux matériaux courants sont majoritairement submicroniques (en nombre).
- ⊗ La morphologie des particules est généralement fractale mais est sensible au type de combustible et conditions d'incendie (temps de résidence, $[O_2]$, température, humidité, COV, HAP...).
- ⊗ Diamètre des particules primaires des agrégats : 10 à 100 nm.
- ⊗ Composition complexe (organique, inorganique).

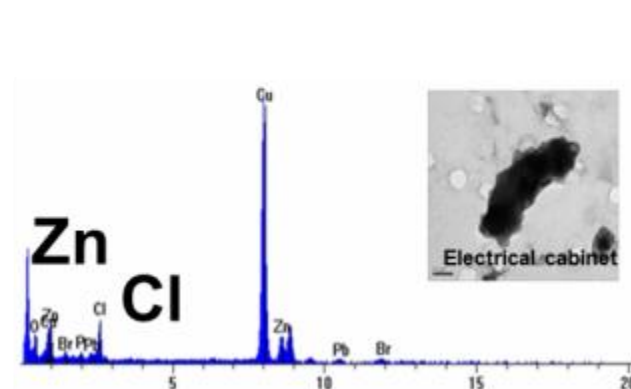
Mainly elemental
carbone



Elemental/organic
carbone + inorganique



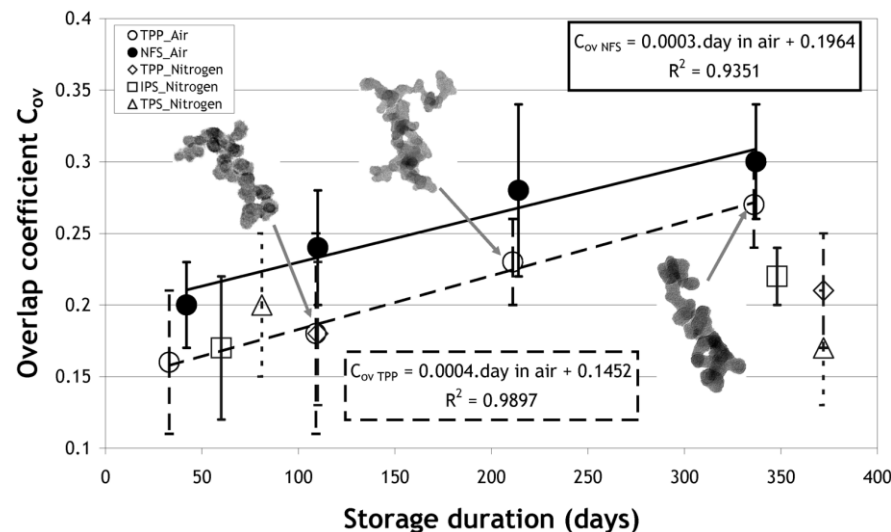
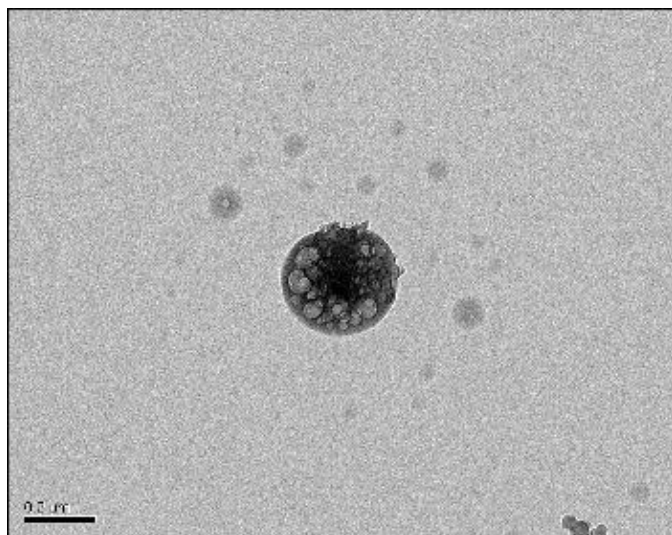
Mainly organic
carbone + inorganique



Ouf et al., Filtech, Wiesbaden, 2009.

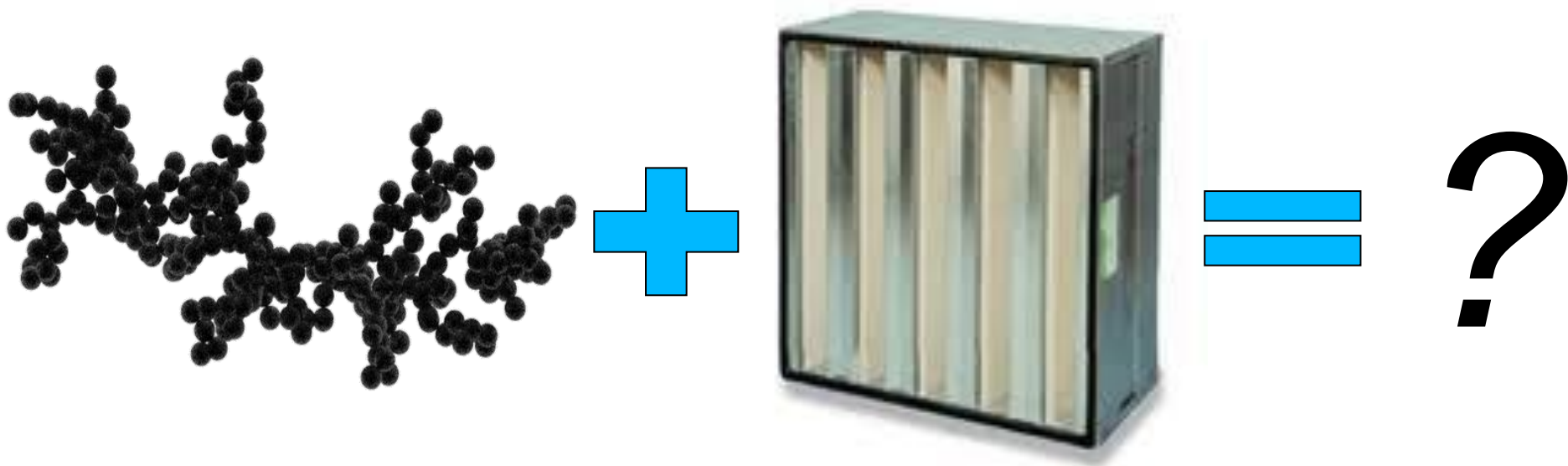
Caractéristiques générales des aérosols d'incendie

- ⊗ Les aérosols émis par la dégradation thermique de nombreux matériaux courants sont majoritairement submicroniques (en nombre).
- ⊗ La morphologie des particules est généralement fractale mais est sensible au type de combustible et conditions d'incendie (temps de résidence, $[O_2]$, température, humidité, COV, HAP...).
- ⊗ Diamètre des particules primaires des agrégats : 10 à 100 nm.
- ⊗ Composition complexe (organique, inorganique).
- ⊗ Vieillesse et stabilité de la phase adsorbée/absorbée ?



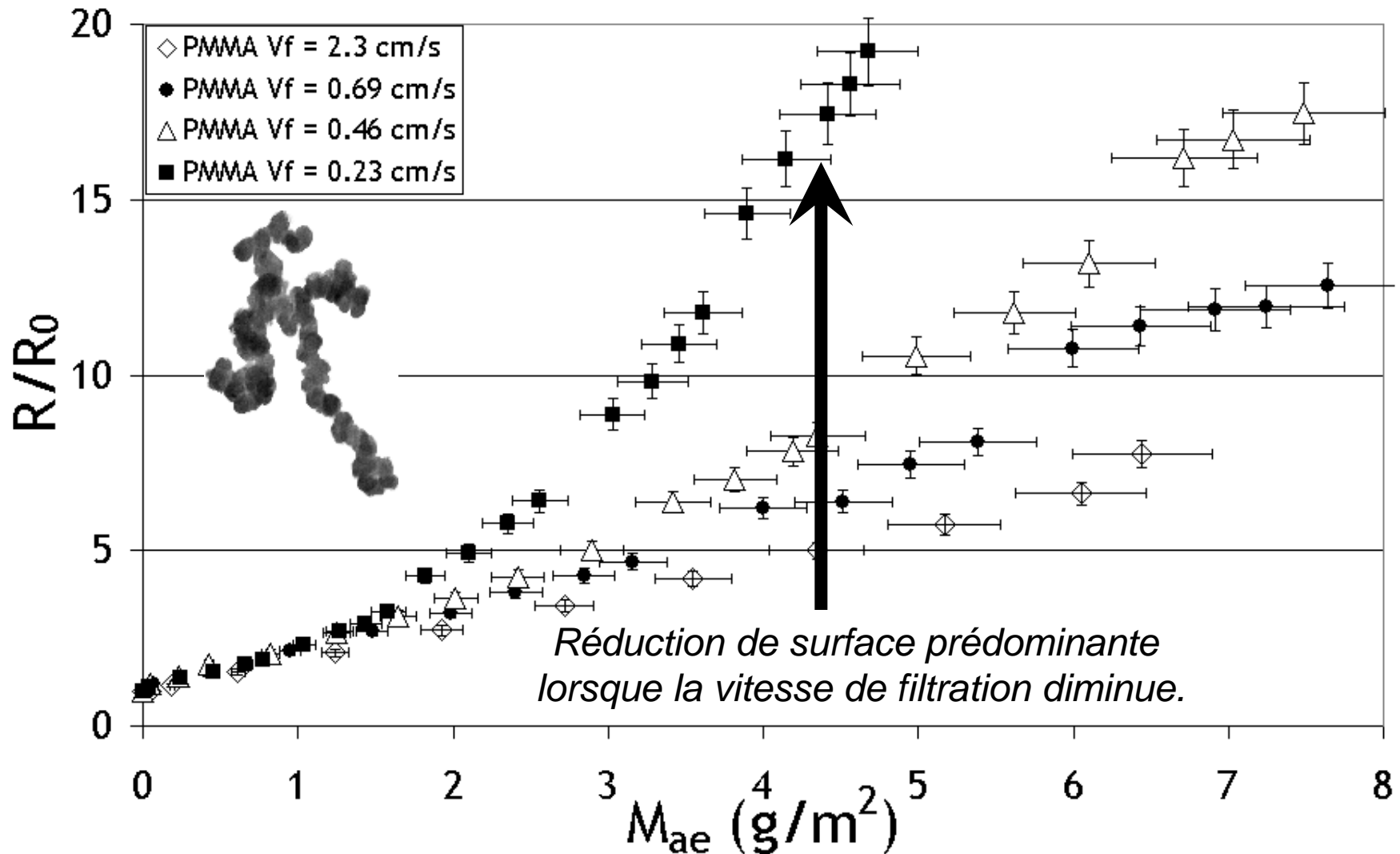
Ouf et al., *Aerosol Science and Technology*, 2010.

Démarche expérimentale



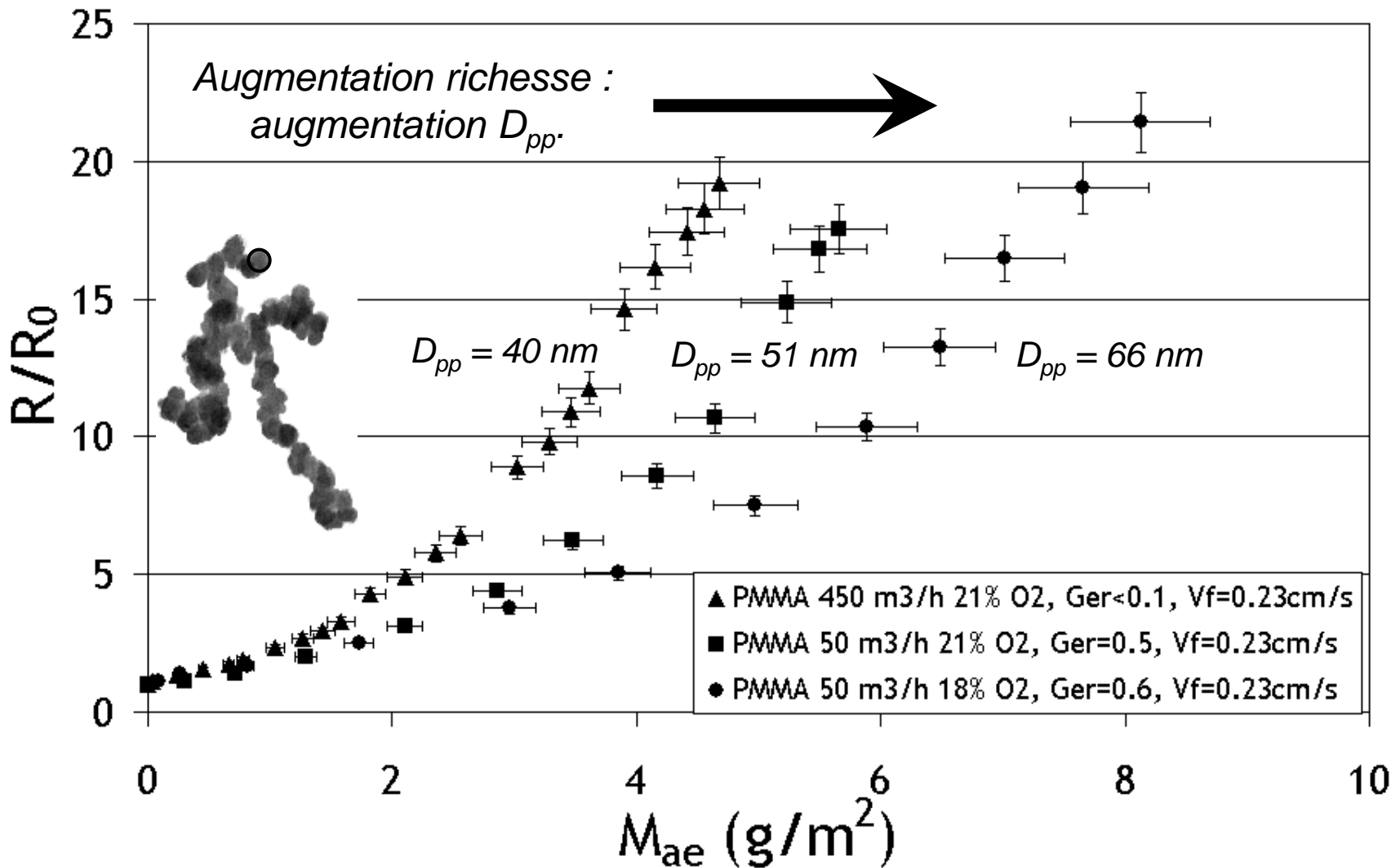
- ✉ Obtention de courbes expérimentales de colmatage de filtres THE en situation d'incendie pour différents combustibles et conditions.
- ✉ Identification des paramètres d'influence.
- ✉ Développement d'un modèle prédictif de colmatage.
- ✉ Application à des scénarii réalistes (DIVA).

Influence de la vitesse de filtration



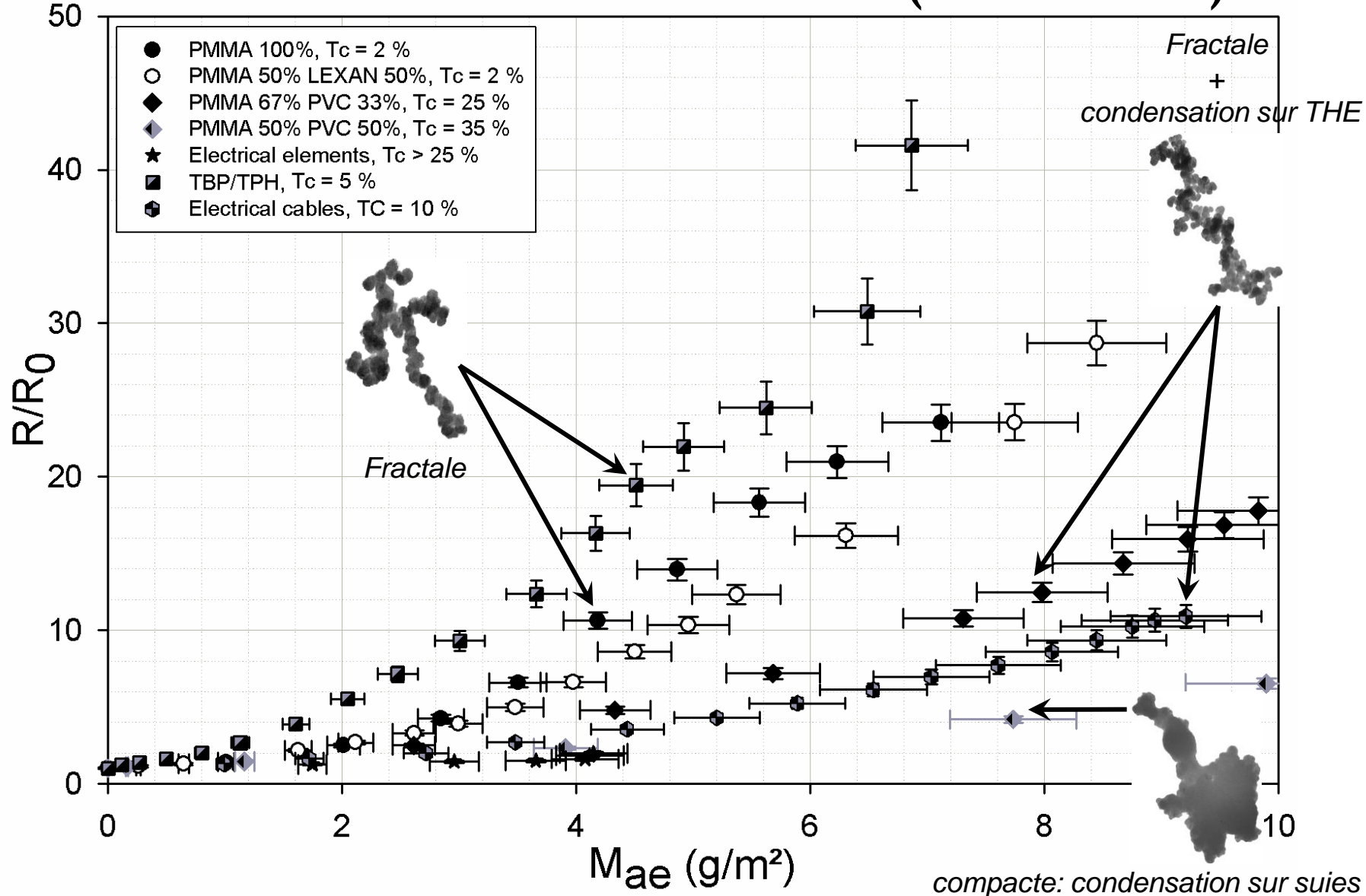
Mocho and Ouf, Nuclear Engineering and Design, 2011.

Influence de la richesse GER



Mocho and Ouf, Nuclear Engineering and Design, 2011.

Influence du combustible (et du TC)



Modèle empirique de colmatage

Objectif de ce modèle :

- ✉ Le modèle doit retranscrire les différentes étapes du colmatage des filtres plissés (profondeur, surface, réduction de surface).
- ✉ Le modèle doit intégrer les principaux paramètres directs significatifs.

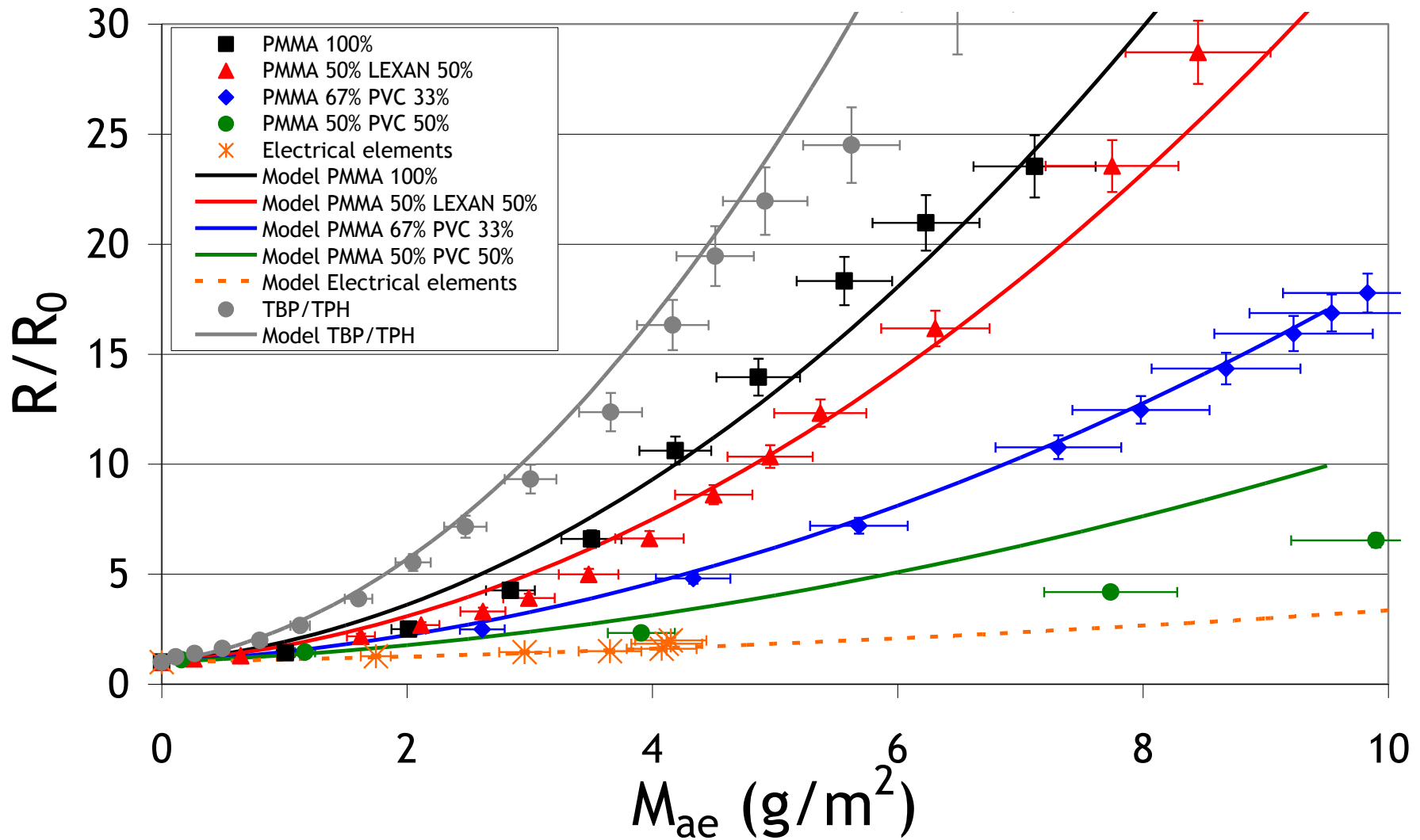
$$\frac{R}{R_0} = 1 + a \cdot \left(1 - \frac{TC}{100}\right) \cdot \frac{M_{ae}}{d_p} + b \cdot \left(\left(1 - \frac{TC}{100}\right) \cdot \frac{M_{ae}}{V_f \cdot d_p} \right)^2$$

- ✓ R : résistance aéraulique du filtre (m⁻³),
- ✓ R₀ : résistance aéraulique du filtre vierge (m⁻³),
- ✓ M_{ae} : masse surfacique d'aérosol déposée sur le filtre (g/m²),
- ✓ d_p : dimension caractéristique de l'aérosol (μm),
- ✓ a et b : paramètres du modèle,
- ✓ V_f : vitesse de filtration (m/s)
- ✓ TC : taux de condensats des aérosols (%).

Données d'entrée du modèle

Matériau	D _p (nm)	M _{ae} (%)	TC (%)
Armoire électrique DIVA	220 - 250	3 - 3,5	> 25
Câble ACOME	48	14,8	9,6
Éléments électriques BANCO	64	5,1	23,3
Huile EQUIVIS	35 - 38	6,4 - 10,3	1,5 - 4,0
Kiowaglass	35 - 39	4,6 - 4,7	5,2 - 5,4
LEXAN	51 - 53	17,5 - 18,6	3,6 - 2,6
Mélange Poubelle	32 - 34	3,9 - 10,5	1,6 - 3,6
PMMA	48	1,3	< 2
50% PMMA - 50% LEXAN	54	4,5	2
50% PMMA - 50% PVC	68	12,1	30
67% PMMA - 33% PVC	54	6,5	22,5
PP	24	2,3	2,5
PS	67	15,4	9,3 - 35,1
PVC	75	10,7	38,5
30% TBP - 70% TPH	31 - 34	15,7 - 16,4	5,3 - 6,6
Toluène	54	14,5	5 - 15
<input type="checkbox"/> Analyse Bibliographique		<input type="checkbox"/> Précédents résultats PIC	

Validation du modèle empirique.



Conclusions

- ☒ Développement d'un banc et compétences aérosols incendie-colmatage.
- ☒ Principaux paramètres d'influence significative sont :
 - ☒ Masse d'aérosol déposée par unité de surface, vitesse filtration,
 - ☒ Nature de l'aérosol (forme, taille, nature, taux de condensats),
- ☒ Données innovantes sur les aérosols et le comportement aéraulique de filtres THE en situation d'incendie (15 combustibles, différents débits, richesse)
- ☒ Modèle empirique proposé, bon accord (en fixant les constantes associées) avec un ensemble conséquent de situations ($TC < 25 \%$).

Perspectives

- ☒ Travaux en cours sur la description phénoménologique de la formation d'un gâteau d'agrégats de nanoparticules (Ouf et al., EAC 2011; WFC 2012).
- ☒ Interaction eau-suies, composés organiques-suies (MERMOSÉ, analyse EC/OC, microscopie environnementale, spectro masse temps de vol...).
- ☒ Application du modèle à échelle 1 et différents régimes de filtration.

Remerciements

✉ Financement : S. Bétremieux, P. Ainé (AREVA NC).



✉ Conseils techniques sur choix des combustibles : F. Hurel.



✉ Analyse MET et EDX : M. Maillé et P. Ausset (LISA, Paris XII).



✉ Clichés HRTEM : D. Ferry (CiNaM, Marseille).



✉ Essais cône Kiowaglass : L. Saragoza (LNE, Trappes).

Merci de votre attention.

francois-xavier.ouf@irsn.fr

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

