



Impact du confinement sur la dégradation thermique et la combustion du Polyéthylène : étude en Cône Calorimètre à Atmosphère Contrôlée

E. Mathis^a, A. Loo^b, A. Coppalle^b, T. Rogaume^a, M. Poisson^a, J-P. Garo^a, F. Richard^a, P. Aine^c,
F. Hurel^d

^a *Institut P', UPR 3346, Département Fluide Thermique Combustion, ENSMA*

^b *CORIA, UMR 6614, INSA de Rouen*

^c *Groupe AREVA*

^d *AREXIS*



Programme de recherche PERICLES



Rappel de la problématique :

- Dans les installations nucléaires, les incendies non maîtrisés peuvent causer une fuite des substances radioactives vers l'environnement
- En local sous-ventilé, pyrolyse et combustion incomplète des solides (manque d'O₂ par rapport à la stœchiométrie) ⇒ génération de suies, de gaz imbrûlés et risque d'**Accident Thermique**

Accident thermique – (Backdraft) : Combustion rapide des produits imbrûlés issus de la pyrolyse et de la combustion incomplète. Survient lors d'une amenée d'oxygène qui génère un phénomène de pression qui pousse les gaz vers l'extérieur. La masse gazeuse imbrûlée et à haute température est poussée à la sortie du local où elle peut s'enflammer au contact de l'air frais

- Ce risque d'inflammation d'imbrûlés a été, entre autres, mis en évidence lors de la thèse de Julie Lassus ^[1] (étude financée par le CEA et AREVA).

✚ L'accident thermique va entre autres dépendre de :

- Nature des gaz imbrûlés
- Concentration des gaz imbrûlés formés
- Nature et concentration des suies
- Conditions de mélange combustible / comburant
- Températures du mélange gazeux

⇒ **Définition d'un domaine d'inflammabilité**

✚ L'accident thermique va entre autres dépendre de :

- Nature des gaz imbrûlés
- Concentration des gaz imbrûlés formés
- Nature et concentration des suies
- Conditions de mélange combustible / comburant
- Températures du mélange gazeux

Travail mené à Pprime

⇒ **Définition d'un domaine d'inflammabilité**

✚ L'accident thermique va entre autres dépendre de :

→ Nature des gaz imbrûlés

→ Concentration des gaz imbrûlés formés

→ Nature et concentration des suies

Travail mené au Coria

→ Conditions de mélange combustible / comburant

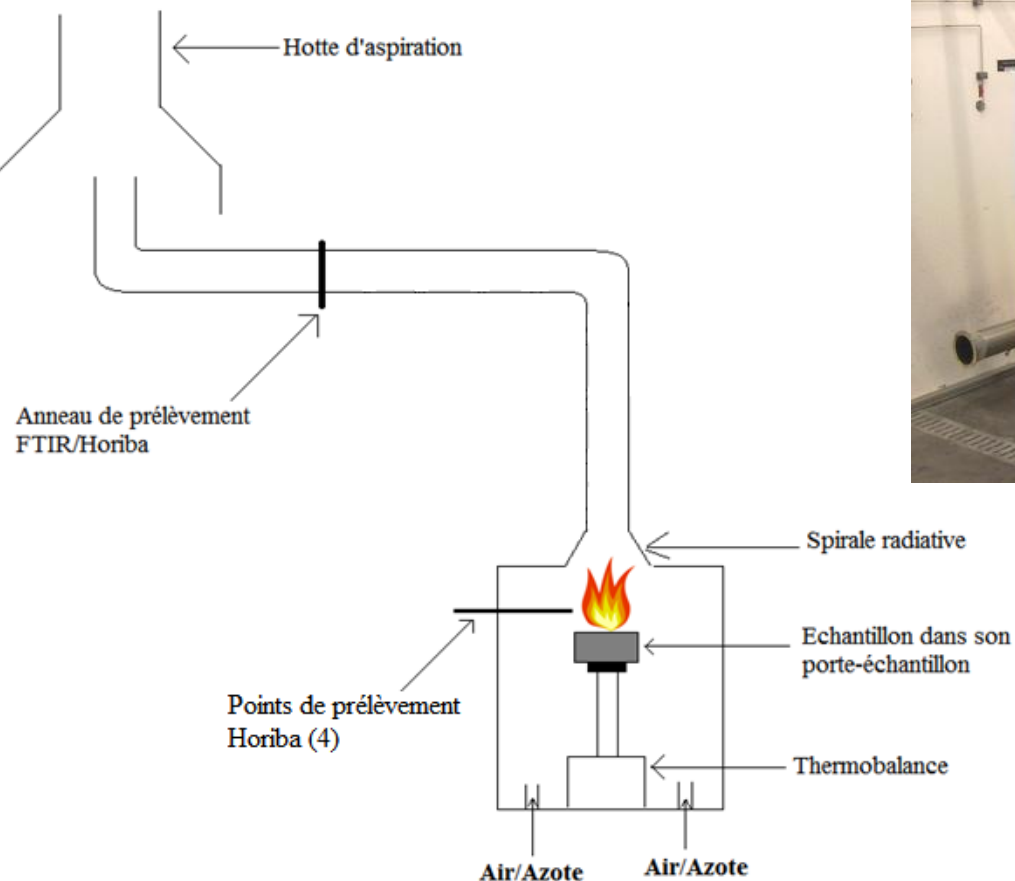
→ Températures du mélange gazeux

⇒ **Définition d'un domaine d'inflammabilité**

✚ Paramètres qui influencent la génération d'imbrûlés dans un local fermé :

- Renouvellement horaire i.e. débit d'entrée du dioxygène (**comburant**) et débit d'extraction des gaz
- Proportion de dioxygène dans l'enceinte
- Puissance apportée au combustible
- Vitesse de dégradation de l'échantillon

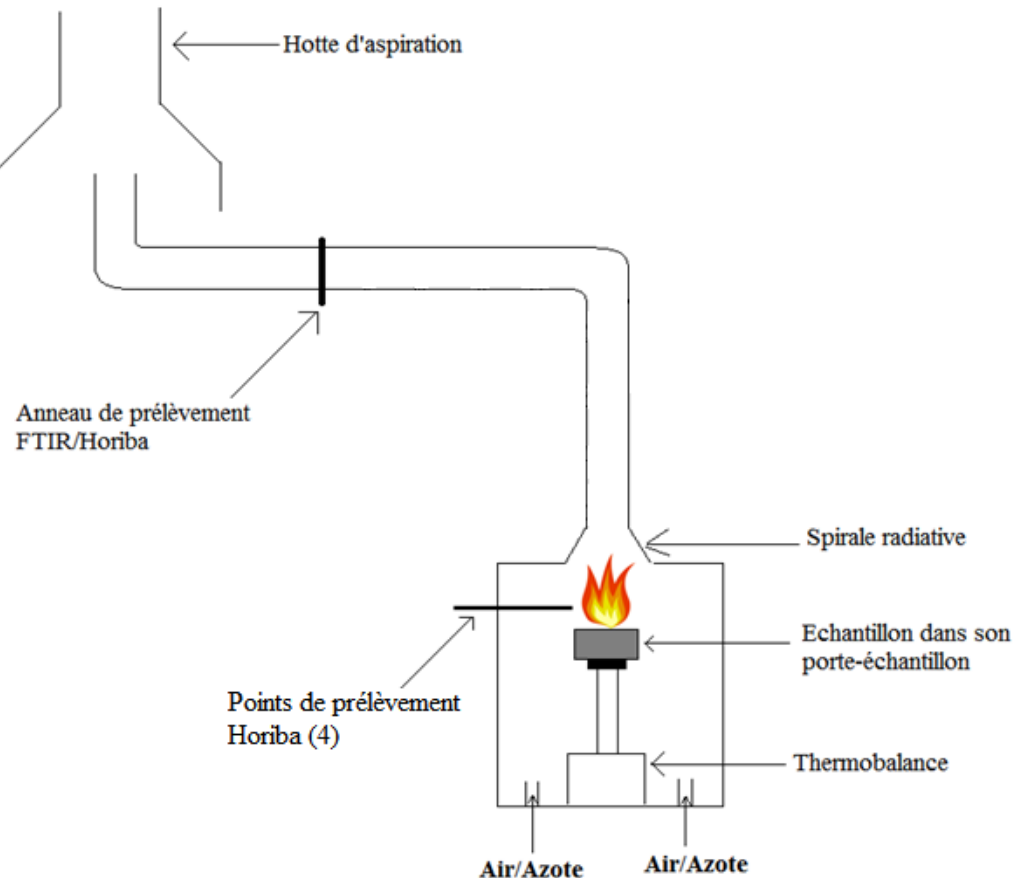
- Dispositif expérimental



CCAC employé à l'Institut Pprime

Schéma de principe du CCAC employé à l'Institut Pprime

• Nouveau dispositif expérimental



- Porte-échantillon non ISO mais entièrement en aluminium.
- Enceinte cubique de 33 cm de côté.
- Cheminée verticale de 60 cm de haut (et 10 cm de diamètre).
- Coude et cheminée horizontale de 80 cm de long (et 10 cm de diamètre).
- Anneau de prélèvement des gaz placé dans la conduite horizontale
- Analyseur Horiba et IRTF.
- Combustible : Tecafine PE.

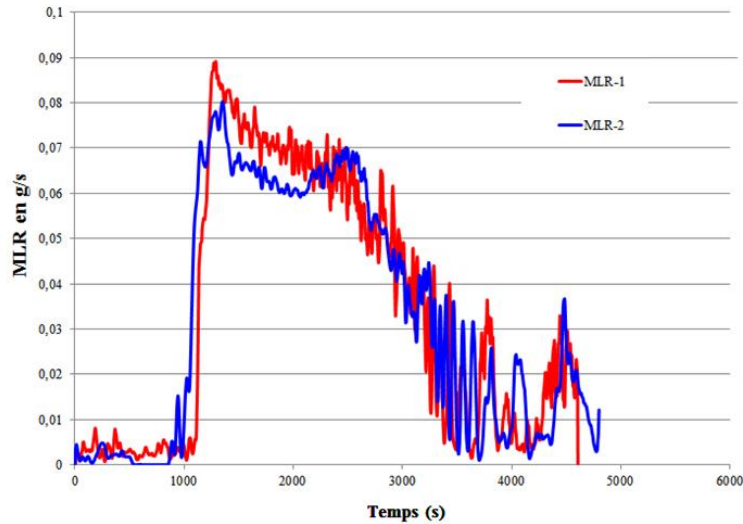
→ Composition du mélange comburant (débit de 140 L/min)

⇔ **Ventilation du caisson**

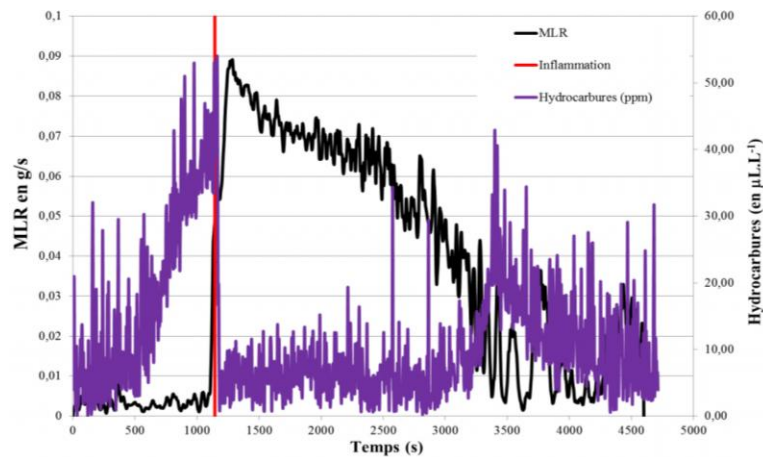
→ Flux de chaleur : 20, 30 et 50 kW/m².

Schéma de principe du CCAC employé à l'Institut Pprime

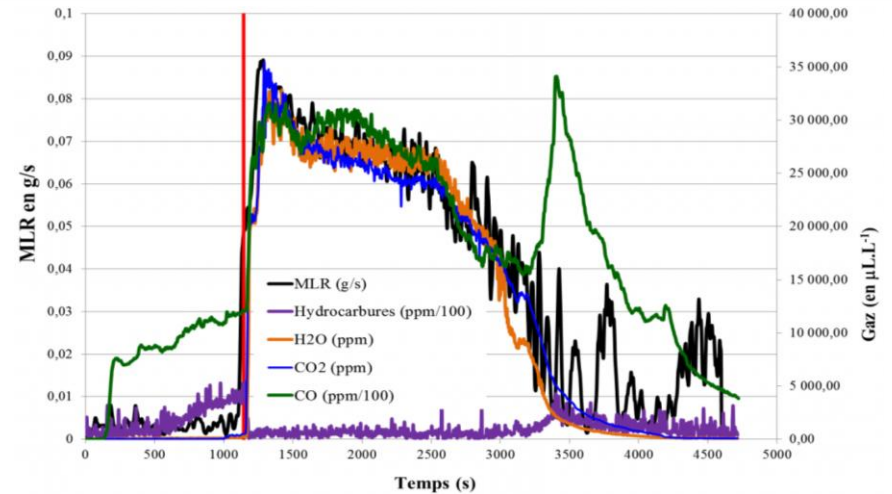
- Résultats obtenus à 21% d'O₂ et 20kW/m²



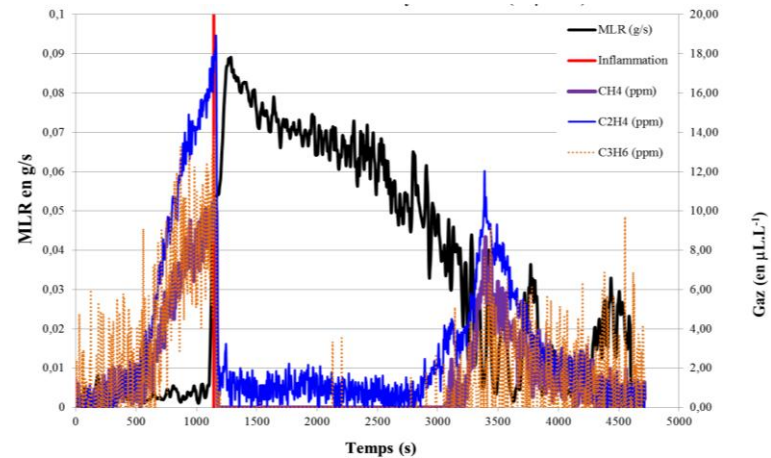
MLR obtenues



MLR et concentrations d'hydrocarbures



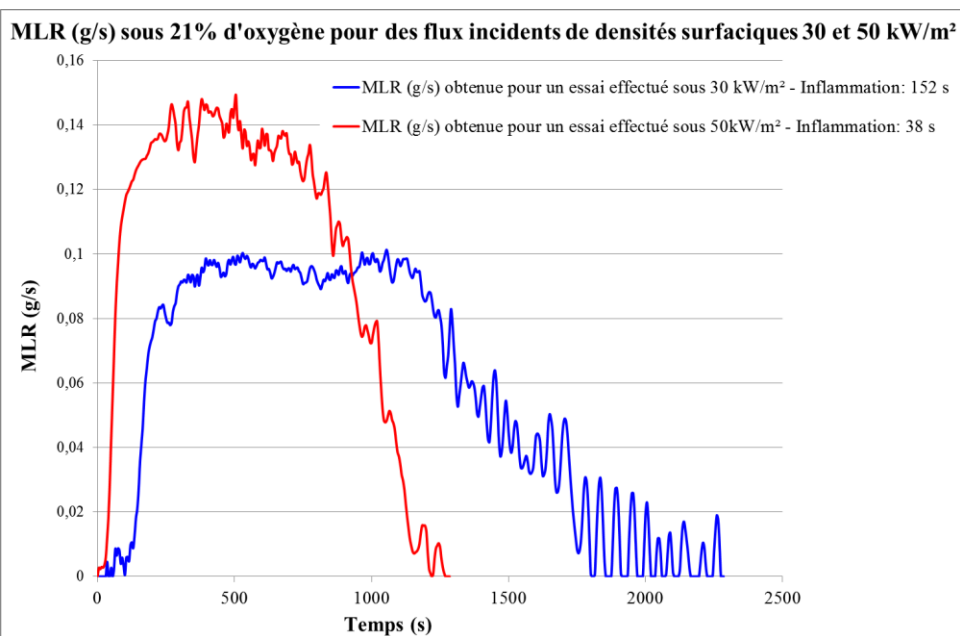
MLR et concentrations de CO, CO₂, H₂O, hydrocarbures



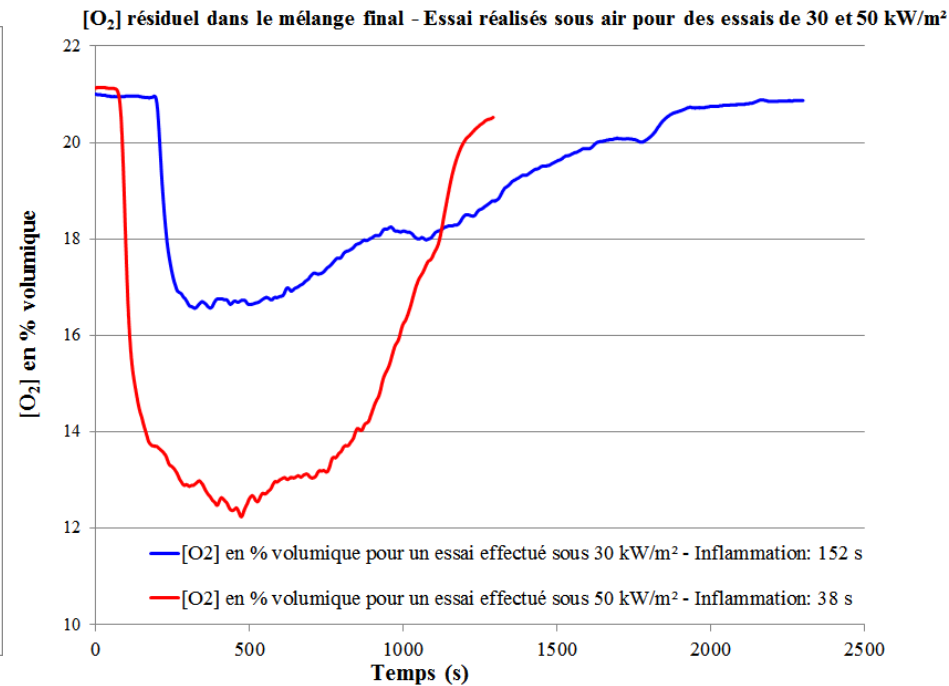
MLR et hydrocarbures obtenus

Nouveau CCAC: Influence du flux incident

- Comparaison d'essais effectués à 30 et 50 kW/m² sous 21% d'O₂

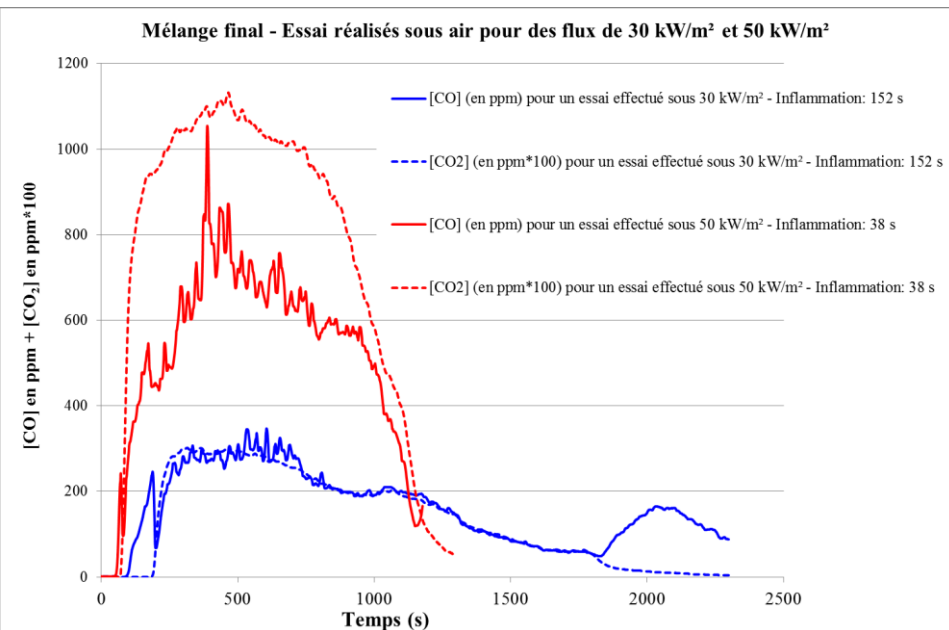


Vitesses de perte de masse sous 30 et 50 kW/m²

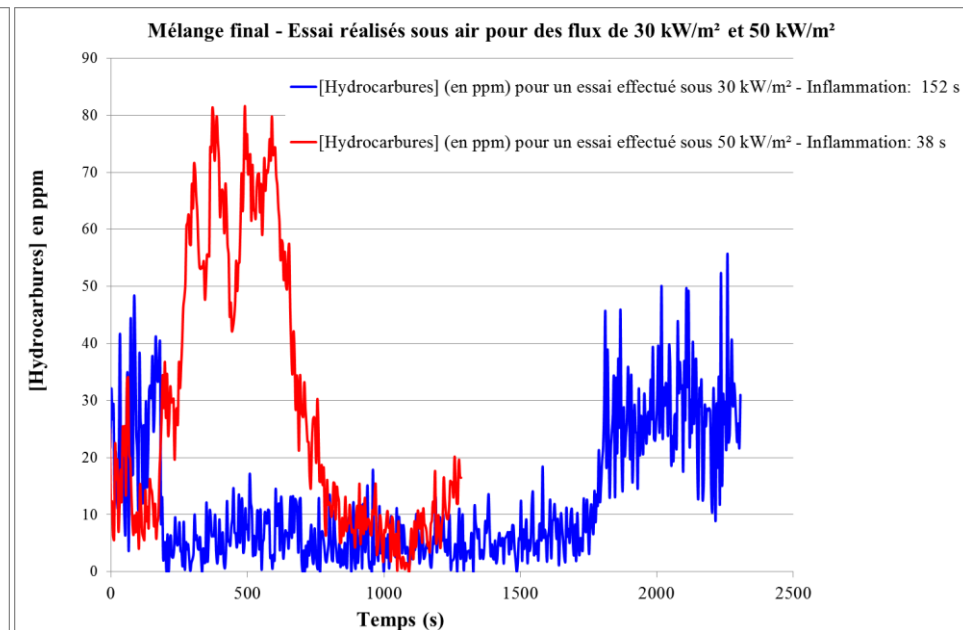


Quantité d'O₂ résiduel dans le mélange final sous 30 et 50 kW/m²

- Comparaison d'essais effectués à 30 et 50 kW/m² sous 21% d'O₂



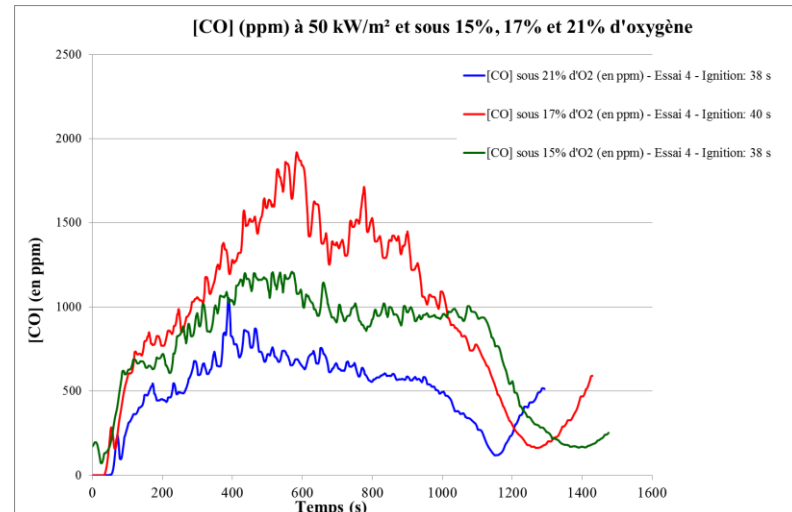
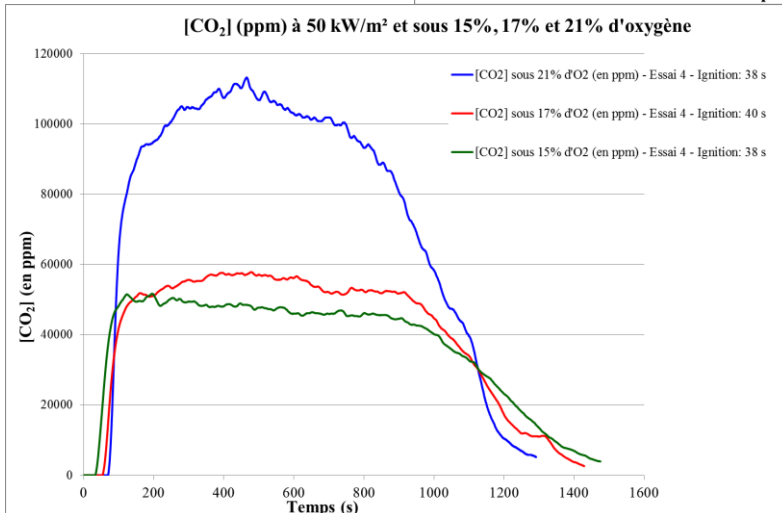
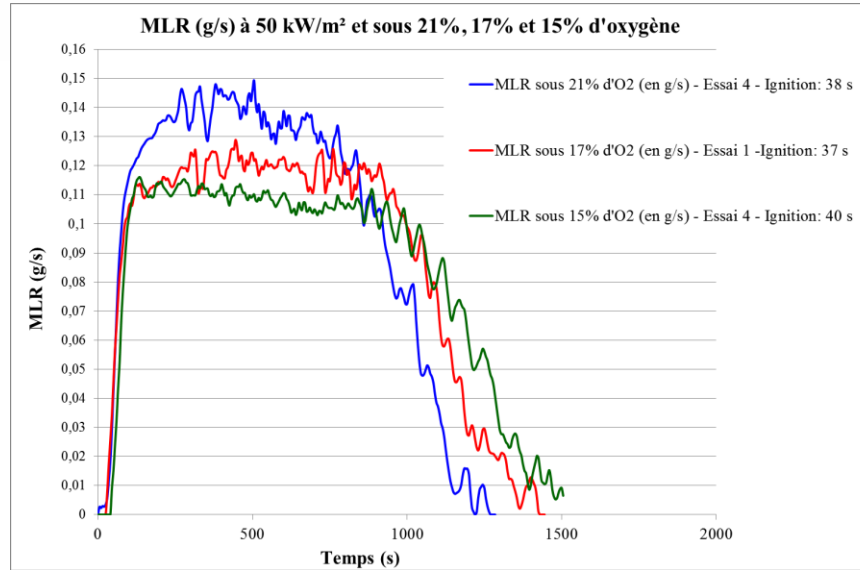
Concentrations de CO, CO₂ sous 30 et 50 kW/m²



Concentrations d'hydrocarbures dans le mélange final sous 30 et 50 kW/m²

Nouveau CCAC: Influence du confinement

- Comparaison d'essais effectués à 50 kW/m² dans 21%, 17%, 15% d'O₂



Essais réalisés à 50 kW/m² dans des atmosphères de 21%, 17%, 15% d'O₂

Bilan carbone à 21 % d'oxygène

Densité surfacique de flux testée	20 kW.m ⁻²	30 kW.m ⁻²	50 kW.m ⁻²
Masse de carbone contenue dans le CO ₂	64,7 g	62,8 g	74,6 g
Masse de carbone contenue dans le CO	1,04 g	1,03 g	2,15 g
Masse de carbone contenue dans les hydrocarbures	0,152 g	0,096 g	0,41 g
Masse totale de carbone contenue dans les produits gazeux	65,9 g	64,0 g	77,2 g
Masse totale de carbone dégradée	109,7 g	100,6 g	114,0 g
Part de carbone dégradée se retrouvant dans les composés gazeux	59 %	64 %	68 %

→ Nécessité de quantifier les suies avec le CORIA.

On prélève les suies dans la cheminée du cône calorimètre:

1^{er} étape: Le FPS: Dilue le flux d'échantillon

FPS: Dilue le flux d'échantillon et évite la condensation d'eau



2^{ème} étape:

Envoi du flux dilué
vers les appareils de
mesure

Le DMS: Mesure de la distribution de tailles des particules



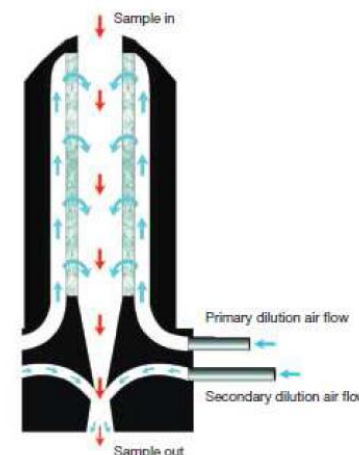
Le TEOM: Mesure de la concentration massique des particules dans un flux



- **Appareils utilisés**

Le FPS (Fine Particle Sampler): Dilue le flux d'échantillon

- 2 étages de dilutions
- L'échantillon est aspiré par l'éjecteur
- Le taux de dilution peut varier au cours du temps en fonction de la T et la P



Le TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance): Mesure de la concentration massique des particules dans un écoulement gazeux

- Instrument gravimétrique
- L'écoulement gazeux passe à travers un cartouche de filtre
- Calcul de la concentration massique:

Masse totale = Masse actuelle – Masse initiale

Débit massique = [Masse(i+1) – Masse(i)]/Pas de temps

Concentration massique = Débit massique/Débit d'échantillonnage

Le DMS (Differential Mobility Spectrometer):
Mesure de la distribution en tailles globale des particules (agglomérat)

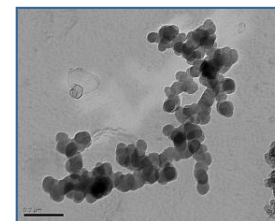
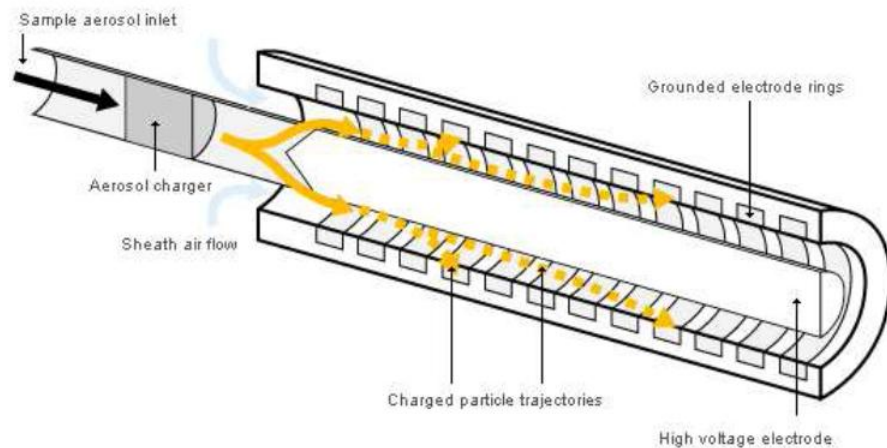


Image microscopique d'un agglomérat de suie



Diamètre global

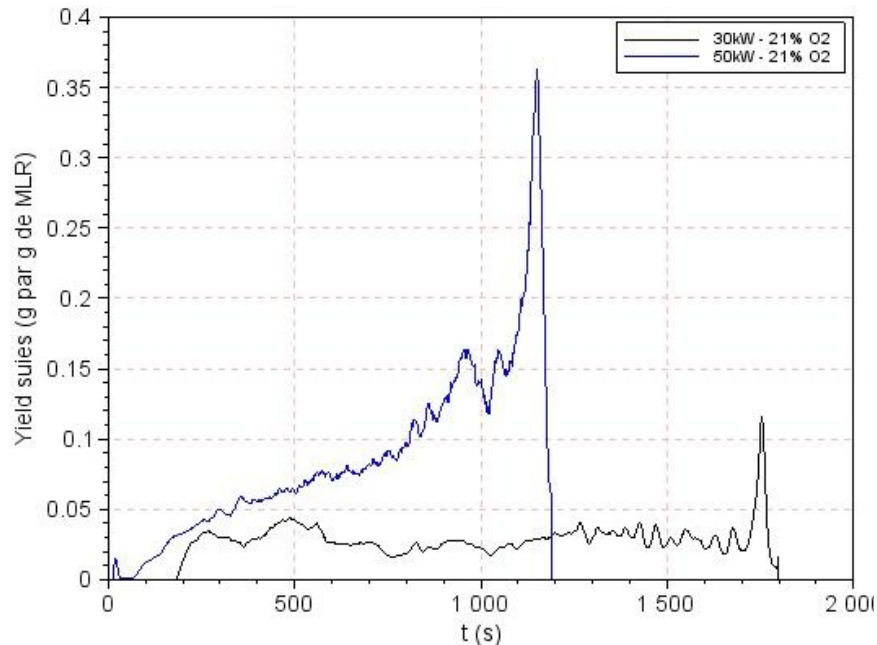
Diamètre d'une particule primaire

- Principe: mesure de la mobilité électrique des particules
- En amont, les particules sont chargées électriquement
- La charge absorbée par la particule dépend de sa taille
- En aval, une colonne d'électrodes détecte les particules à différentes distances

- Quantification de la production de suies lors des essais réalisés**

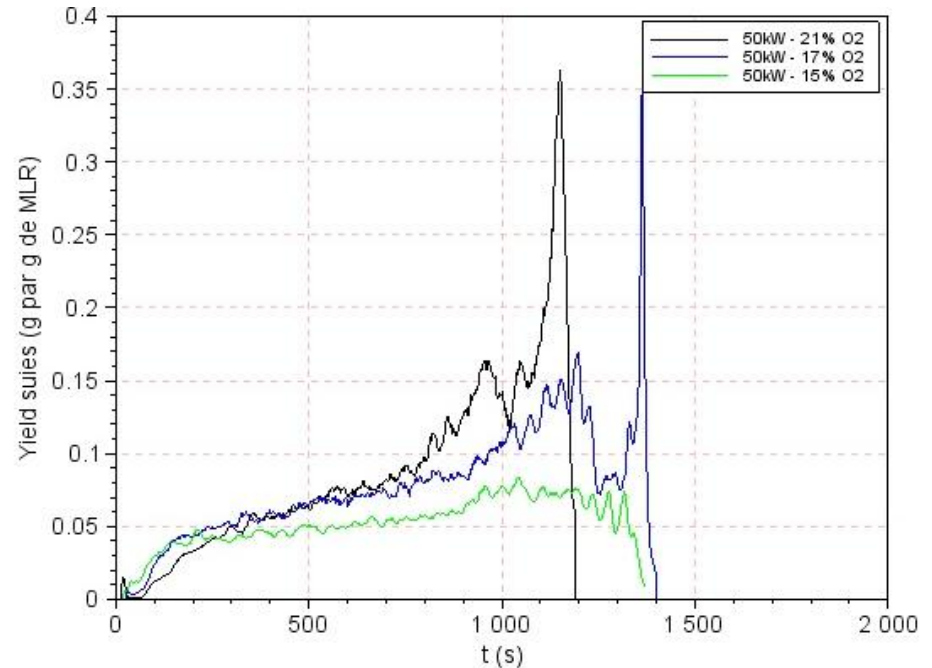
Production ('Yield') de suies, définie par :
masse de suies produite par unité de masse du combustible perdue

Entre 30kW et 50kW à 21% d'O₂



- Inflammation plus lente dans le cas de 30kW
- Le cas de 50kW produit plus de suies que 30kW
- A 50kW, la production des suies augmentent dans le temps alors qu'elle reste stable pour le cas de 30kW.

Entre 21%, 17%, et 15% d'O₂ à 50kW

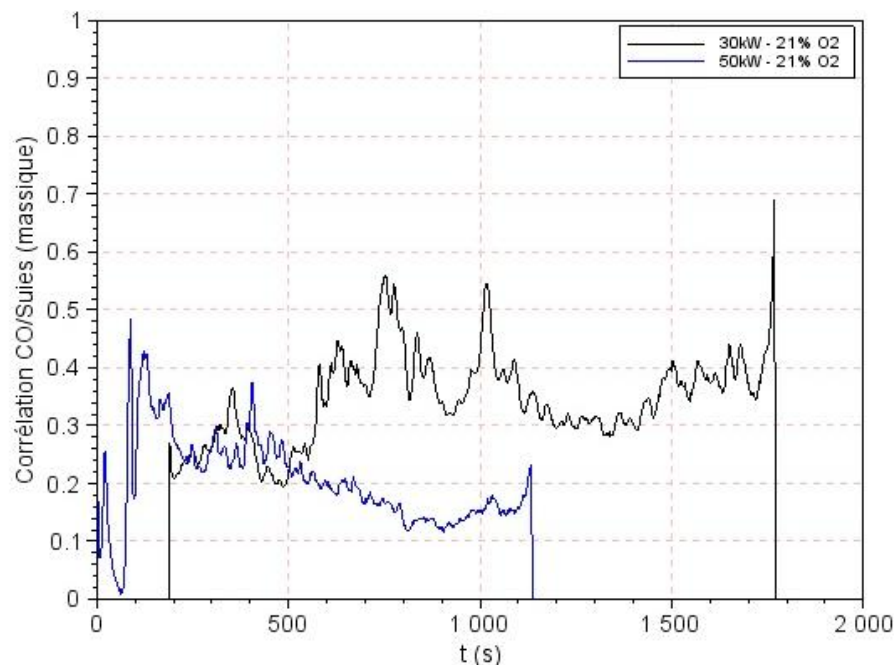


- La production des suies est quasi-similaire au début des essais (jusqu'à 400s)
- Après, une concentration d'O₂ plus grande produit une plus grande 'yield' de suies.

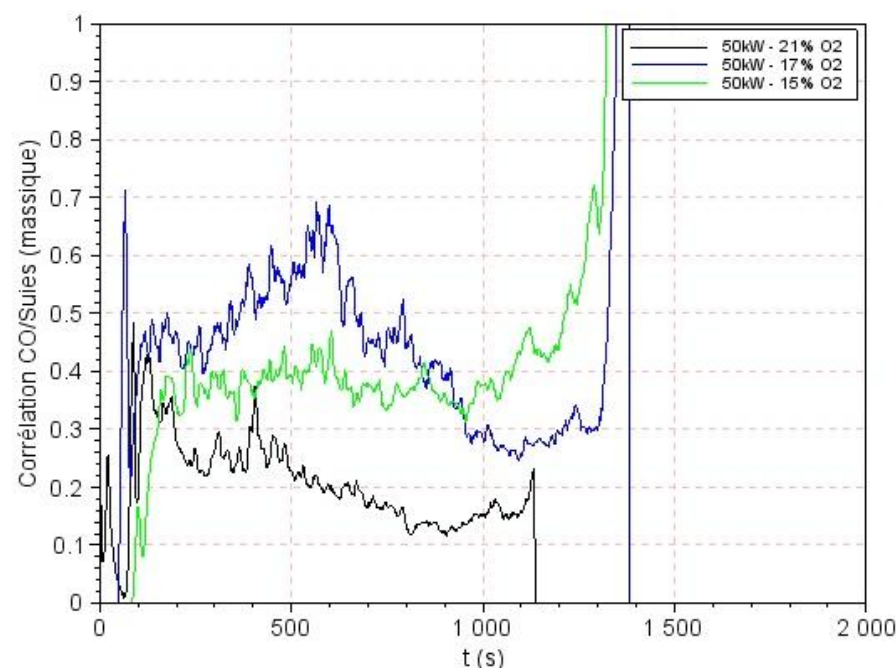
- **Corrélation « CO (masse) / Suies (masse) »**

Détermination de la masse de CO produite par unité de masse de suies produite

Entre 30kW et 50kW à 21% d'O₂



Entre 21%, 17%, et 15% d'O₂ à 50kW



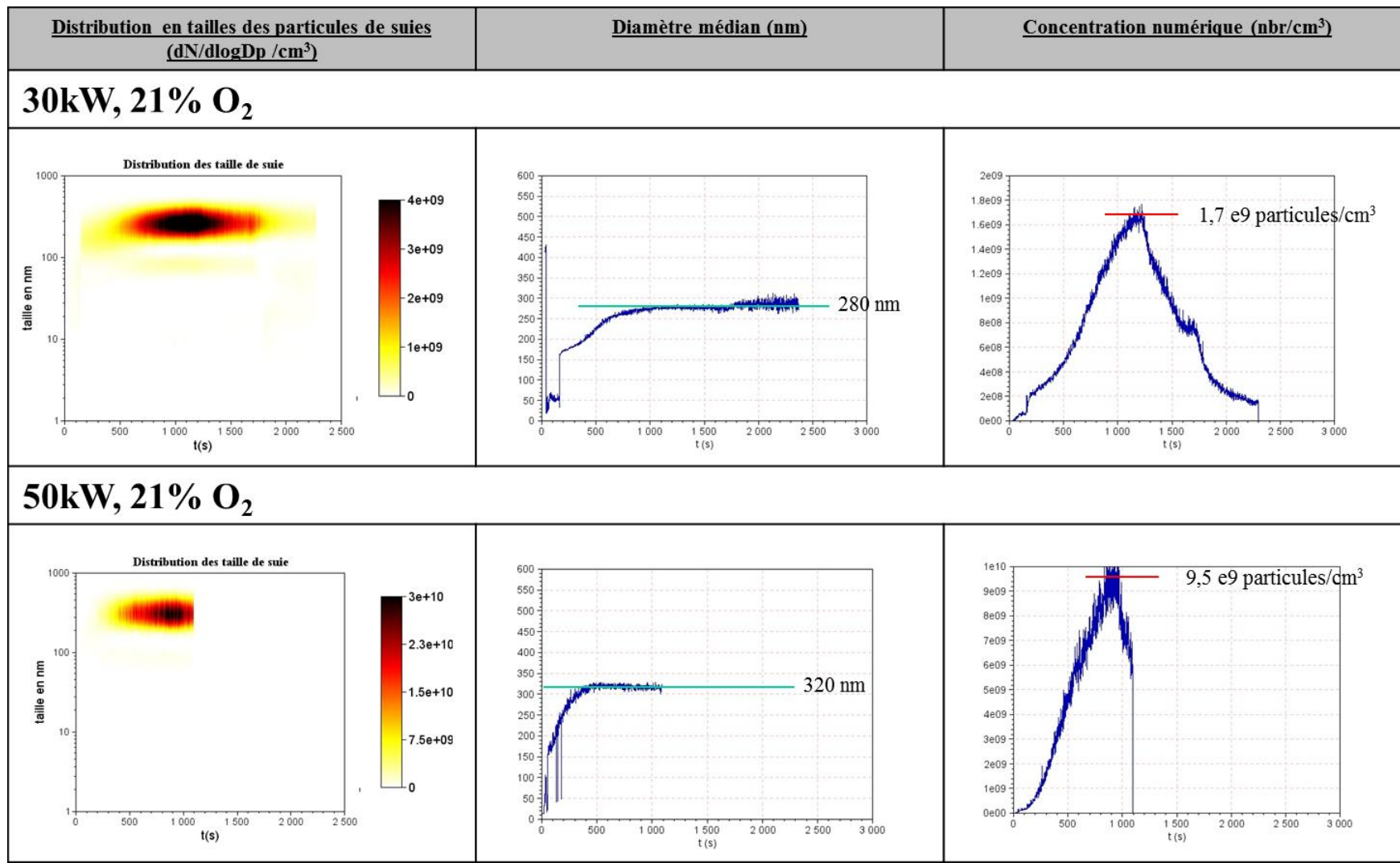
Compte tenu de la reproductibilité, on ne trouve pas une grande différence entre les essais

Dans la littérature, on trouve ces valeurs pour les cas bien-ventilé (richesse < 1):

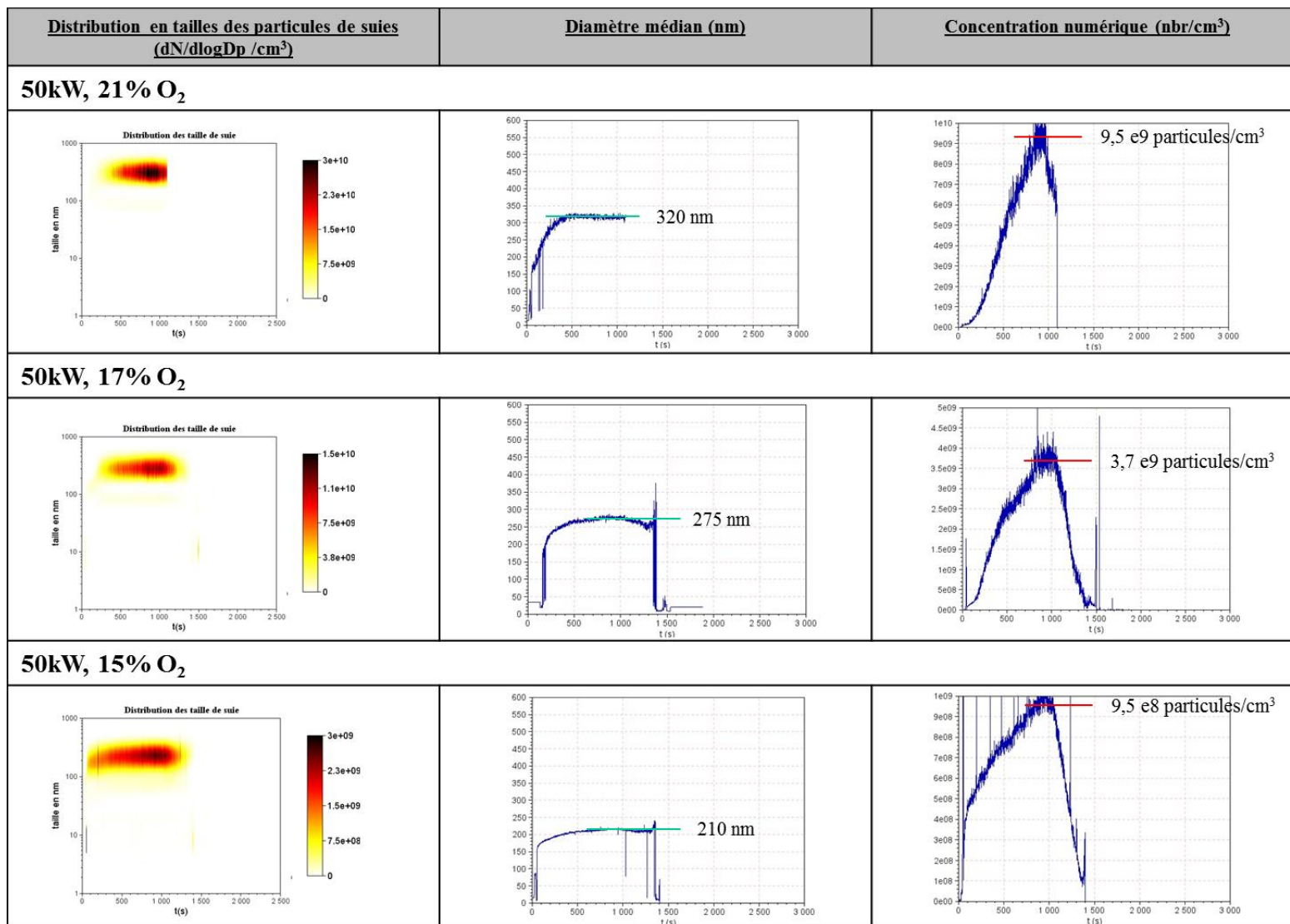
- Koylu 1991: overfire, CO/suies = 0.37
- Tewarson 2009: CO/suies pour le PE environs = 0.3

Nos valeurs sont proches de la littérature.

- Comparaison d'essais effectués à 30 et 50 kW/m² sous 21% d'O₂



- Comparaison d'essais effectués à 50 kW/m² sous 15,17 et 21% d'O₂





- **Conclusions et perspectives**
- ✚ Afin d'étudier l'influence de la ventilation sur la dégradation, nous avons convenu de :
 - Travailler avec un débit d'entrée de 140 L/min.
 - Effectuer des essais sous des concentrations d'O₂ de 4,5, 15, 17 et 21%.
- ✚ Afin de développer cette étude et de pleinement comprendre l'effet de la sous-ventilation nous devons effectuer des bilans carbone en prenant en compte les essais effectués avec le CORIA.
- ✚ Les prochains essais à effectuer porteront sur la pyrolyse des liquides en atmosphère confinée : heptane et dodécane.
- ✚ Nous pourrons ainsi effectuer des essais en caisson 8 m³ et donc pouvoir étudier l'effet du changement d'échelle sur la pyrolyse en atmosphère bien ou sous ventilée.

Merci de votre attention!