

# TURBOPLASMA® :

Destruction de goudrons assistée par plasma thermique  
Bio-E 2009



# Contexte

Biomasse, déchets



Gazéification

Gaz de synthèse

**Turboplasma®**

Goudrons, poussières



*Pouvoir énergétique de la torche : craquage thermique des goudrons, gazéification du char*

Valorisation



# Présentation du programme

**Turboplasma<sup>®</sup>** : réacteur de craquage thermique des goudrons utilisant l'apport énergétique de la torche à plasma.

## Développement expérimental :

- Démontrer la maîtrise industrielle de la qualité de gaz de synthèse
- Lever des verrous de réalisation

### ENJEU Scientifique 1

Obtenir un bon couplage entre la veine de gaz combustible et un jet plasma, optimisation des échanges thermiques.

### ENJEU Scientifique 2

Assurer une intégrité et une durabilité de la paroi réfractaire compte tenu de l'ambiance chimique et des contraintes thermo-mécaniques .

### ENJEU Scientifique 3

Evaluer les performances du procédé de destruction des goudrons assisté par plasma .



# Tache 1 : analyseur de goudrons

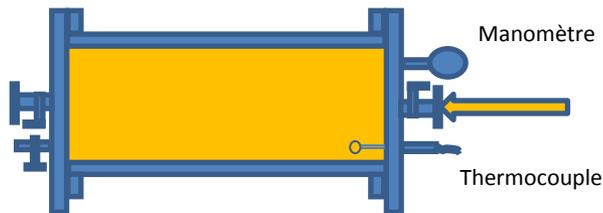
## PROBLÉMATIQUE :

**Développer un moyen d'analyser la teneur en goudrons adaptée à des conditions industrielles :**

- Réduire l'analyse des goudrons à quelques composés traceurs
- Obtenir les résultats en un temps acceptable
- Développer un système de prélèvement adapté aux différentes conditions de prélèvement (T et P)

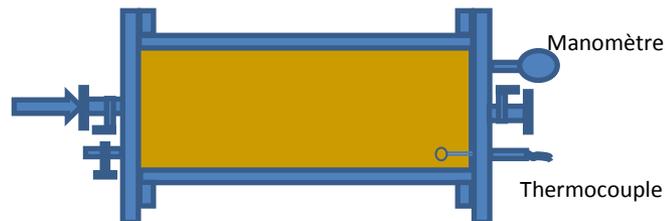
# Tache 1 : analyseur de goudrons

## PRINCIPE D'ÉCHANTILLONNAGE :



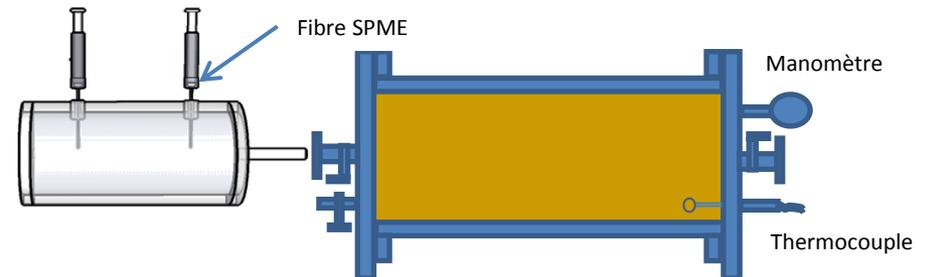
**Prélèvement des gaz procédé à partir de la conduite principale par vide primaire dans le canister**

**$P > P_{atm}$  par ajout de  $N_2$**   
**Le contrôle de la pression**  
**=> facteur de dilution**  
**de l'échantillon**



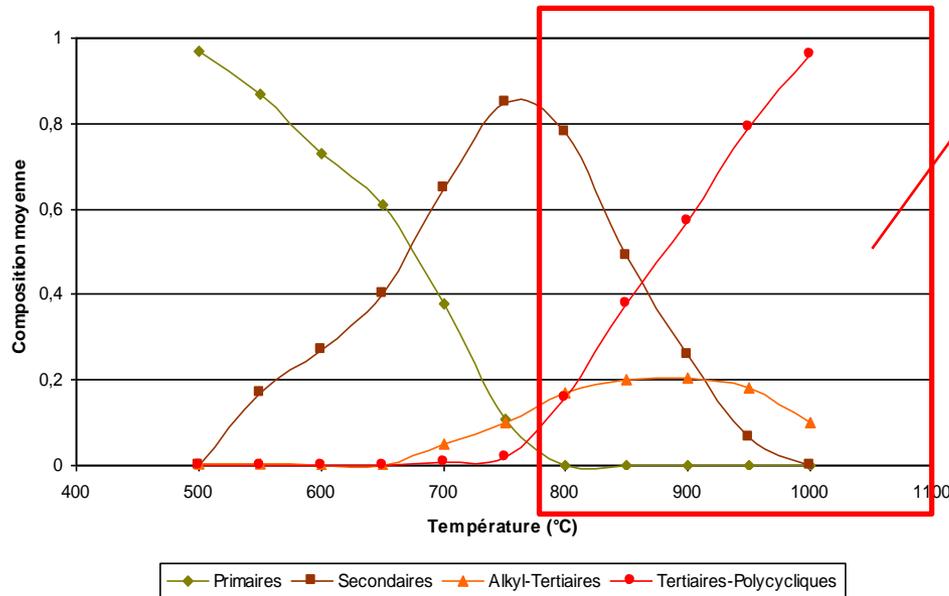
**Le refroidissement des gaz abaisse la pression dans le canister.**

**Le gaz est transféré vers une ampoule d'échantillonnage thermo statée pour l'exposition de micro fibres qui seront ensuite analysées directement par désorption thermique en GCMS**



# Tache 1 : analyseur de goudrons

## CHOIX DES COMPOSÉS TRACEURS :



**Les composés traceurs choisis devront appartenir à la classe des goudrons secondaires ou tertiaires.**

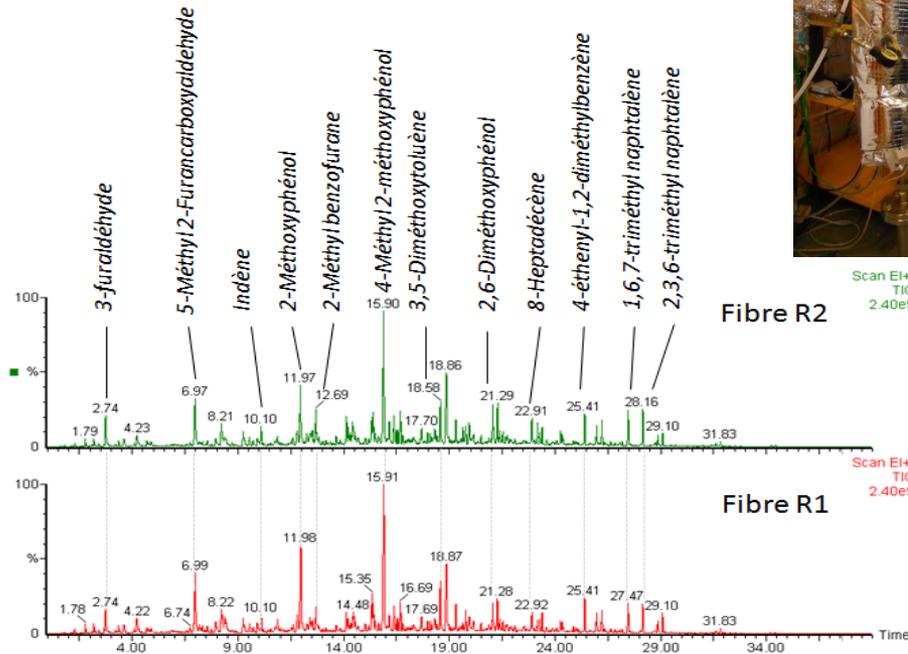
- Vérification de la présence de divers composés déjà détectés lors de nos précédentes études
- Composés ciblés sont le benzène, le phénol, le phénol 2 méthoxy 4 méthyl, le 7 n octyl furane, le naphthalène ou l'antracène.

**A noter que les composés cités présentent des tensions de vapeur suffisantes pour être encore présents en phase vapeur après prélèvement et refroidissement des échantillons de gaz procédé.**

# Tache 1 : analyseur de goudrons

## TESTS EN LABORATOIRE :

Tests en laboratoire réalisés en collaboration avec le LaTEP :



- Couplage réacteur -thermobalance
- Couplage réacteur –système de prélèvement (ampoule+ fibre +pompe)
- Analyses GC/MS des fibres exposées

# Tache 2 : Torche à plasma

## TORCHE À PLASMA 300 kW : B0300

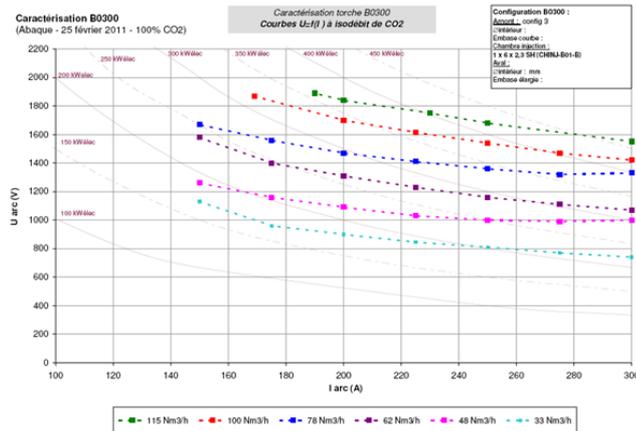
Conception lancée en 2006 pour les besoins du programme GALACSY (**G**azéification **A**llothermique de la **L**ignocellulose **A**ppliquée à la production de bio-**C**arburant de **S**ynthèse).

Plusieurs géométries testées avec plusieurs mélanges de gaz : les meilleurs résultats sont obtenus à l'air et au CO<sub>2</sub> pour la même géométrie

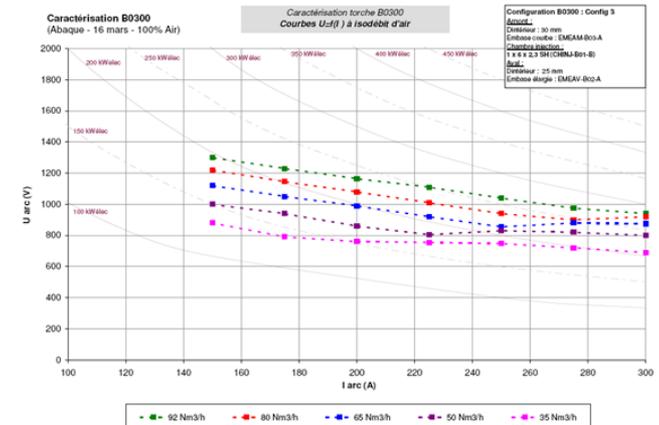


# Tache 2 : Torche à plasma

## QUALIFICATION DE LA TORCHE B0300 :



Torche B0300 fonctionnant au CO<sub>2</sub>

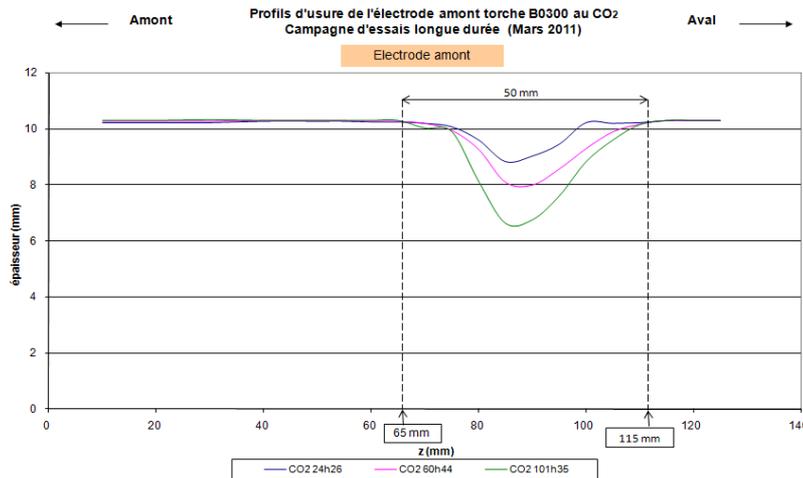


Torche B0300 fonctionnant à l'air

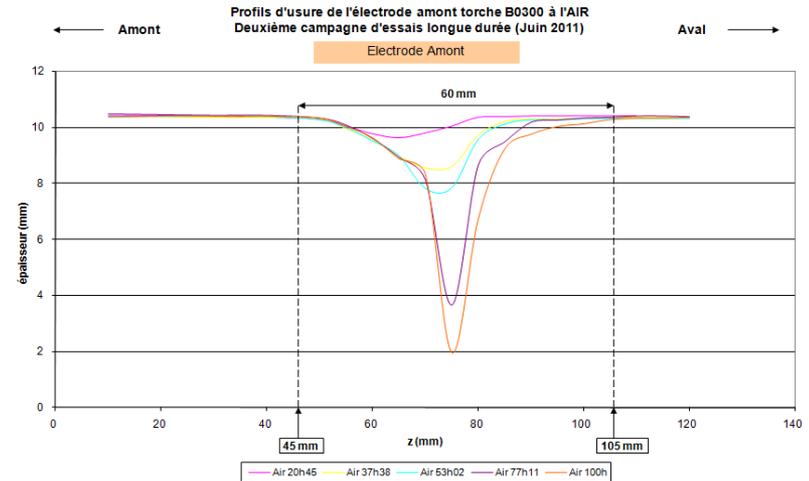
	CO <sub>2</sub>	Air
<b>Courant d'arc</b>	260 A	260 A
<b>Débit gaz*</b>	60 Nm3/h	115 Nm3/h
<b>Tension d'arc</b>	1150 V	1117 V
<b>Puissance électrique</b>	300 kW	300 kW
<b>Rendement</b>	80 %	77 %

# Tache 2 : Torche à plasma

## QUALIFICATION DE LA TORCHE B0300 :



*Profil d'usure de l'électrode amont de la torche B0300 au CO<sub>2</sub> en fonction du temps de fonctionnement de la torche*



*Profil d'usure de l'électrode amont de la torche B0300 à l'air en fonction du temps de fonctionnement de la torche*

Durée de vie de l'électrode amont : 100h garanties, voir 200h

# Tache 3 : Modélisation

## MODÈLE HOMOGENÈ

Utilisation d'un modèle cinétique homogène couplé à la mécanique des fluides numérique



Caractérisation du comportement interne du Turboplasma

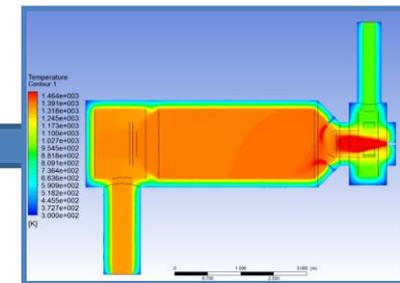
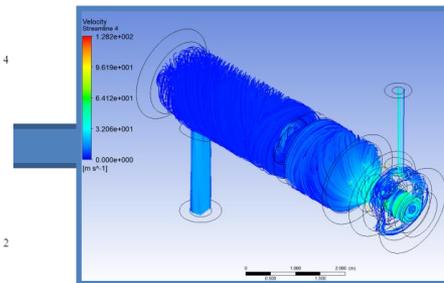
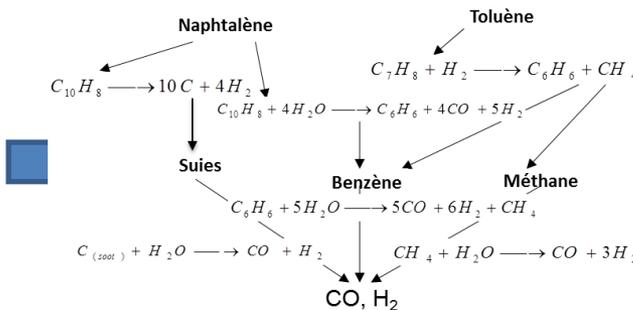
### Modélisation numérique :

- de l'écoulement du mélange gazeux
- des pertes thermiques
- des échanges thermiques internes
- des réactions chimiques dominantes



### Optimisation:

- des grandeurs physiques géométriques
- des matériaux utilisés
- des conditions opératoires nominales

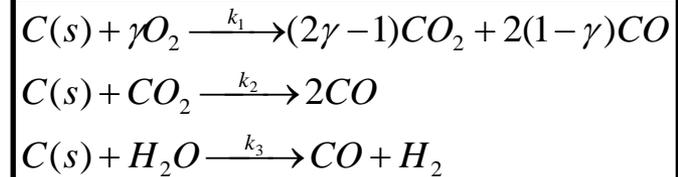
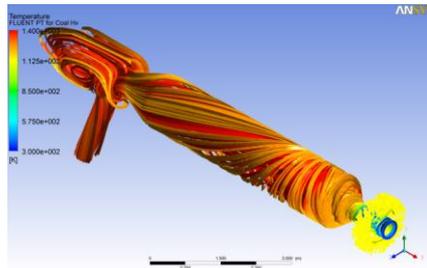


# Tache 3 : Modélisation

## OPTIMISATION DU MODÈLE : A - PHASE HÉTÉROGÈNE:

**Modélisation d'une phase discrète** → Caractérisation physique des particules solides (composition, granulométrie, porosité)

→ Ajout de 3 réactions hétérogènes (phase discrète)



**Obtention de nouvelles données**

- **Sur le modèle :**
  - Distribution gaussienne des particules inutile, diamètre uniforme
  - Réaction d'oxydation du char négligeable
- **Sur le comportement du réacteur :**
  - Trajectoires des particules
  - Gazéification du char : ↗ du PCI

# Tache 3 : Modélisation

## OPTIMISATION DU MODÈLE : B - PHASE HOMOGÈNE:

### Espèces prises en compte dans le modèle initial :

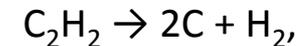
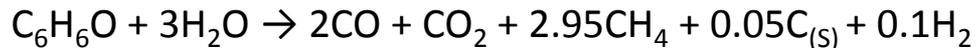
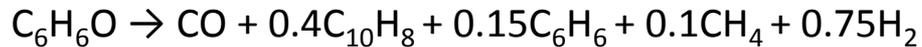
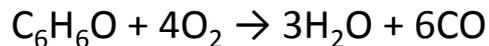
CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, O<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>

### Limites du modèle :

Concentration en CH<sub>4</sub> sur estimée

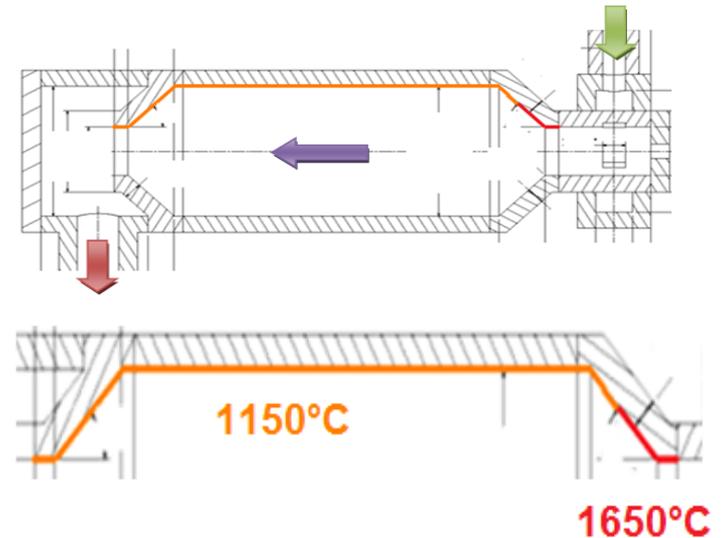
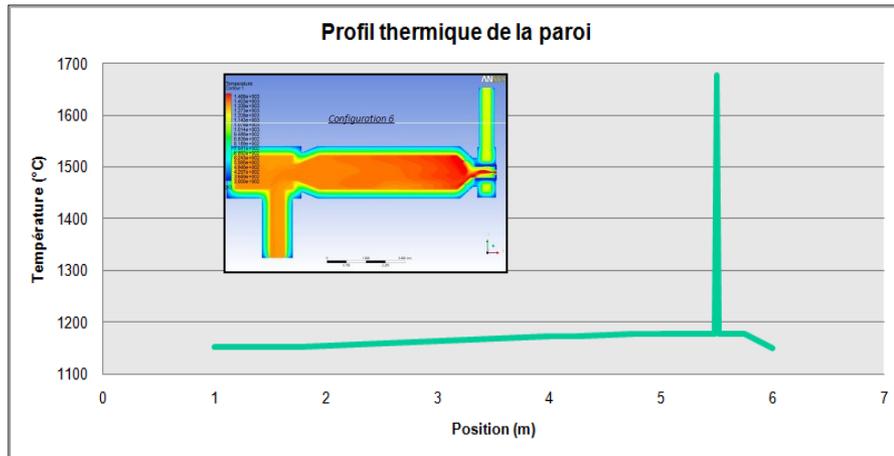
Production de suies sous estimée

### Ajout des réactions suivantes :



# Tache 4 : Paroi réfractaire

## CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

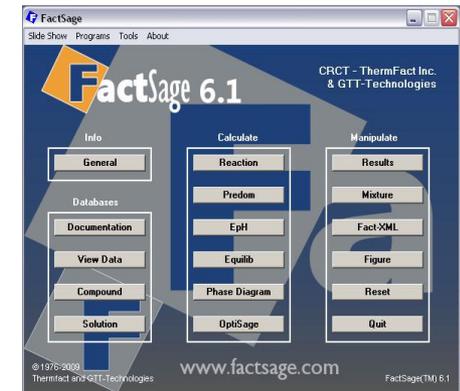
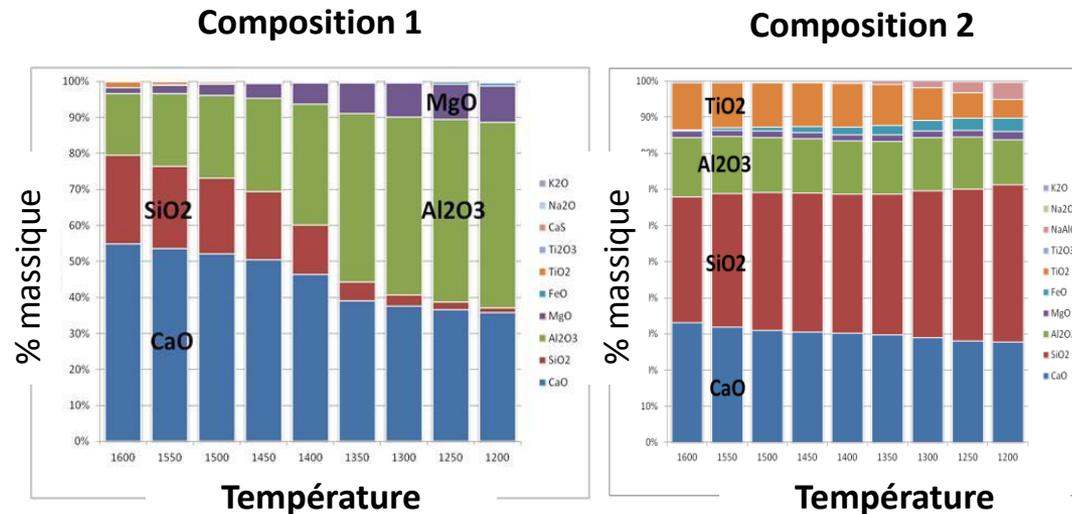


Profil thermique entre 1650°C et 1150°C => simulations thermochimiques

# Tache 4 : Paroi réfractaire

## CALCULS THERMODYNAMIQUES PAR FACTSAGE :

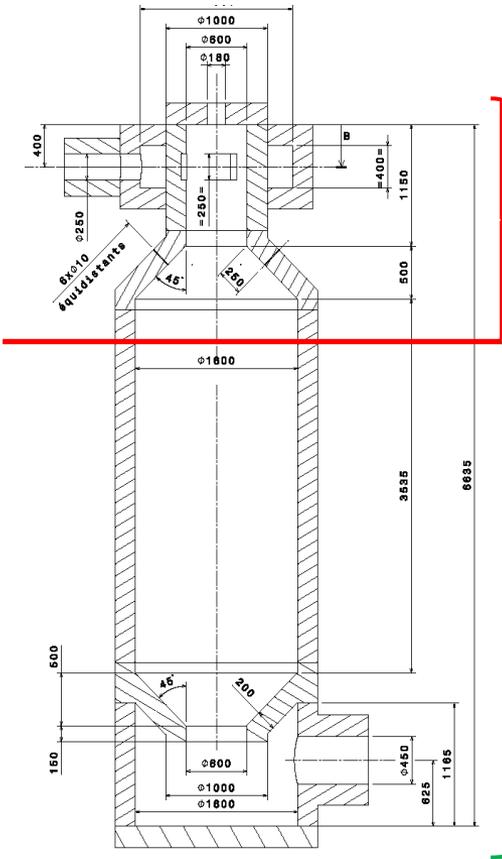
Calculs de la composition du laitier pour deux compositions de cendres :



- Composition 1: laitier riche en chaux et alumine : + agressif
- Composition 2: laitier riche en silice et en chaux : - agressif

# Tache 4 : Paroi réfractaire

## ESSAIS DE CORROSION DES RÉFRACTAIRES EN AUTOCREUSETS



Zone 1 : zone  
plasma et  
anneau oxydant  
=>T élevée (>  
1600°C)

Zone 2 : zone  
réactionnelle,  
Tmoyenne  
(1200°C)

**Choix de la composition des cendres  
pour les essais :**

Laitier obtenu par la simulation de la  
composition 1 :

**=> plus liquide = plus agressif**



2 températures d'essais:

-1600°C = laitier liquide

- 1400°C = limite liquidus

# Tache 4 : Paroi réfractaire

## ESSAIS DE CORROSION DES RÉFRACTAIRES EN AUTOCREUSETS À 1400°C

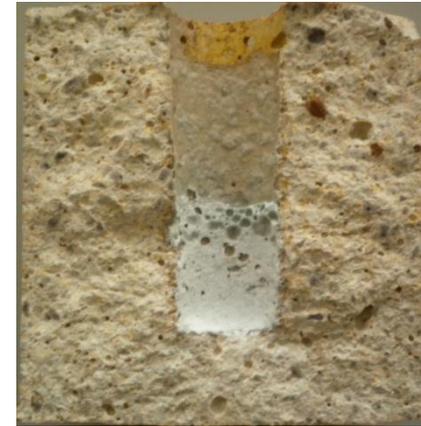
84%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 1,9%  $\text{SiO}_2$   
10%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$



96,5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 2,8%  $\text{CaO}$



61%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -35%  $\text{SiO}_2$



**A 1400°C pas de corrosion pour les trois compositions : le laitier est à la limite de sa température de liquidus**

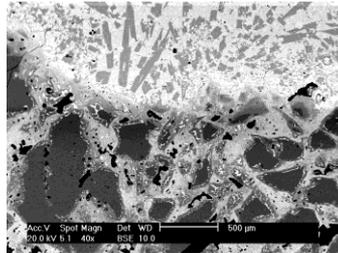
# Tache 4 : Paroi réfractaire

## ESSAIS DE CORROSION DES RÉFRACTAIRES EN AUTOCREUSETS À 1600°C

84%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 1,9%  $\text{SiO}_2$   
10%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$



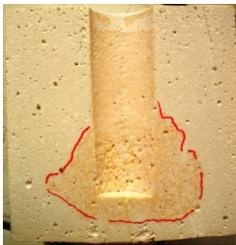
Partie «imprégnée» contact laitier



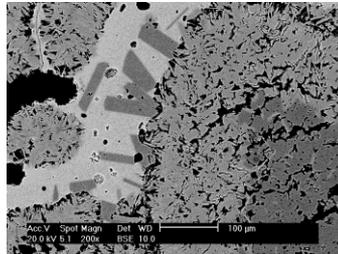
**Chrome-alumine**

**Corrosion limitée** en surface (dissolution minimale de l'alumine et du chrome dans le laitier), **pas d'imprégnation**.

94,1 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - 4,9%  $\text{CaO}$



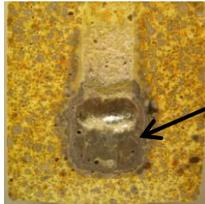
Partie «imprégnée»



**Alumine**

**Imprégnation totale du laitier** => **changements de phase** : le laitier réagit avec l'alumine pour former des phases CA2 et CA6 très expansives (> 14% pour le CA2 et à 3% pour le CA6).

61%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -35%  $\text{SiO}_2$



Phases liquides à la température d'essai



**Alumine-silice**

**Imprégnation totale** et **formation de phases liquides** avec l'alumine et la silice contenues dans le réfractaire (géhlénite et/ou anorthite).



# Tache 5 : conception du réacteur

## TRAVAIL DE MODÉLISATION ENTRE LE LATEP ET EUROPLASMA

Configuration 1 :  
Etranglement de la zone  
réactionnelle



Configuration 3 :  
Etranglement de la zone  
réactionnelle



Abandon

Géométrie homothétique avec CHO (Béta) +  
ajout du redler

Etude sur : maillage, pertes  
thermiques, V6/V12 et turbulence

Configuration 2



Configuration 4

Début travail homothéties avec CHO (Alpha)  
: carneaux, diamètre zone introduction,  
buses AO et cône sortie.

Fin travail homothéties avec CHO (Alpha) :  
lumières PG, diamètre zone réactionnelle

Configuration 5

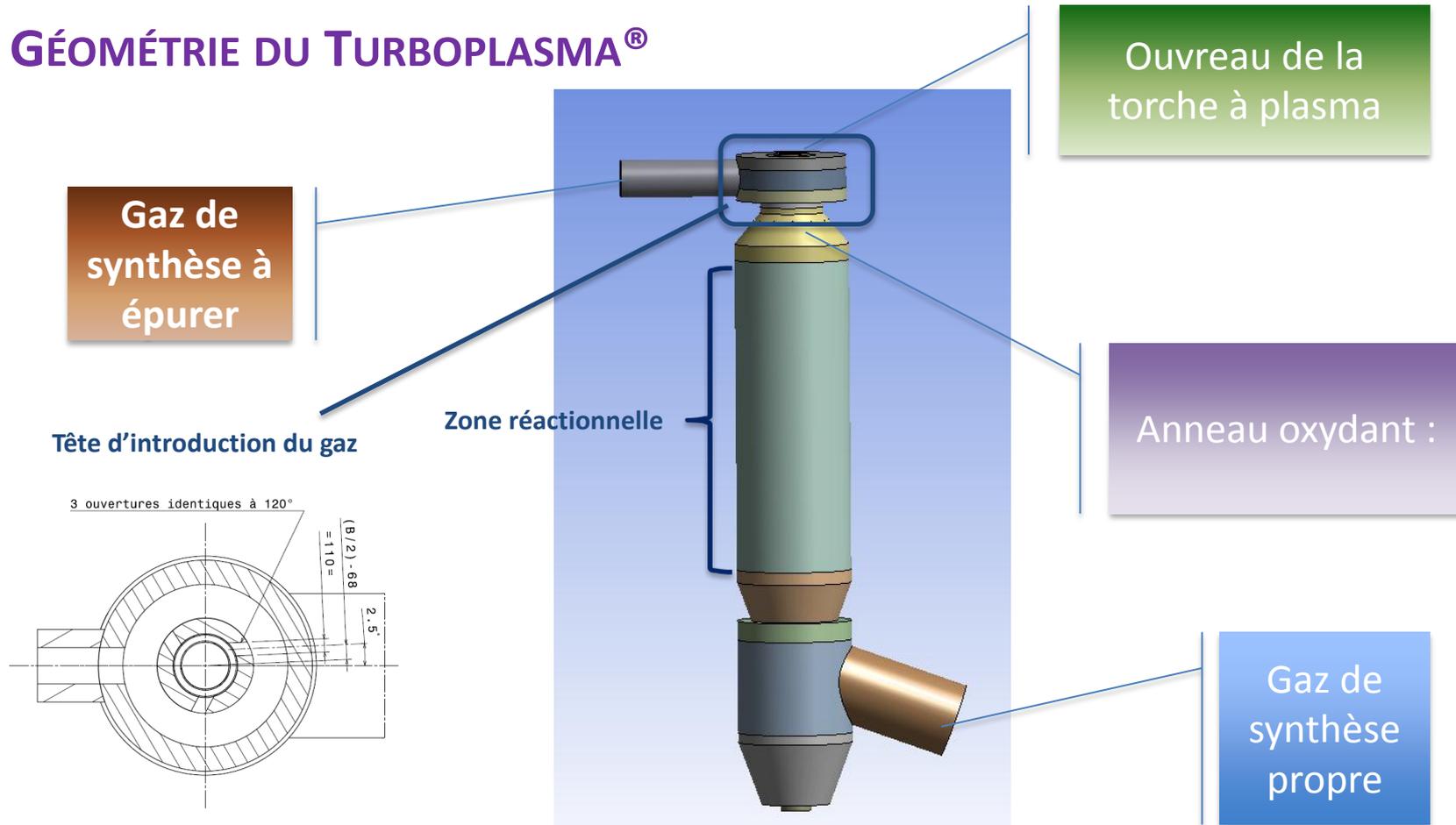
Etude sur : couche limite et angle  
cône AO



Configuration 6

# Tache 5 : conception du réacteur

## GÉOMÉTRIE DU TURBOPLASMA®



# Tache 5 : conception du réacteur

## ETUDE ÉNERGÉTIQUE

### ***Anneau oxydant ?***

Vitesse des gaz en sortie de la torche :  $> 400\text{m/s}$  → Comment mélanger le Product Gaz avec le plasma ?

Evasement du réacteur + injection d'un gaz => effet de turbulence => homogénéisation

L'air permet de maintenir localement une température  $> 1600\text{ °C}$  tout en ayant un ER (total)  $< 5$

### ***Anneau oxydant VS Torche à plasma :***

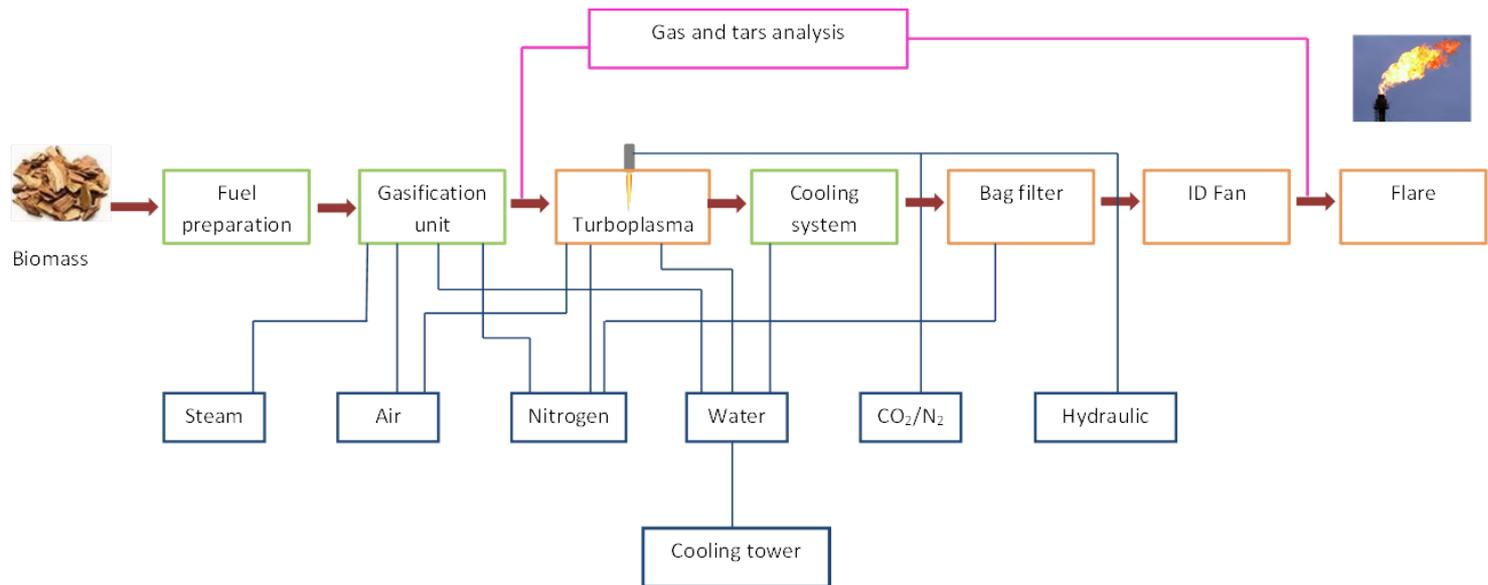
Série de calculs : variation de la puissance torche et du débit d'air oxydant autour d'un point nominal de fonctionnement

Résultats : la Torche à Plasma favorise le craquage thermique des goudrons tout en conservant le PCI du gaz

# Tache 6 : résultats expérimentaux

## LE PROJET KIWI

- ✓ Le Turboplasma® s'intègre dans une installation de gazéification de biomasse.
- ✓ Projet en partenariat avec notre partenaire japonais qui fournit le gazéifieur (lit fluidisé)
- ✓ Installation sur la plateforme R&D d'Eurolasma à Morcenx (40)
- ✓ Objectifs : qualifier différents gaz de synthèse à partir de différents combustibles



# Tache 6 : résultats expérimentaux

## PLANNING

✓ Début de la mise en service :  
Juillet 2012

✓ Mise en température :  
Octobre 2012



# Tache 6 : résultats expérimentaux

## ORGANISATION DES ESSAIS

### **Validation de la méthodologie de mesure des goudrons :**

- Prélèvement d'échantillons pour confrontation avec le tar protocol
- Validation du choix des composés « traceurs »
- Evaluation de l'efficacité du Turboplasma®

### **Etat des lieux de l'usure des réfractaires :**

- Contrôle visuel des réfractaires

### **Corrélation avec la modélisation :**

- Mesure des différents composés gazeux
- Quantité de particules captées dans le redler
- Bilans massique et énergétique

# Communication

## CONGRÈS :

- Présentation du projet et du Turboplasma<sup>®</sup> : RDV Carnot (oral)
- Présentation des calculs de modélisation : Conférence de la fédération Gay Lussac et Congrès SFGP (poster)
- Travail sur les matériaux : Ceramics Networks, Limoges 2011 (oral)
- Présentation des travaux de modélisation : NAWTEC 2012, Portland (oral)
- Présentation du projet KIWI et des travaux réalisés au sein de ce programme ANR : Waste'Eng 2012, Porto (oral)

## PUBLICATIONS :

A venir :

- Sur le couplage CFD/définition des matériaux
- sur le développement du modèle cinétique (LaTEP)
- sur le projet avec des résultats expérimentaux (Europlasma)
- Sur la méthode d'analyse des goudrons

# Merci de votre attention

**Alice Fourcault, chef de projet R&D**

**Jean-Paul Robert-Arnouil, directeur produits**

**Bila Nebbad, assistante financière et veille technologique**