

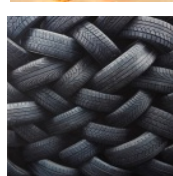
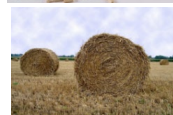
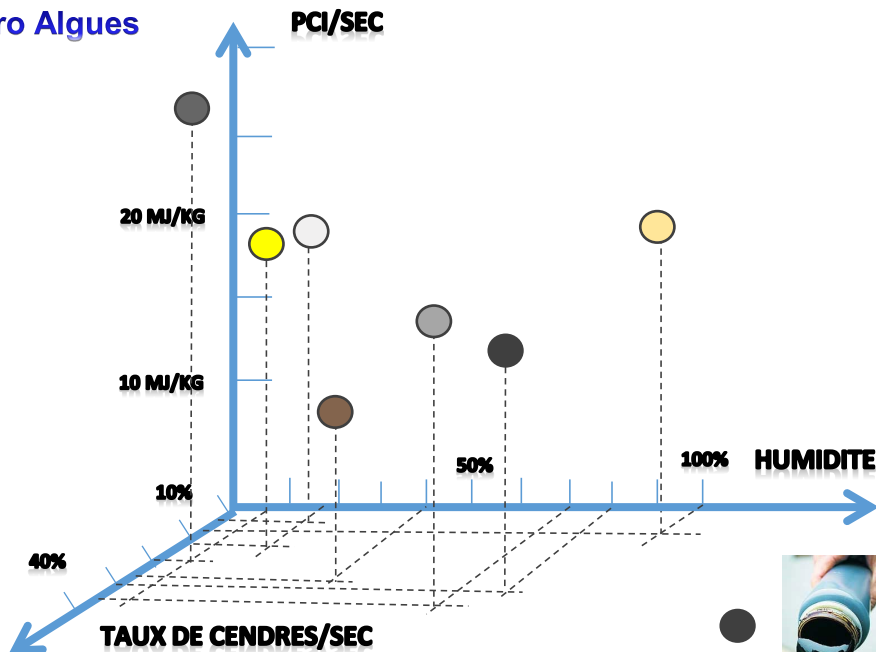
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

# Etat de l'art des technologies de Pyrogazéification – 12/11/2020 -

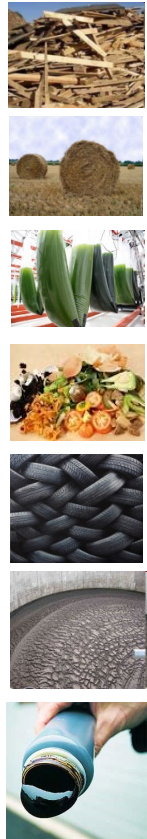
Serge Ravel LITEN/DTBH

- *Quelle ressource ?*
- *Préparation de la ressource en fonction du procédé*
- *Les technologies de gazéification*
  - *Lits fixes*
  - *Lits fluidisés*
  - *Réacteurs à flux entraînés*
  - *Autres réacteurs*
- *Le nettoyage des gaz*

- ♦ Bois : variabilité des essences, des formes,...
- ♦ Biomasses agricoles : pailles, herbacées,...
- ♦ Déchets : ménagers, boues de STEP, déchets papetiers, pneus...
- ♦ Micro Algues



# QUEL EST LE MEILLEUR PROCÉDE DEPUIS BIOMASSE JUSQU'AU VECTEUR ÉNERGÉTIQUE ?



## PREPARATION

SECHAGE

BROYAGE

DENSIFICATION

TORREFACTION

PYROLYSE

## PROCEDE DE GAZEIFICATION :

- LIT FIXE
- LIT FLUIDISE
- FLUX ENTRAINE
- PROCÉDE HYDROTHERMAL
- ...

## NETTOYAGE:

- goudrons
- inorganiques
- particules

## APPLICATION:

- Chaleur
- Electricité
- Biocarburants liquides
- Gaz de synthèse
- Molécules d'intérêt



## SECHAGE



Procédés matures



Procédés couteux (énergie et €) pour biomasses très humides (>40%) mais possibilité de récupération de la chaleur du procédé aval.

## BROYAGE



Procédés matures pour broyages grossiers (mm)  
Association avec la densification (pellets)



Procédés couteux (énergie et €) pour  
broyages fins (<1mm)

## DENSIFICATION



Technologies matures pour pellets « blanc » de conifère  
Intérêt en association avec la torrefaction (boulets, briquettes)



Coût des pellets « blancs » élevé -> pour chaudière individuelle  
Pelletisation des déchets plus difficile mais possible

### TORREFACTION (200-350°C/ Patmo)



Densification énergétique de l'ordre de 20% - Broyabilité améliorée -  
Hydrophobie du produit torréfié –



Procédés matures pour le bois mais pas pour les déchets.  
Perte d'énergie dans les gaz (limitée à 20% max)  
Procédés couteux (énergie et €) pour biomasses très humides (>40%)

### PYROLYSE (300-500°C/ Patmo)



Production de char ( plus énergétique) et d'huile de Pyrolyse =>  
possibilité de faire du slurry injectable – possibilité d'utiliser le gaz  
pour apport de chaleur au procédé.



Perte de masse (et d'énergie) importante lors de la pyrolyse  
par les gaz émis- production de goudron importante -

### Carbonisation Hydrothermale (180-260°C/10 à 50 bar)



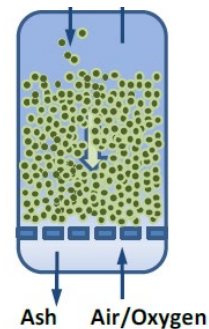
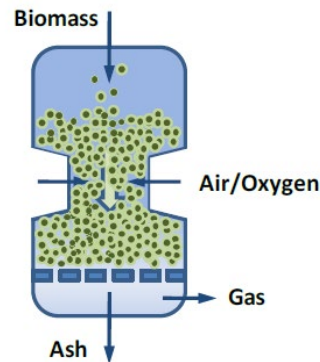
Possibilité d'utiliser de la ressource humide sans la sécher.  
Association possible avec densification



Procédé couteux en énergie (T et P)



**Séchage -> 20% d'humidité**  
**Broyage grossier (cm)**  
**Tamisage si trop de fines**

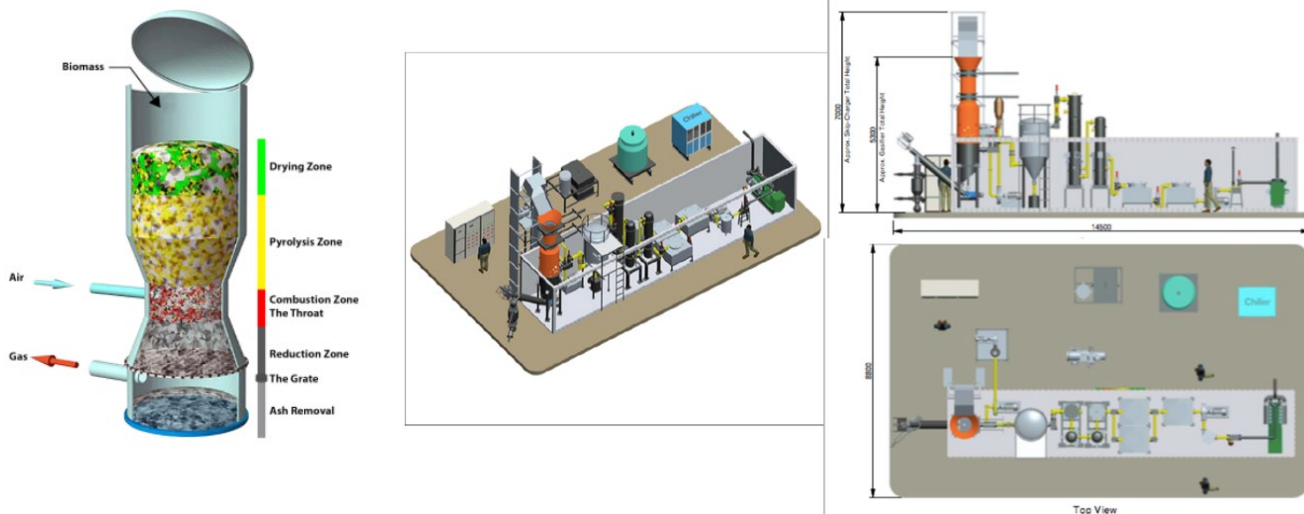


Technologies simples, robustes et matures pour le bois  
Préparation de la ressource simple mais besoin d'une ressource calibrée (qq cm) sans fines  
Intérêt pour petites unités (0,3- 5 MW)



Gaz pauvre (PCI 1-1,5 KWh/Nm<sup>3</sup>) car gazéification à l'air  
Extrapolation grande taille difficile (< 5 MW)  
Taux de goudron fort\* (surtout pour contre courant) : 10-100 g/Nm<sup>3</sup>  
Application chaleur principalement et cogénération  
Pas de fonctionnement sous pression  
Fonctionnement avec ressource déchet plus difficile

## ANKUR (Inde) : 900 références – GAZOTECH en France



Le gazéfieur fonctionne entre 700 et 1000°C. Le syngaz est filtré en sortie du gazéfieur à 400°C (filtres à poches) pour retirer les poussières. Le syngaz est ensuite refroidi pour condenser l'eau et les goudrons à l'aide d'eau froide. Enfin il est injecté dans un moteur à gaz. (figure : unité de 40 kWe de Gazotech)



## Spanner Re<sup>2</sup> (All) : 700 références

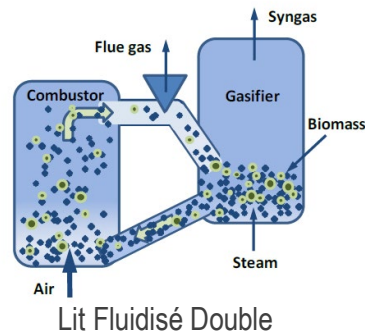
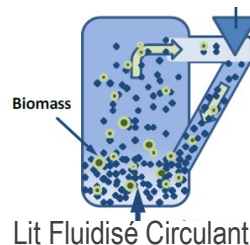
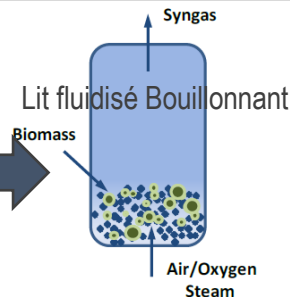


Lit fixe co-courant pour cogénération  
Ressource = bois,  
Capacité : 22kW- 3 MWth → 9 kWe-2 MWe

- 1 : injection du bois
- 2 : gazéfieur
- 3 : nettoyage gaz
- 4 : production électricité et chaleur



**Séchage -> 20% d'humidité**  
**Broyage grossier (cm)**



Technologies variées et matures.

Préparation ressource simple

Gaz plus riche qu'en lit fixe (en oxy-combustion et pour Lit fluidisé double)

Gamme d'application plus large que lit fixe (Chaleur, électricité, méthanation, biocarburants ...)

50

Taux de goudron encore élevé ( $> 2\text{g/Nm}^3$ )

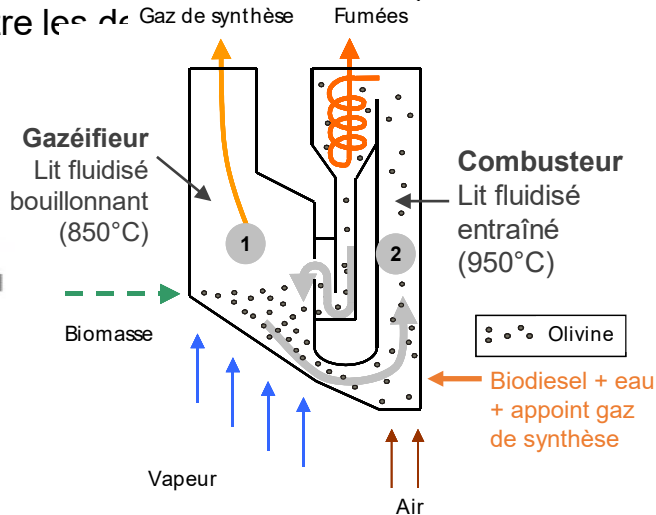
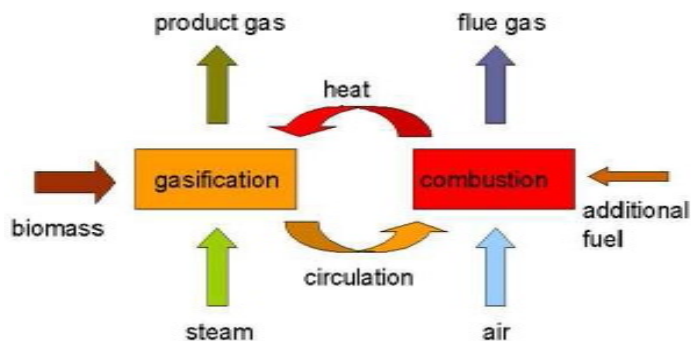
Risque d'agglomération des cendres ( $T > 1200^\circ\text{C}$ )

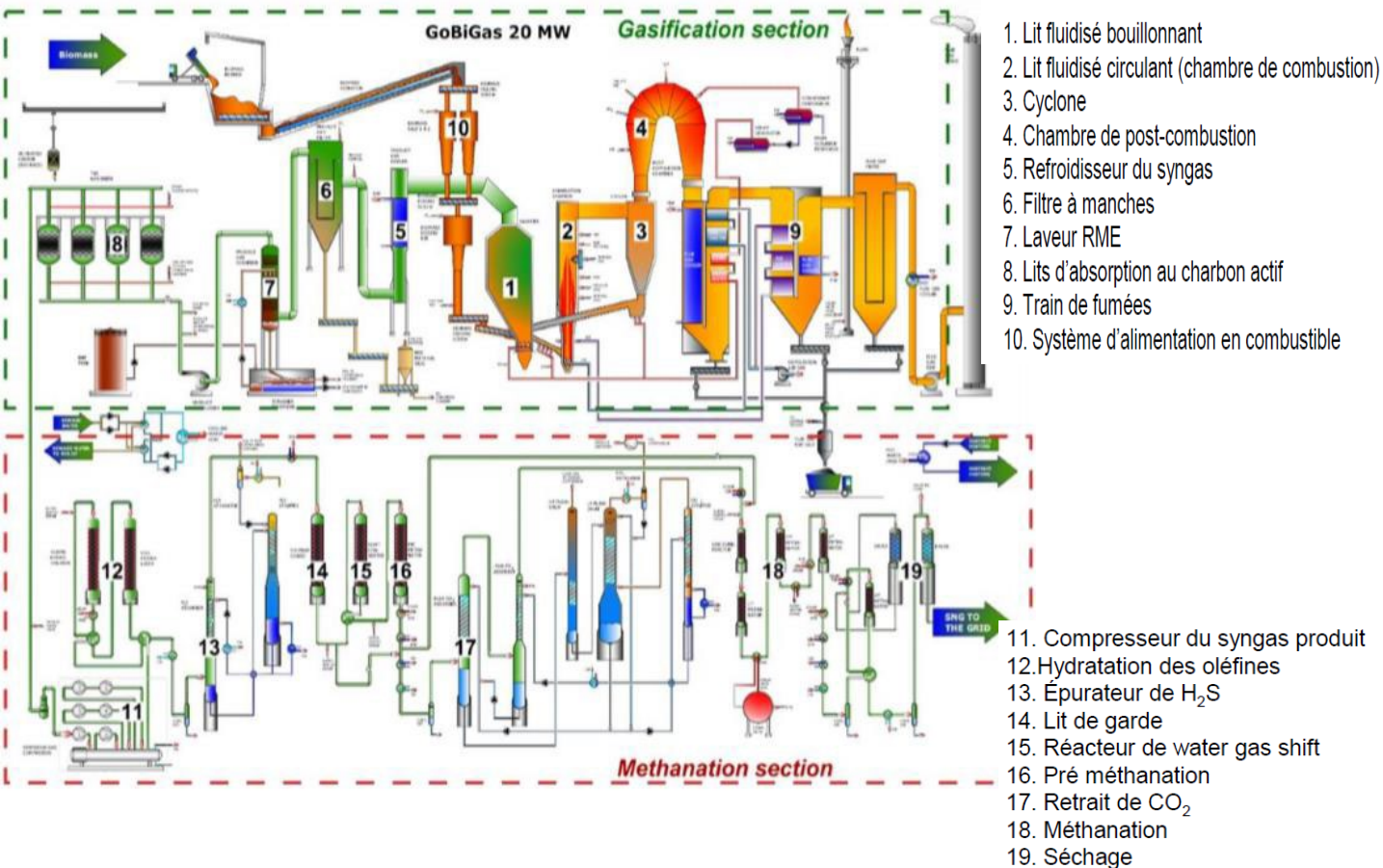
Fonctionnement sous pression difficile (sauf LFB)

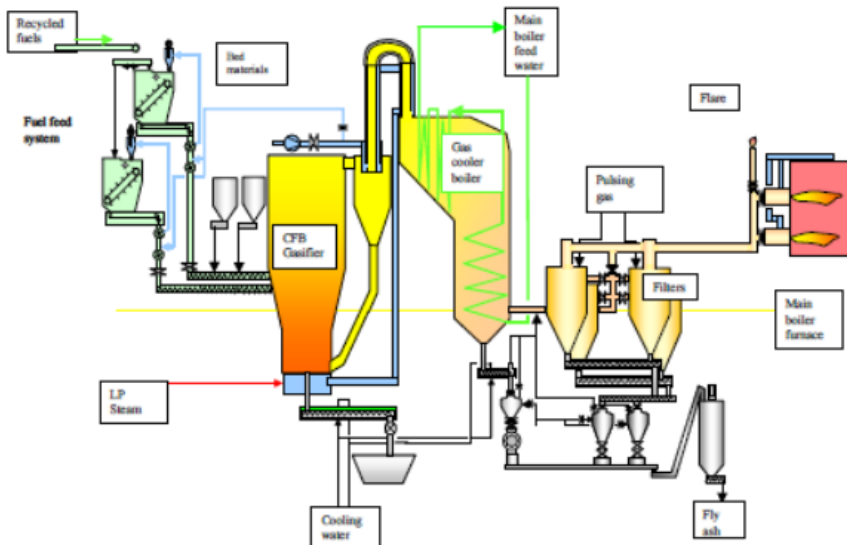
## GOBIGAS - GUSSING – OBERWART – GAYA (démonstration en Fr)

Procédé FICFB développé en Autriche (Université Technologique de Vienne)  
mis en œuvre à Güssing (REPOTEC – unité de 8 MWth – 2 MWe)

Principe : 2 réacteurs séparés pour la gazéification et la combustion, avec un média de fluidisation (olivine) circulant entre les deux







Lit fluidisé circulant 900°C max couplé à une chaudière HP(120bar) et HT (540°C)

Vis chauffée électriquement ( allothermique ) jusqu'à 800°C

Ressource = bois, déchets, plastiques

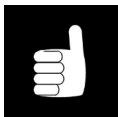
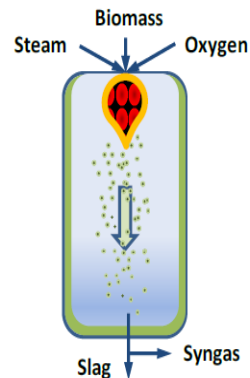
Capacité : 15-150MWth (30 t/h)

Installation de LATHI en Finlande (démarrage 2012) : 160MWth → 50 MWe + 90 MWth / CAPEX = 160M€

Source : étude RECORD n°14-0245/1AP



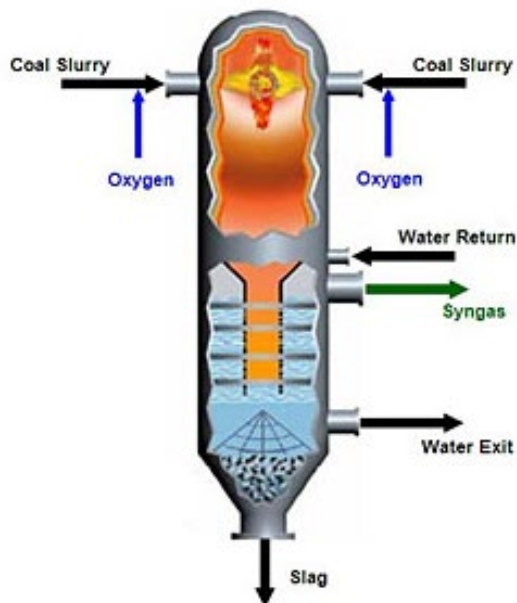
**Séchage -> 20% d'humidité**  
**Broyage fin (0,2-0,5mm)**  
**Système d'injection de poudre**  
**Pressurisation des poudres**



Rentabilité pour installation grande taille (>400 MWth)  
Gaz riche (CO-H<sub>2</sub>)  
Application visée pour biocarburants  
Possibilité de traiter des biomasses chargées en cendres (voire des déchets)  
Fonctionnement sous pression (compacité des réacteurs)



Technologie mature pour le charbon mais encore au niveau démonstrateur pour la biomasse  
Préparation de la biomasse difficile et couteuse (poudre)  
Procédé haute température et haute pression => CAPEX important  
Transport de la poudre difficile et couteux  
Gestion de l'approvisionnement biomasse



Réacteur ECUST (Chine):

4 brûleurs, 1300-1500°C, 30-40 bars

Ressource = charbon pulvérisé

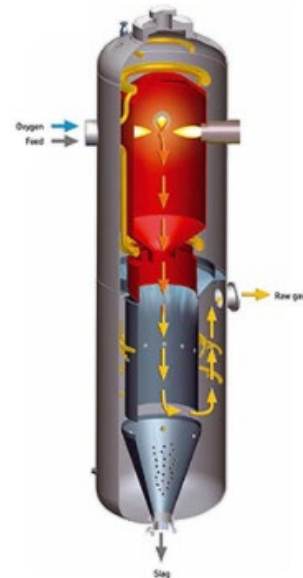
Quench à l'eau

Capacité : de 750 à 3000 t par jour

En 2020 : 57 projets en cours en Chine et

US, 159 gazéificateurs pour produire

ammoniaque, méthanol, DMU H<sub>2</sub>, Elec



Réacteur PRENFLO PDQ de TKIS (All):

3 brûleurs, 1200-1600°C, 25-40 bars

Ressource = charbon pulvérisé, petcoke

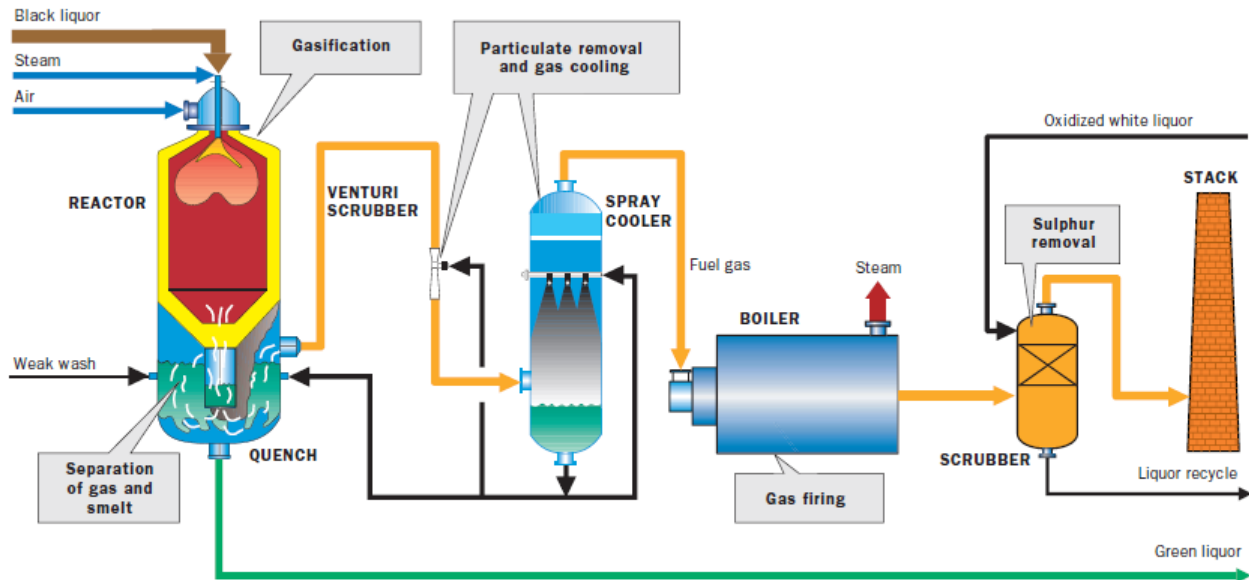
Quench à l'eau

Capacité : jusqu'à 2000 t par jour

En France : démonstrateur BIOTFUEL (3

t/h) avec ressource biomasse pour

production de carburant (tests en cours)

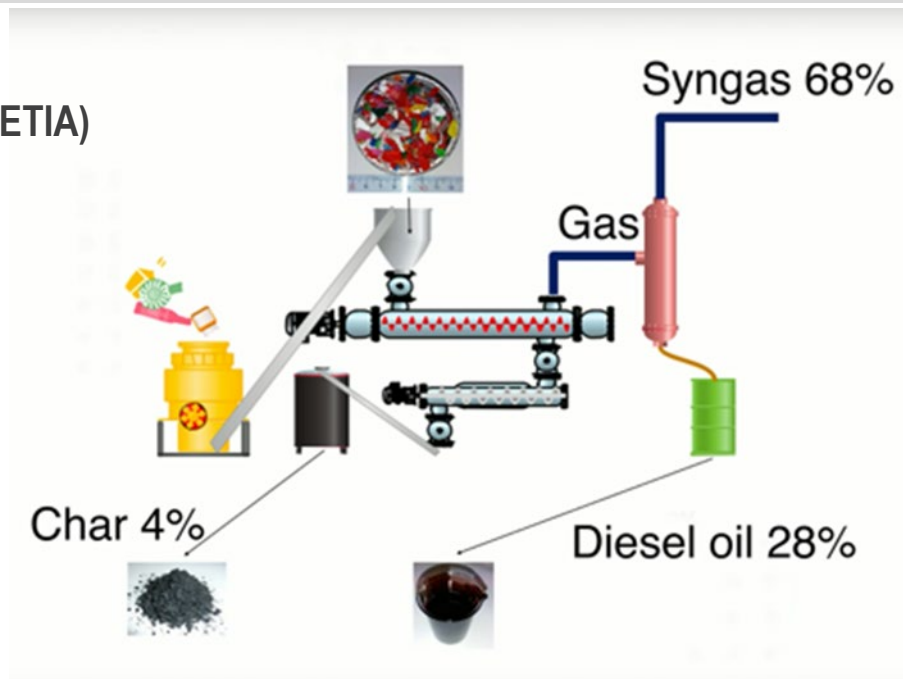


Depuis 2005 : unité pilote (DP1) de 650 kg/h en test (30 bars, 1000°C)  
– objectif : faire du DME.

Un pilote à Pitée de RFE (1MWth – 2bar – poudre bois)



## SCANSHIP (ETIA)



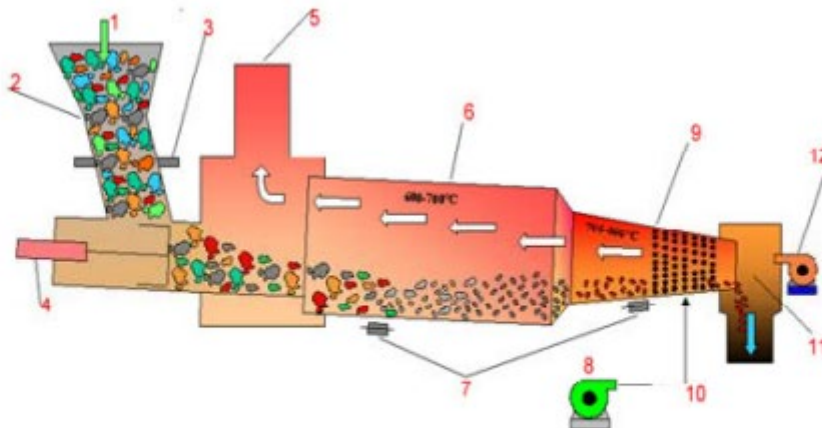
Vis chauffée BIOGREEN SPIRAJOLE® (ETIA):

Vis chauffée électriquement ( allothermique ) jusqu'à 800°C

Ressource = bois, déchets, plastiques

Capacité : jusqu'à 2t/h

## PIT-PYROFLAM



1 = chargement ; 2 = trémie ; 3 = volet ; 4 = poussoir ; 5 = gaz de pyrolyse et gazéification du coke vers valorisation ; 6 = cellule de pyrolyse ; 7 = galets supports ; 8 = air de process ; 9 = cellule de gazéification ; 10 = résidu solide inerte ; 11 = cendrier ; 12 = brûleur de préchauffage

Four rotatif incliné – air à contre courant - autothermique

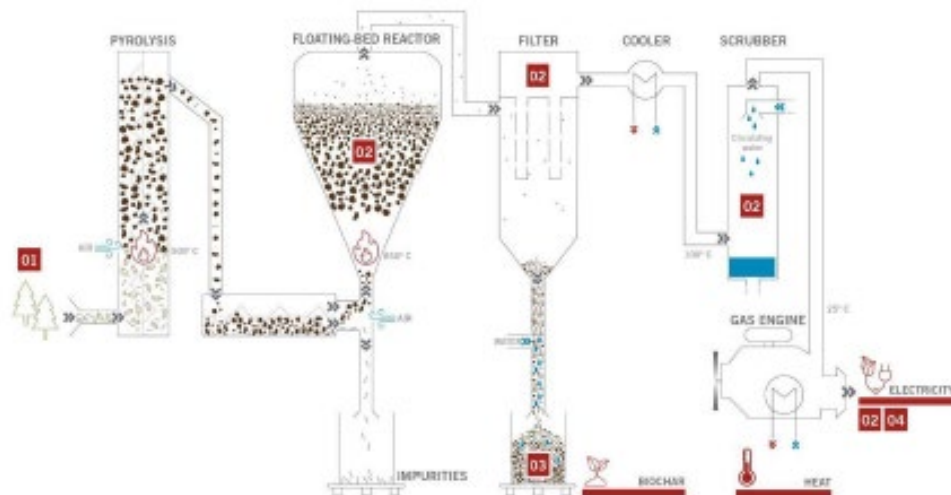
Pyrolyse à 600-700°C suiv de gazeification à 750-850°C

Ressource = bois, déchets

Une unité en exploitation (Rekjavik) mais pas d'autres installations depuis 2005.

Capacité : 1,6t/h

## SYNCRAFT ( Autriche ) : Pyrolyse en vis verticale suivie de gazéification en lit « flottant »



Four conique où le lit de particule de char flotte...

Pyrolyse à 500°C suivi de gazeification à 850°C sous air

Ressource = bois,déchets

Avantage : taux de goudrons très bas, rendements élevés en électricité (#30%)

Plusieurs unités industrielles en Autriche et Italie ( entre 500 kW et 1 MWth)

Capacité : de 300 kW à 10 MW ( 75- 250 kg/h)

Ressources diverses +  
Usage Syngas Variable



Grand variété dans les techniques  
de nettoyage et de coût...

Application	Goudrons (mg/ Nm3)	Particules (mg/Nm3)	Alcalins	Ammoniac	Chlorures	Sulfures
Moteur à gaz	>50 (pas de goudron condensable à T amb)	<50	<1	<50	<10	<100
Turbine à gaz	<5	<30	# ppm			
Synthèse FT Méthanation	<0,01	<0,01	<10 ppb	<20 ppb	<10ppb	<10 ppb

## Techniques de nettoyage disponibles :

- **Pour les goudrons :**
  - Lavages au solvant, au diesel, aux hydrocarbures avec condensation étagée (procédé OLGA de ECN)
  - Craquage thermique : torche à plasma (CHO Power) ou flamme  $O_2$  (Leroux et Lotz)
  - Adsorption sur solides ( charbon actifs, ...)
- **Pour les inorganiques :**  $H_2S$ ,  $COS$ ,  $CO_2$ , mercaptans,  $HCN$ ,  $NH_3$ 
  - $H_2S$  : lits de garde en  $ZnO$
  - Lavage acide et/ou basique
  - Méthanol froid (procédé RECTISOL™)
  - Lavage aux amines (Arol Energy)

- Dans les procédés thermochimiques, il doit y avoir cohérence entre la préparation de la ressource, la technologie de pyrogazéification , la brique nettoyage et la brique de valorisation des produits.
- Les technologies lit fixe (et variantes) sont bien adaptées et matures pour les petites unités de cogénération (max 10 MWth), pour une ressource bois calibrée. On trouve de nombreuses références industrielles.
- Les technologies lit fluidisé sont matures et adaptées aux plus grosses unités de cogénération (< 10 MWth) pour une ressource bois + déchets , et, avec une brique de nettoyage adaptée, pour produire du méthane mais les coûts sont encore élevés.
- Les réacteurs à flux entraînés pour la biomasse et les déchets sont encore au stade démonstrateur. Ils sont bien adaptés pour la production de biocarburant liquide pour de très grosses unités. Cependant les coûts sont encore élevés. De plus petites unités (qq 10 MW, pression qq 10 bars) pourraient présenter un intérêt pour des applications plus locales.



**Visitez le site web de la plateforme Bioressources du LITEN/ DTBH :**  
<http://www.cea.fr/cea-tech/liten/genepi>