Influence des fumées d'incendie sur la limite inférieure d'inflammabilité des gaz combustibles

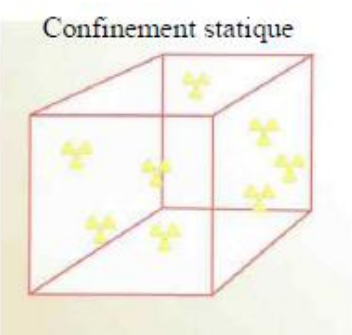
Alexis COPPALLE[a], P. Ainé[b] , J. Yon[a]
a: Laboratoire CORIA
b: AREVA

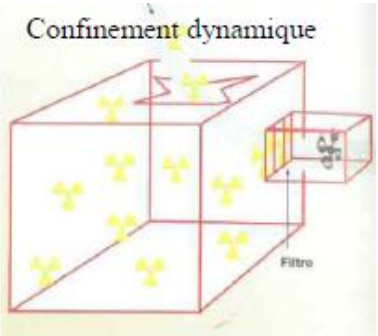
l'accident thermique

Confinement et ventilation contrôlée

→ Feu sous ventilé

→ Risque d'*Accident Thermique*





<u>Déroulement d'un Accident Thermique:</u>

Feu avec ventilation limitée dans une espace confinée

↓

Production des suies et des gaz imbrûlés/produits de pyrolyse

↓

Introduction soudaine de l'air frais dans les fumées

↓

Combustion rapide des gaz imbrûlés/produits de pyrolyse: ***déflagration***

l'accident thermique

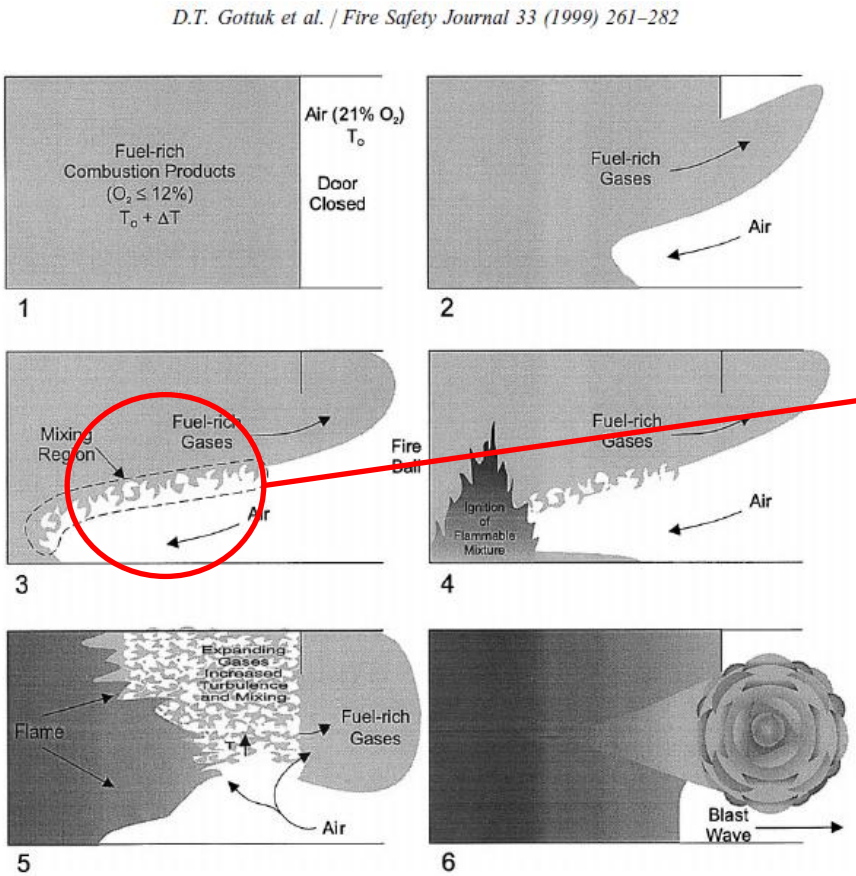


Fig. 1. The development of a backdraft.

Pourquoi cette ré-inflammation brutale?

La ré-inflammation se produit dans la zone de mélange air frais/fumée

Cela est possible si la concentration des gaz est telle que LSI> Cgaz > LII

l'accident thermique

Rappel: rôle de l'autoinflammation des gaz dans l'accident thermique

==> Thèse de E. Mathis ENSMA (Poitiers)

Le rôle des suies dans l'accident thermique: Etude du CORIA

- Le rôle exact des particules de suies, dans le processus de l'accident thermique n'est pas connu à l'heure actuelle.

- Etude bibliographique:

si les suies ont un rôle sur le déclenchement des explosions de fumées (ou accidents thermiques), elles doivent être d'abord chauffées à une température assez élevée (> 600°C).

===> La question n'est donc pas de savoir si les suies peuvent s'enflammer elles-mêmes, mais si elles aggravent le risque d'inflammation d'un mélange gaz imbrûlés-suies

Question qui a motivée cette étude:

la LII des gaz combustibles est elle abaissée ou augmentée due à la présence des particules de suies?

Etudes réalisées

Les objectifs ont été d'étudier :

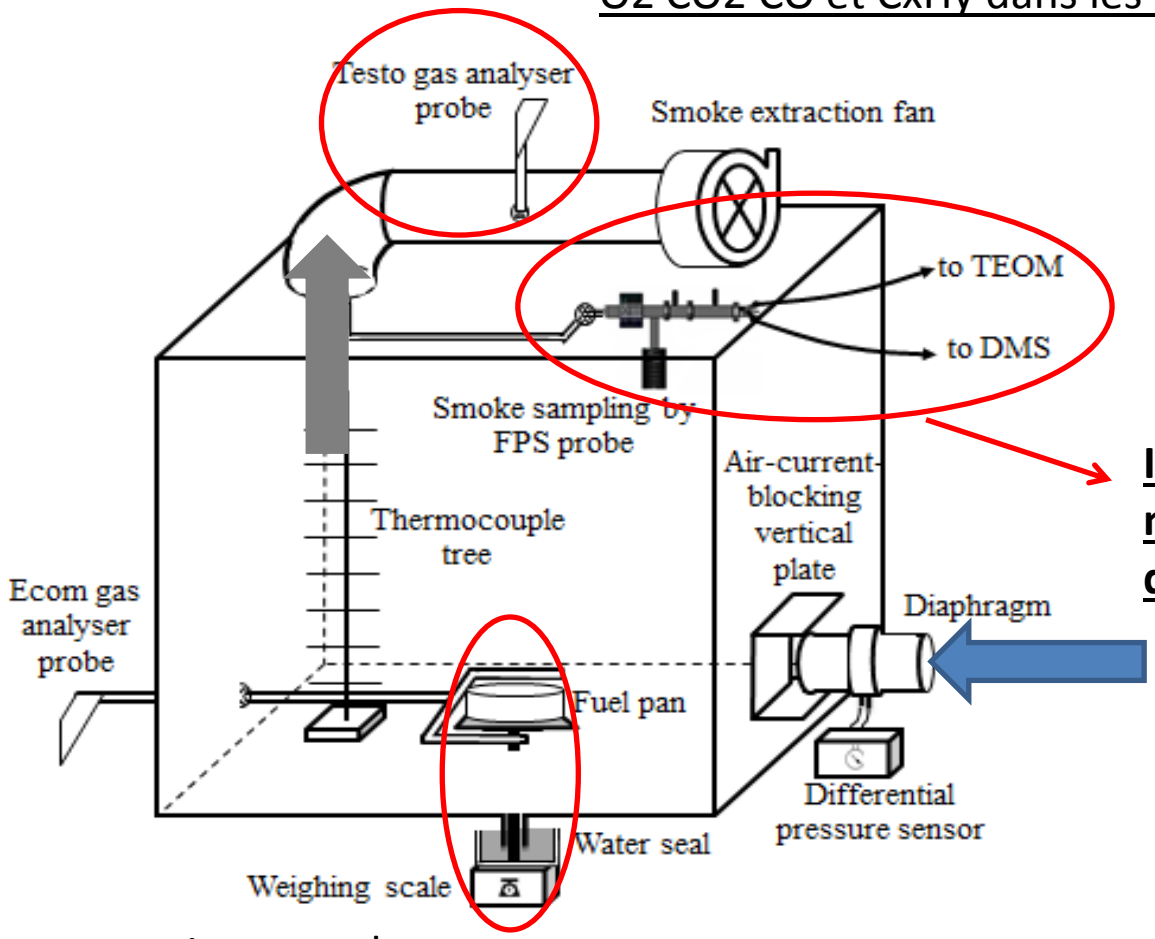
1) les conditions existant dans les fumées d'un compartiment de feux sous-ventilé et mécaniquement ventilé.
2) La ré-inflammation des fumées issues d'un foyer sous-ventilé

- Pour générer des fumées de feux sous-ventilés:
  - réalisation d'une chambre incendie de 1m3 mécaniquement ventilée
  - utilisation d'une métrologie adaptée pour caractériser les fumées

- Pour étudier l'inflammation des gaz et des fumées, développement d'une 'chambre à déflagration'

La chambre incendie

O2 CO2 CO et CxHy dans les fumées



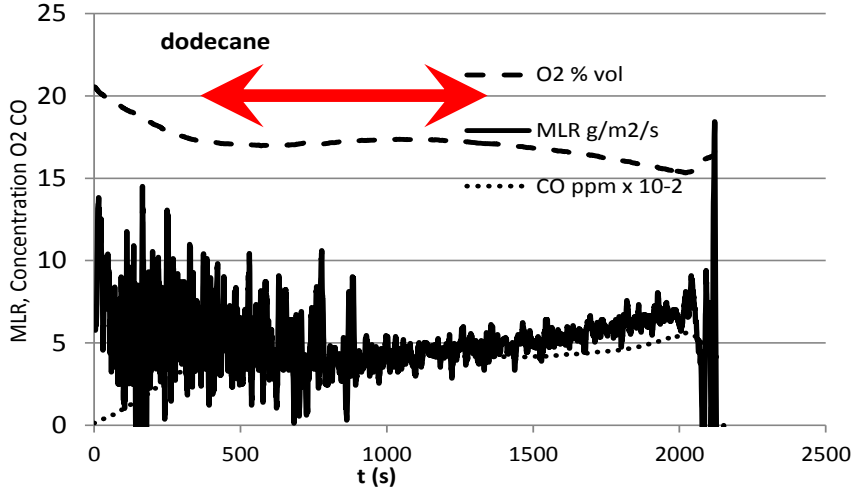
Installation d'un dispositif de métrologie des particules de suies

La perte de masse

ventilation du compartiment réglable : RH = 0-20

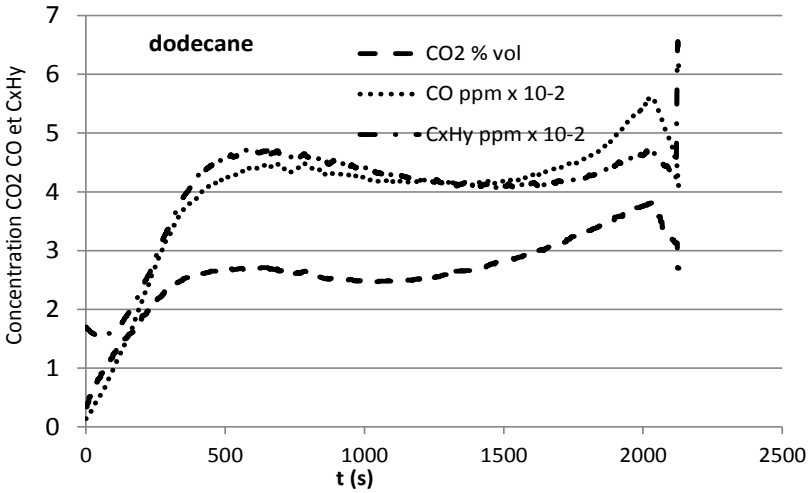
La chambre incendie:

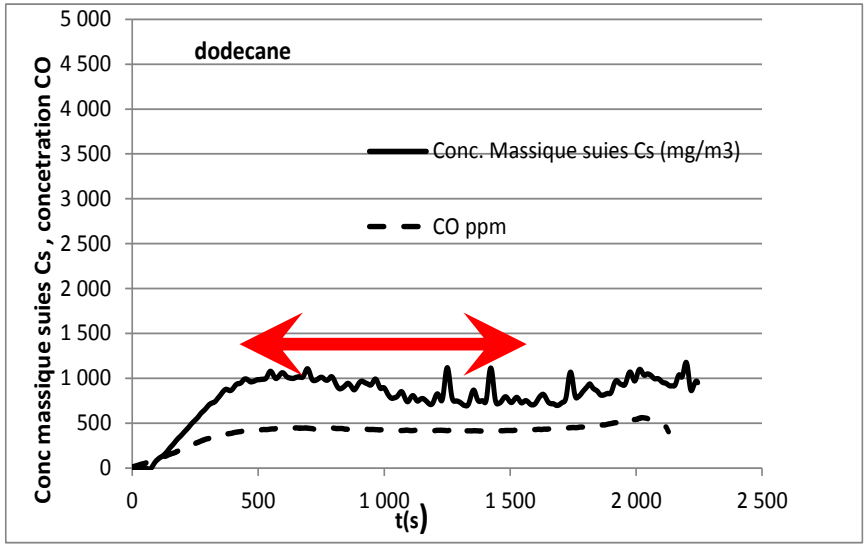
===>Résultats avec un bac de dodécane



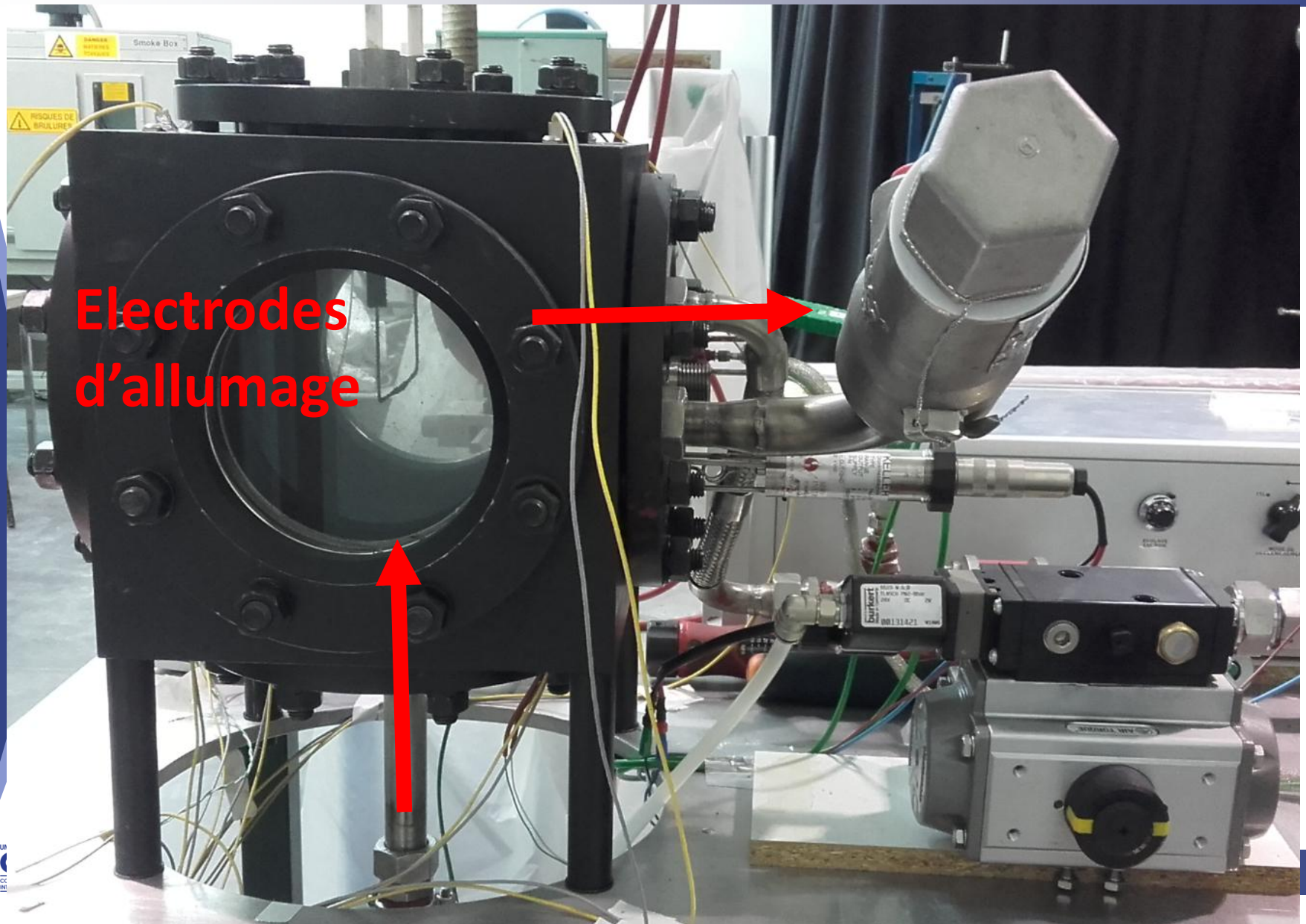
RH=8

Dbac=11,5cm

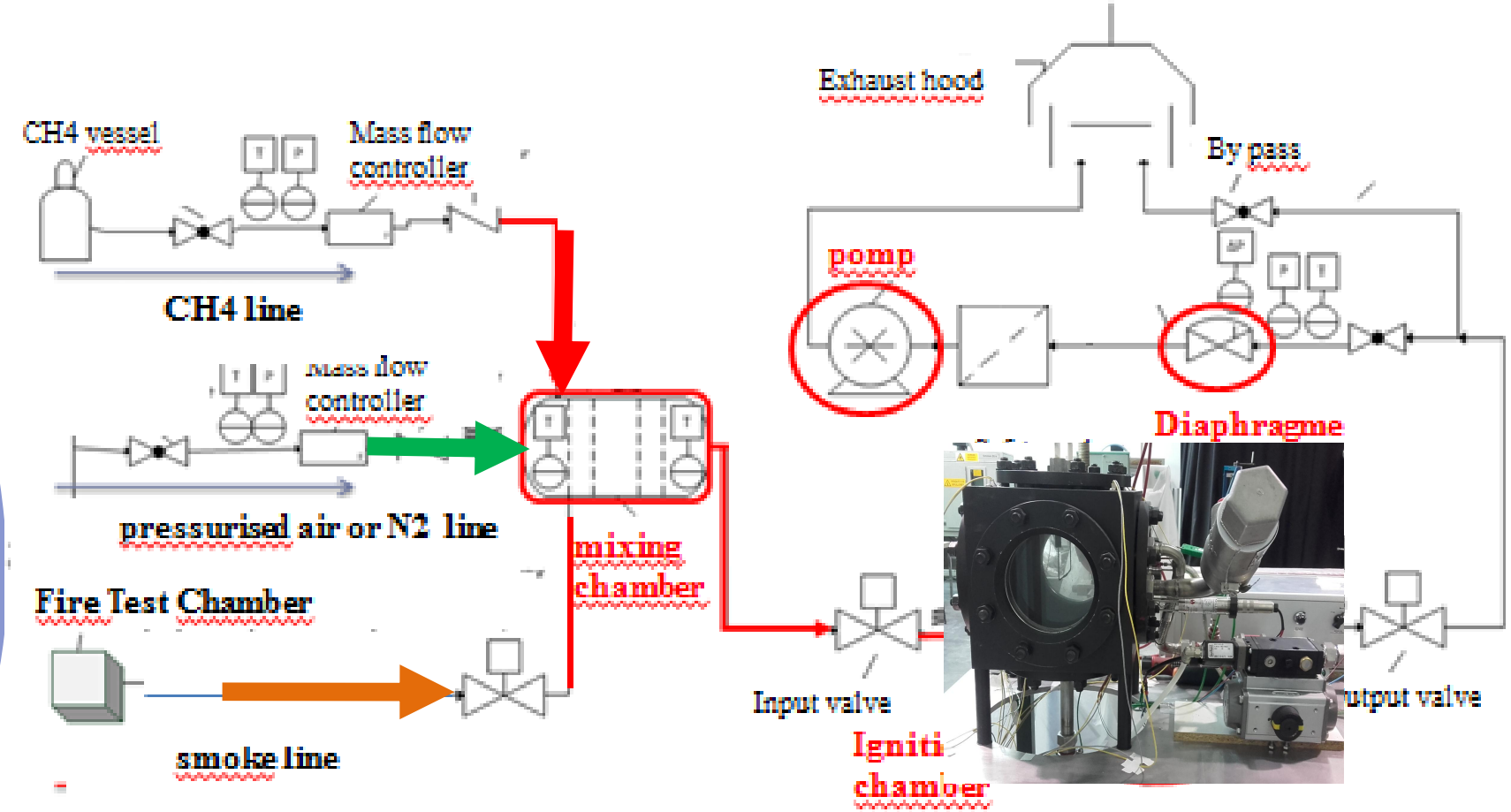




La chambre à déflagrations:



La chambre à déflagrations



La chambre à déflagrations

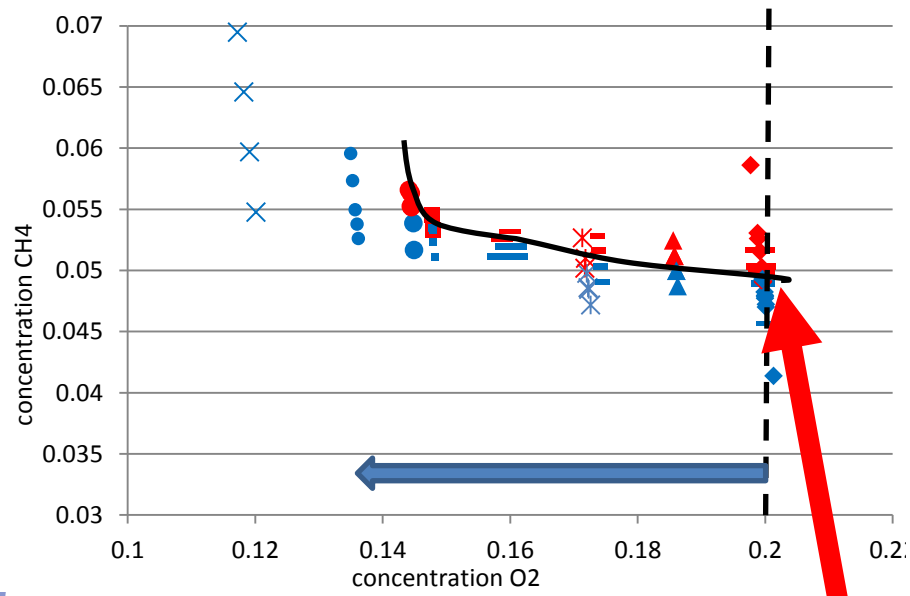
➤ Les fumées générées lors des tests avec du dodecane ont été envoyées dans la chambre de déflagration, mélangées à du méthane et à de l'air.

Le méthane n'est pas forcément représentatif des gaz imbrulés susceptibles d'être présents dans des fumées de feux sous-ventilés,
mais il présente l'avantage d'avoir été beaucoup étudié, et sa LII est parfaitement connue.
===> le rôle des fumées d'incendie sur la limite inférieure d'inflammabilité (LII) d'un mélange combustible peut être plus facilement détecté.

➤ les résultats donnés ci-dessous ont été obtenus avec des mélanges à la température ambiante.

RESULTATS SANS FUMEES

Diagramme d'inflammation de Zabetakis (1965).



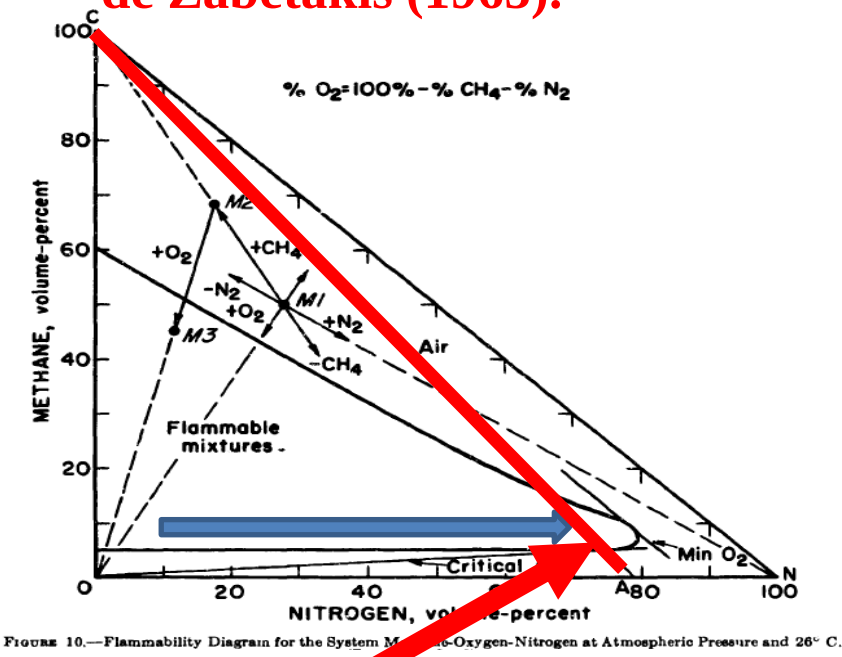


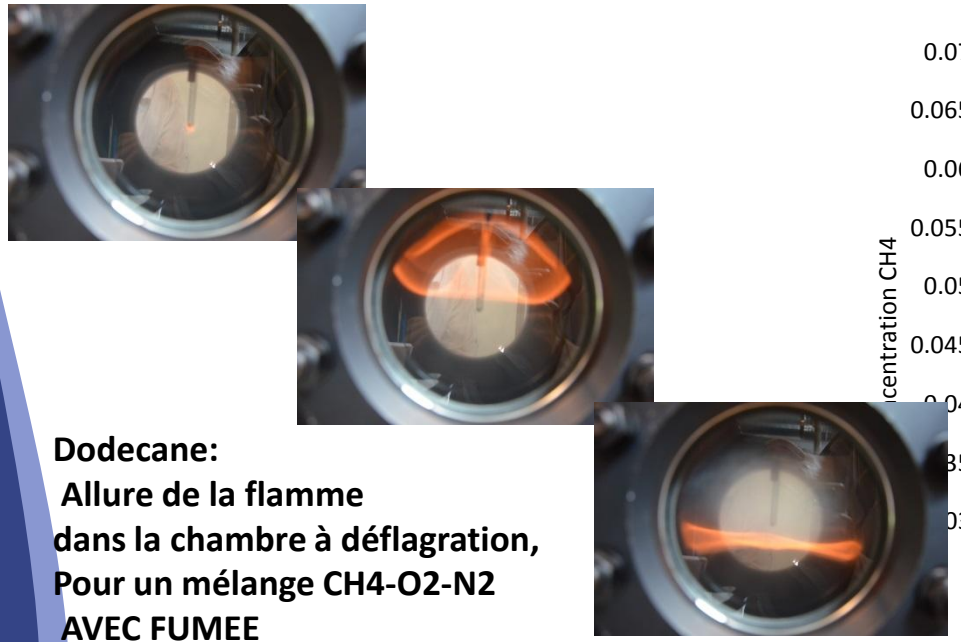
FIGURE 10.—Flammability Diagram for the System Methane-Oxygen-Nitrogen at Atmospheric Pressure and 26° C.

Concentration minimum de méthane dans un mélange *CH4-O2-N2* SANS FUMEE pour avoir une inflammation, en fonction de O2.
Symbole bleu : pas d'allumage, rouge allumage.

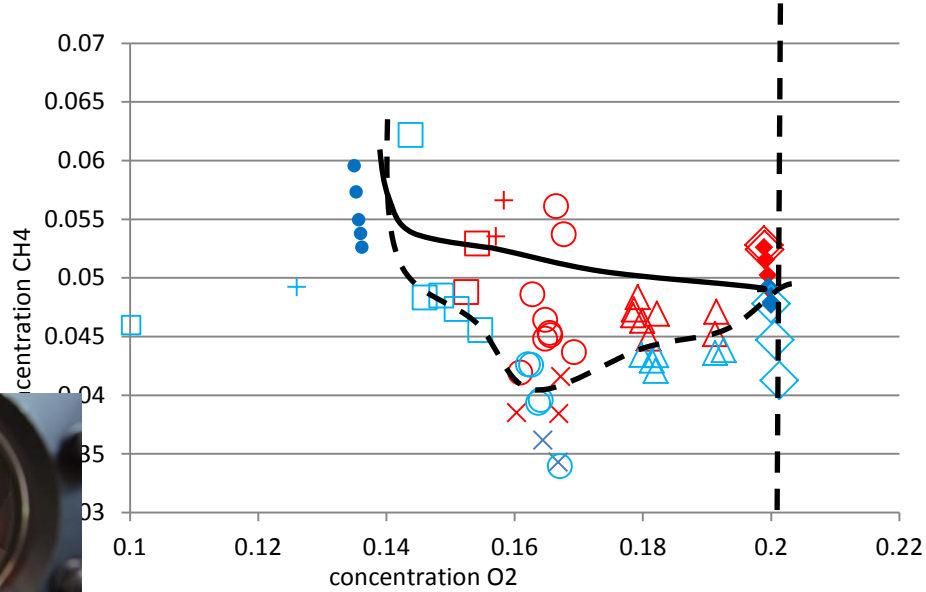
Resultat important: **On retrouve la LII du méthane dans l'air, 4,9 %**

===> Validation du dispositif

RESULTATS AVEC FUMEES



Dodecane:
Allure de la flamme dans la chambre à déflagration, Pour un mélange CH4-O2-N2 AVEC FUMEE



Concentration minimum de méthane dans un mélange *CH4-O2-N2-AVEC FUMEE* pour avoir une inflammation, en fonction de O2. Symbole bleu : pas d'allumage, rouge allumage.

Conclusion:

la présence des fumées change de façon significative

la valeur de la LII du méthane, la LII ↘ si fumées ↗

Présence de gaz imbrulés dans les fumées?

la concentration $X_{CxHy} < 0{,}05$ %,

bien en dessous de la LII de la majorité des hydrocarbures

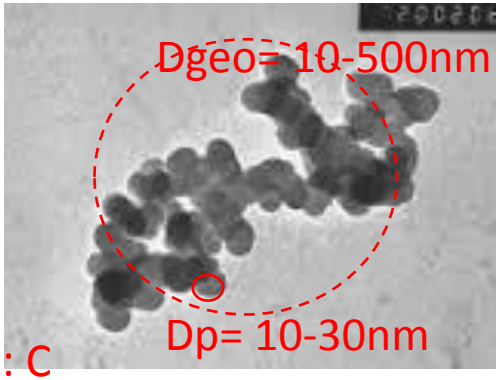
Rôles des particules de suies

l'état des connaissances sur les explosions de poussières (> 1µm) en suspension:

===> notions de EMI et CMI

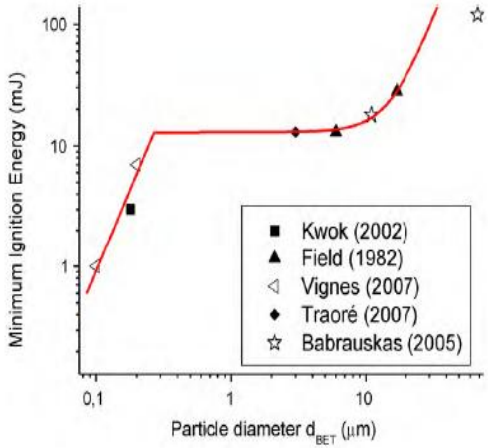
les résultats connus pour des particules microniques (>1µm) transposables au cas des aérosols suies (<1µm) ?

1- plus les particules sont petites en taille, moins il faut d'énergie (EMI) pour déclencher l'explosion



Composition: C
+ des composés gazeux adsorbés

===> Variation EMI avec diamètre



(VIGNES A., 2008)

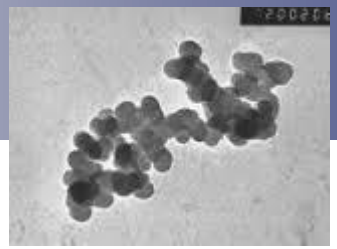
2-La température minimum d'inflammation est assez élevée pour le noir de carbone (> 600°C).

C// pour les particules de suies (black carbon)

- petites tailles: Energie d'inflammation faible
- Pour jouer un rôle sur l'inflammation,

Il faut un chauffage des particules à une température assez élevée.

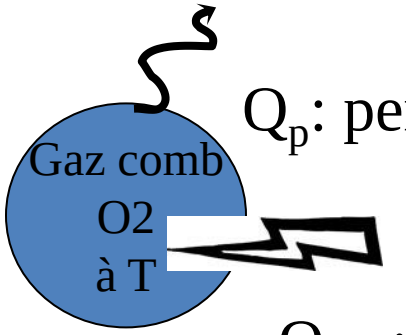
Rôles des particules de suies



Ignition pilotée dans les gaz:

$$\dot{Q}_r = -\dot{m}_f''' V \Delta h_{comb}$$

Volume V



Q_p: perte de chaleur à travers la surface

Q_{igni}: énergie apportée l'étincelle

Bilan d'énergie du volume V:

$$mc_V \frac{dT}{dt} = \dot{Q}_r + \dot{Q}_p + Qigni$$

Les particules peuvent jouer sur

1- le puit thermique Qp: en absorbant la chaleur produite par la combustion des gaz.
===> T ↘ , défavorable pour l'allumage (LII ↗).

2- **la chaleur apportée Qr**: apport d'une richesse supplémentaire avec la desorption des gaz adsorbés à la surface, favorable à l'allumage (LII ↘).

3-la chaleur apportée Qr : apport d'une richesse supplémentaire avec la combustion de la matière suies si la température est suffisante (>600°C) (LII ↘).

Rôles des particules de suies

Quels sont les temps caractéristiques ?

temps caractéristique d'allumage des gaz:
===> *la milliseconde*

Échauffement des particules de suies

Hypothèse: sphère de diamètre d et instantanément placée D ans un environnement à$T_{f,gaz}$

$$m_s c_s \frac{dT_s}{dt} = h\,\mathrm{S_s}\left[T_{f,gaz} - T_s\right] \text{ avec } \mathrm{S_s} = \Pi\,\mathrm{d_s^2}\,/\,4$$

===> temps caractéristique d'échauffement $\tau_{echauf} = \rho_s c_s \mathrm{d_d}\,/\,\mathrm{h}$

Avec les valeurs usuelles
ds=100nm ρs=2 10^3 kg/m3 h=10 w/m2 et Cs=0,7 kJ/kg

$$\tau_{echauf} \cong 2ms$$

Rôles des particules de suies

Quels sont les temps caractéristiques ?

Désorption et combustion de la matière gaz adsorbée?

Combustion de la matière suies: C+1/2 O2---> CO

$$\frac{dm_s}{dt} = Ae^{-E/RT_s} P_{O2} m_s$$

===> temps caractéristique de combustion $\tau_{comb} = 1/\left[Ae^{E/RT_s} P_{O2}\right]$

Avec les valeurs de Sharma (Energy & Fuel, 2012)
E=145 kJ/mole A= 180s^{-1} et T_s= 1200K

$$\tau_{comb} \cong 0{,}6s$$

Conclusion: τ_{comb}= 600ms >> $\tau_{echauff}$ =2 ms
===> les particules ont le temps de s'échauffer mais pas de bruler (matière carbone)

Quel est le rôle de la phase gaz adsorbée?
Effet thermique des particules sur les échanges dans le noyau d'allumage?

CONCLUSIONS

Les résultats montrent que la présence des fumées change de façon significative la valeur de la LII du méthane.
===> Cette limite est abaissée.

L'echauffement des particules de suies (≈ 2 ms) est possible
pendant l'allumage des gaz combustibles (≈ 1 ms)
Cela n'entraine pas d'abaissement de la température du mélange

La combustion de la matière suies (carbon black), ≈ 600 ms,
n'est pas possible pendant le temps d'allumage des gaz combustibles (≈ 1 ms)

Des expériences en cours
avec d'autres gaz combustibles
avec des particules 'sèches'
à plus haute température.