

## Investigation expérimentale des processus hétérogènes mis en jeu lors de la décomposition thermique et la **COMBUSTION D'UN MILIEU POREUX DE LIGNITE**



Présentée le 02/07/2021 par

**Safae KELLALI** (Doctorante Institut PPRIME depuis le 01/11/2019)

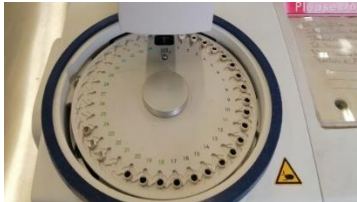
Encadrée par **Pr. Thomas Rogaume, Dr. Franck Richard, Dr. Pierre Cremona, Dr. Benjamin Batiot**



Feux de cheminée

**Résolution :  
Approche multi-échelle**

Echelle de la matière



ATG/DSC (0 D, qlq mg)

Petite échelle



Cône Calorimètre (CC) et Cône Calorimètre à Atmosphère Contrôlée (CCAC) (1 D, qlq g)



Echelle intermédiaire  
Echelle réelle (conduit)

- Définition du Lignite comme matériau d'étude, Essais en ATG et en Cône calorimètre et comparaison avec les vrais dépôts [1]
- Etude expérimentale de la décomposition thermique du lignite à l'échelle de l'ATG sous N2 et sous air
- Implémentation des nouveaux modèles de pyrolyse sous PATO
- Validation des modèles et détermination des paramètres cinétiques des réactions de pyrolyse
- Détermination expérimentale des données d'entrée du modèle de pyrolyse  
Essais en ATG/DSC
- Modélisation de la pyrolyse sous PATO (cône calorimètre, 1D)

**Campagne expérimentale à l'échelle du cône calorimètre :  
Etude 1D sous différentes conditions (atmosphère, puissance, porosité...) des processus hétérogènes  
mis en jeu lors de la décomposition thermique et la combustion d'un milieu poreux du lignite**

Campagne expérimentale (tests à l'échelle intermédiaire et réelle)

Complexité des phénomènes physicochimiques  
tendance vers les conditions réelles

➤ **Objectif** : Etude de la décomposition thermique dans des conditions permettant une représentativité des feux au sein des conduits (dynamiques d'écoulement, conditions d'oxygénation, etc.)

- ❑ Partie 1. Etude expérimentale de la décomposition thermique du lignite sous différentes conditions (atmosphère inerte et oxydante, différentes porosités, faible et grande puissance...)

*Enjeu* : investiguer l'influence de la porosité sur le phénomène.

- ❑ Partie 2. Campagne expérimentale sous différentes atmosphères, puissances et pour différentes porosités avec un front de gaz traversant allant à contre-courant du front de pyrolyse

*Enjeu* : investiguer l'influence de la porosité et caractériser l'effet des réactions hétérogènes et des réactions d'oxydation

- ❑ Partie 3. Analyse comparative des résultats de la première et de la deuxième campagnes expérimentales

*Enjeu* : dégager le rôle que peuvent avoir la porosité et les réactions d'oxydation sur l'accélération de la combustion hétérogène

**Appareil utilisé :** cône calorimètre à atmosphère contrôlée



### Conditions expérimentales

Mesures	Atmosphère	Puissance (kW/m <sup>2</sup> )	Lignite
Masse	Air & N <sub>2</sub>	20	Bloc
Température			Poudre
Analyses des gaz (FTIR)		40	Taille intermédiaire (entre vrac et poudre)
			Vrac

### Mesures effectuées

Porte échantillon en inox isolé du bas (silicate) et des côtes (laine)

mesure\_Δm



mesure\_ΔT



Analyses des gaz (FTIR)



### 4 mesures de T :

- TC 5mm au-dessous de la grille
- TC 5mm au-dessus de la grille
- TC 2cm au-dessus de la grille
- TC 3,3cm au-dessus de la grille

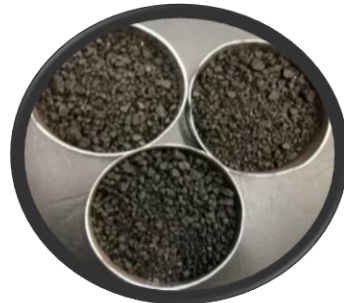
### Granulométrie



Bloc



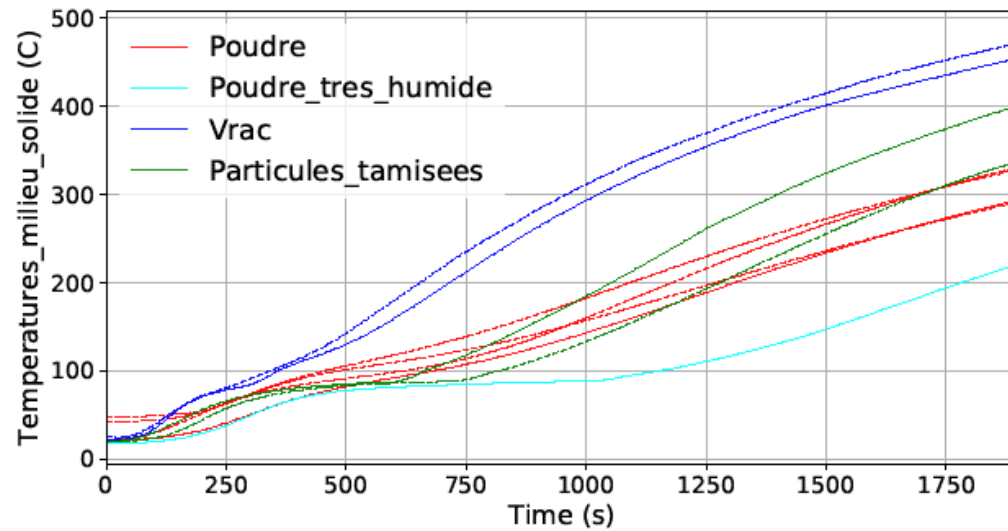
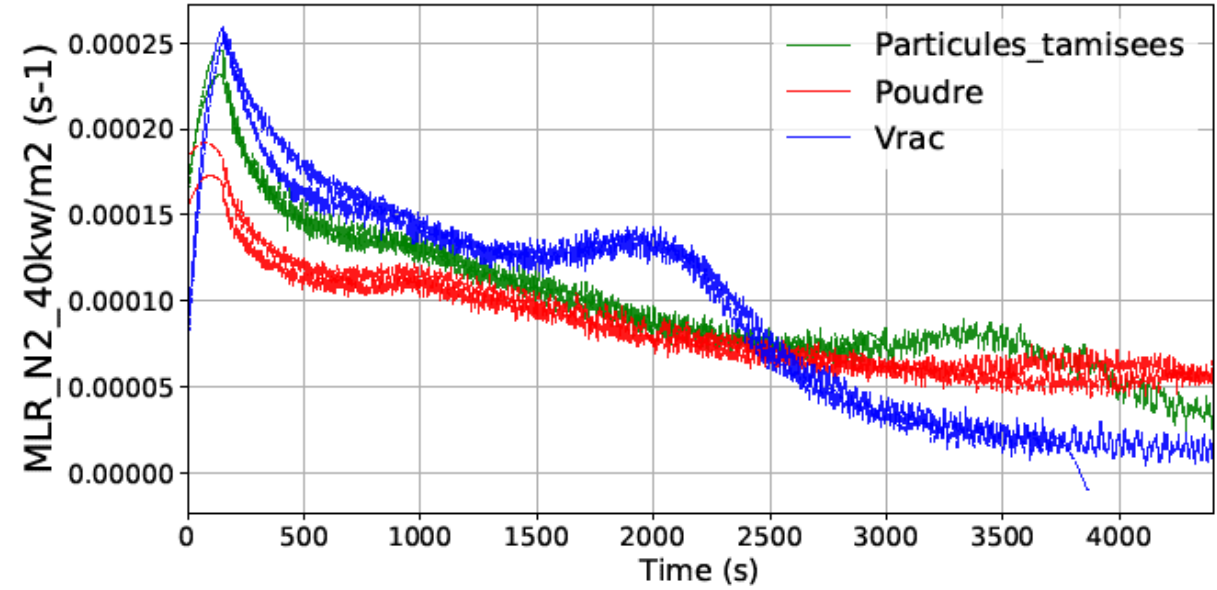
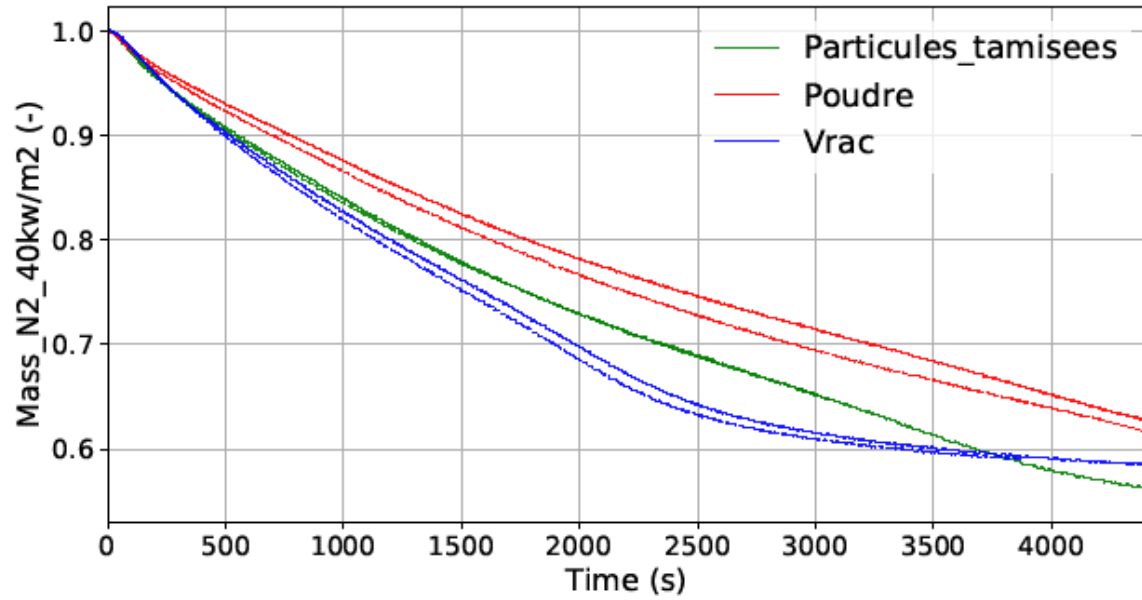
Poudre fine



Taille intermédiaire



Vrac



## Décomposition thermique du lignite (cône calorimètre modifié) avec un front de gaz traversant allant à contre-courant du front de pyrolyse

**Appareil utilisé :** cône calorimètre à atmosphère contrôlée (modifié)

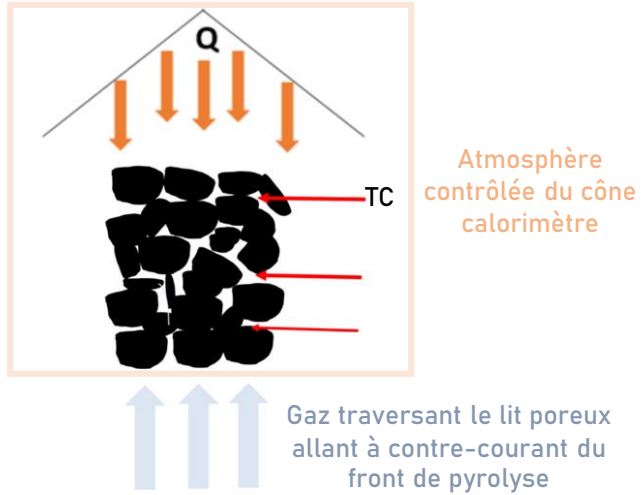


Figure1 : schéma du banc d'essai

### Conditions expérimentales

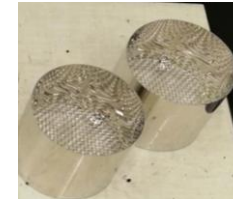
Tests & Mesures	Atmosphère	Puissance (kW/m <sup>2</sup> )	Lignite
<b>Tests de caractérisation du banc CGT (cône gaz traversant):</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Opérationnalité de la balance à vide (sans échantillon) : dérive de masse à froid , à chaud (grande puissance)</li> <li>✓ Mesures de températures à vide ( sans échantillon)</li> <li>✓ Mesures de vitesse de gaz / débit de gaz (thermo-anémomètre à fil chaud VT110)</li> <li>✓ Tests avec différentes configurations afin de dégager l'effet du gaz traversant le lit poreux à contre courant du front de pyrolyse</li> </ul>			
Masse	Air, 18% O <sub>2</sub> , 10% O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	20	Particules tamisées
Température			
Analyses des gaz (FTIR)		40	Vrac

### Mesures effectuées

Analyse détaillée de l'inflammation



mesure\_Δm



mesure\_ΔT



Analyses des gaz (FTIR)



### 4 mesures de T :

- TC 5mm au-dessus de la grille
- TC 5mm au-dessus de la grille
- TC 2cm au-dessus de la grille
- TC 3,3cm au-dessus de la grille

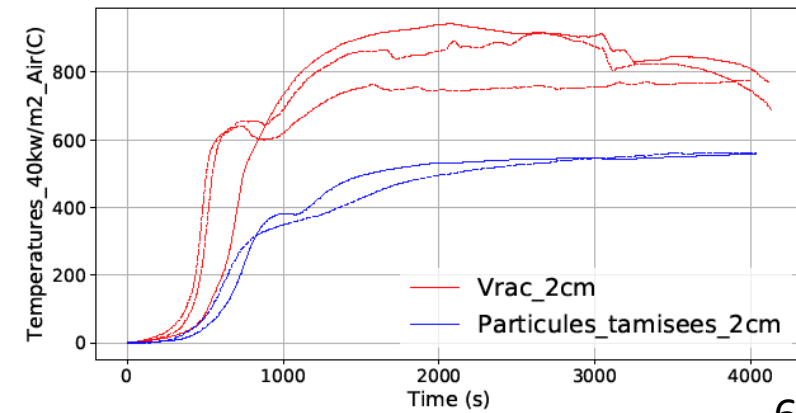
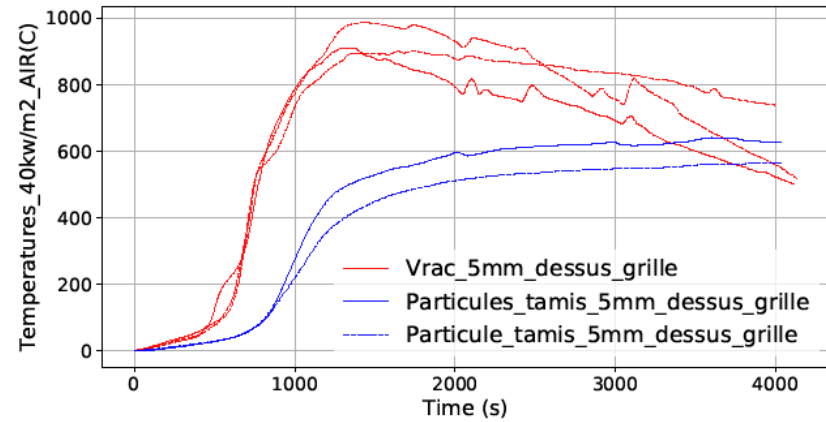
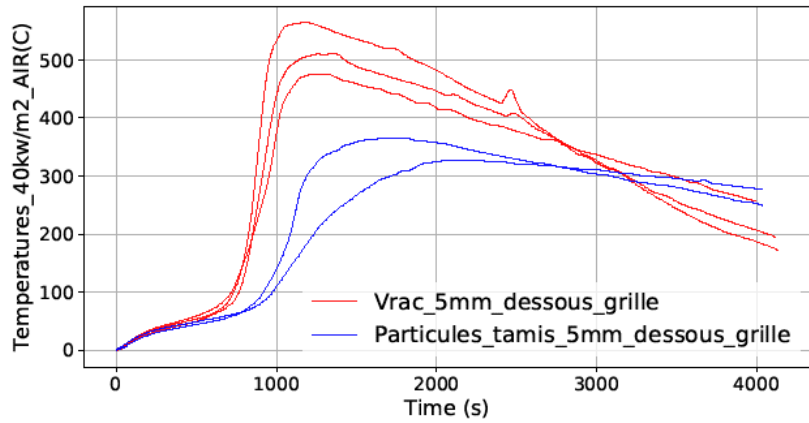
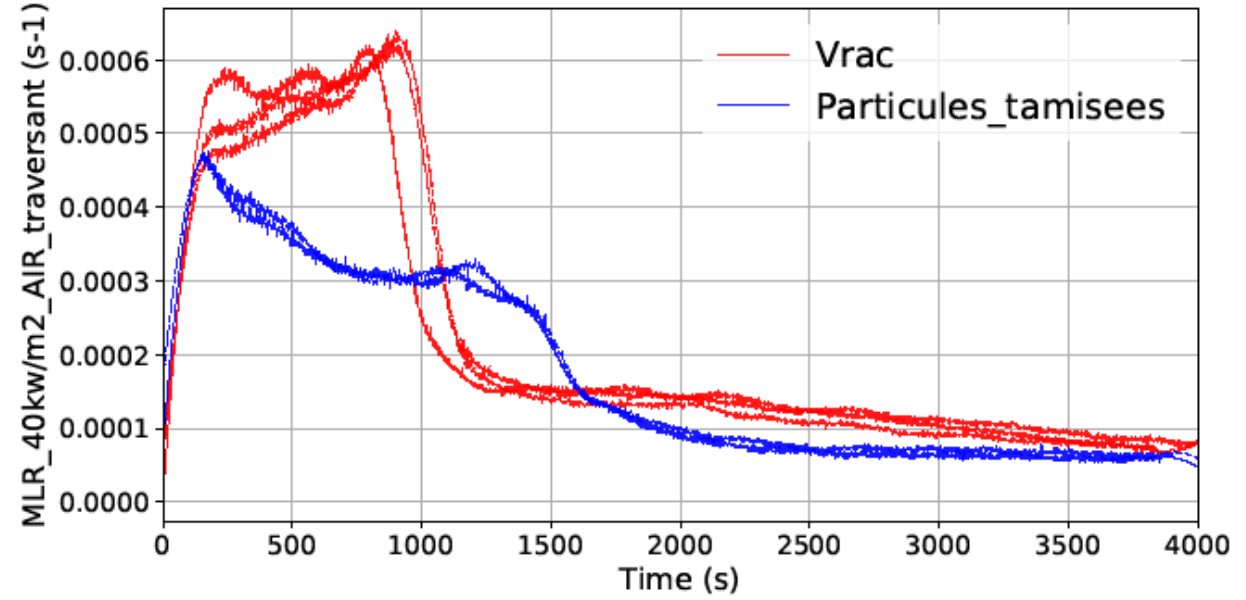
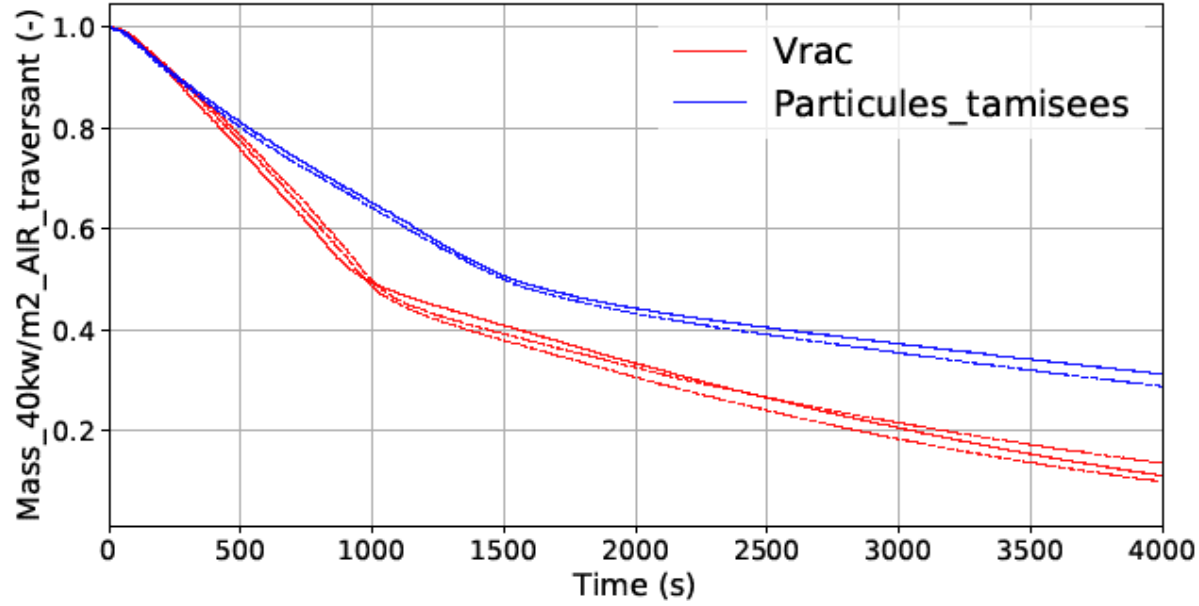
### Granulométrie



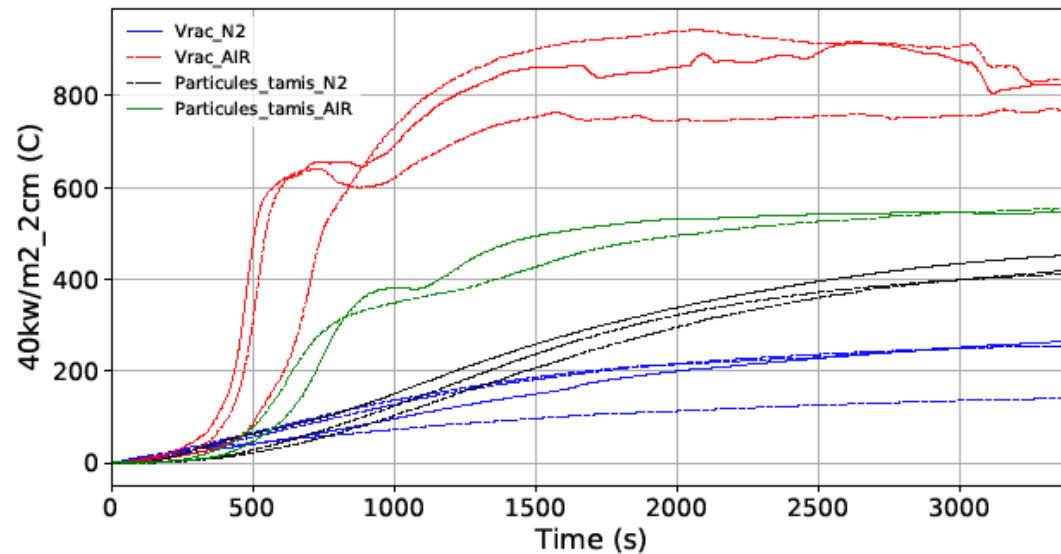
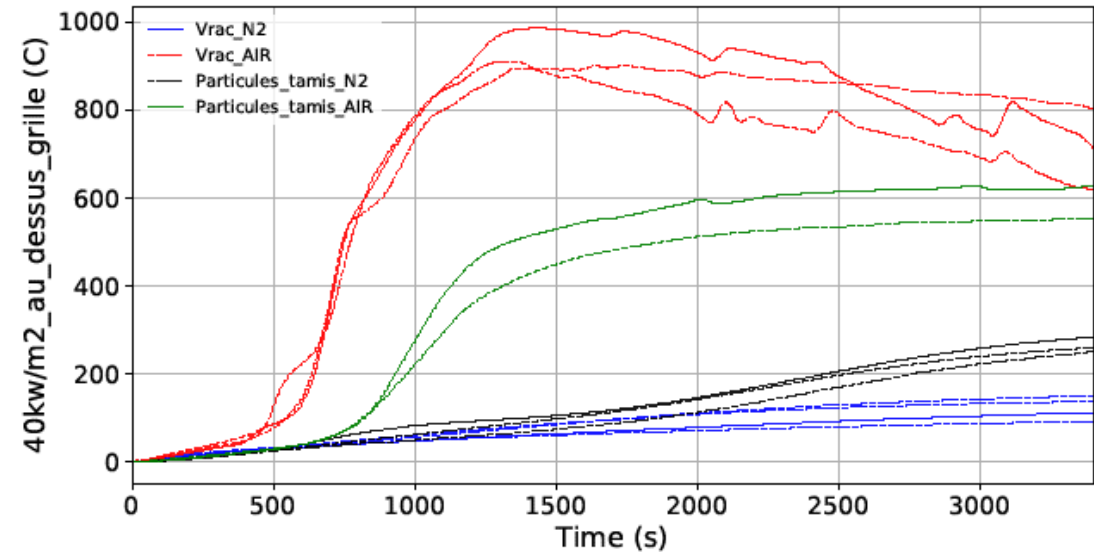
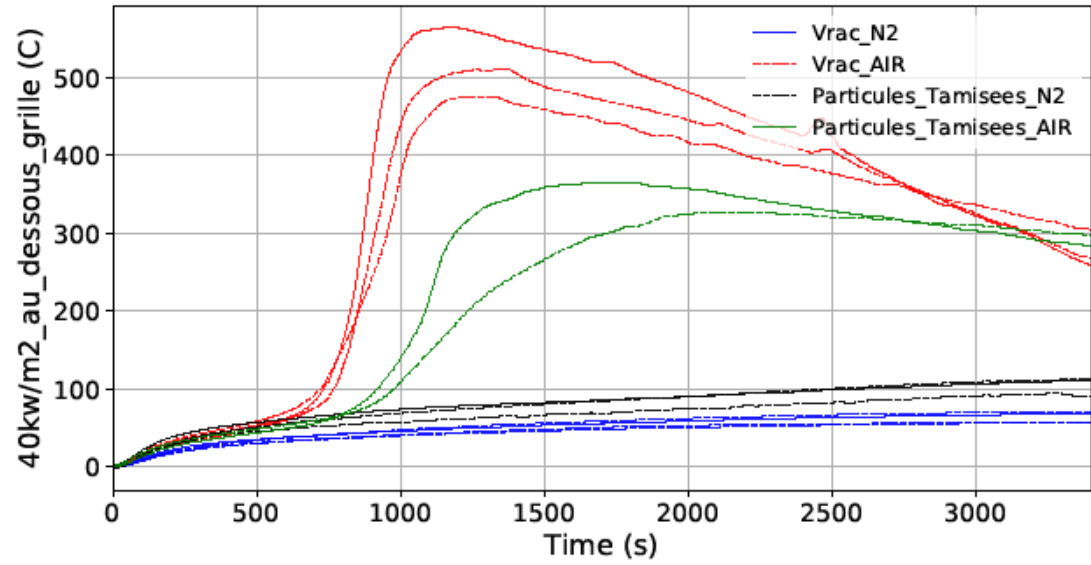
Vrac



Particule tamisées

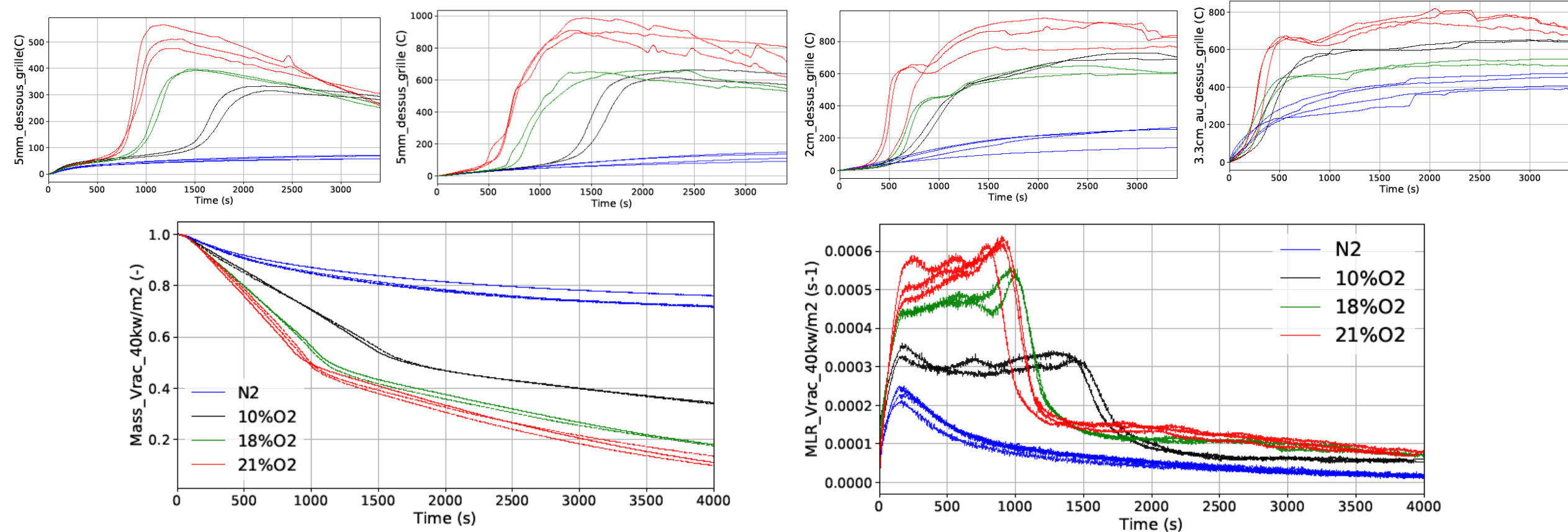


## Porosité, influence de l'atmosphère et nature du gaz traversant





$$\Delta m \leftrightarrow \Delta T$$



### Sous atmosphère oxydante, la MLR comporte 3 pics :

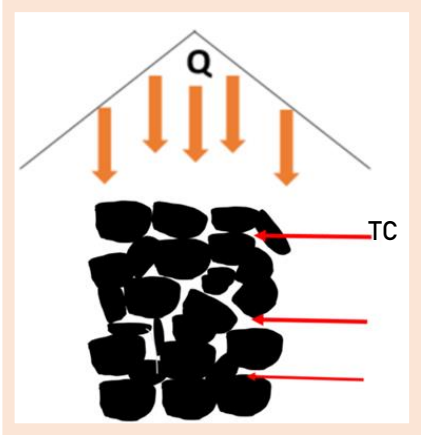
- Pic 1 : Décomposition des aliphatiques. Les niveaux de T°C sont au dessous de 500°C, voir mesures des T(°C) correspondantes à ces tests
- Pic 2 : Décomposition des aromatiques, composants ne pouvant se décomposer qu'à partir des niveaux de températures dépassant 500°C (voir mesures T°C)
- Pic 3 : Moment d'inflammation

**Sous N<sub>2</sub>, la MLR comporte 1 seul pic :** Décomposition des aliphatiques (voir niveaux de températures atteints).

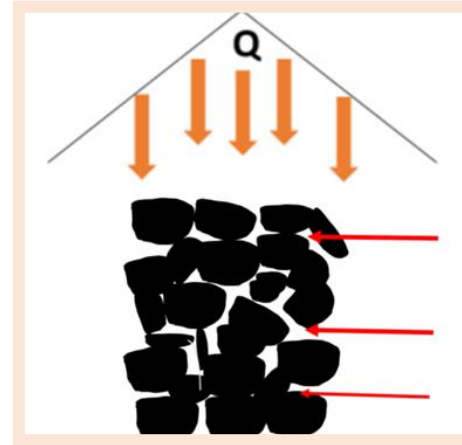
Test	Temps d'inflammation
40kW/m <sup>2</sup> _AIR_Vrac	900 sec
40kW/m <sup>2</sup> _Vrac_% 18 d'O <sub>2</sub>	1020 sec
40kW/m <sup>2</sup> _Vrac_% 10 d'O <sub>2</sub>	1860 sec

# Effet de l'air traversant à contre-courant du front de pyrolyse

VS



- Pas d'inflammation ou quelques petites flammelettes à la surface de l'échantillon



Atmosphère contrôlée du cône calorimètre

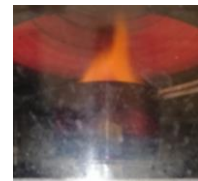
Gaz traversant le lit poreux allant à contre-courant du front de pyrolyse

## Test\_vrac\_air\_traversant\_40kw/m2

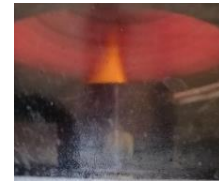
- À 11h00: Début de test
- À 11h16 : Inflammation, flamme haute dépassant les spirales
  - À 11h30 : la hauteur de flamme commence à diminuer
- De 11h55 à la fin du test : Petites flammelettes à la surface de l'échantillon



À 11h20



À 11h33



À 11h51



À la fin du test

## Test\_vrac\_air\_traversant\_20kw/m2

- À 12h59: Début de test
- À 13h20: Inflammation après 21 min



À 13h20



À 13h22



À 13h26



À 13h31



À 13h41

## Test\_vrac\_18%O2\_traversant\_40kw/m2

- À 11h53: Début de test
- À 12h10 : inflammation après 17 min



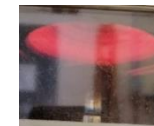
À 12h10

## Test\_vrac\_10%O2\_traversant\_40kw/m2

- À 12h35: Début de test
- À 13h06 : Inflammation après 31 min, flamme ne dépassant pas les spirales, couleur "transparente" de flamme



À 13h07



À 13h09

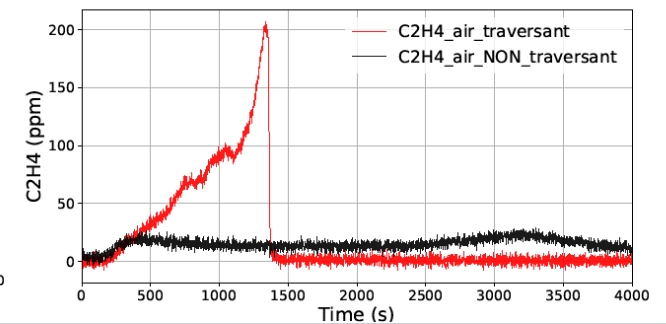
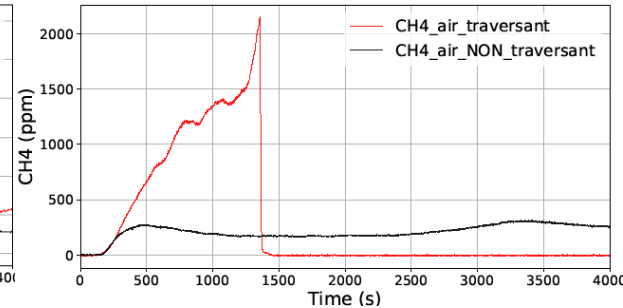
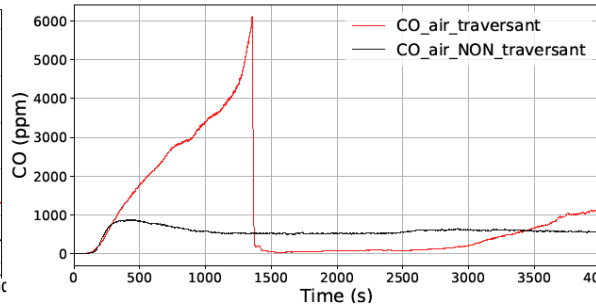
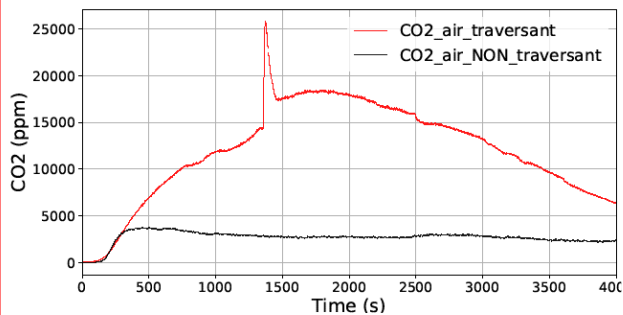
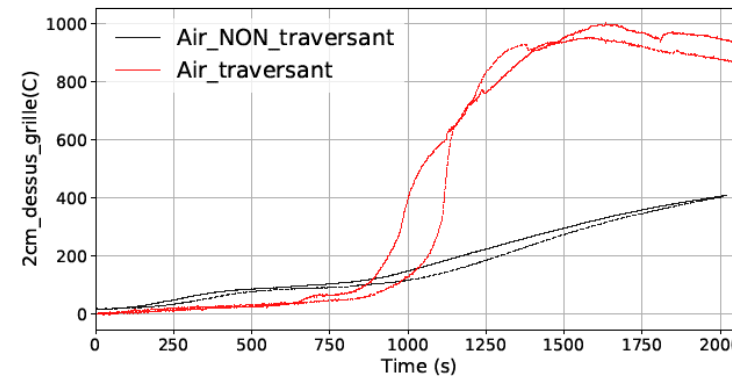
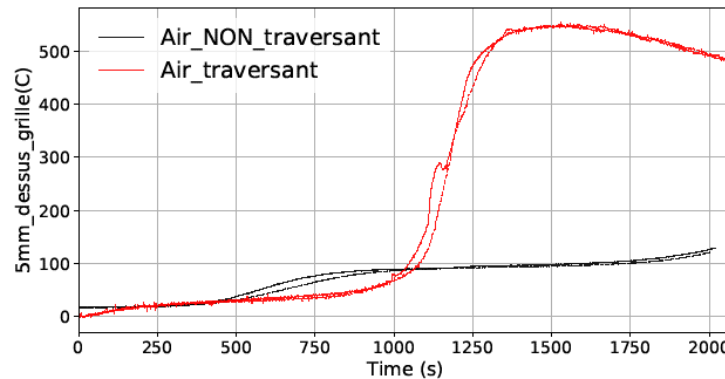
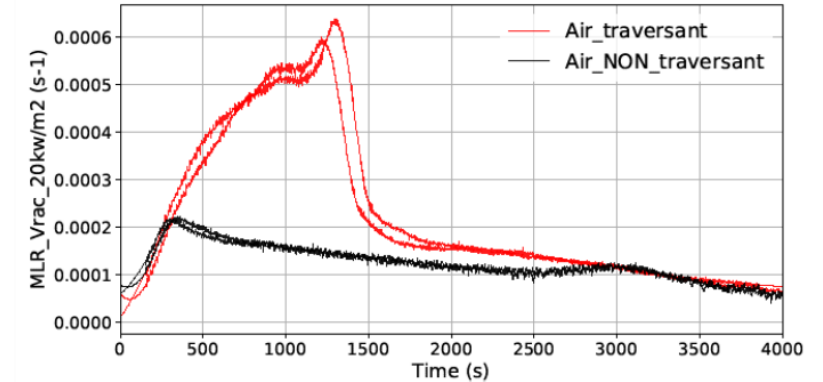
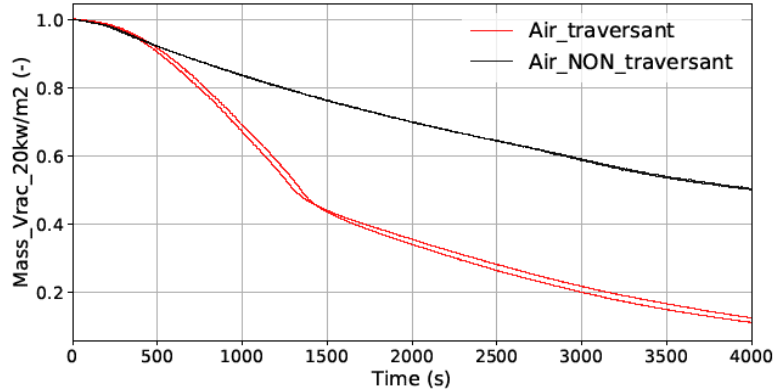
## Test\_particuletamisee\_AIR\_traversant\_40kw/m2

- À 11h47: Début de test
- À 12h22: Inflammation, uniquement des petites flammelettes à la surface



À 12h22

### Perte de masse, températures et émissions gazeuses



- Influence de la porosité et caractérisation de l'effet des réactions hétérogènes et des réactions d'oxydation en zone gazeuse (essais en CCAC modifié)
  - La porosité et les réactions d'oxydation peuvent avoir un rôle important dans l'accélération de la combustion hétérogène

## Perspectives

### Scientifiques

- Approche scientifique et quantitative pour caractériser un milieu poreux de lignite
- Une meilleure compréhension de la pyrolyse du lignite sous atmosphère oxydante et de la combustion hétérogène d'un milieu poreux de Lignite



- Etude de la porosité à l'échelle intermédiaire (conduit)
- Comparaison entre les résultats d'essais en CCAC modifié et les essais à l'échelle semi-réelle

### Industrielles

- Campagne expérimentale (tests à l'échelle intermédiaire et réelle) afin de répondre à la question suivante :



**Quelles sont les conditions d'inflammations des dépôts dans un vrai conduit de cheminée ?**

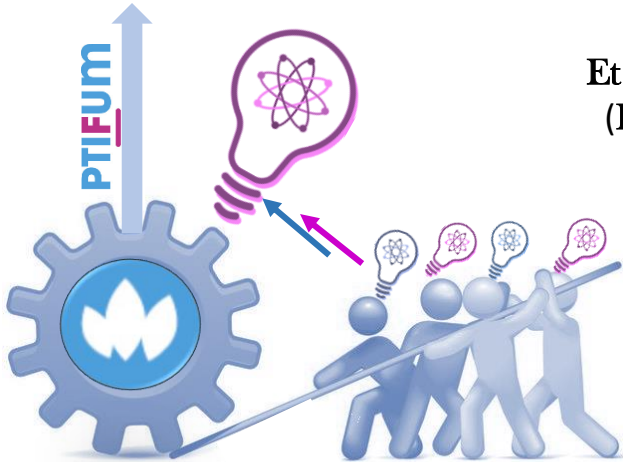
OPTIFUM's goals:



- Better understanding of CHIMNEY FIRES
- Ensuring your **safety** by keeping it under control !!

# Merci pour votre attention !!

Et merci à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail  
(Equipe « Combustion Hétérogène et Milieux Poreux & OPTIFUM ») !!!



# OPTIFUM