

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

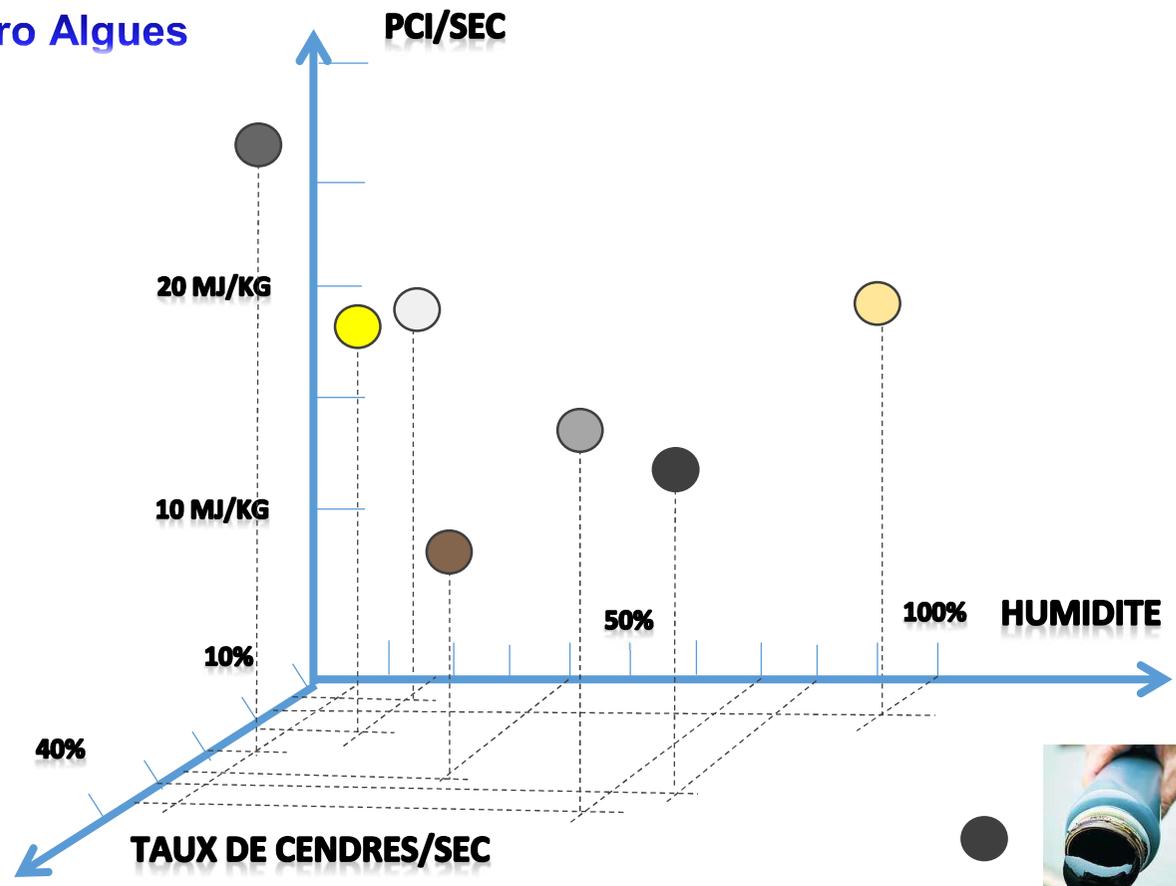
Etat de l'art des technologies de Pyrogazéification – 12/11/2020 -

Serge Ravel LITEN/DTBH

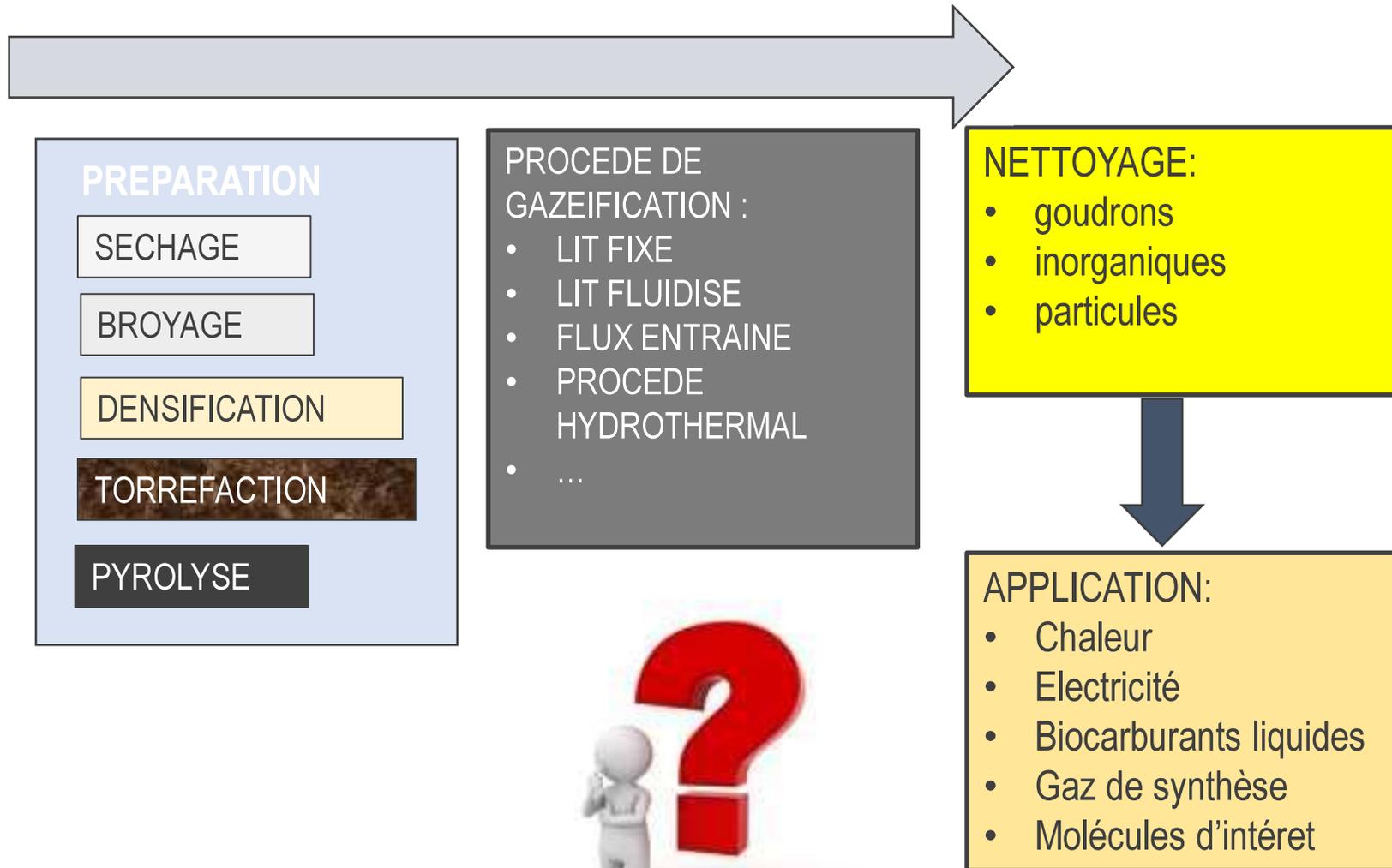
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - www.cea.fr

- *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*
- *Conclusions*

- ◆ 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 ?



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)



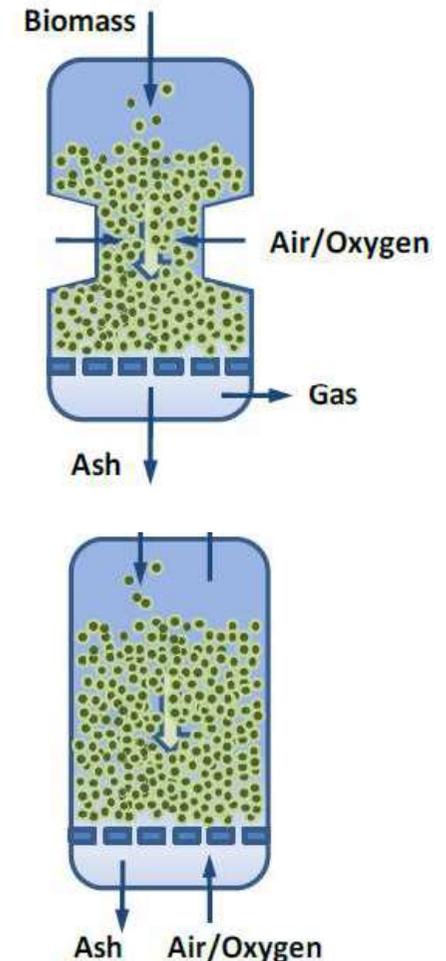
Possibilité d'utiliser de la ressource humide sans la sécher.
Association possible avec densification



Procédé couteux en énergie (T et P)



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

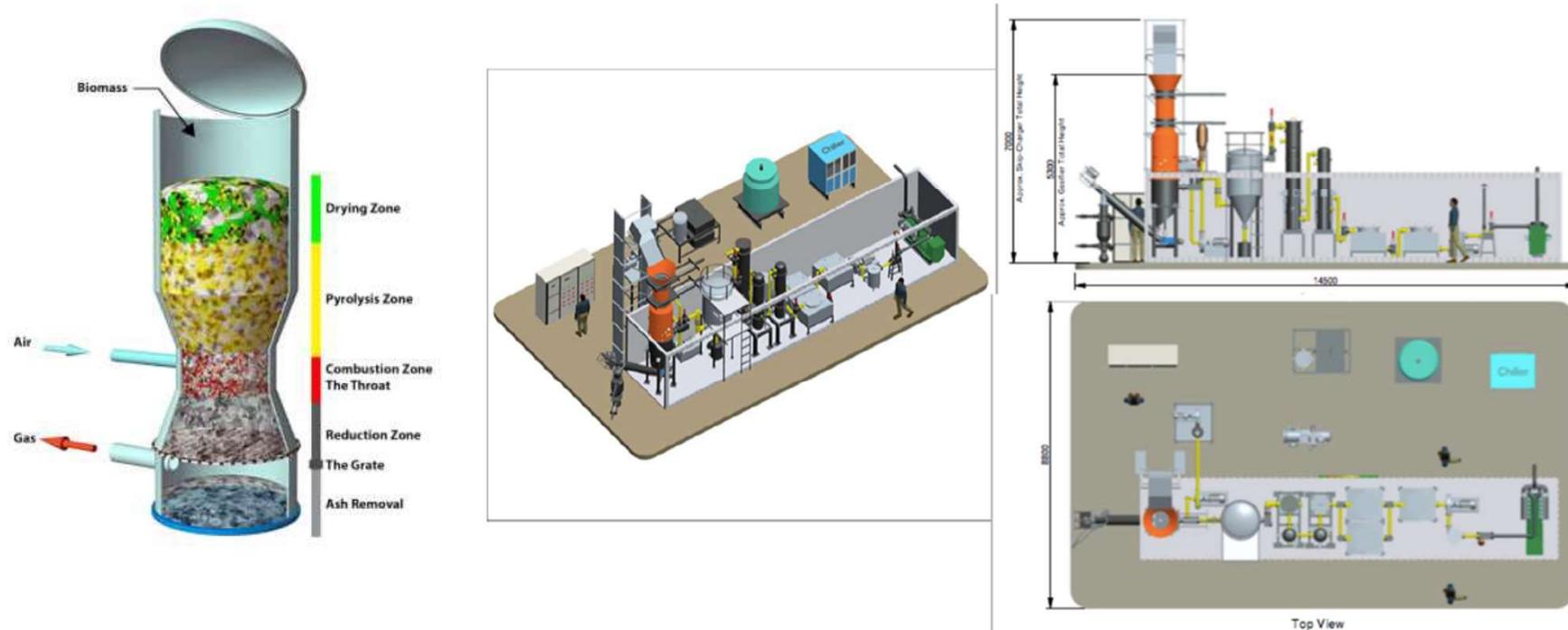


Technologies simples, robustes et matures pour le bois
 Préparation de la ressource simple mais besoin d'une ressource calibrée (qq cm) sans fines
 Intérêt pour petites unités (0,3- 5 MW)



Gaz pauvre (PCI 1-1,5 kWh/Nm³) car gazéification à l'air
 Extrapolation grande taille difficile (< 5 MW)
 Taux de goudron fort* (surtout pour contre courant) : 10-100 g/Nm³
 Application chaleur principalement et cogénération
 Pas de fonctionnement sous pression
 Fonctionnement avec ressource déchet plus difficile

ANKUR (Inde) : 900 références – GAZOTECH en France



Le gazéifieur fonctionne entre 700 et 1000°C. Le syngaz est filtré en sortie du gazéifieur 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 Re² (All) : 700 références



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

1 : injection du bois
2 : gazéifieur
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)

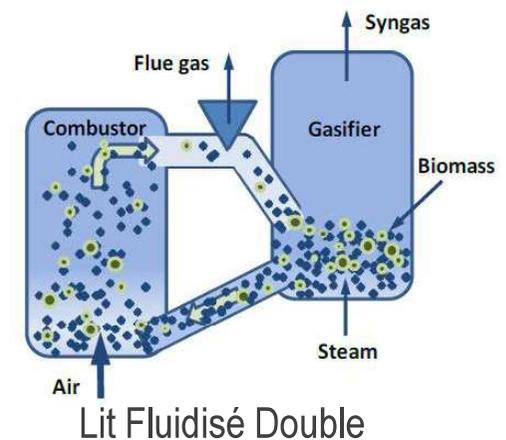
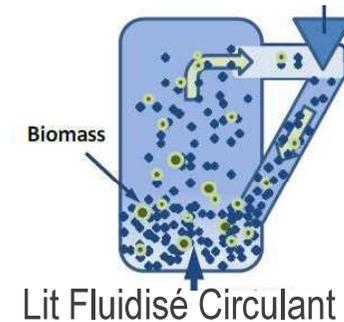
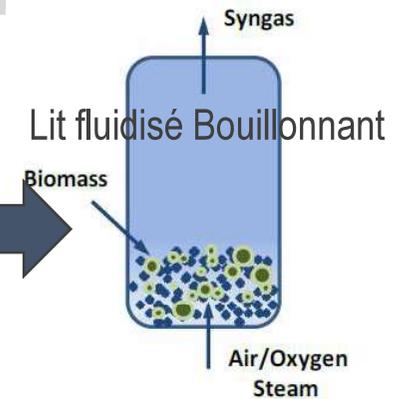
Gamme d'application plus large que lit fixe (Chaleur, électricité, méthanation, biocarburants ...)



Taux de goudron encore élevé (> 2g/Nm³)

Risque d'agglomération des cendres (T>1200°C)

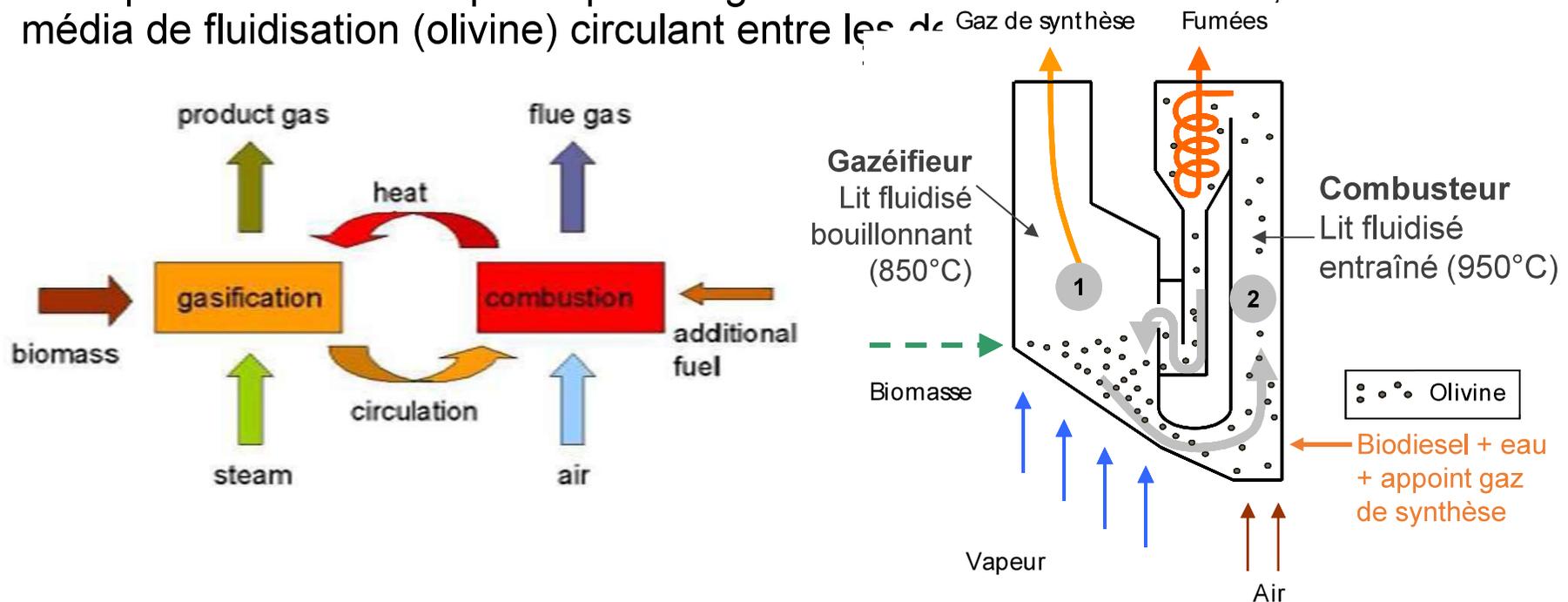
Fonctionnement sous pression difficile (sauf LFB)

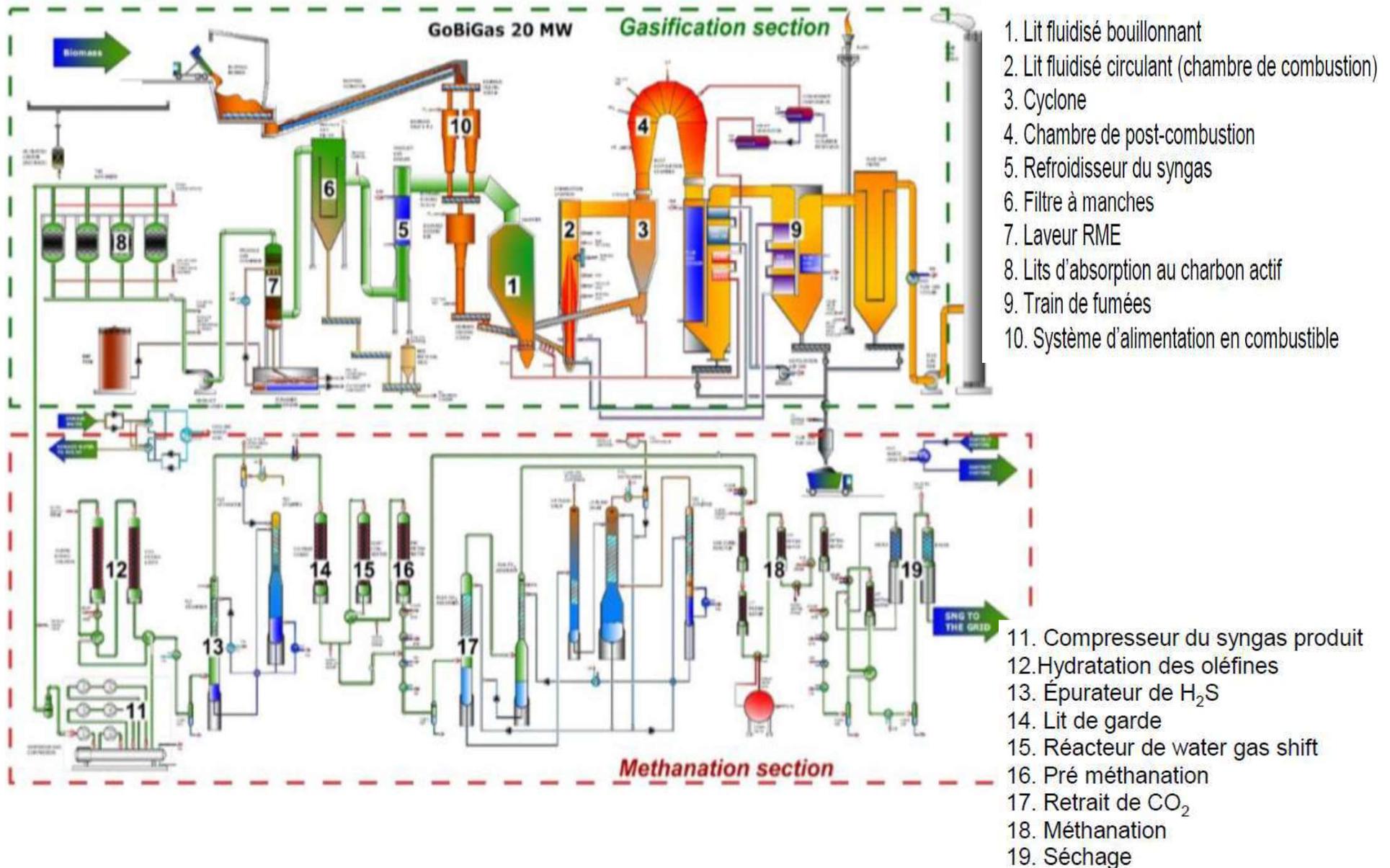


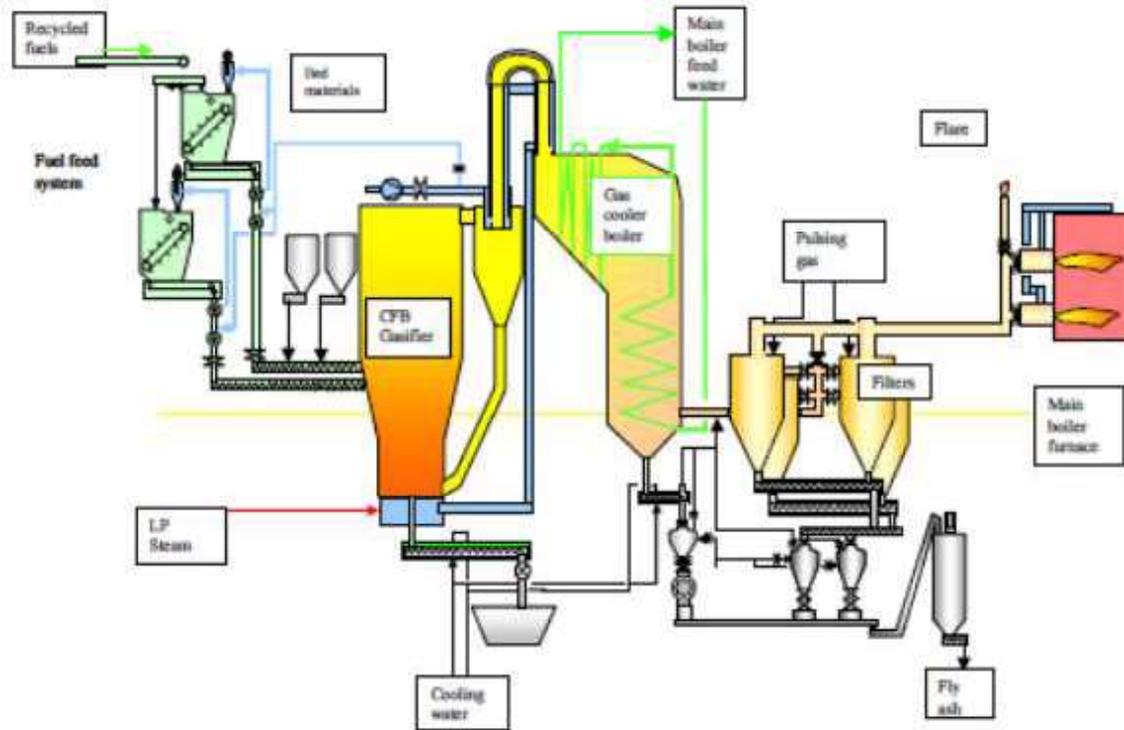
GOBIGAS - GUSSING – OBERWART – GAYA (démo en Fr)

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

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







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€

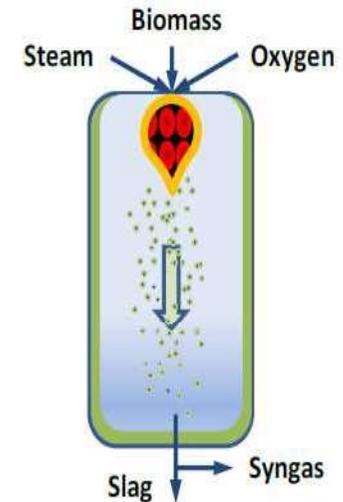
Source : étude RECORD n°14-0245/1AP



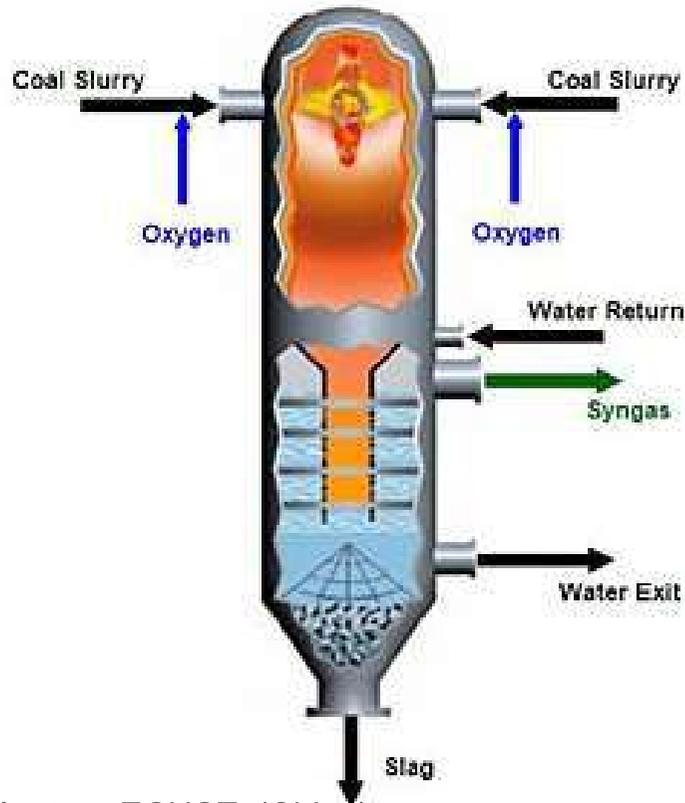
Séchage -> 20% d'humidité
Broyage fin (0,2-0,5mm)
Système d'injection de poudre
Pressurisation des poudres



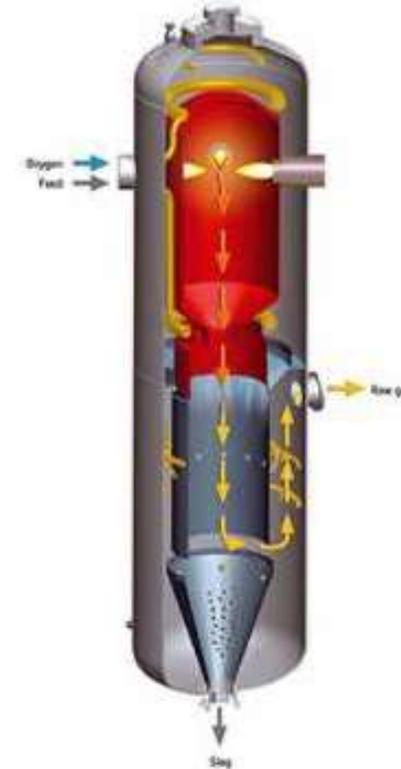
Rentabilité pour installation grande taille (>400 MWth)
Gaz riche (CO-H₂)
Application visée pour biocarburants
Possibilité de traiter des biomasses chargées en cendres (voire des déchets)
Fonctionnement sous pression (compacité des réacteurs)



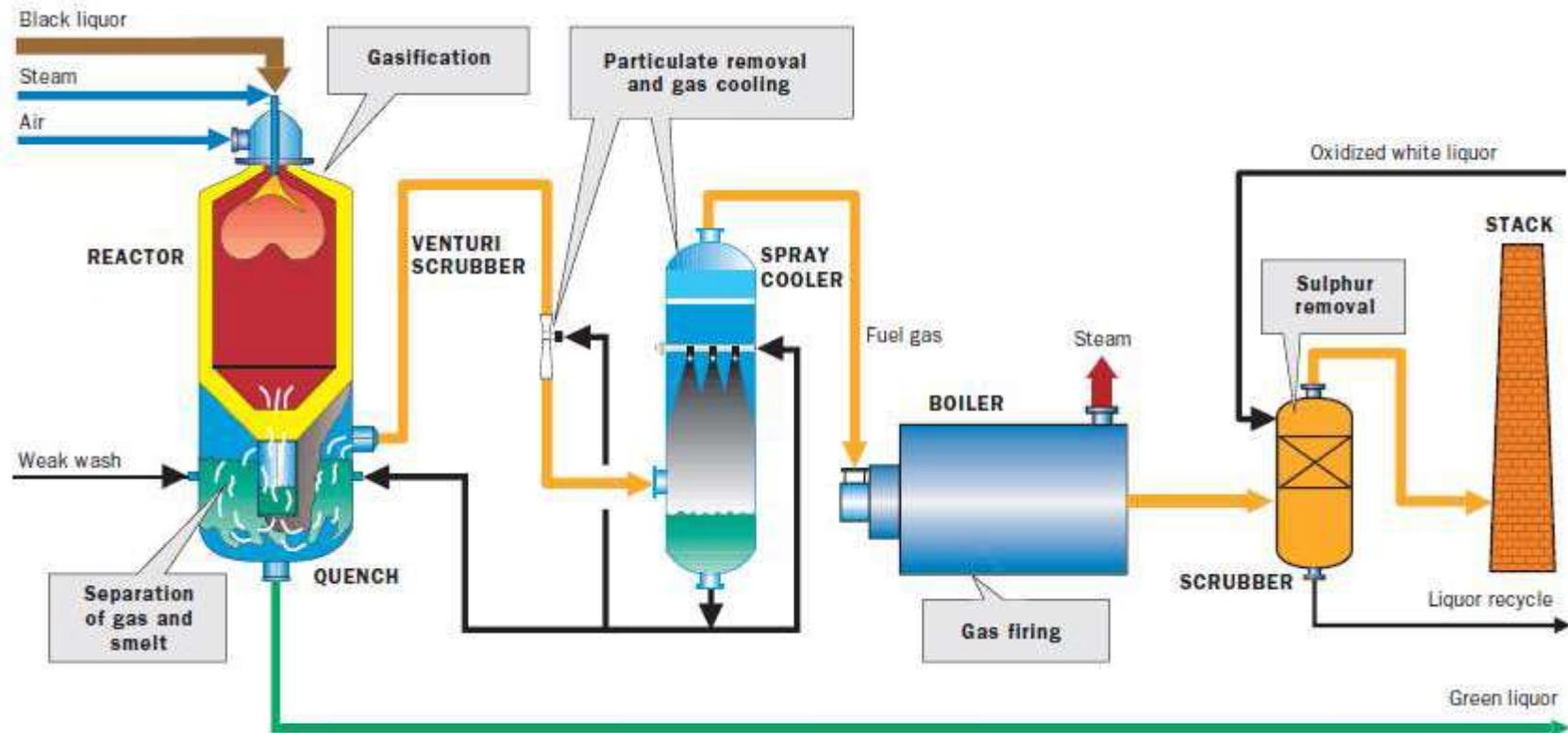
Technologie mature pour le charbon mais encore au niveau démonstrateur pour la biomasse
Préparation de la biomasse difficile et coûteuse (poudre)
Procédé haute température et haute pression => CAPEX important
Transport de la poudre difficile et coûteux
Gestion de l'approvisionnement biomasse



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 H₂, Elec



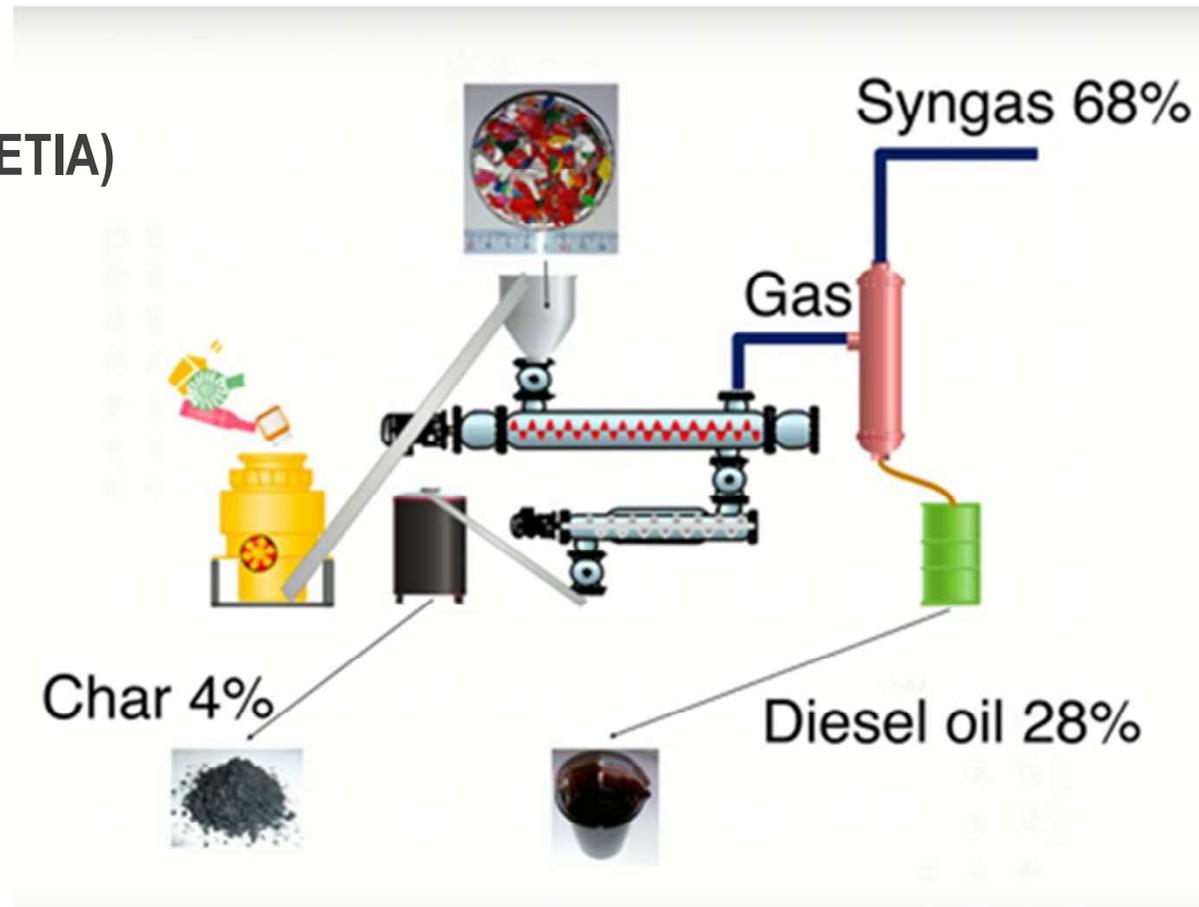
Réacteur PRENFLO PDQ de TKIS (All):
 3 brûleurs, 1200-1600°C , 25-40 bars
 Ressource = charbon pulvérisé, petcoke
 Quench à l'eau
 Capacité : jusqu'à 2000 t par jour
 En France : démonstrateur BIOTFUEL (3
 t/h) avec ressource biomasse pour
 production de carburant (tests en cours)



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)



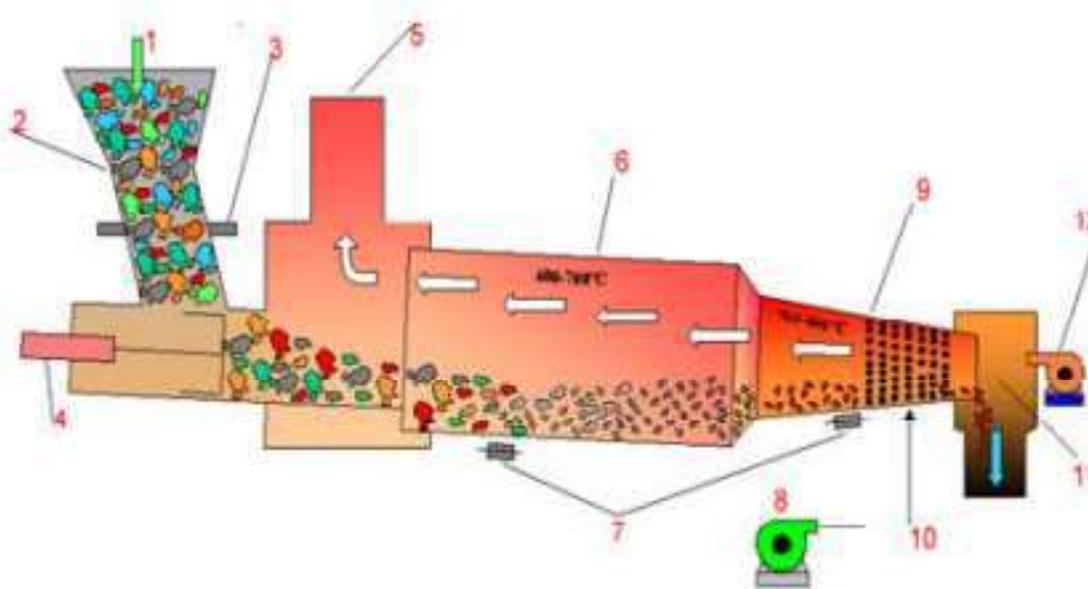
Vis chauffée BIOGREEN SPIRAJOULE® (ETIA):

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 d process ; 9 = cellule de gazéification ; 10 = résidu solide inerte ; 11 = cendrier ; 12 = brûleur de préchauffage

Four rotatif incliné – air à contre courant - autothermique

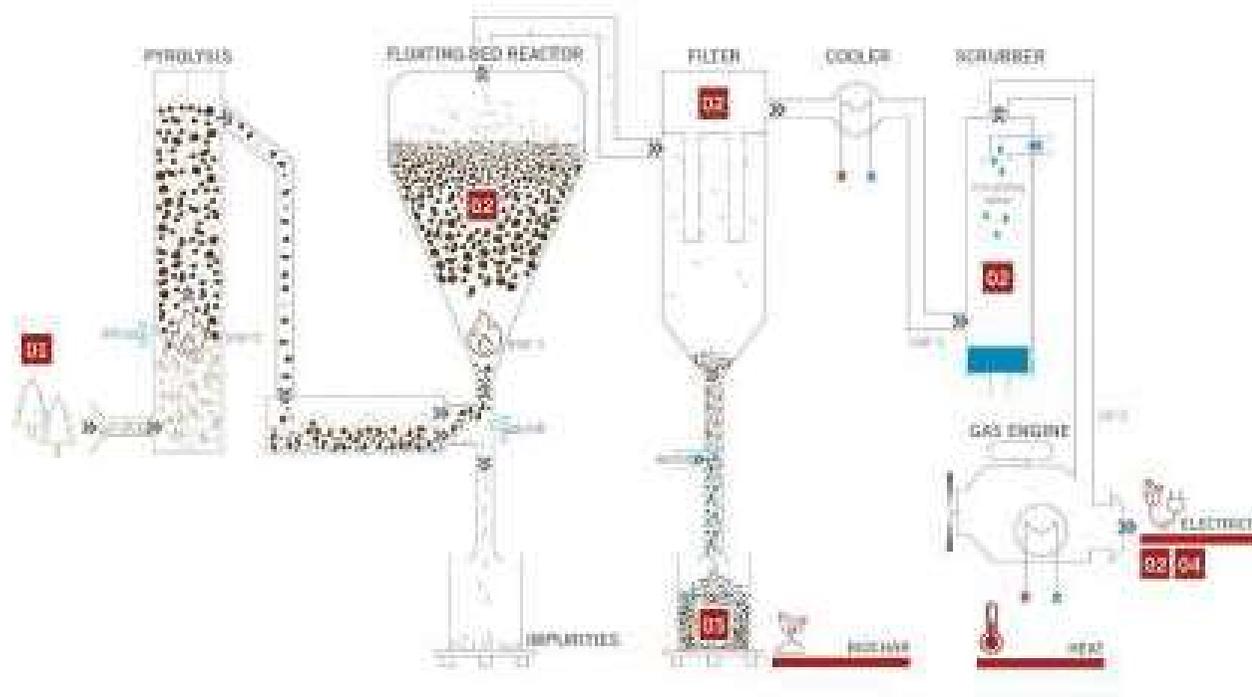
Pyrolyse à 600-700°C suiv de gazeification à 750-850°C

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

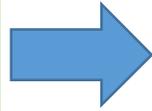
Ressource = bois,déchets

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/ Nm ³)	Particules (mg/Nm ³)	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)



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

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives - www.cea.fr