

TURBOPLASMA® :

Destruction de goudrons assistée par plasma thermique
Bio-E 2009



Contexte

Biomasse, déchets



Gazéification

Gaz de synthèse

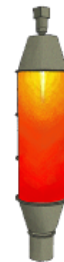
Turboplasma®

Goudrons, poussières



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

Valorisation



Présentation du programme

Turboplasma[®] : 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

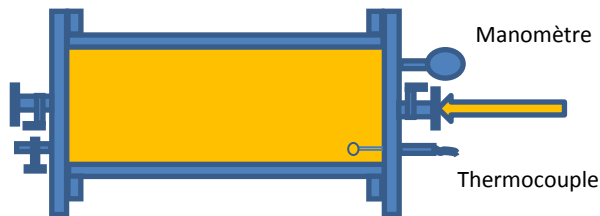
PROBLÉMATIQUE :

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)

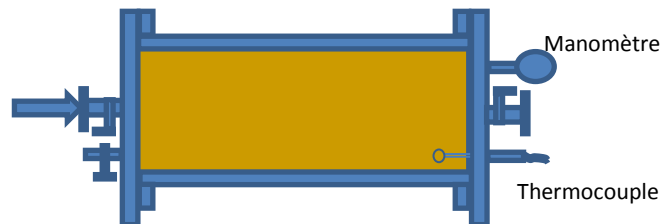
Tache 1 : analyseur de goudrons

PRINCIPE D'ÉCHANTILLONNAGE :



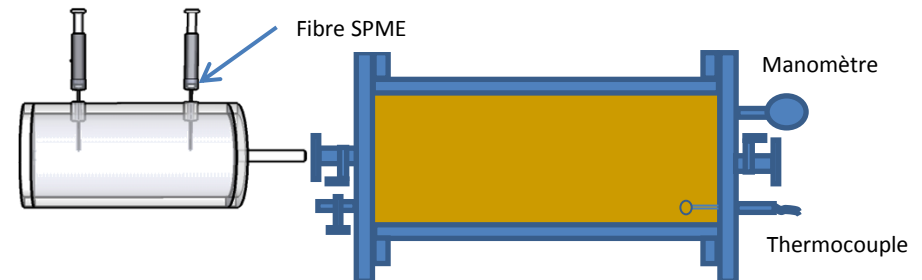
Prélèvement des gaz procédé à partir de la conduite principale par vide primaire dans le canister

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



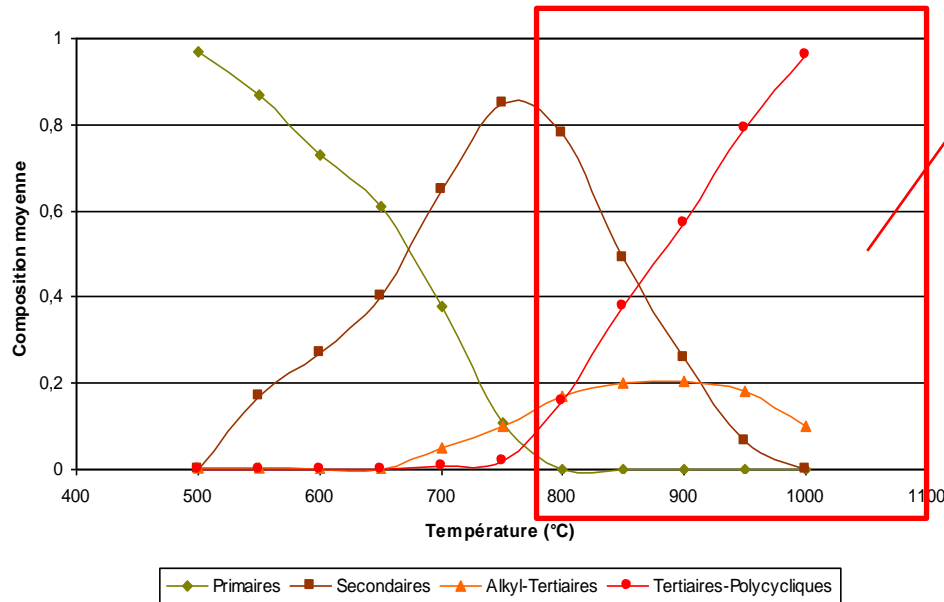
Le refroidissement des gaz abaisse la pression dans le canister.

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.

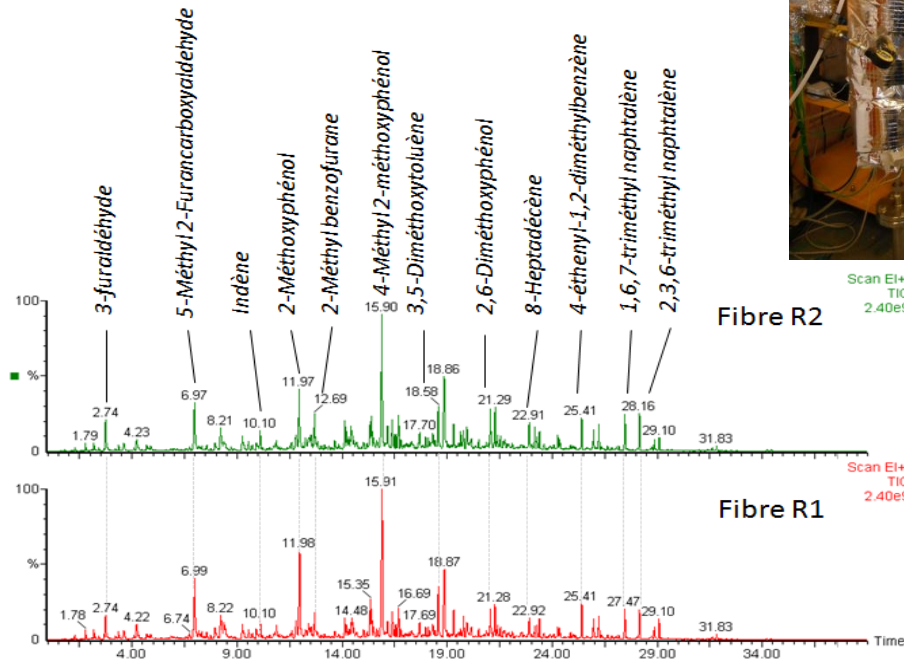
- Vérification de la présence de divers composés déjà détectés lors de nos précédentes études
- Composés ciblés sont le benzène, le phénol, le phénol 2 méthoxy 4 méthyl, le 7 n octyl furane, le naphthalène ou l'antracène.

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

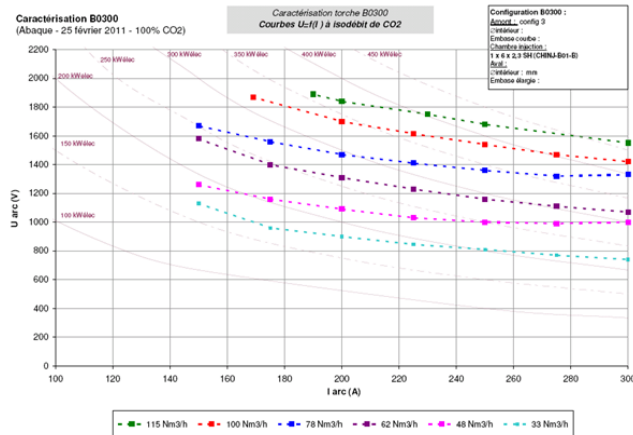
Conception lancée en 2006 pour les besoins du programme GALACSY (**G**azéification **A**llothermique de la **L**ignocellulose **A**ppliquée à la production de bio-**C**arburant de **S**ynthèse).

Plusieurs géométries testées avec plusieurs mélanges de gaz : les meilleurs résultats sont obtenus à l'air et au CO₂ pour la même géométrie

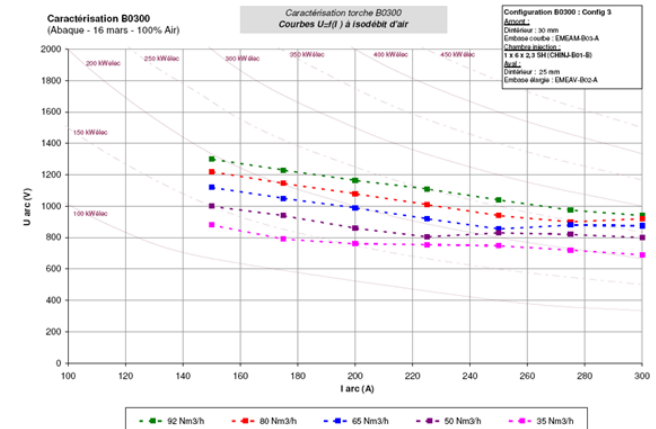


Tache 2 : Torche à plasma

QUALIFICATION DE LA TORCHE B0300 :



Torche B0300 fonctionnant au CO₂

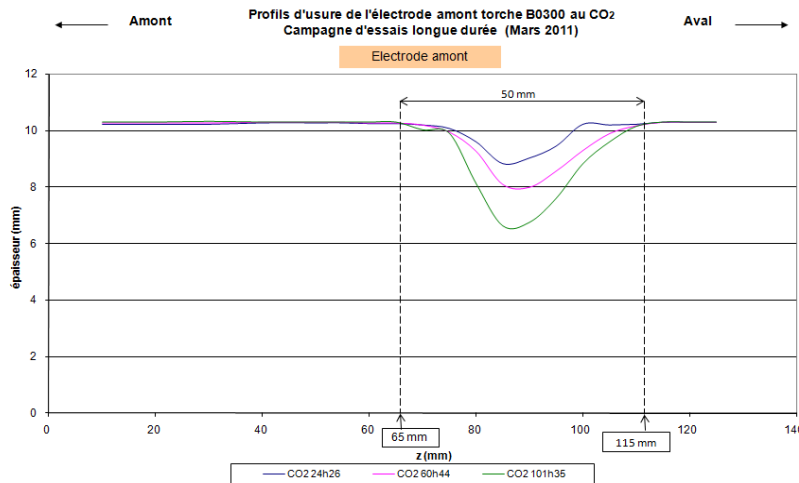


Torche B0300 fonctionnant à l'air

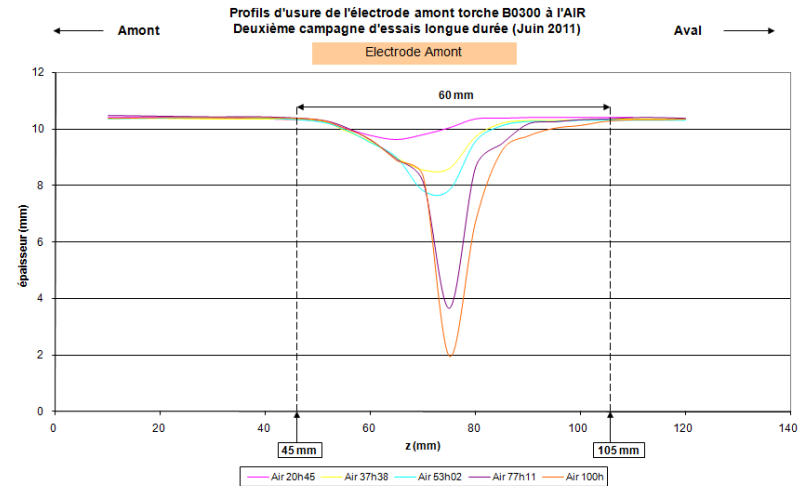
	CO ₂	Air
Courant d'arc	260 A	260 A
Débit gaz*	60 Nm3/h	115 Nm3/h
Tension d'arc	1150 V	1117 V
Puissance électrique	300 kW	300 kW
Rendement	80 %	77 %

Tache 2 : Torche à plasma

QUALIFICATION DE LA TORCHE B0300 :



Profil d'usure de l'électrode amont de la torche B0300 au CO₂ 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 HOMOGÈNE

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



Caractérisation du comportement interne du Turboplasma

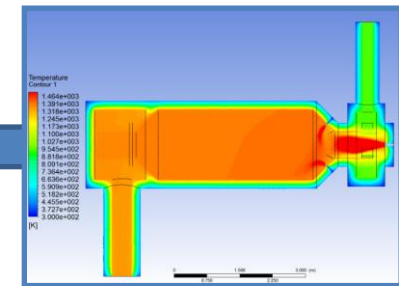
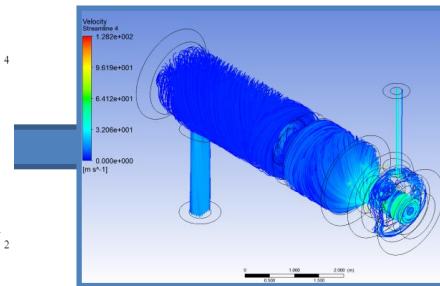
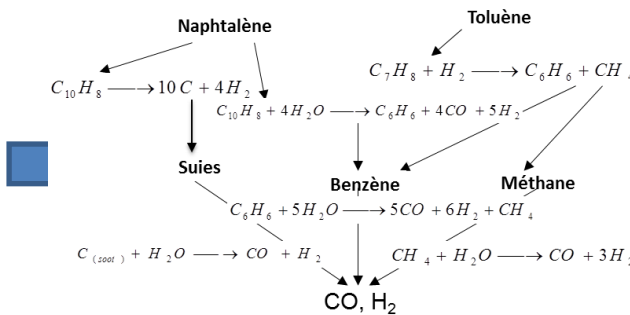
Modélisation numérique :

- 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

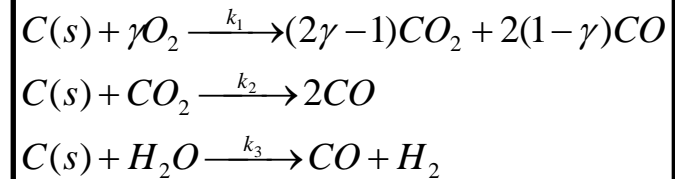
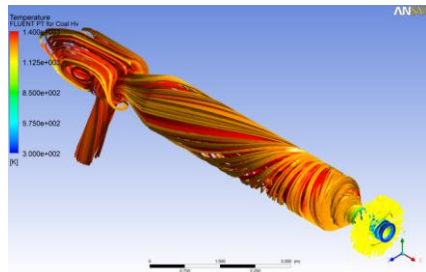


Tache 3 : Modélisation

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 :

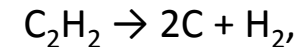
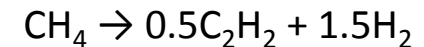
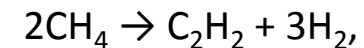
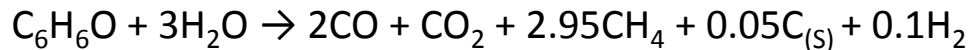
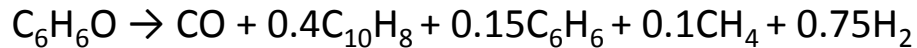
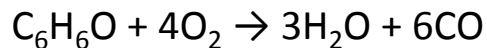
CO, H₂, H₂O, CO₂, CH₄, C₁₀H₈, C₇H₈, C₆H₆, O₂ et N₂

Limites du modèle :

Concentration en CH₄ sur estimée

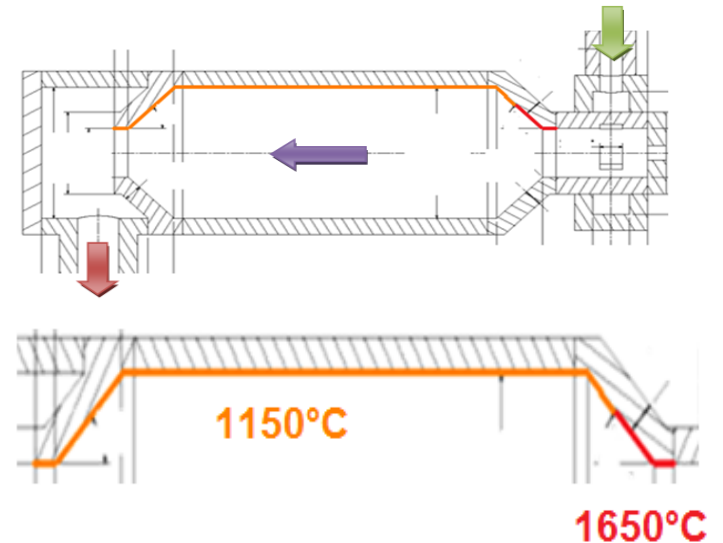
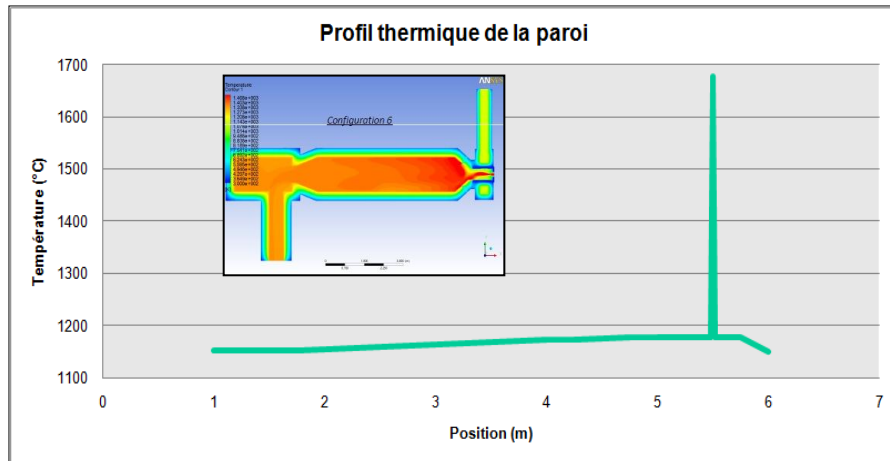
Production de suies sous estimée

Ajout des réactions suivantes :



Tache 4 : Paroi réfractaire

CARACTÉRISTIQUES THERMIQUES

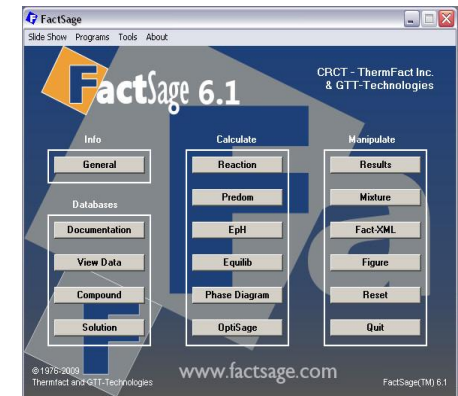
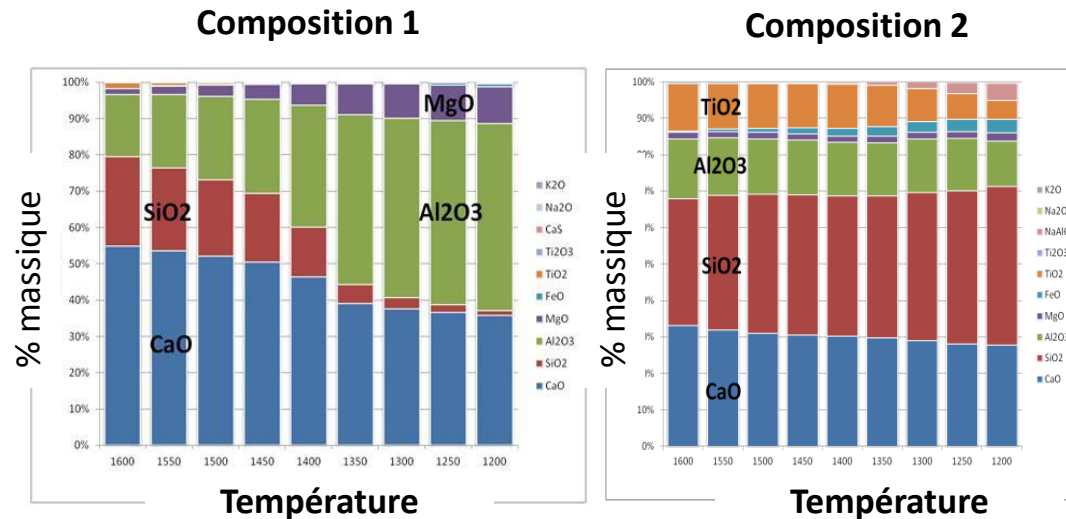


Profil thermique entre 1650°C et 1150°C => simulations thermochimiques

Tache 4 : Paroi réfractaire

CALCULS THERMODYNAMIQUES PAR FACTSAGE :

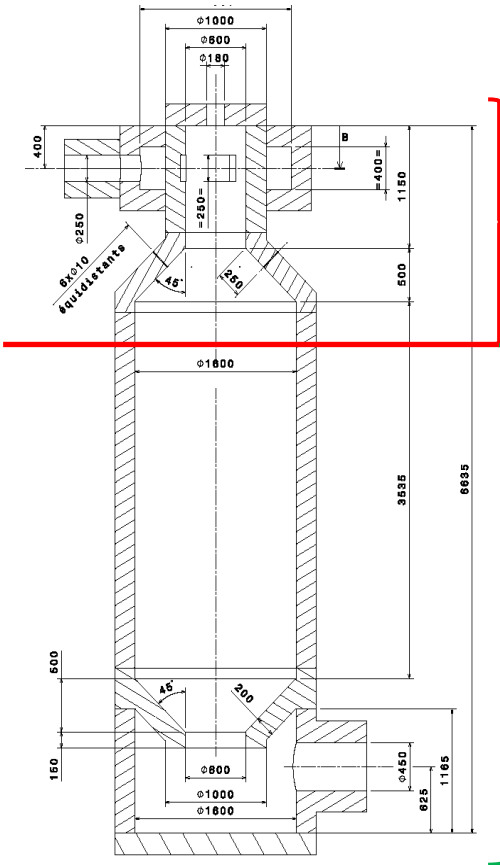
Calculs de la composition du laitier pour deux compositions de cendres :



- 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

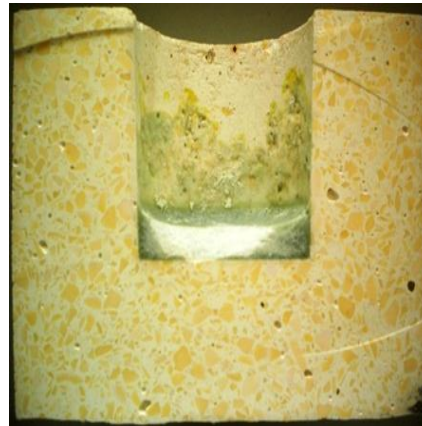
Tache 4 : Paroi réfractaire

ESSAIS DE CORROSION DES RÉFRACTAIRES EN AUTOCREUSETS À 1400°C

84% Al_2O_3 - 1,9% SiO_2
10% Cr_2O_3



96,5 % Al_2O_3 - 2,8% CaO



61% Al_2O_3 -35% SiO_2



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

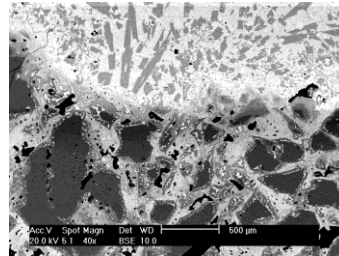
Tache 4 : Paroi réfractaire

ESSAIS DE CORROSION DES RÉFRACTAIRES EN AUTOCREUSETS À 1600°C

84% Al_2O_3 - 1,9% SiO_2
10% Cr_2O_3



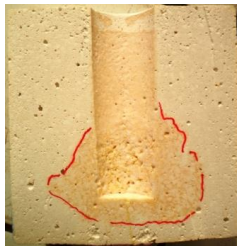
Partie «imprégnée» contact laitier



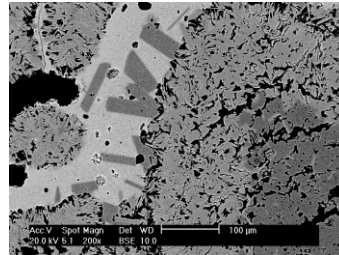
Chrome-alumine

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

94,1 % Al_2O_3 - 4,9% CaO



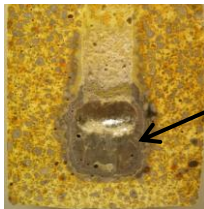
Partie «imprégnée»



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% Al_2O_3 -35% 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).

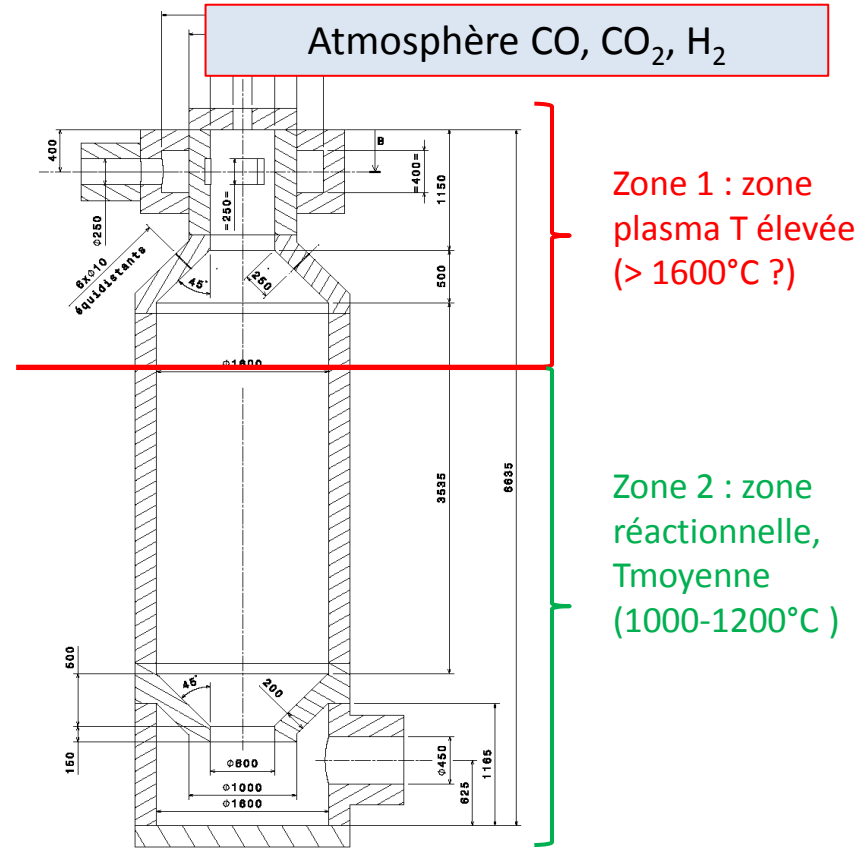
Tache 4 : Paroi réfractaire

DISCUSSION ET CHOIX DE MATÉRIAUX

- Sollicitations variables selon les zones
- Attention à la réduction de la silice par l'hydrogène

Béton réfractaire
 Al_2O_3 - Cr_2O_3

Béton réfractaire
À très haute teneur en
 Al_2O_3



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

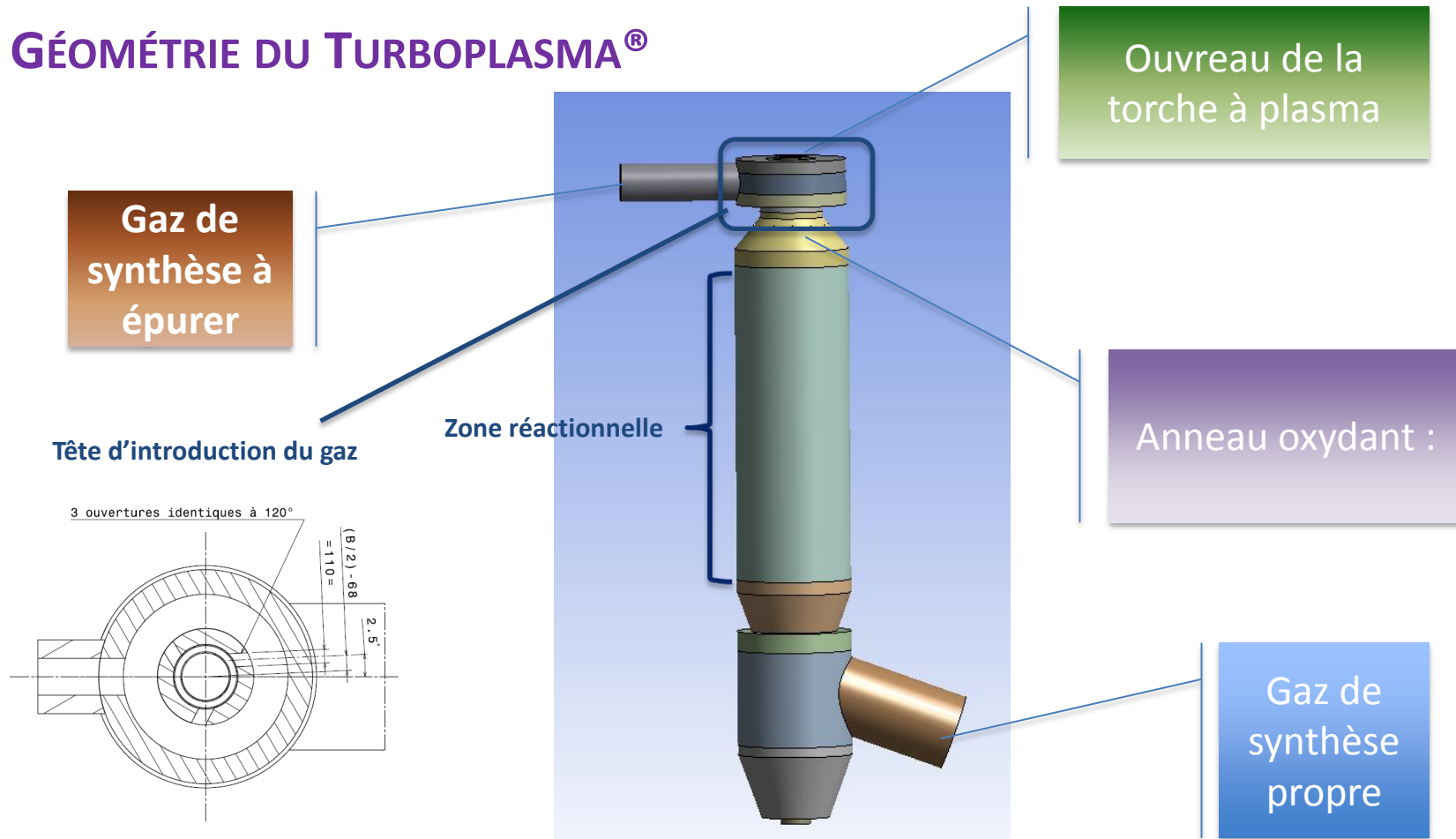


Configuration 6

Etude sur : couche limite et angle
cône AO

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 :

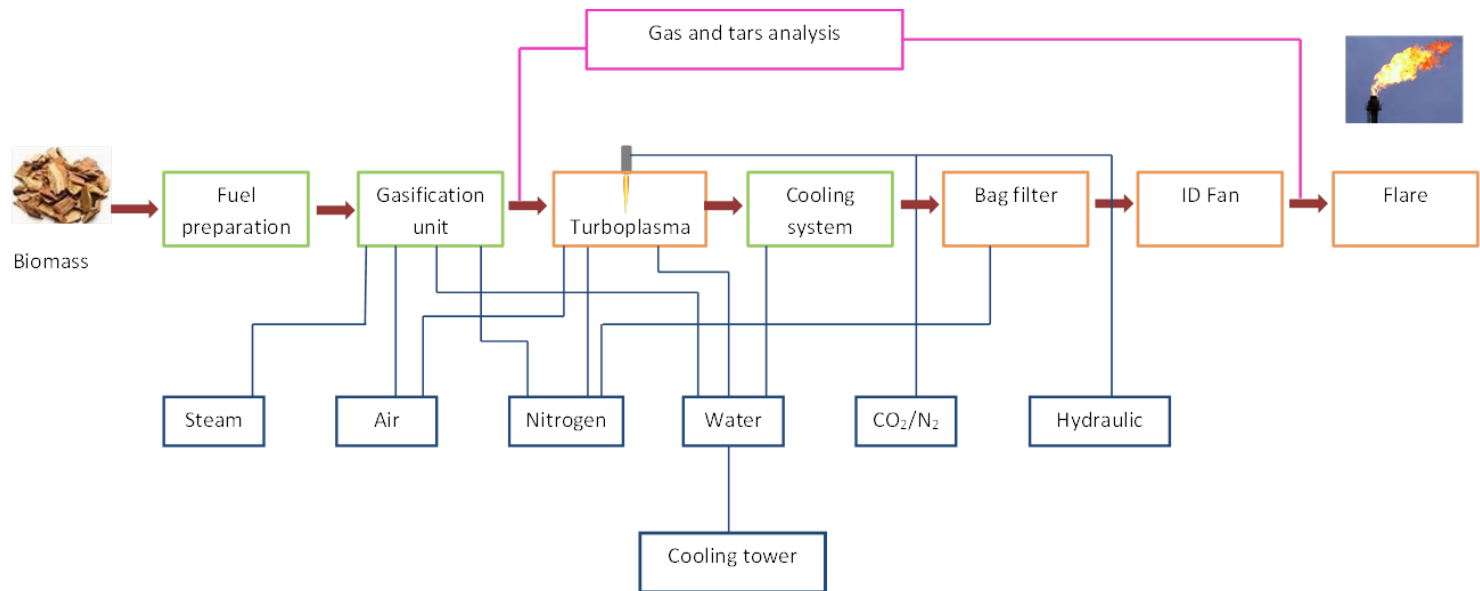
Série de calculs : variation de la puissance torche et du débit d'air oxydant autour d'un point nominal de fonctionnement

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® : 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