Etude de l'influence des particules émises lors d'un incendie sur le comportement des dispositifs d'épuration à très haute efficacité des installations nucléaires

Synthèse des acquis

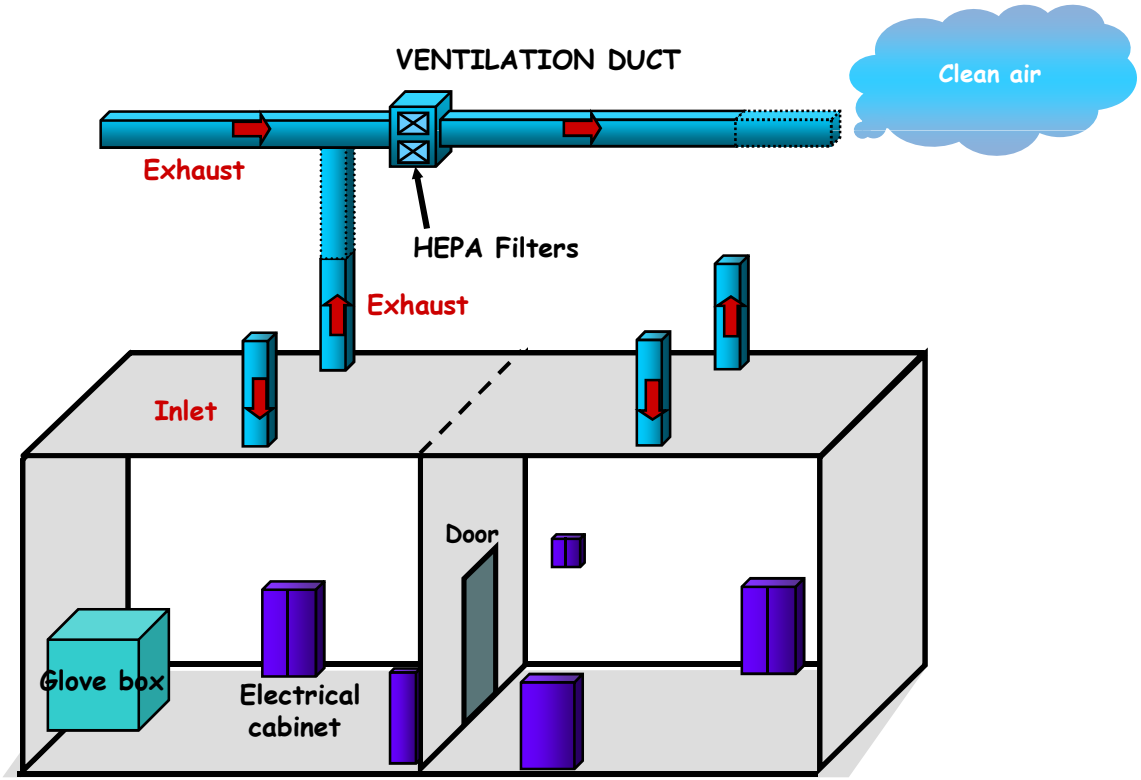
MOCHO V.M., OUF F.X., PONTREAU S.

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

Réunion du GDR incendie du 15 janvier 2010

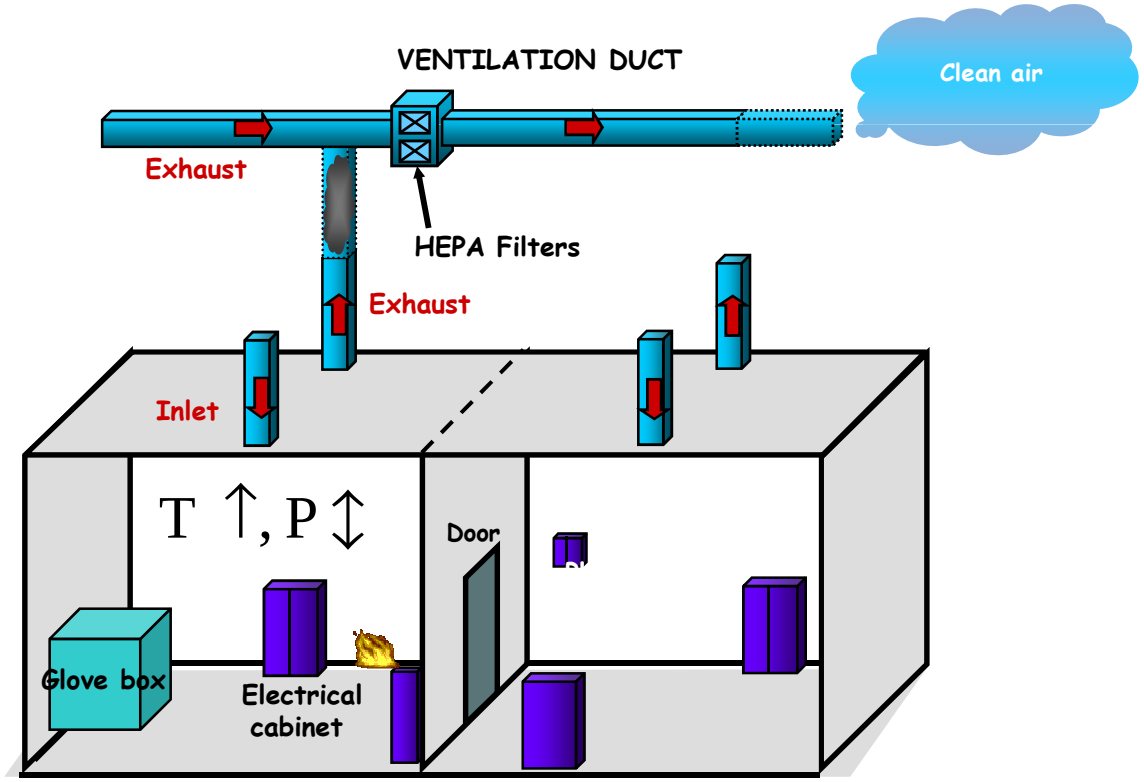
Contexte de l'étude : Maîtrise du confinement des substances radioactives en situations normale et accidentelle dans une installation

- Le confinement des matières radioactives est effectué en utilisant un système de ventilation (cascade de dépression et filtres THE)



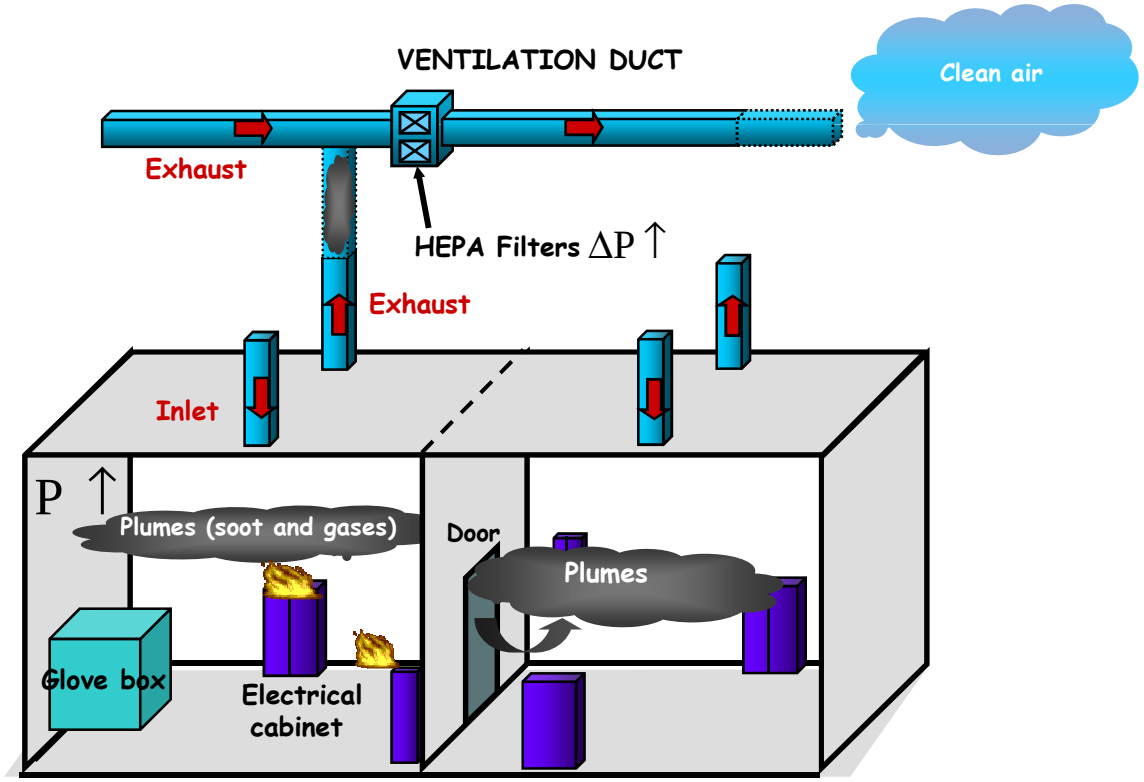
Contexte de l'étude : Maîtrise du confinement des substances radioactives en situations normale et accidentelle dans une installation

- Le confinement des matières radioactives est effectué en utilisant un système de ventilation (cascade de dépression et filtres THE).
- Le feu est un risque industriel majeur dans une installation nucléaire.
- Effets: élévation de la température et de la pression dans l'installation, libération d'aérosols (suies et radioactifs), transport dans d'autres locaux de l'installation, colmatage des filtres THE (diminution de débit de ventilation, voire rupture filtre).



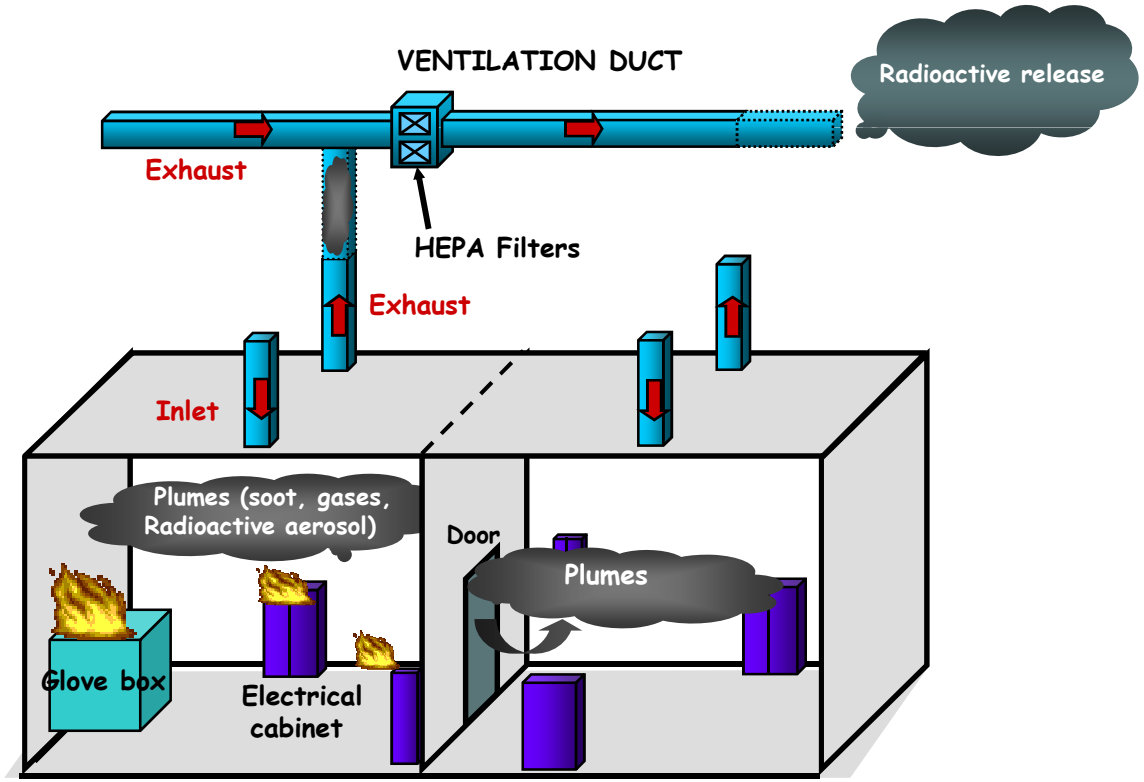
Contexte de l'étude : Maîtrise du confinement des substances radioactives en situations normale et accidentelle dans une installation

- Le confinement des matières radioactives est effectué en utilisant un système de ventilation (cascade de dépression et filtres THE).
- Le feu est un risque industriel majeur dans une installation nucléaire.
- Effets: élévation de la température et de la pression dans l'installation, libération d'aérosols (suies et radioactifs), transport dans d'autres locaux de l'installation, colmatage des filtres THE (diminution de débit de ventilation, voire rupture filtre).



Contexte de l'étude : Maîtrise du confinement des substances radioactives en situations normale et accidentelle dans une installation

- Le confinement des matières radioactives est effectué en utilisant un système de ventilation (cascade de dépression et filtres THE).
- Le feu est un risque industriel majeur dans une installation nucléaire.
- Effets: élévation de la température et de la pression dans l'installation, libération d'aérosols (suies et radioactifs), transport dans d'autres locaux de l'installation, colmatage des filtres THE (diminution de débit de ventilation, voire rupture filtre).



Thèmes étudiés

1. Mise en suspension de contamination.

a. Détermination du coefficient de mise en suspension.

b. Essais analytiques à l'échelle du cône calorimètre.

c. Différents simulants inactifs et polymères.

2. Caractérisation du terme source aérosol.

a. Détermination des caractéristiques physico-chimique des aérosols émis lors d'un incendie.

b. Essais analytique à échelle < 1 m.

c. Influence du combustible et des conditions de ventilation.

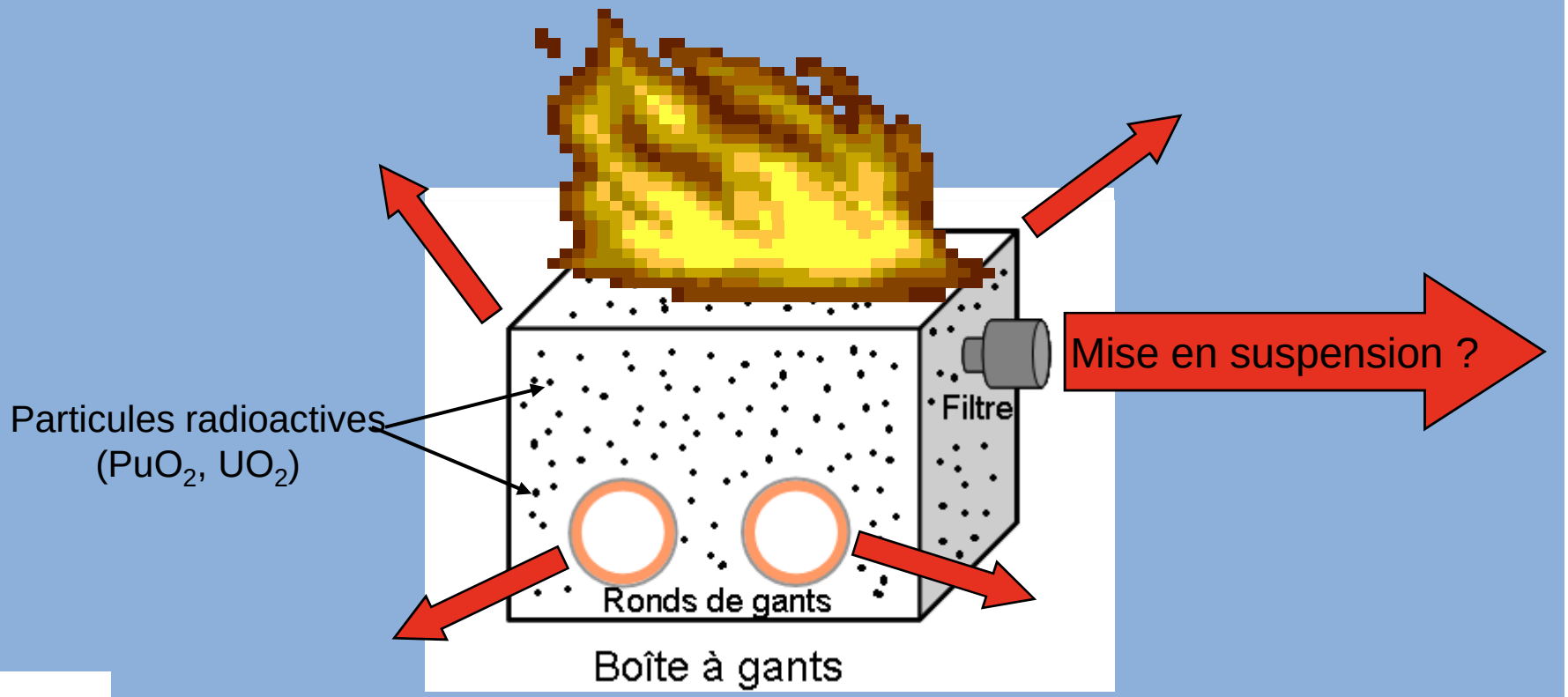
3. Comportement des filtres THE.

a. Comportement aéraulique des filtres THE.

b. Essais analytiques et à grandeur réelle.

c. Développement de modèles de colmatage.

Mise en suspension en situation d'incendie



Comprendre les mécanismes d'émission du contaminant

Évaluation de l'entraînement mécanique et de la volatilisation
Contaminant stable (Al_2O_3) et volatil (CsI) avec DAMM = 1,75 et 7,5 µm

Utilisation de matériaux représentatifs des installations nucléaires (boîtes à gants) :

PMMA et LEXAN, orientation horizontale des échantillons.

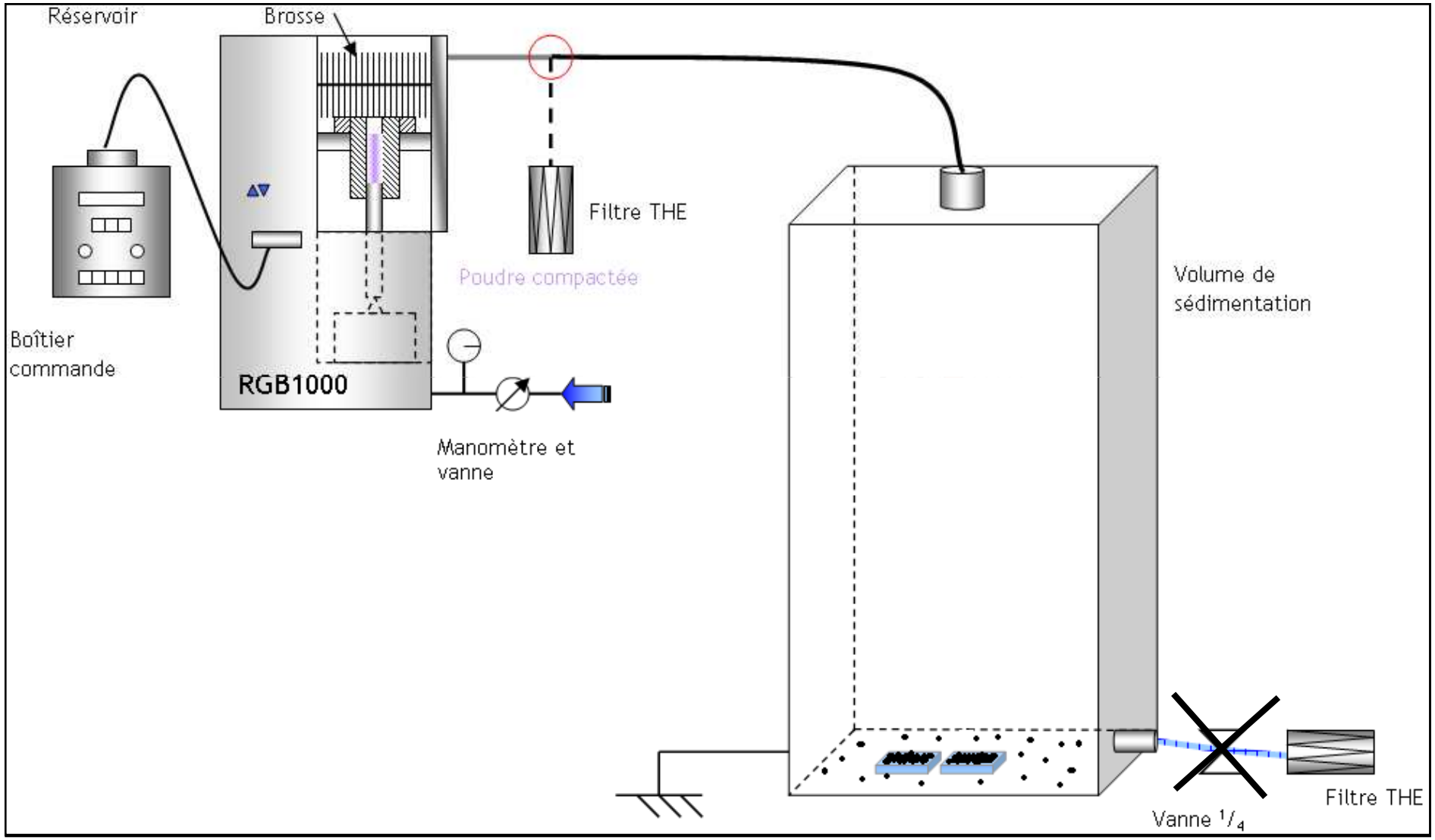
Contamination

Dépôt surfacique du contaminant sur le combustible, à une concentration de 1 mg /cm^2.

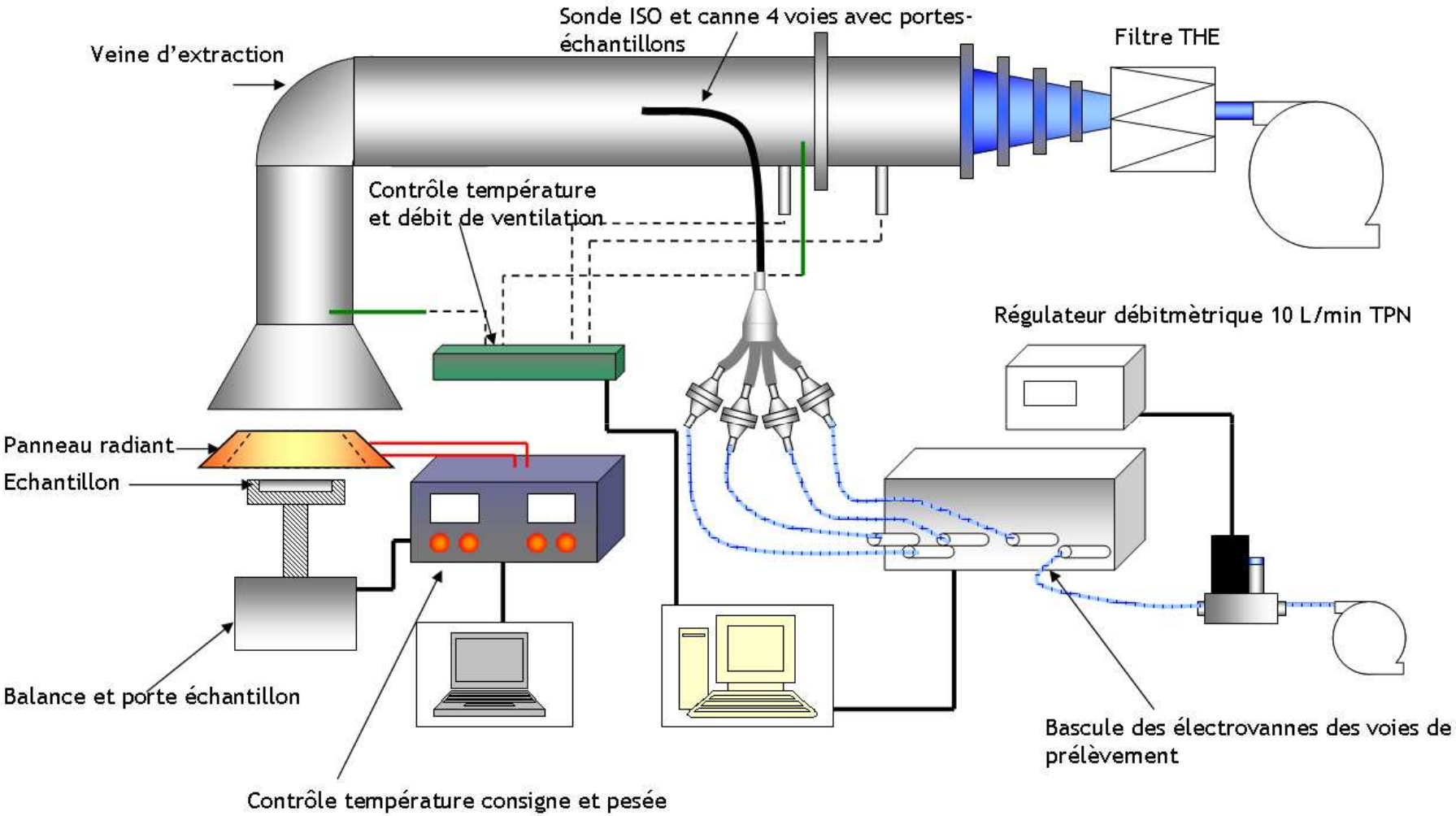
Dégradation thermique de l'éprouvette

Pyrolyse/Combustion sur plaque 10x10 cm^2 de PMMA et LEXAN

CONTAMINATION SURFACIQUE DES ECHANTILLONS



DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE DEGRADATION

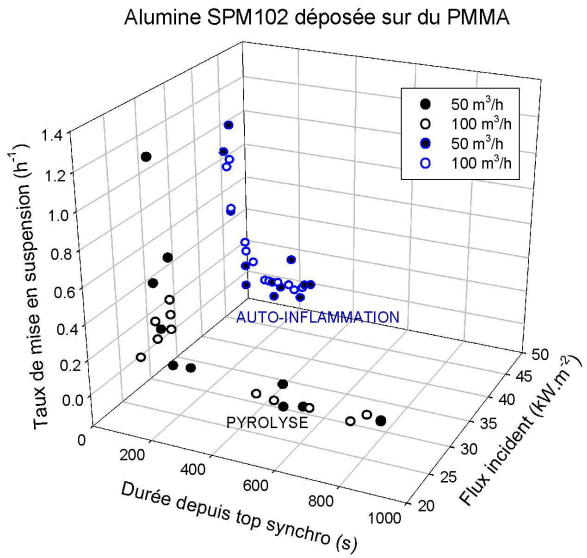


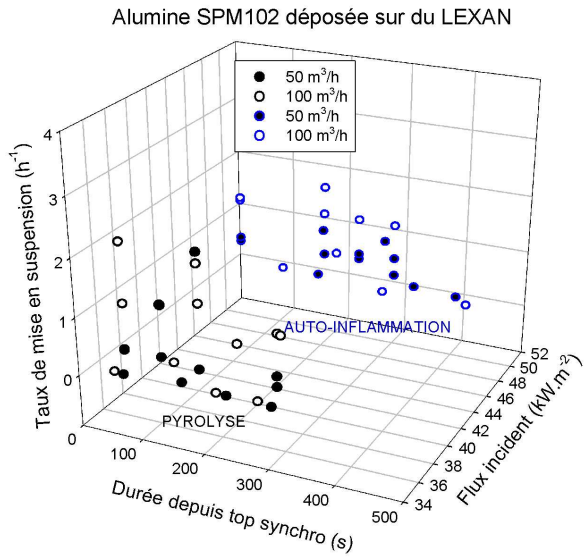
Mesure mise en suspension :

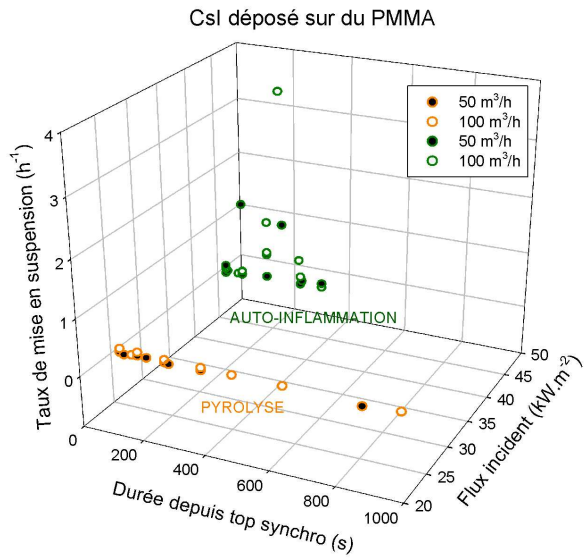
ICP-MS sur Filtres : *(1 pyrolyse, 3 pyrolyse/combustion),* ***Mesure dépôt foyer, Analyse résidus***

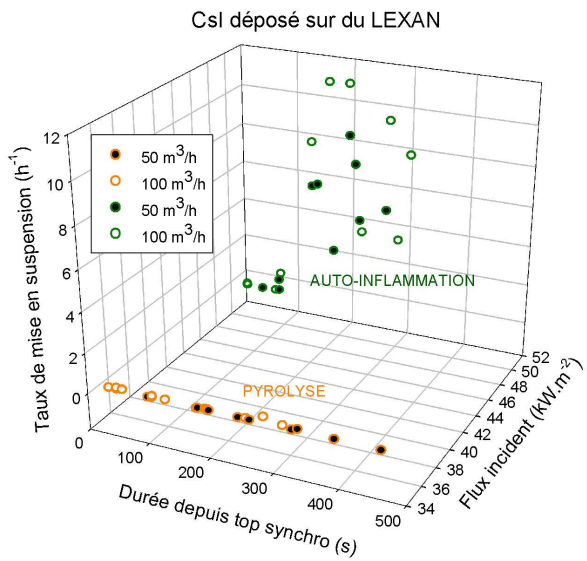
- **Deux polymères : PMMA et LEXAN**
- **Pyrolyse et auto-inflammation :**
  - PMMA : 25 et 45 kW/m^2
  - LEXAN : 30 et 50 kW/m^2
- **Deux débits de ventilation : 50 et 100 m^3/h**
- **Deux DAMM = 1,75 µm et 7,5 µm pour l'alumine**
- **Deux types de matières simulantes :**
  - Contaminant stable : Al_2O_3 (T_{fusion} = 2072°C)
  - Contamination volatil: CsI (T_{fusion} = 626°C)
- **Trois essais par configuration**

RESULTATS SIGNIFICATIFS – DYNAMIQUE D'EMISSION

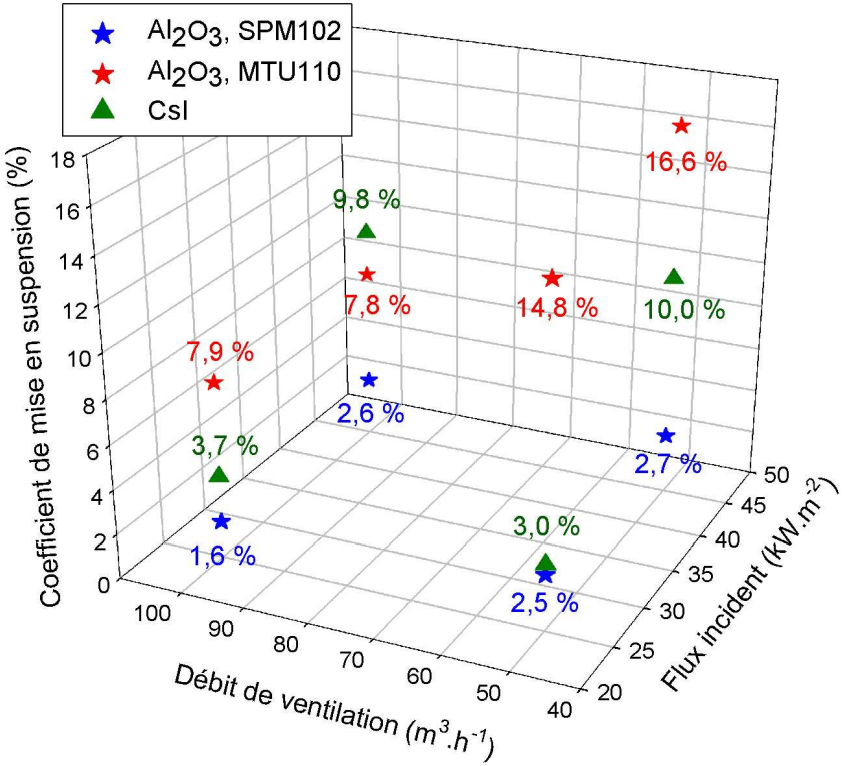




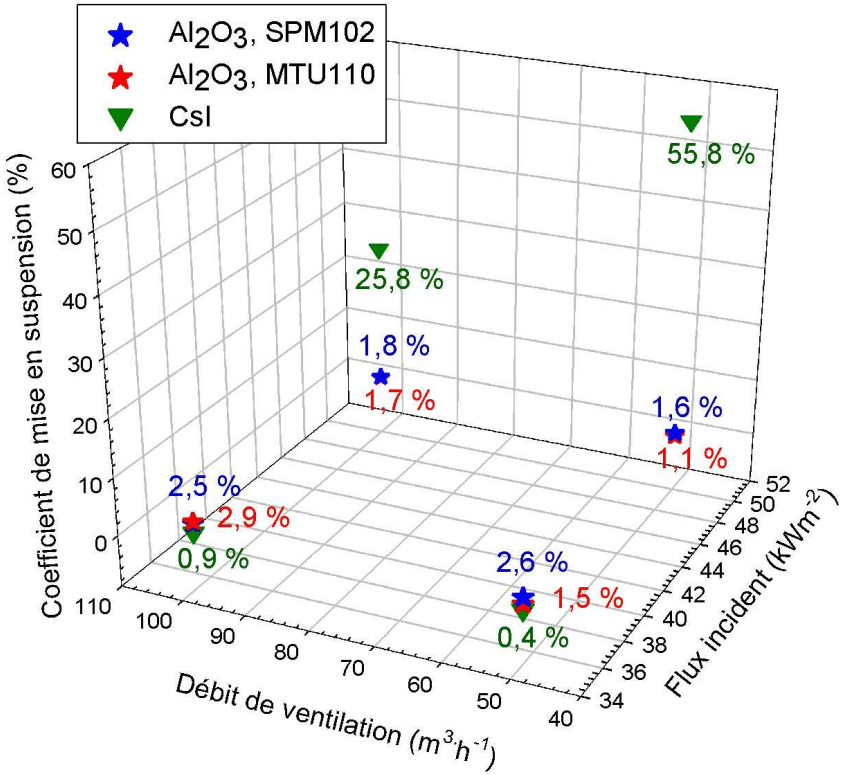




RESULTATS SIGNIFICATIFS – COEFFICIENTS D'EMISSION



PMMA

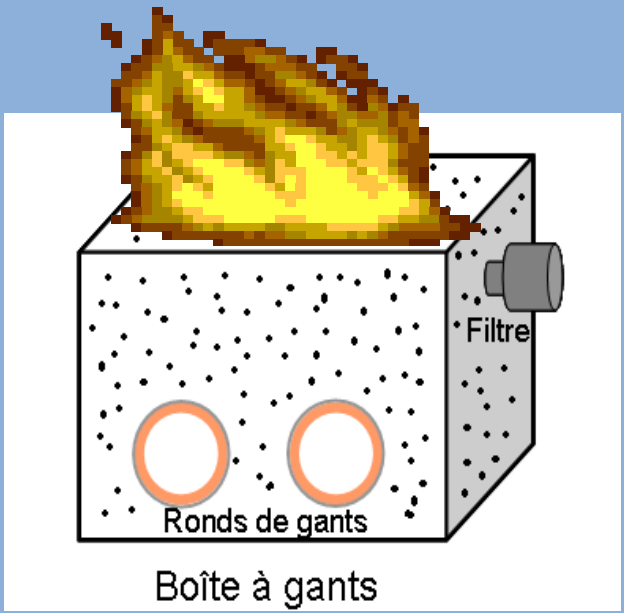


LEXAN

- « Flash d'émission » pour le PMMA,
- peu ou pas d'influence du débit de ventilation,
- faible influence flux incident pour Al_2O_3 mais significative pour le CsI,
- peu d'influence de la granulométrie Al_2O_3 pour LEXAN mais pas pour PMMA,
- Kmes compris entre 1,1 et 16,6 % pour Al_2O_3 et entre 0,4 et 55,8 % pour le CsI.

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Caractérisation du terme source aérosol émis lors d'un incendie



AREVA

Réunion du GDR incendie du 15 janvier 2010

Production de suies lors d'un incendie

1. Influence des conditions de ventilation ?

a. Sur-ventilation du foyer : installation BANCO.

b. Sous-ventilation, mélange riche en combustible : cône calorimètre à atmosphère contrôlé (à venir).

2. Etude de combustibles réalistes :

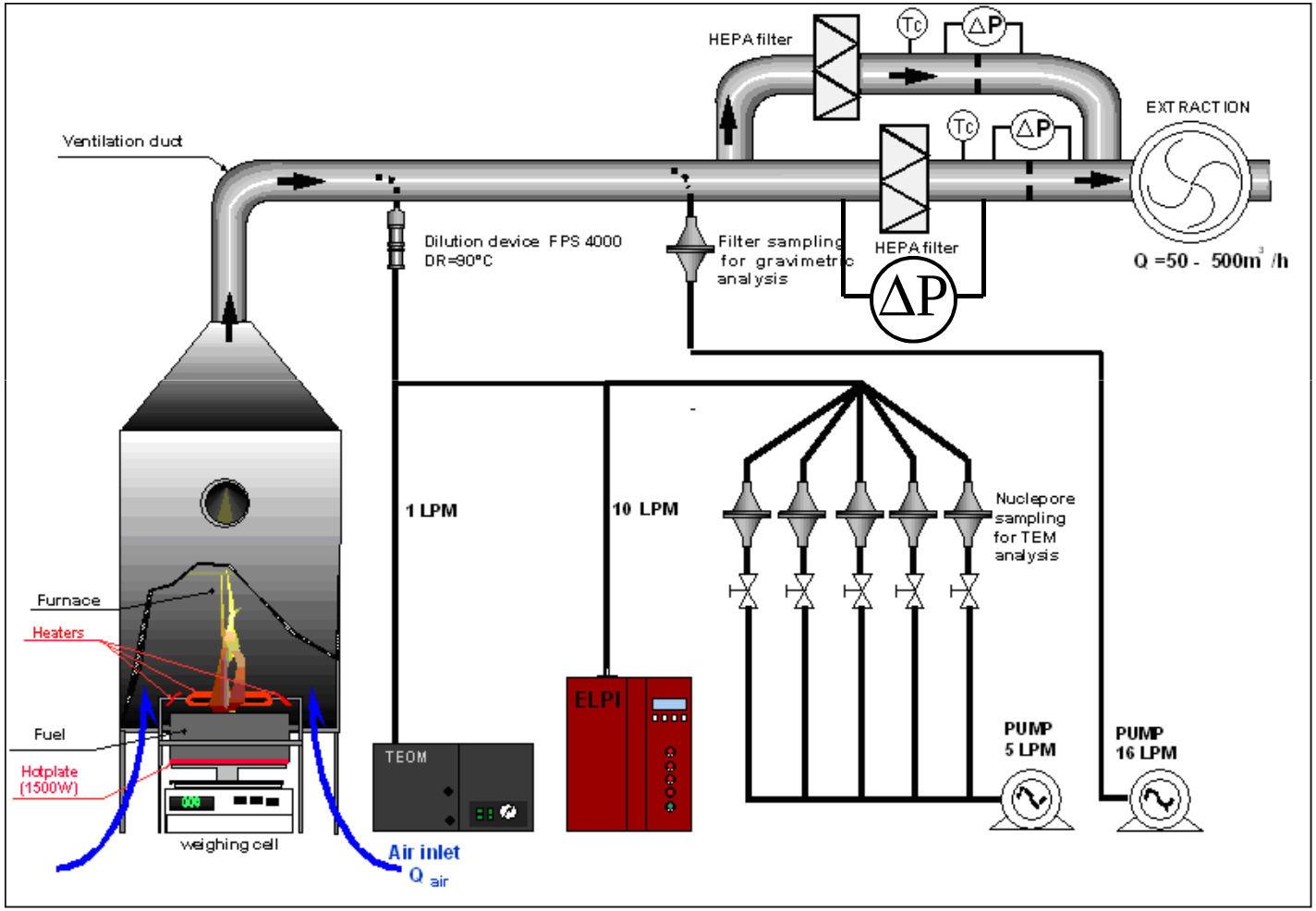
a. Combustibles réalistes : éléments électriques, polymères divers (PC, PVC, PE…).

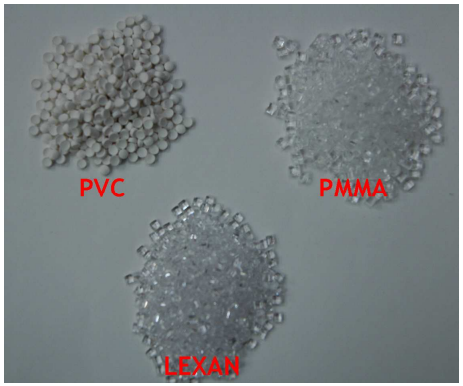
b. Caractérisation des condensats ?

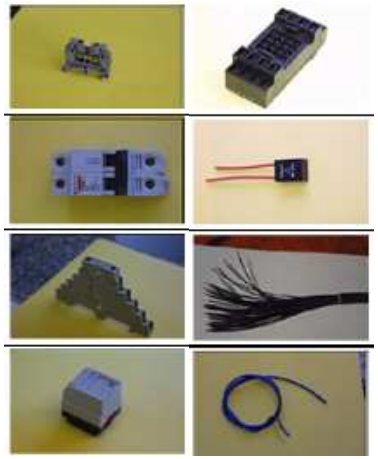
3. Transposition à échelle vraie :

a. Effet d'échelle, travaux SACLAY-CADARACHE

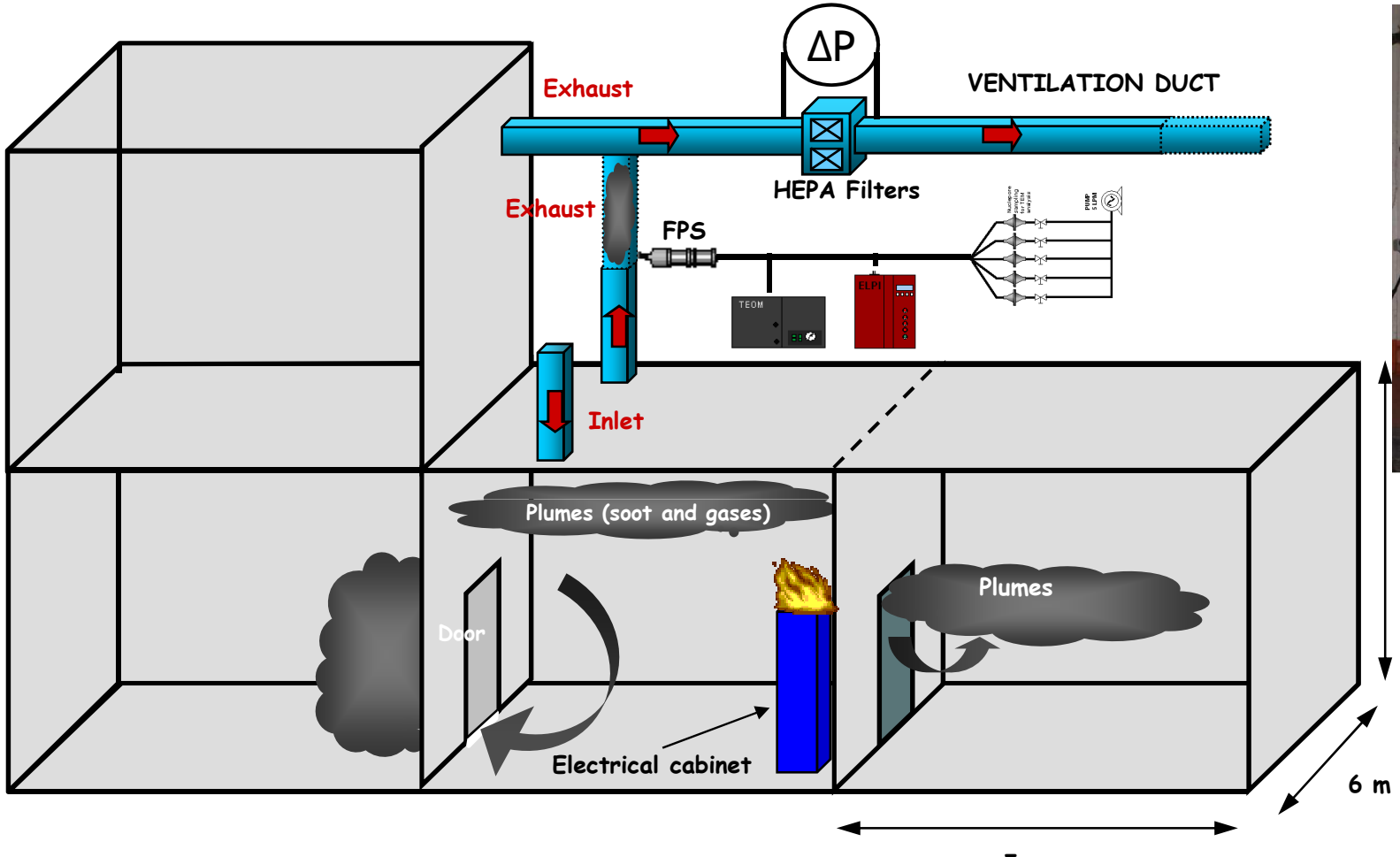
Installation expérimentale: Essais analytiques (BANCO)…

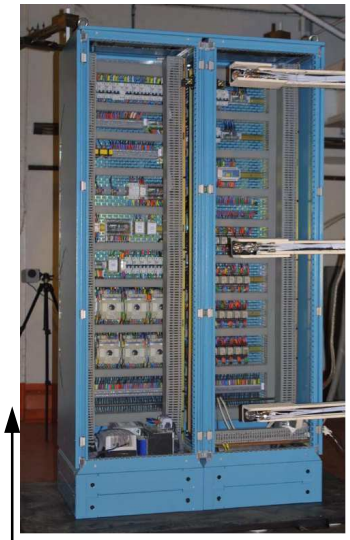






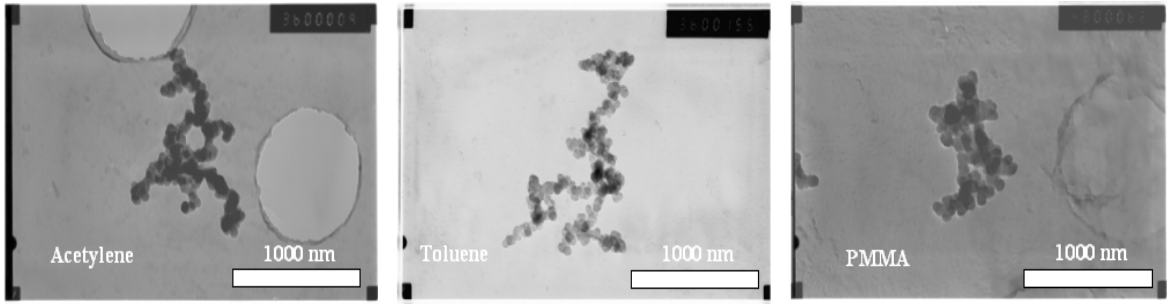
Installation expérimentale: Essais en situation réelle (DIVA).



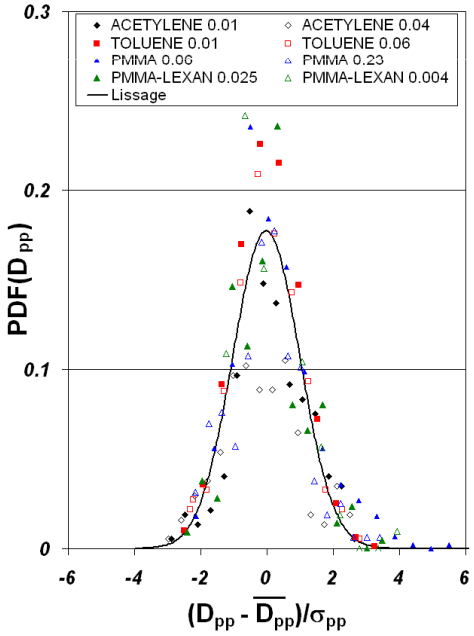


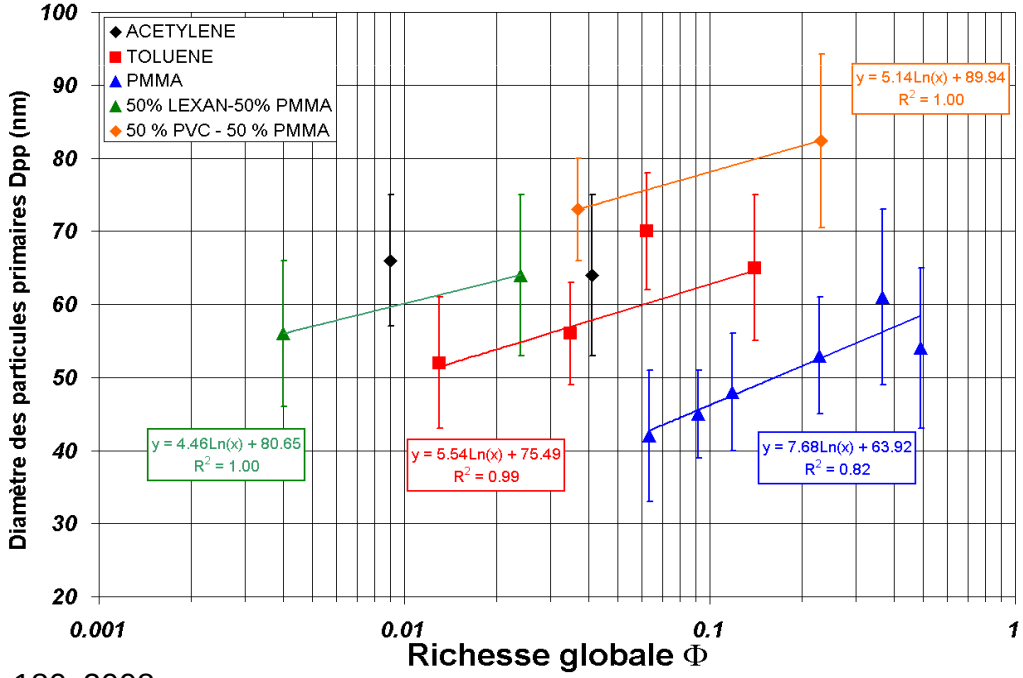
Résultats significatifs – combustibles simples

- **Agrégats de nature fractale (D_f < 2), diamètre < µm, majoritairement C.**



- **Particules primaires sphériques, diamètre < 100 nm dépendant du combustible et de la richesse.**





Ouf *et al.*, Combustion Science and Technology,180, 2008

Résultats significatifs issus d'essais réels.

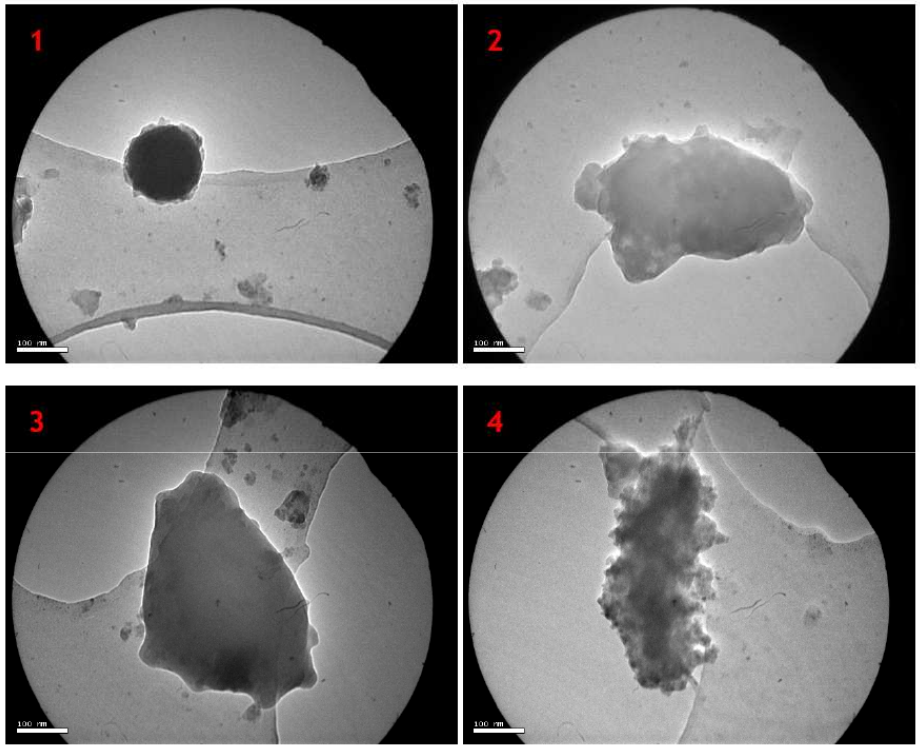
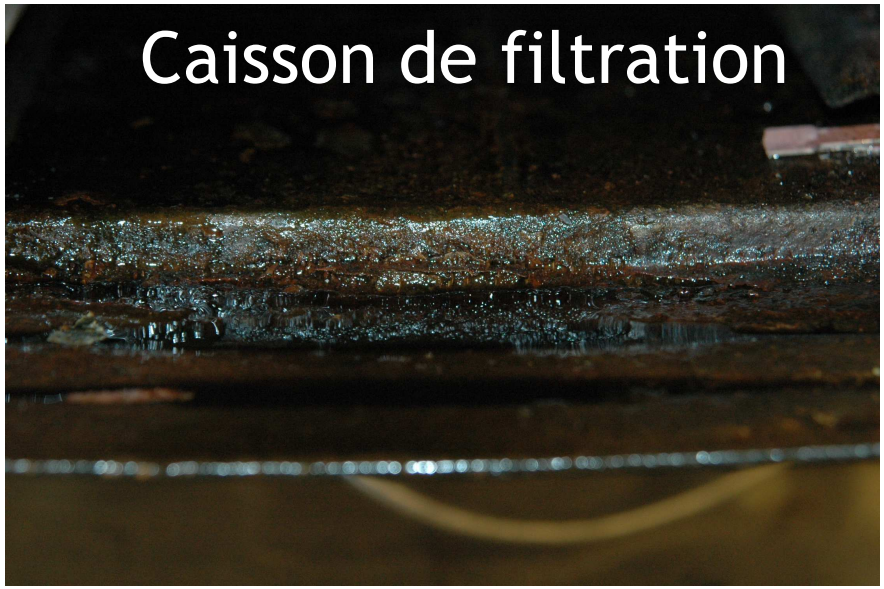
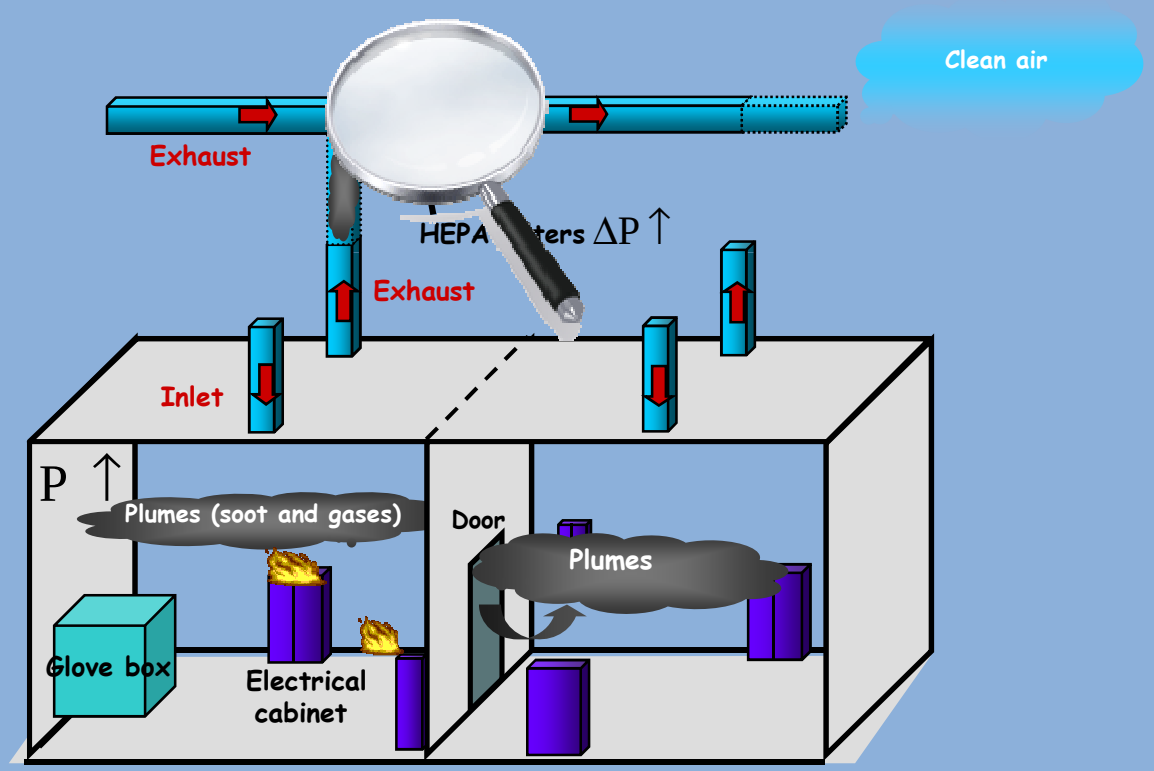


Figure 20 : Illustration de l'aspect compact des particules émises lors de l'essai PICSEL_R3



- Présence de condensats dans les lignes de ventilation : comment caractériser cette phase afin d'estimer correctement le terme source ?
- Propriétés optiques de ces suies ???

Colmatage des filtres à très haute efficacité (THE) en situation d'incendie



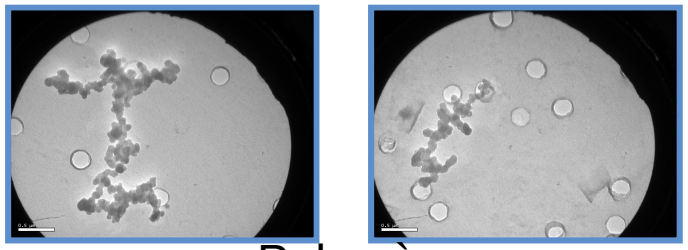
Réunion du GDR incendie du 15 janvier 2010

But de l'étude : Amélioration des connaissances sur l'influence d'un incendie sur la sureté des installations nucléaires

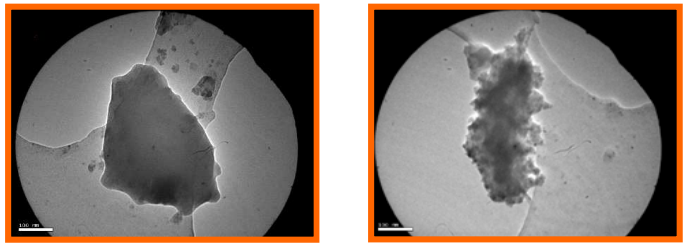
Conditions de l'étude :

- Filtres plissés.
- Température: normale ou 200℃.
- Fluctuations de pression.

- Propriétés des suies:
  - multi-phases: condensation sur le filtre et/ou sur les particules
  - morphologie fractale ou compacte d'agrégats d'éléments carbonés ou de particules organiques



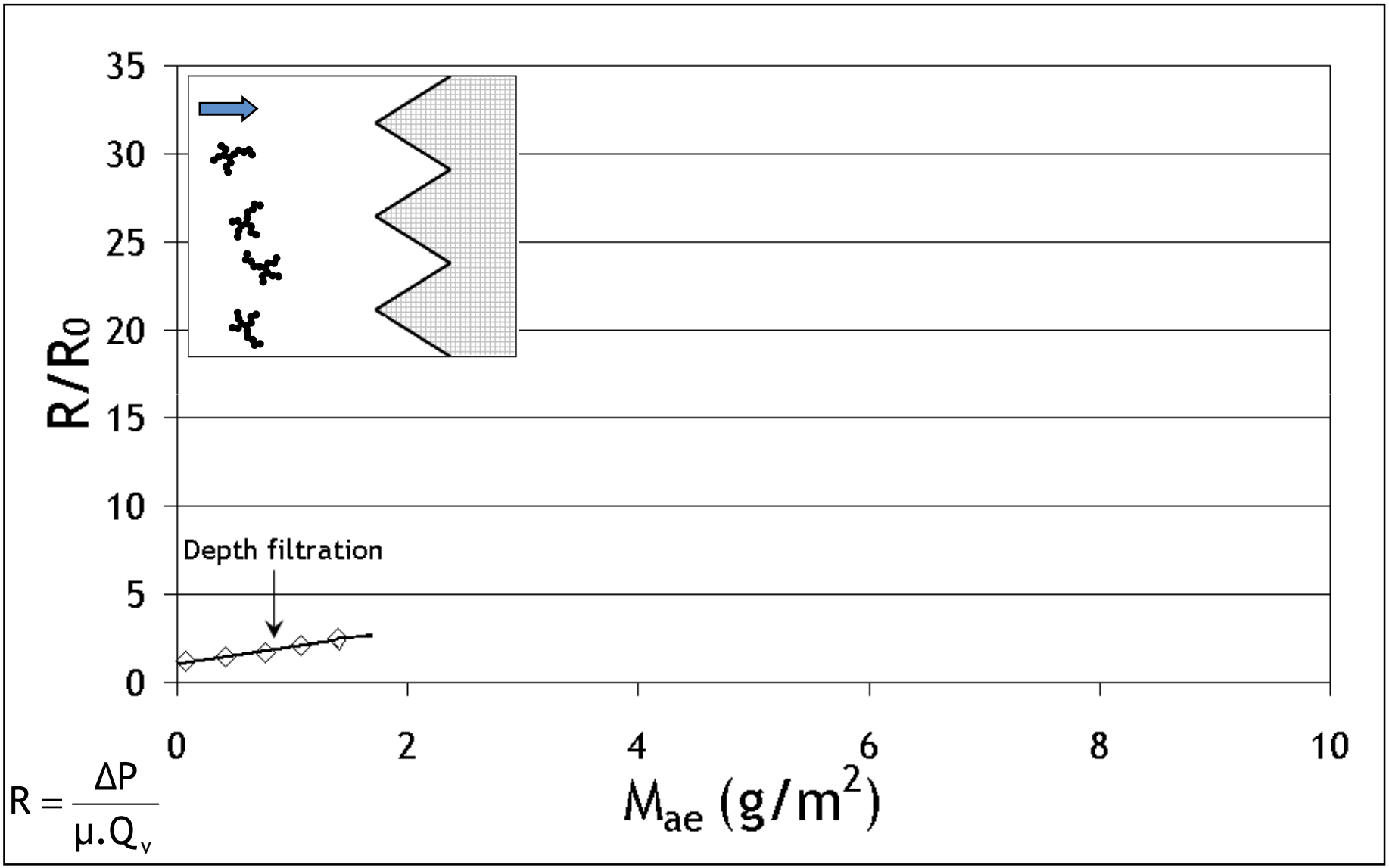
Polymères



Armoire électrique

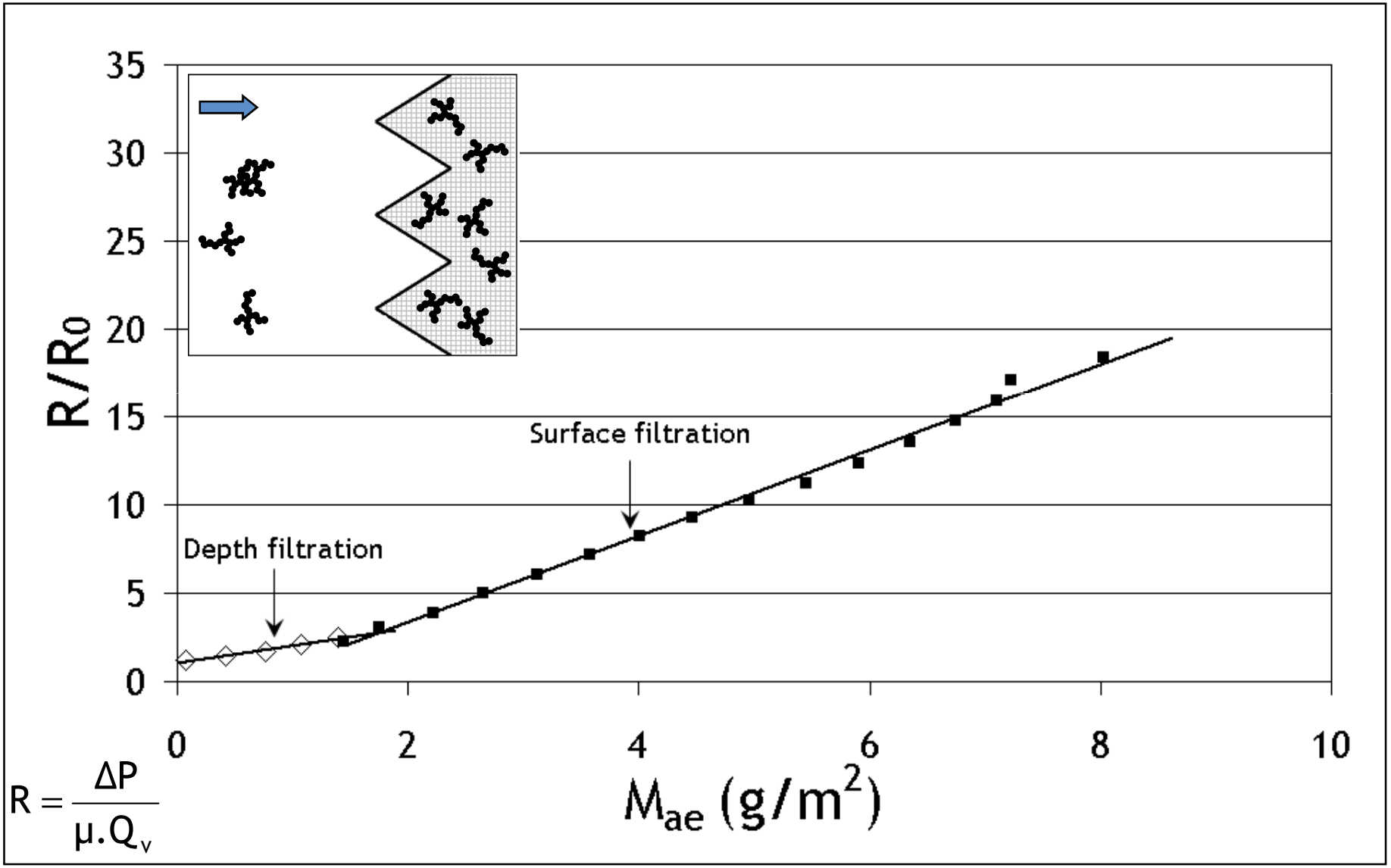
- Comment modéliser le colmatage ?

Etat des connaissances antérieures au PIC (Filtres THE plans) : Différents régimes de filtration en fonction de la masse d'aérosols déposée



$$R = \frac{\Delta P}{\mu . Q_v}$$

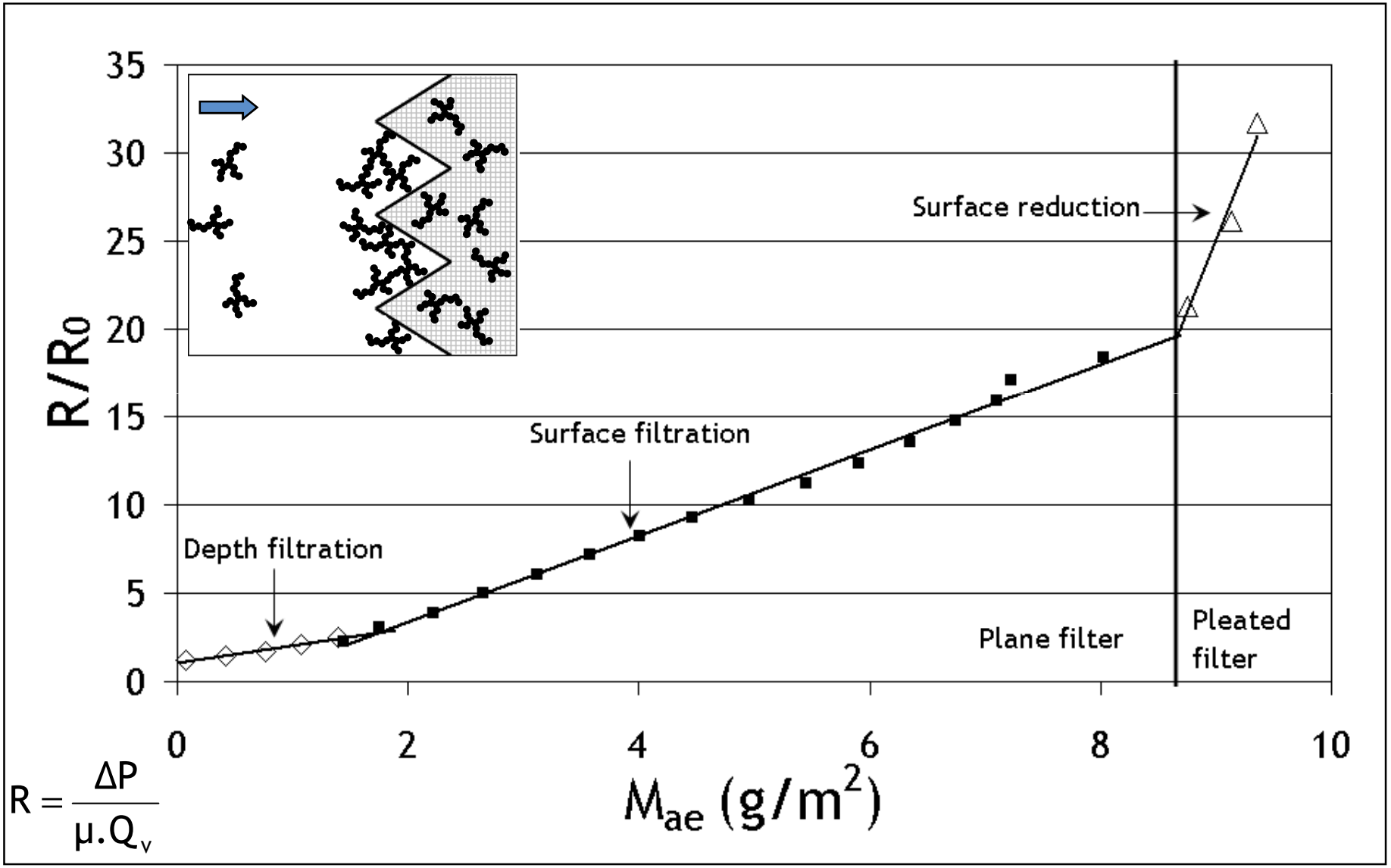
Etat des connaissances antérieures au PIC (Filtres THE plans) : Différents régimes de filtration en fonction de la masse d'aérosols déposée



$$R = \frac{\Delta P}{\mu . Q_v}$$

Etat des connaissances antérieures au PIC (Filtres THE plans et plissés) :

Différents régimes de filtration en fonction de la masse d'aérosols déposée



$$R = \frac{\Delta P}{\mu . Q_v}$$

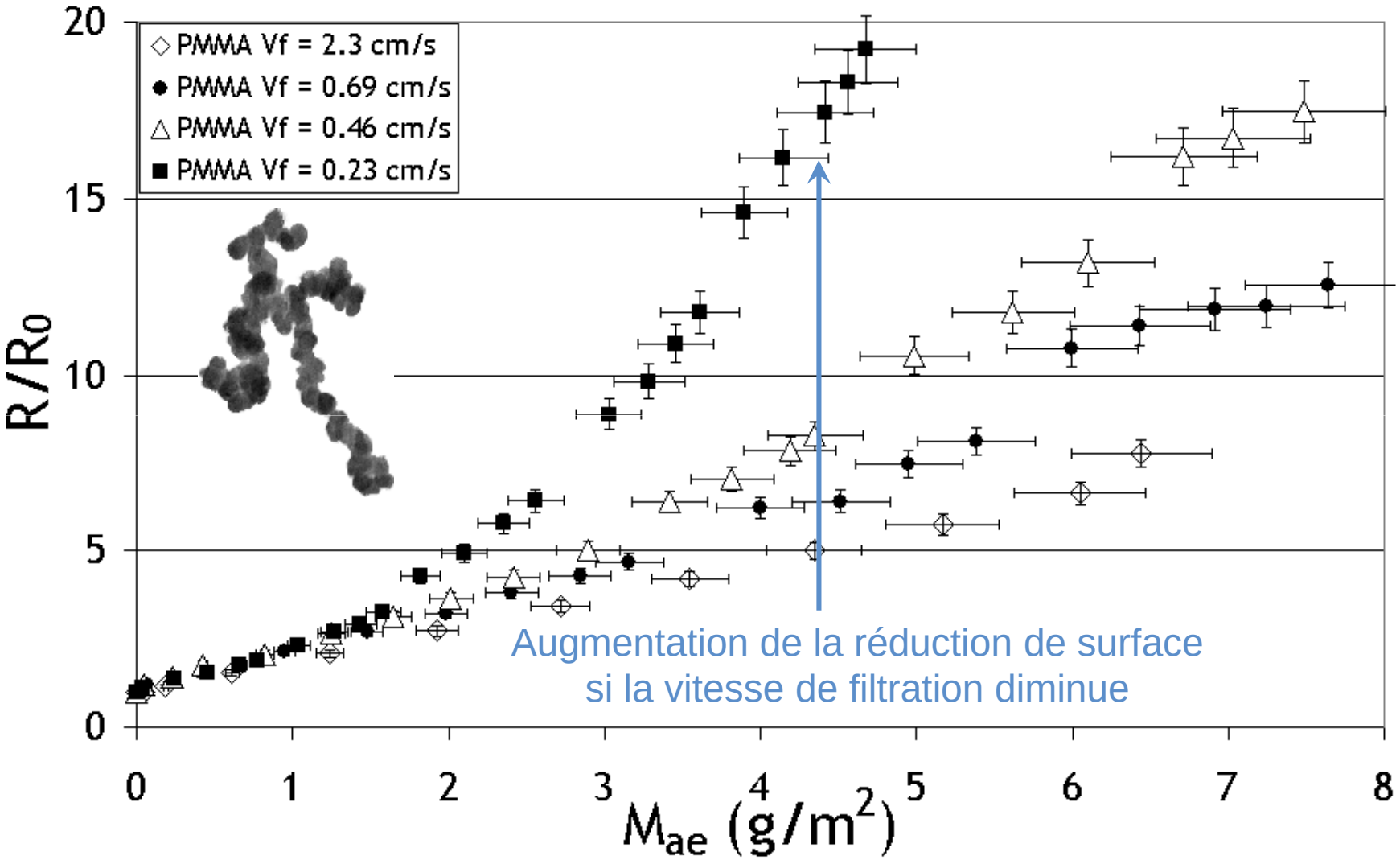
Approche choisie : Résultats expérimentaux et modélisation empirique

- Le colmatage d'un filtre par des aérosols d'incendie est un phénomène physique complexe → illusoire de pouvoir développer un modèle phénoménologique simple, généralisable et facilement utilisable.
- Identification des paramètres, relatifs à un incendie, ayant une significative influence sur le colmatage des filtres THE.
- Sélection des paramètres à intégrer dans le modèle empirique.

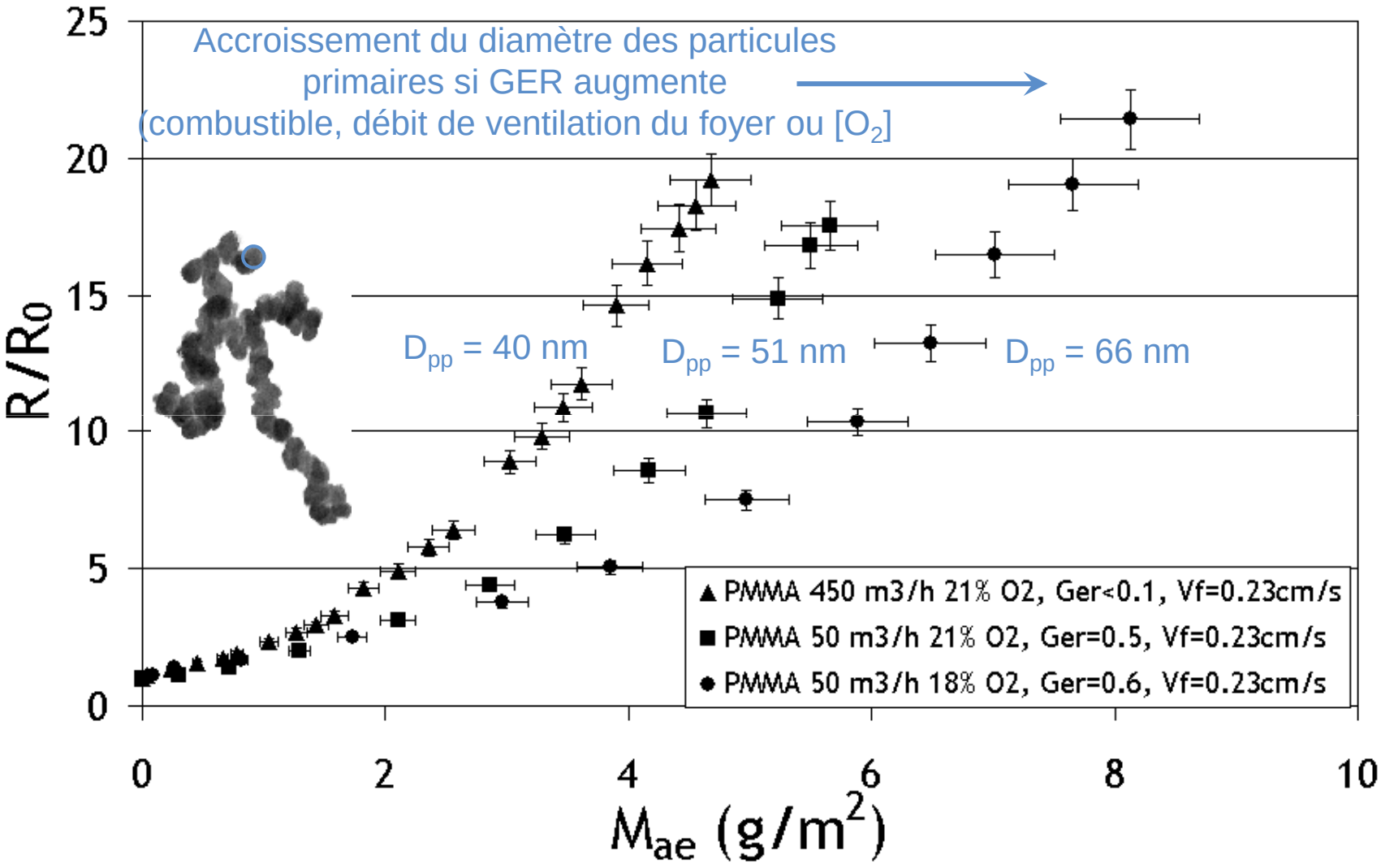
Les étapes de l'étude:

- Identification et détermination des paramètres ayant une influence significative sur le colmatage des filtres THE, dans différentes situations :
  - Différents combustibles (PMMA, LEXAN, PVC, Eléments d'armoire électrique).
  - Différentes conditions de ventilation (vitesse de filtration, débit de ventilation du foyer de combustion, concentration en O_2 de l'air..).
- Analyse de influence des paramètres et établissement du modèle empirique.
- Comparaison avec des résultats expérimentaux et qualification à échelle « réelle ».

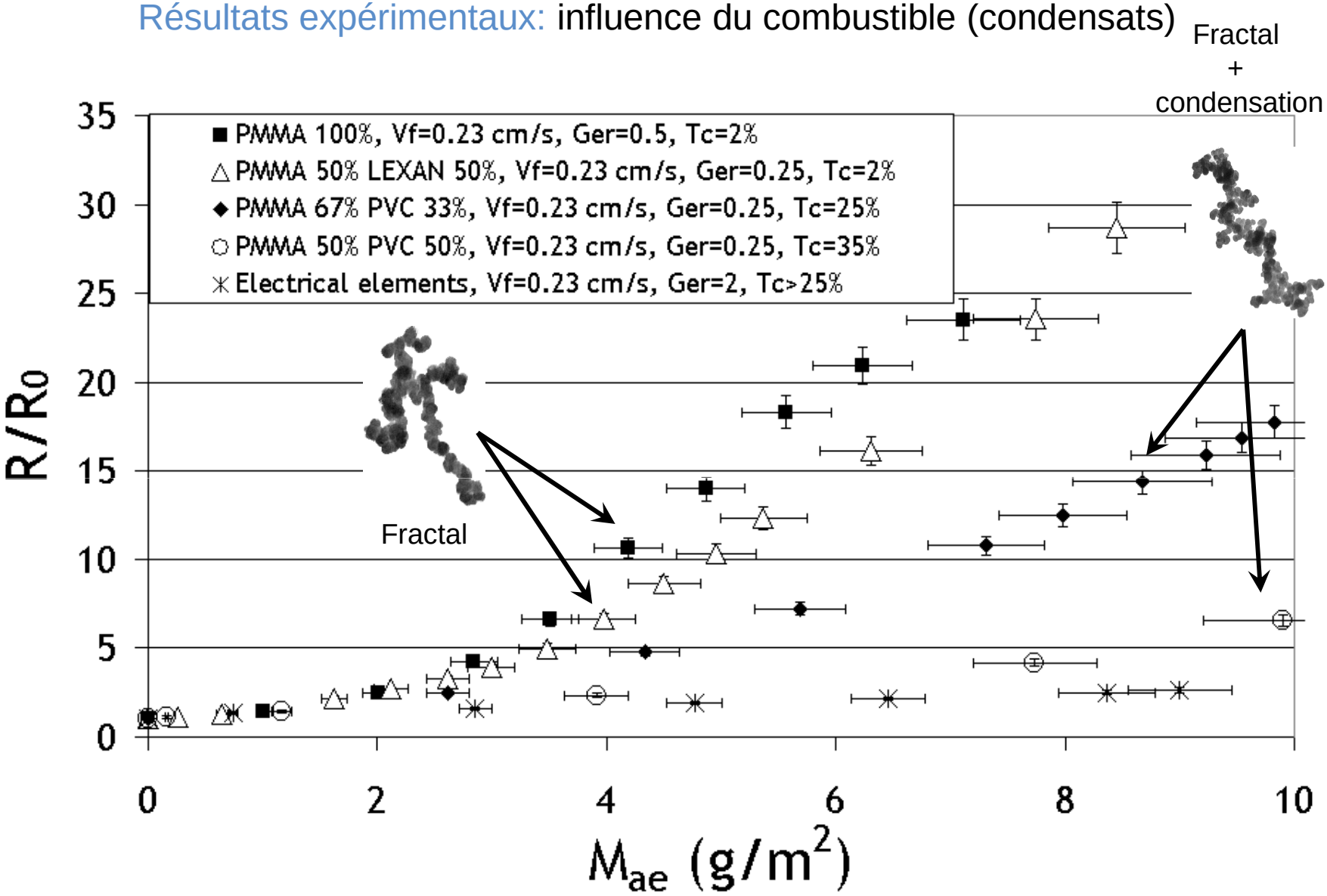
Résultats expérimentaux : influence de la vitesse de filtration



Résultats expérimentaux: influence de la richesse du mélange (GER)



Résultats expérimentaux: influence du combustible (condensats)



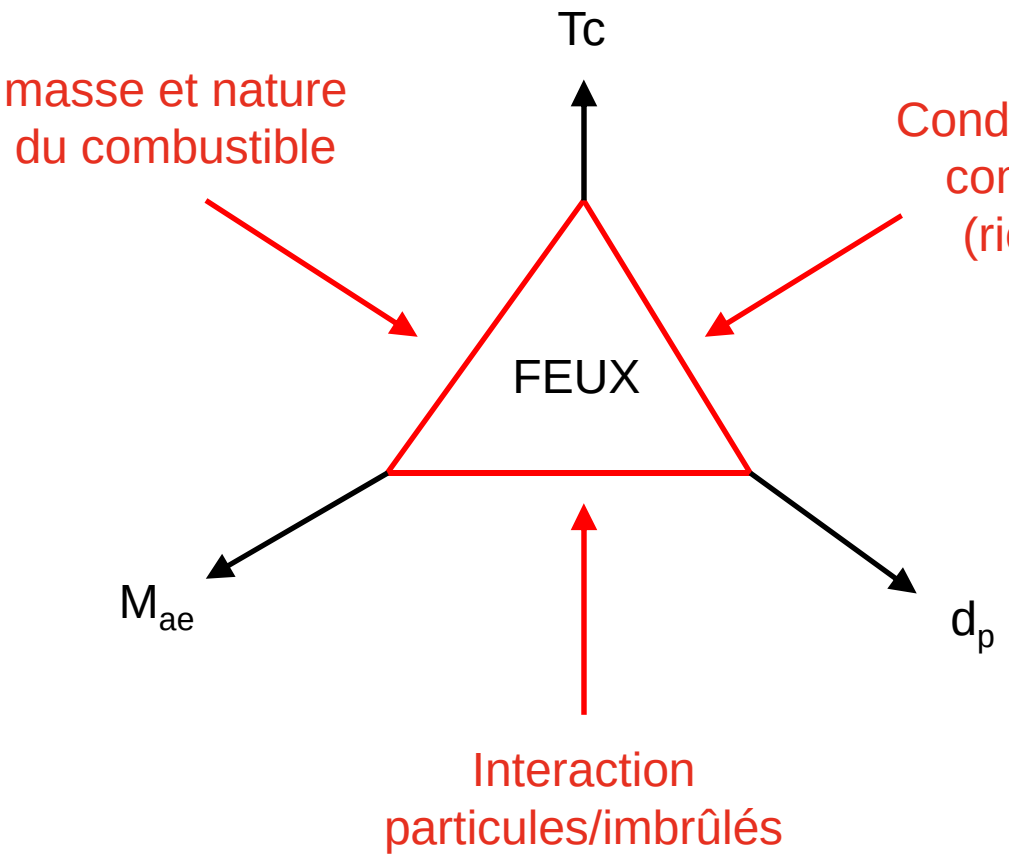
Résultats expérimentaux: influence du combustible (condensats)

Mélange PMMA/PVC 50%/50%

Mélange représentatif d'une armoire électrique type

Modèle empirique

Comment choisir les valeurs des paramètres d'entrée du modèle :



$$\frac{R}{R_0} = 1 + a.\frac{M_{ae}}{d_p} + b.\left(\frac{M_{ae}}{Vf.d_p}\right)^2$$

a et b sont des fonctions de Tc

Mocho et Ouf, en soumission à Nuclear Engineering and Design, 2009

ELEMENTS ACQUIS SUR LA MISE EN SUSPENSION

- Forte dynamique de l'émission de contaminations pour le cas du PMMA, observation d'un « flash d'émission »,
- conditions aérauliques ne jouent pas de rôle en milieu sur-ventilé,
- flux incident joue un rôle significatif pour le contaminant volatil mais peu pour l'alumine,
- granulométrie est un paramètre significatif uniquement pour le PMMA,
- coefficient de mise en suspension compris entre 1,1 et 16,6 % pour l'alumine et 0,4 et 55,8 % pour le CsI,
- de plus amples travaux sont nécessaires sur :
  - effet d'échelle sur la mise en suspension en situation d'incendie d'une boite à gants,
  - effet de l'orientation du polymère,
  - mise en suspension pour des solvants.

ELEMENTS ACQUIS SUR LE TERME SOURCE

- Aérosols émis lors d'un incendie sont majoritairement sub-microniques, fractal et composés de particules primaires nanométriques (10 - 100 nm),

- la richesse du mélange combustible joue un rôle significatif dans des conditions de sur-ventilation du foyer,

- pour des combustibles complexes (armoire électrique) la morphologie est de type compacte et la composition élémentaires des particules est plus complexe.

- de plus amples travaux sont nécessaires sur :
  - Production de suies en milieu sous-oxygéné : cône calorimètre à atmosphère contrôlé
  - Interaction des particules carbonées avec une phase organique/imbrûlés

ELEMENTS ACQUIS SUR LE COLMATAGE DES FILTRES THE

↗ Vitesse de filtration

- ⇨ ↘ pouvoir colmatant des aérosols lorsque ↗ vitesse.

↗ Teneur en condensats

- ⇨ ↘ pouvoir colmatant des aérosols lorsque ↗ teneur en condensats des aérosols déposés sur le filtre.

↗ Diamètre caractéristique des particules

- ⇨ lorsque les aérosols émis sont de nature fractale, leur pouvoir colmatant ↘ lorsque la taille des particules primaires constituant les agrégats ↗.
- ⇨ pour les particules non fractales produites, le diamètre à prendre en considération est le diamètre équivalent en volume des agrégats.

↗ De plus amples travaux sont nécessaires sur :

- ⇨ intégration de la fraction de condensats dans le modèle empirique,
- ⇨ développement de modèle de formation de gâteaux de particules de nature fractale,

IRSN
INSTITUT
DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

MERCI POUR VOTRE ATTENTION.

DES QUESTIONS ?