

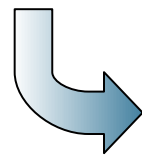
- 1- ACTIVITES DU CORIA SUR LES AEROSOLS SUIES
- 2- MODELISATION DES INCENDIES
- 3- PROPRIETES DES PARTICULES DE SUIES
- 4- INFLUENCES SUR LES TRANSFERTS DE RAYONNEMENT

A. COPPALLE



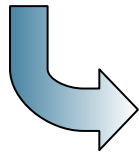
Pollution atmosphérique : source et impact

A. Coppalle, M. Talbaut, M. Weill, J. Yon



Aérosols issus de la combustion (*flamme – fumées*)

modélisation des feux d'incendie



Aérosols des milieux dilués



Dispersion des polluants à l'échelle locale

Métérologie de aérosols en milieux dilués : *milieu urbain*

Rue canyon à Rouen



Granulométrie des particules

- SMPS (mobilité électrique)
- ELPI (impacteur en cascade)
- TEOM (masse)



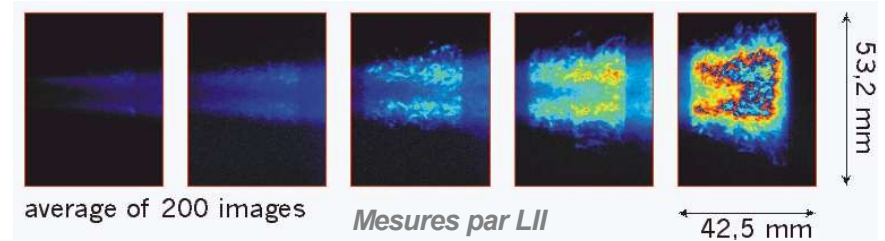
Taille, Nombre, Masse

Roissy Charles de Gaulles – 15 jours



-Mesures embarquées : mesures de pollution à l'intérieur des tunnels

Métrieologie de aérosols issus de la **combustion** : *Pourquoi ?*



***Pour une mesure quantitative,
nécessité de connaître :***

- **Taille**
- **Morphologie**
- **L'indice complexe de réfraction ($m=n-ik$)**

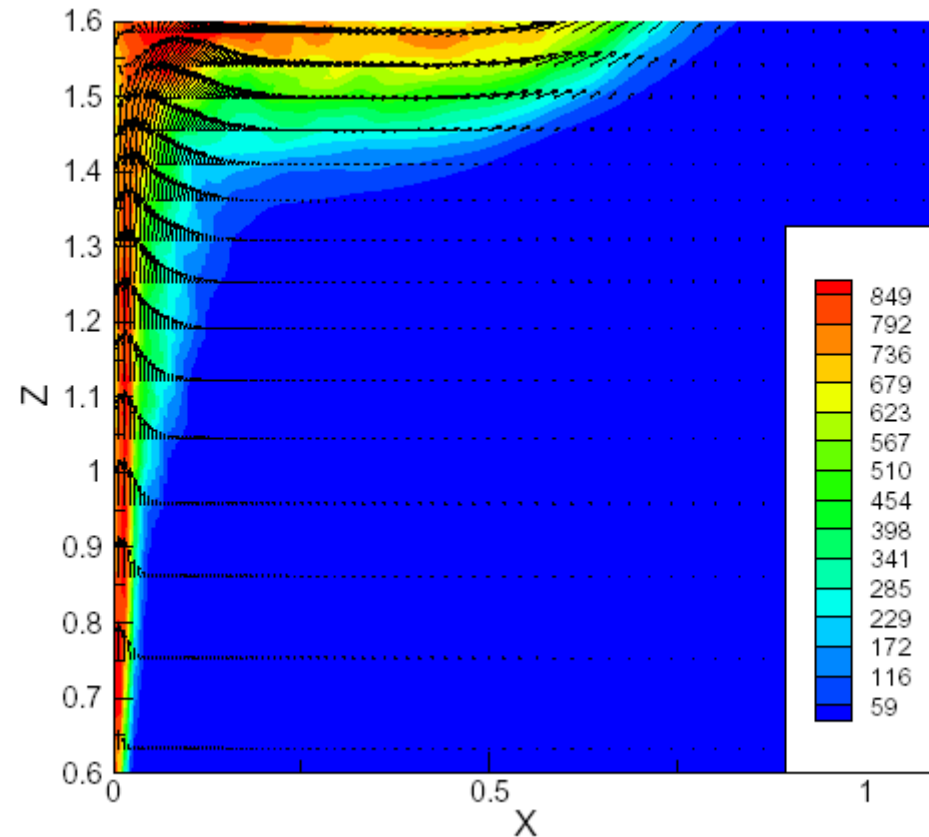
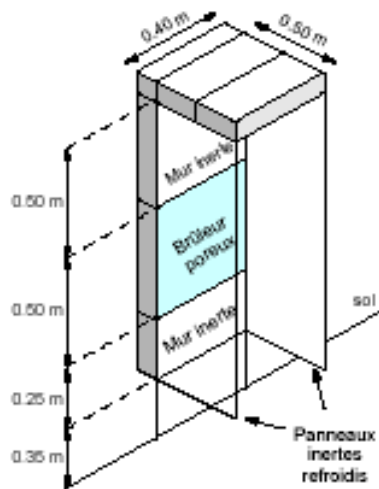


- ***Granulométrie SMPS***
- ***Clichés microscopiques***
- ***Calcul d'inversion***

2- Modélisation des incendies: collaboration avec le CTICM

Modèle FDS

Simulations flamme L.AUDOUIN



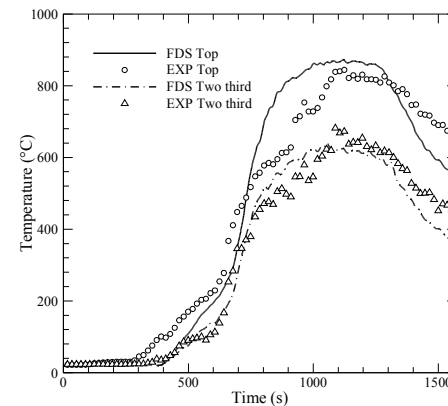
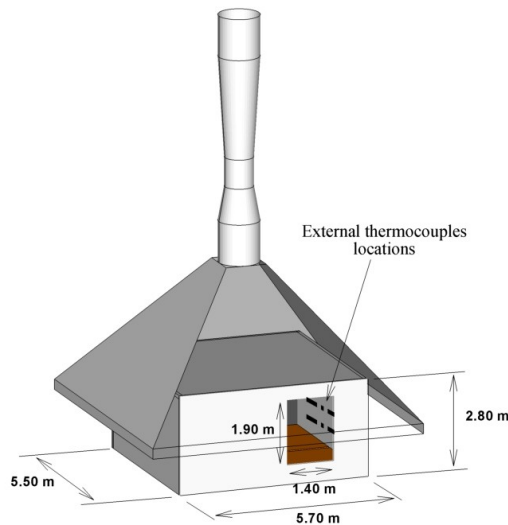
Influence du rayonnement

Difficulté du calcul du mélange initial

Modélisation des incendies: : collaboration avec le CTICM

Modèle FDS

Simulations d'un incendie de chambre d'hôtel



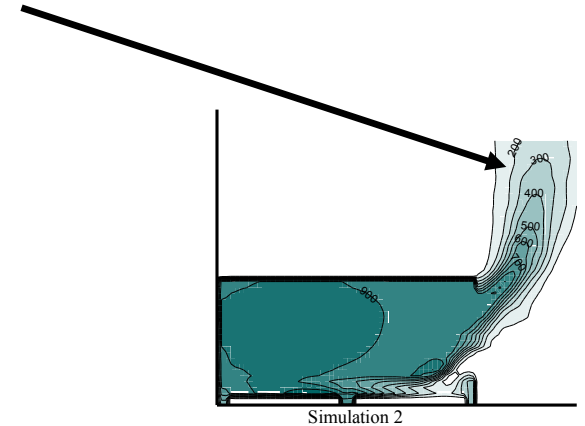
Températures à deux hauteurs dans l'ouverture

Point important:

le calcul ou la modélisation du dégagement du combustible

Modélisation des incendies: : collaboration avec le CTICM

modélisation des flammes extérieures

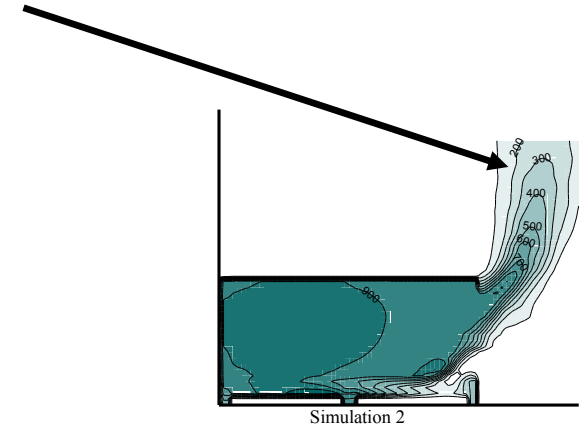
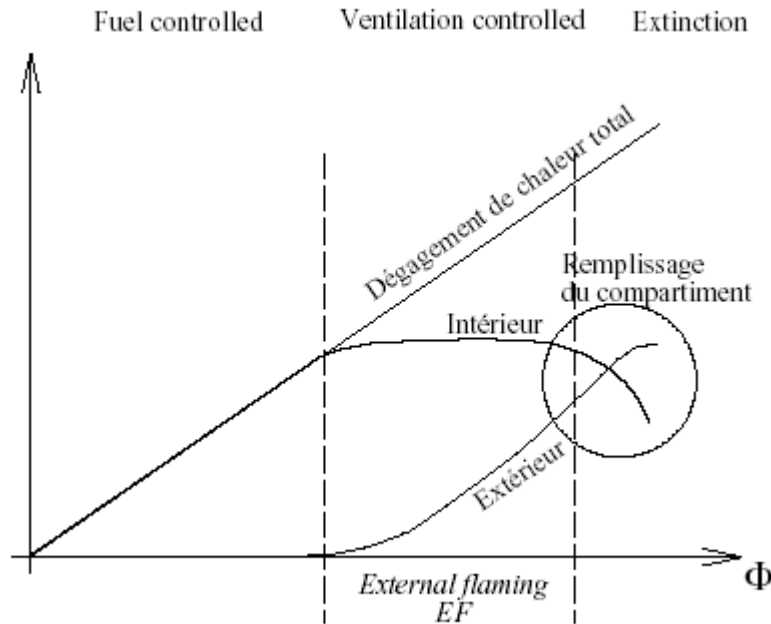


Point important:

impact sur les structures extérieures

Modélisation des incendies: : collaboration avec le CTICM

modélisation des flammes extérieures



$$\Phi = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}}/\dot{m}_{\text{air}}}{[\dot{m}_{\text{fuel}}/\dot{m}_{\text{air}}]_{\text{st}}} = \frac{\dot{m}_{\text{fuel}}/\dot{m}_{\text{air}}}{r_{\text{fuel}}}$$

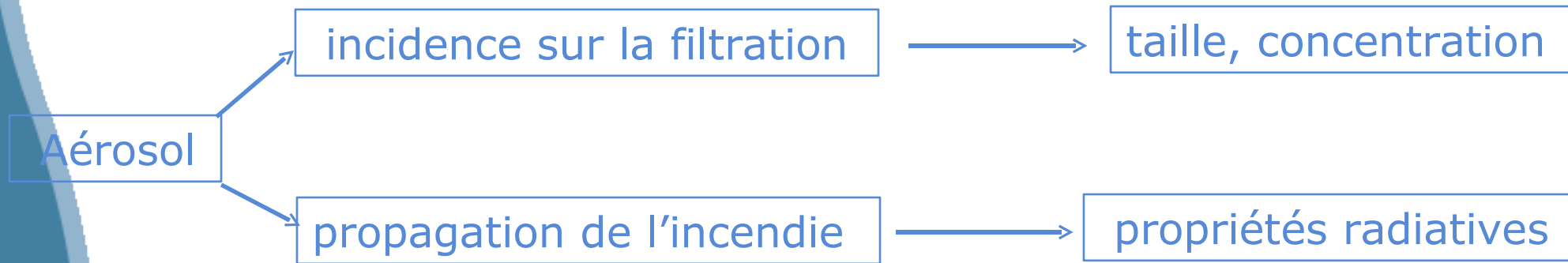
Points importants:

comment calculer le débit de pyrolyse ?

le dégagement de chaleur externe?

3- PROPRIETES DES PARTICULES DE SUIES

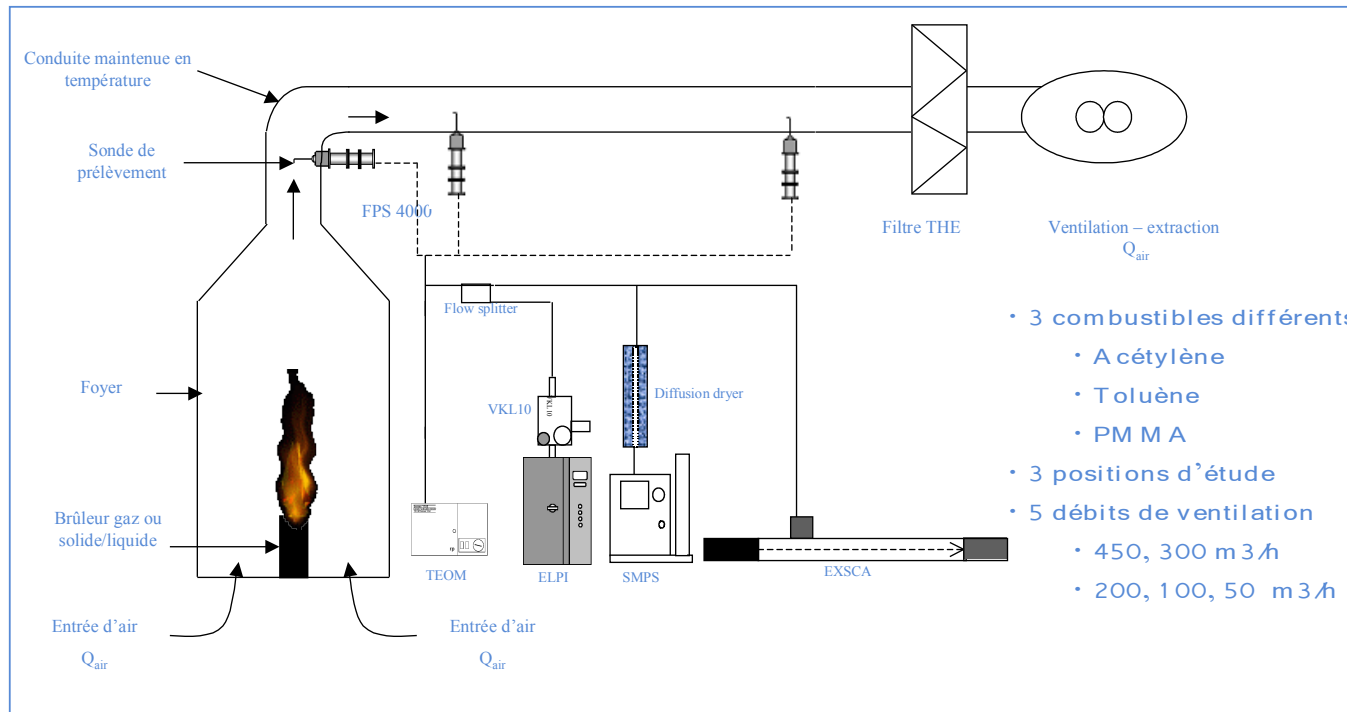
Amélioration des connaissances sur les aérosols émis par un incendie
(collaboration IRSN)



3- PROPRIETES DES PARTICULES DE SUIES

Amélioration des connaissances sur les aérosols émis par un incendie
(collaboration IRSN)




IRSN *Installation expérimentale et instrumentation*



Amélioration des connaissances sur les aérosols émis par un incendie (collaboration IRSN)

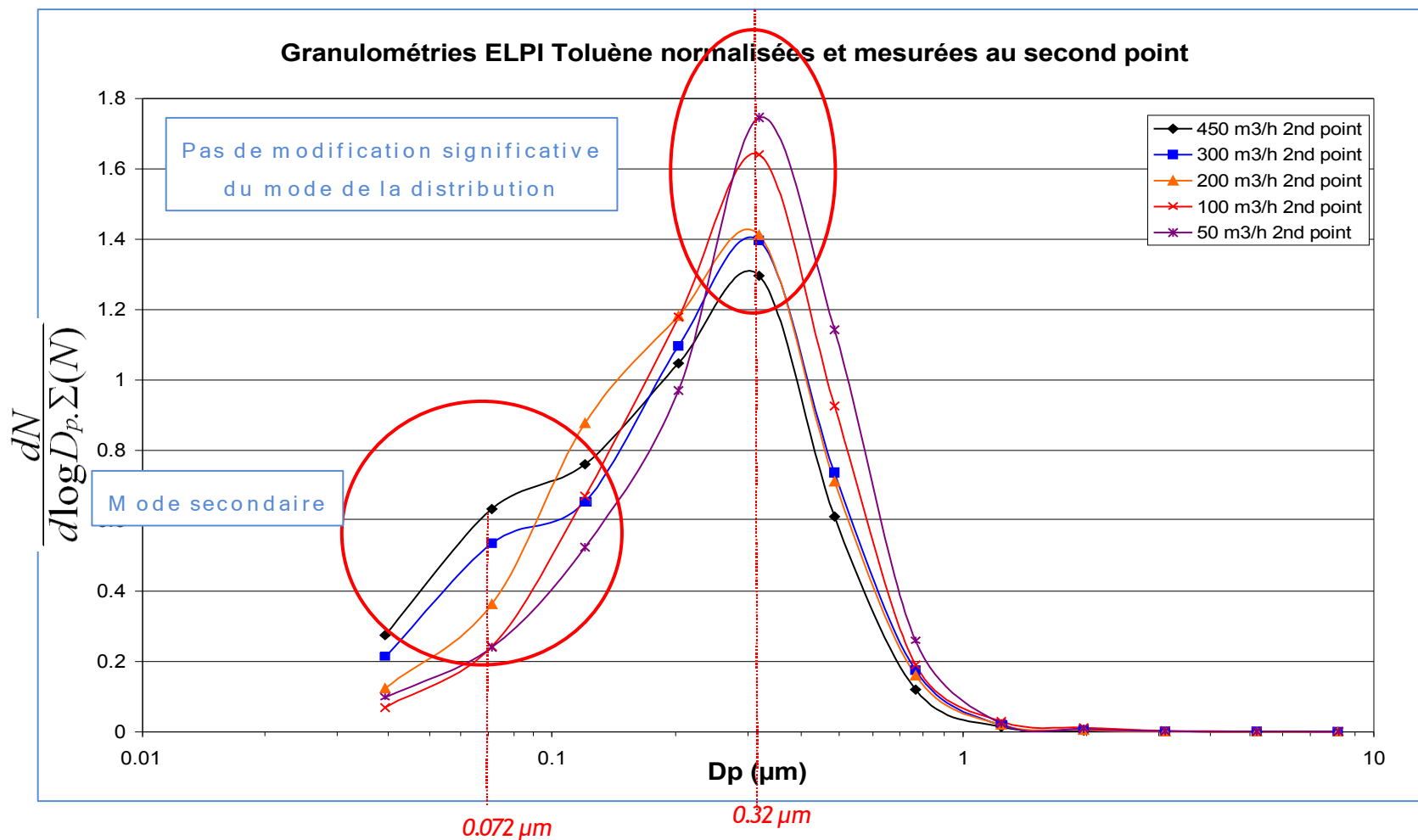
IRSN

Flammes et combustibles étudiés

Acétylène (C_2H_2 , gaz)	Toluène (C_7H_8 , liquide)	PMMA ($C_5H_8O_2$, solide)
$C_2H_2 + \frac{5}{2}O_2 \rightarrow 2CO_2 + H_2O$ $S = m_{air}/m_{fuel} = 13,19$	$C_7H_8 + 9O_2 \rightarrow 7CO_2 + 4H_2O$ $S = m_{air}/m_{fuel} = 13,42$	$C_5H_8O_2 + 6O_2 \rightarrow 5CO_2 + 4H_2O$ $S = m_{air}/m_{fuel} = 8,23$
<p><u>Richesse</u></p> $0,01 \leq \Phi \leq 0,1$	<p><u>Richesse</u></p> $0,02 \leq \Phi \leq 0,2$	<p><u>Richesse</u></p> $0,1 \leq \Phi \leq 1$
<p><i>Forme de la flamme</i></p> <p>$L_f = 40\text{ cm}$ $t_r = 320\text{ ms}$ $Fr_f = 0,35$</p>	<p><i>Forme de la flamme</i></p> <p>$L_f = 30 - 40\text{ cm}$ $t_r = 300\text{ ms}$ $Fr_f = 3.10^{-02}$</p>	<p><i>Forme de la flamme</i></p> <p>$L_f = 40 - 50\text{ cm}$ $t_r = 300\text{ ms}$ $Fr_f = 1.10^{-02}$</p>
<p>"Buoyant Turbulent Diffusion Flame"</p> 	<p>"Intermediate Pool Fire"</p> 	<p>"Mass Percolating Fire"</p> 

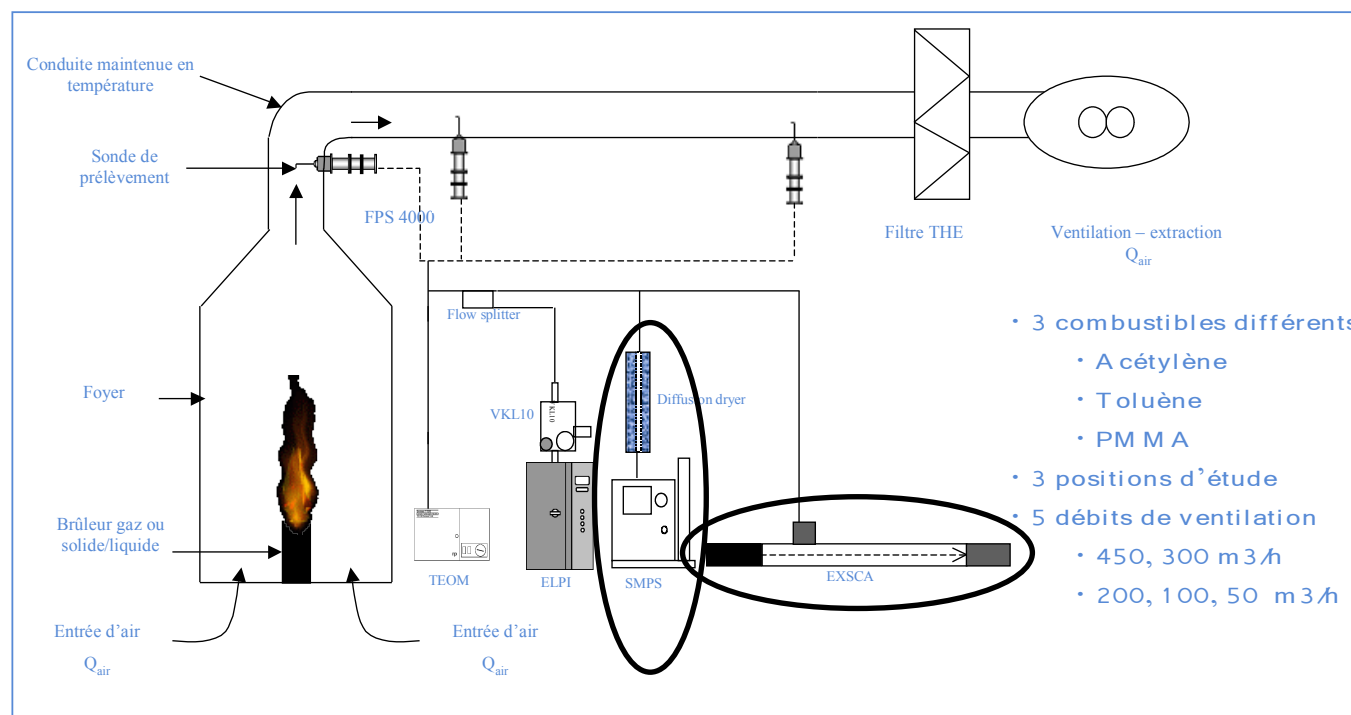
Amélioration des connaissances sur les aérosols émis par un incendie (collaboration IRSN)

Influence du débit de ventilation: C_7H_8



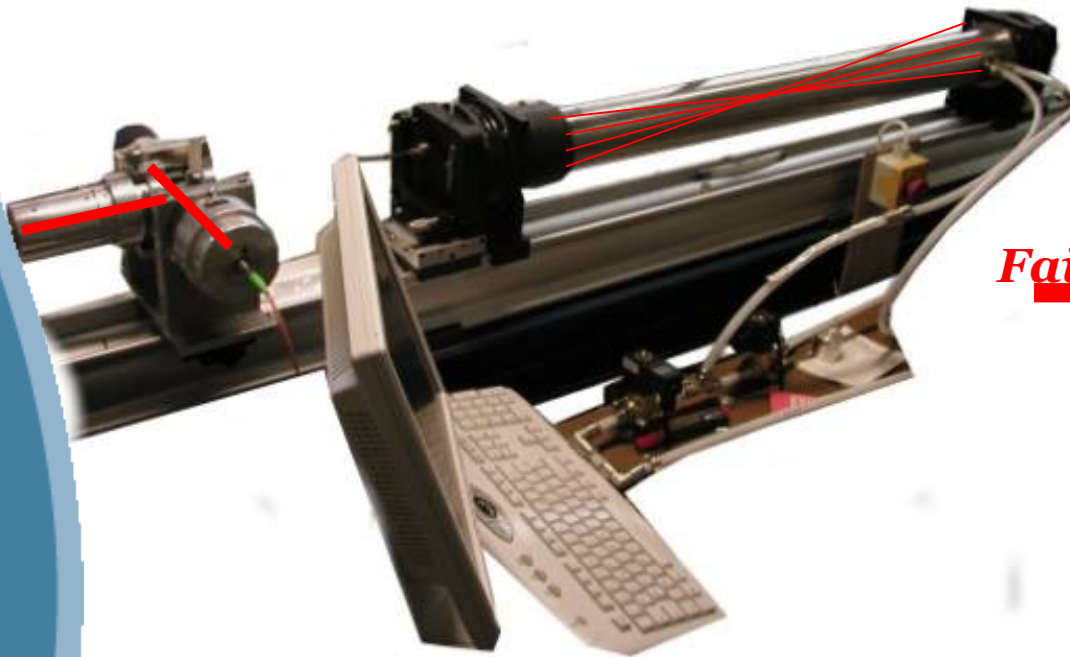
Amélioration des connaissances sur les aérosols émis par un incendie (collaboration IRSN)

IRSN *Installation expérimentale et instrumentation*



Propriétés optiques des agrégats de suies

Mesures de K_{ext} et K_{vv}



Faisceau laser

K_{ext}

$K_{vv} 90^\circ$

+ *Analyse fractale*

+ *Granulométrie (SMPS)*

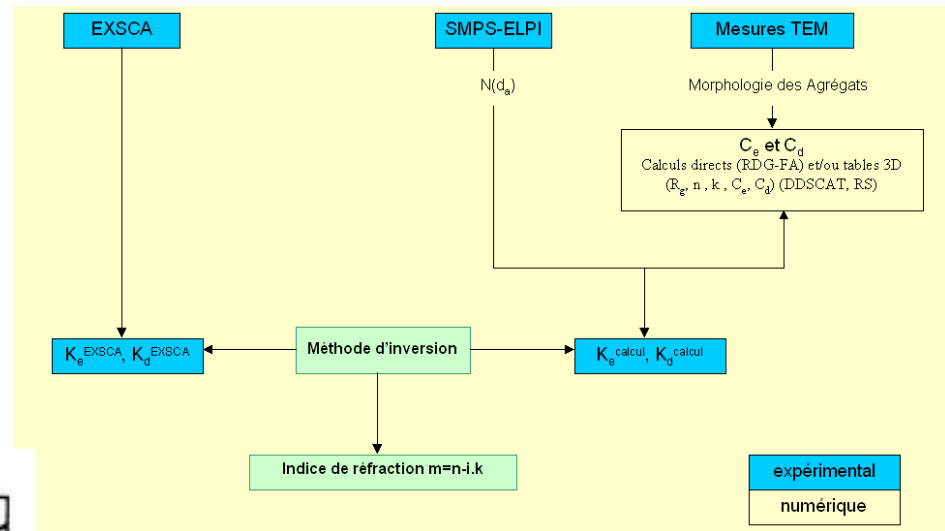
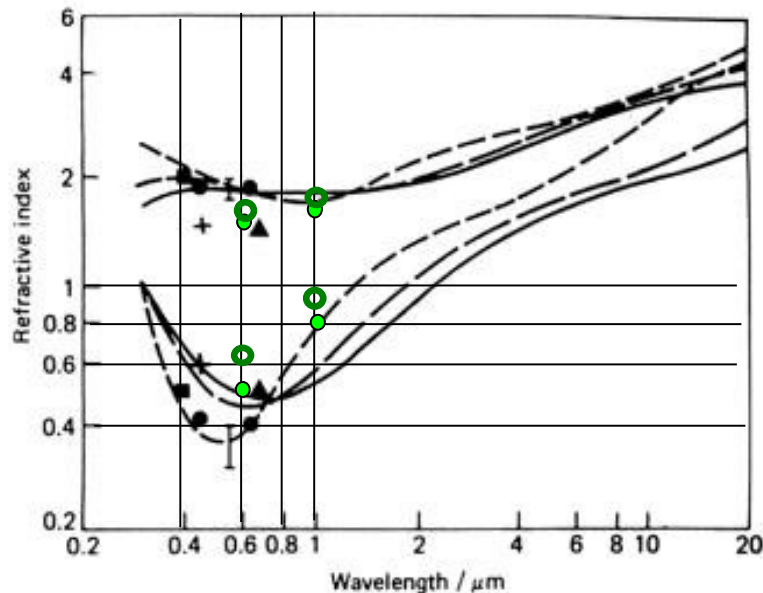
Propriétés optiques des agrégats de suies

• Calcul de l'indice optique

Méthode d'inversion

$$K_{\text{mes}} = K_{\text{calculé}} = f(d, C_x, n^*)$$

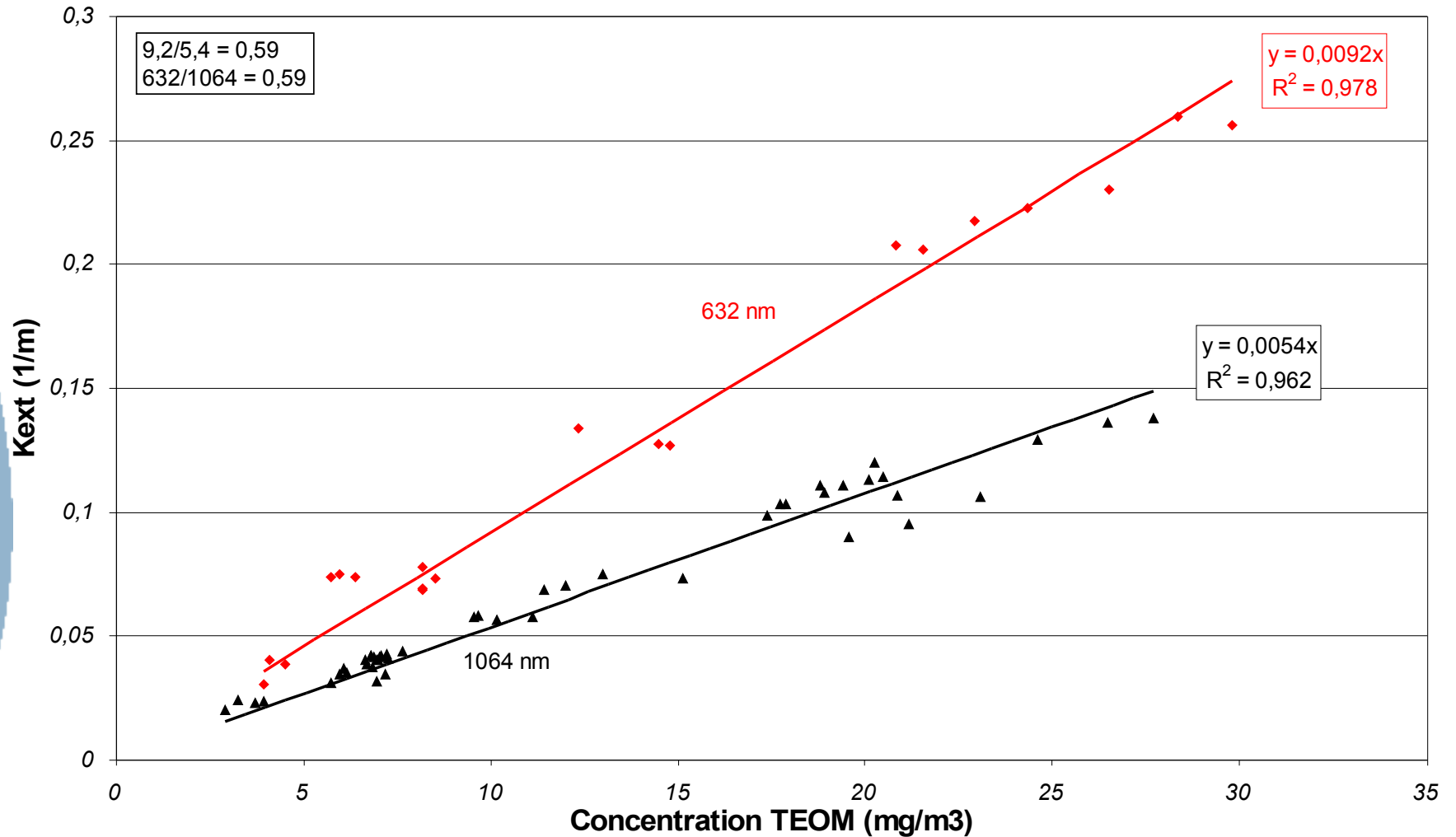
• Ex: acétylène pour deux ventilations différentes



deux valeurs couramment utilisées:
 $m=1.57 - 0.56$ i Dalzell et Sarofim
 $m=1.9 - 0.55$ i Lee et Tien

Propriétés optiques des agrégats de suies

Evolution du Kext en fonction de la concentration massique TEOM

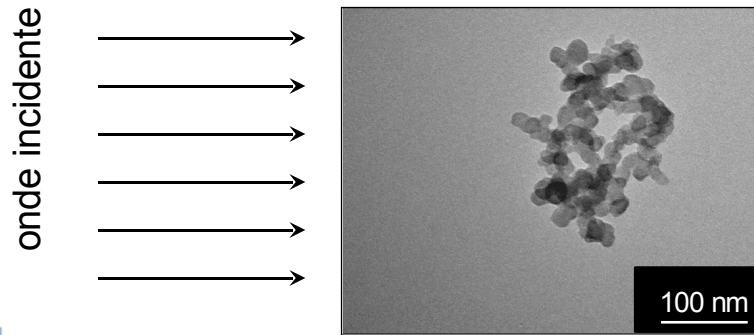


- Calcul de l'absorption et de la diffusion de la lumière par les particules de suies: Approches possibles

Sections efficaces C_e , C_a , C_s

Coefficients de la matrice de diffusion: $|S_i(\theta)|^2$

Rq: C_e et C_v ($\propto |S_1(90^\circ)|^2$)



Est ce que la théorie de Mie (pour les sphères) est applicable ?

Différence de comportement entre un agglomérat et une sphère équivalente.

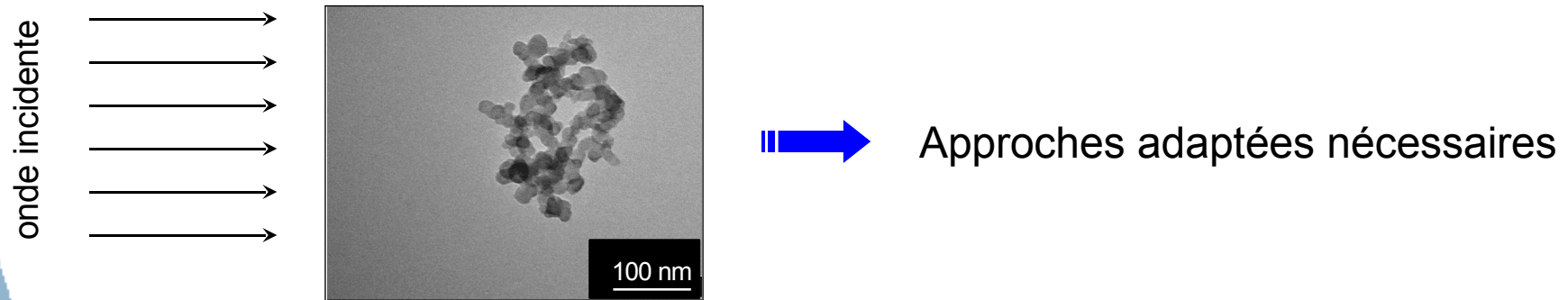
Il est faux de considérer $C_j^A = C_j^{sphère} (D_{equi})$ avec $j=a, s$ ou vv .

$$C_a^A = N_p C_a^P \quad (\text{correct dans le visible, Makowski, 1995})$$

Pour la diffusion, (Zerull et al, 1995)

$$C_s^A (D_{equi}) > C_s^A > N_p C_s^P$$

- Calcul de l'absorption et de la diffusion de la lumière par les particules de suies: Approches possibles



1- Approximations:

RDG-FA: théorie de Rayleigh Debye Gans pour les Agrégats Fractals
(*Faeth et Koçlü, Megaridis et Dobbins*)

2- Résolution des équations de Maxwell:

- *méthodes intégrales*

DDSCAT: Discret Dipole SCATtering (*Draine et Flatau*)

- *méthodes différentielles*

RS: Rigorous Solution (*Xu*)

Études comparatives :

- Pour C_e et $|S_1(90^\circ)|^2$,
la **RDG-FA** donne satisfaction par rapport à des approches plus rigoureuses pour certaines conditions



Utilisation de la RDG-FA pour l'estimation de C_e et $|S_1(90^\circ)|^2$

- Différence systématique importante pour C_s avec la RDG-FA



Remise en cause de certaines méthodes d'inversion
(basées sur la détermination de C_e et $|S_1(90^\circ)|^2$ et C_s)

- Si les limites de la RDG-FA sont dépassées, utilisation de **RS** ou de **DDSCAT**

4- INFLUENCES SUR LES TRANSFERTS DE RAYONNEMENT

- Calcul du coefficient spectral d'absorption ou d'émission

$$k_{\text{ext}} \approx k_{\text{abs}} = N_{\text{abs}} C_{\text{abs}}^{\text{aggl}}$$

N_{abs} est le nbr/vol de particules de suie

$$C_{\text{abs}}^{\text{aggl}} = N^{\text{sph}} C_{\text{abs}}^{\text{sph}}$$

N^{sph} est le nbr de sphérules par particules

$$\implies k_{\text{abs}} = N_{\text{abs}} N^{\text{sph}} C_{\text{abs}}^{\text{sph}}$$

* pour chaque sphérule de diamètre d_s :

limite des formules de Mie pour $X = \pi d / \lambda \ll 1$

$$C_a^{\text{sph}} = -\pi \frac{d_s^2}{4} 4X \text{Im} \left[\left(\frac{n^{*2} - 1}{n^{*2} + 2} \right) \left\{ 1 + \frac{X^2}{15} \left(\frac{n^{*2} - 1}{n^{*2} + 2} \right) \left(\frac{n^{*4} + 27n^{*2} + 38}{2n^{*2} + 3} \right) + \dots \right\} \right]$$

\implies

$$k_a = \frac{36\pi}{\lambda} f_v \frac{nk}{(n^2 - k^2 + 2)^2 + 4n^2k^2}$$

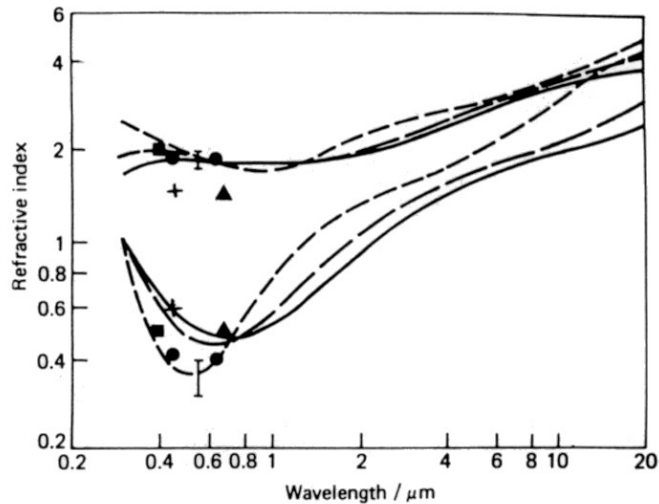
f_v : fraction volumique

$N^* = n - ik$ indice complexe

Conclusion: il faut connaître la morphologie et n^ des suies !*

• Calcul du coefficient spectral d'absorption ou d'émission

- l'indice complexe des suies $n^* = n - i k$



Parties réelle et imaginaire de l'indice de réfraction des suies en fonction de la longueur d'onde (figure issue de Mullins, 1987)

Large gamme possible avec incertitudes importantes

deux valeurs couramment utilisées: $m=1.57 - 0.56 i$ Dalzell et Sarofim
 $m=1.9 - 0.55 i$ Lee et Tien

Calcul du coefficient spectral d'absorption ou d'émission

- Quelle est l'influence des variations de l'indice complexe des suies $n^* = n^*(\lambda)$?

$$\implies \quad k_a = \frac{36\pi}{\lambda} f_v \frac{nk}{(n^2 - k^2 + 2)^2 + 4n^2k^2}$$

- valeur moyenne de K_a sur le spectre thermique $\Delta\lambda = 0.4 - 20 \mu\text{m}$

$$k_a = \frac{1}{\Delta\lambda} \int_{\Delta\lambda} k_a(\lambda, n^*) d\lambda$$

Valeur obtenue en considérant $n^* = n^*(\lambda)$

$K_a/f_v = 0,858$

Valeur obtenue en considérant $n^* = \text{cst}$

deux valeurs extrêmes:

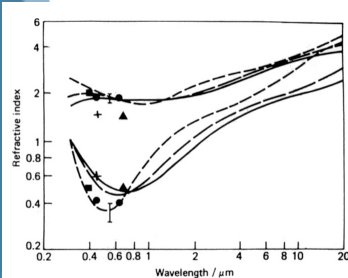
$$m = 1.9 - 0.4 i$$

$K_a/f_v = 0,600$

$$m = 1.9 - 0.6 i$$

$K_a/f_v = 0,878$

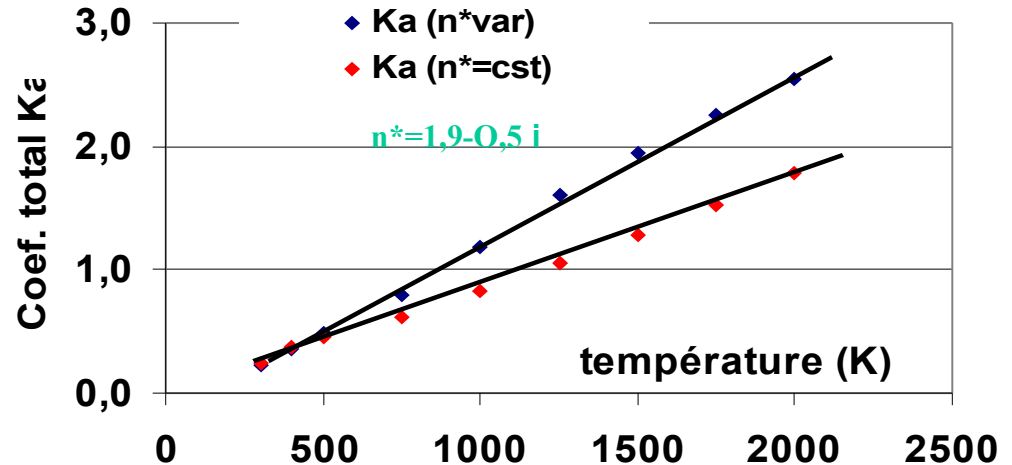
\implies 35% de différence



• Propriétés radiatives totales des suies

$$k_a = \frac{\int k_a(\lambda, n^*) M_{\lambda, T}^0 d\lambda}{\sigma T^4}$$

(Rq: k_a est ici défini par unité de fv)



- Avec l'indice de Lee and Tien $n^*=1,9-0,5 i$
Différences importantes pour les températures de flamme

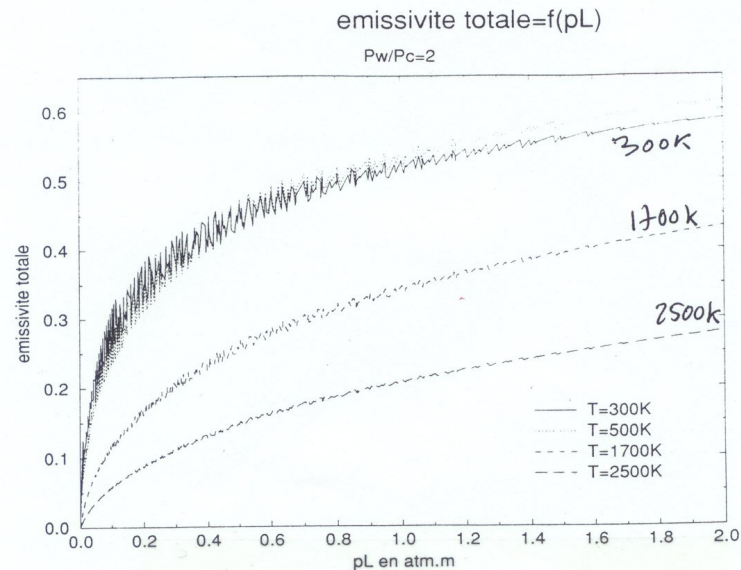
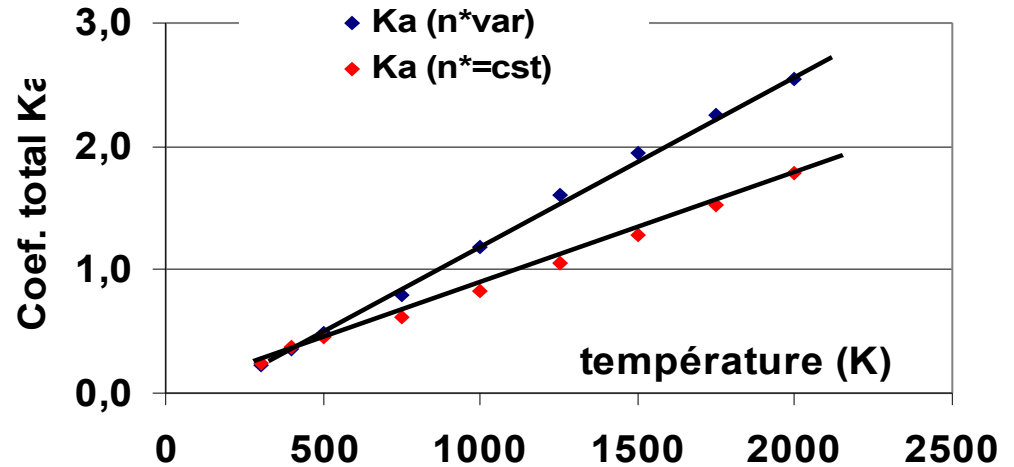
• Propriétés radiatives totales des suies

* Le coefficient total des suies augmente avec la température (linéairement)

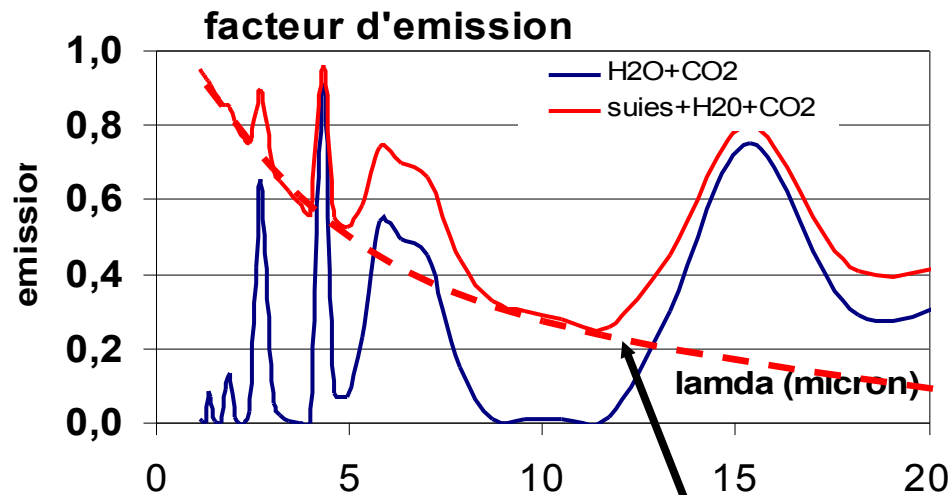


* comportement différent pour les gaz

$$\epsilon_a = \frac{\int (1 - e^{-k_a \cdot PL}) M_{\lambda, T}^0 d\lambda}{\sigma T^4}$$



• Propriétés radiatives totales d'un mélange gaz+suies



T=500 K

Xh2o=0.1 Xco2=0.05

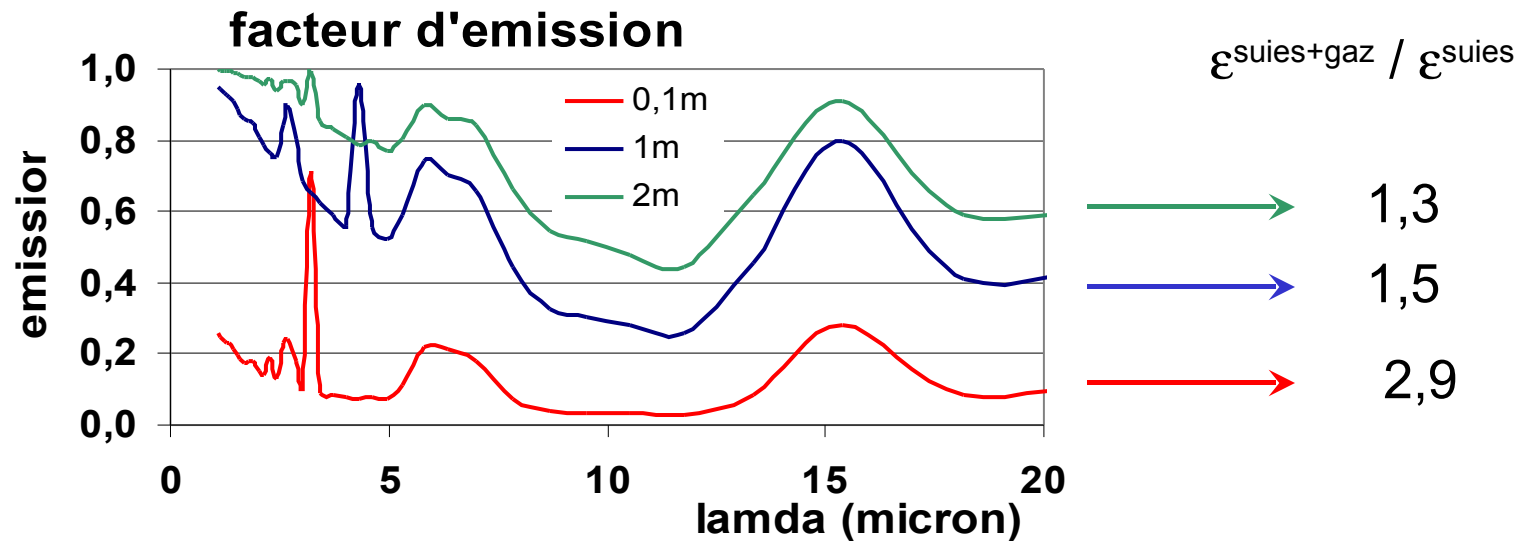
fv=1ppm

L=100 cm

Pour les gaz: modèle Ck (Soufiani et al)

$$k_a = \frac{36\pi}{\lambda} f_v \frac{nk}{(n^2 - k^2 + 2)^2 + 4n^2k^2}$$

•Propriétés radiatives totales d'un mélange gaz+suies



T=500 K

Xh₂o=0.1 Xco₂=0.05

fv=1ppm

Conclusion

Dans le domaine des incendies,

- * métrologie sur les aérosols (suies)

 - propriétés physiques: optiques, tailles, morphologie
 - emissions

- * modélisation des incendies

 - combustion: étude de la source