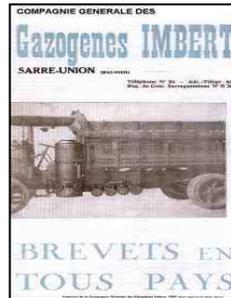


Pyrolyse, liquéfaction et gazéification de la biomasse

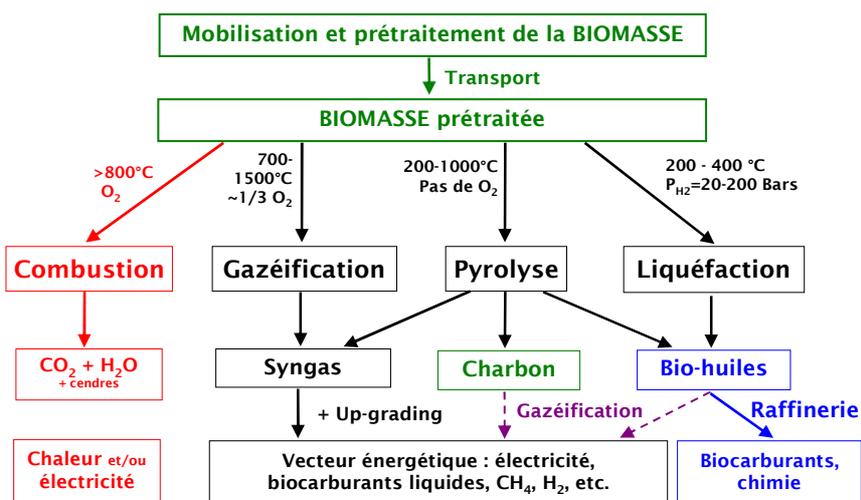
A. Dufour, Y. Le Brech, G. Mauviel

Laboratoire Réactions et Génie des Procédés, ENSIC, Nancy.
anthony.dufour@univ-lorraine.fr

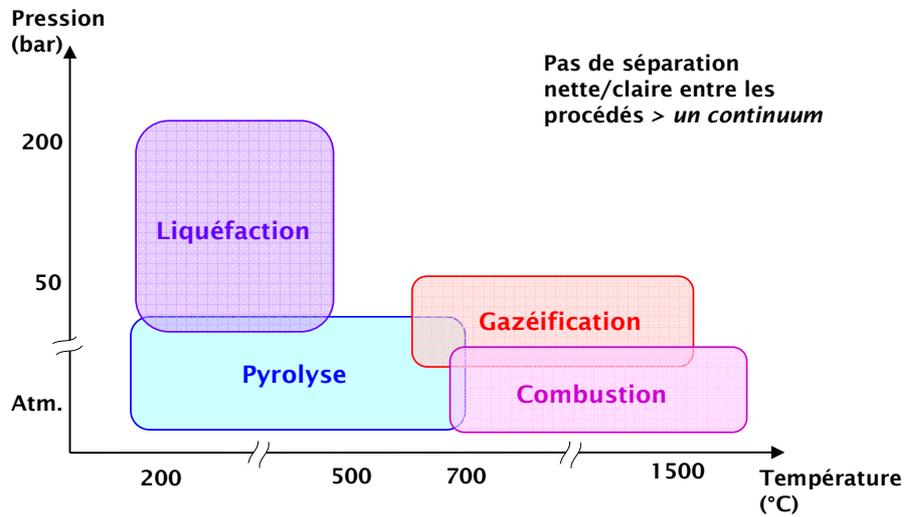
Paris, 10/10/2018



Principales filières de conversion thermochimique

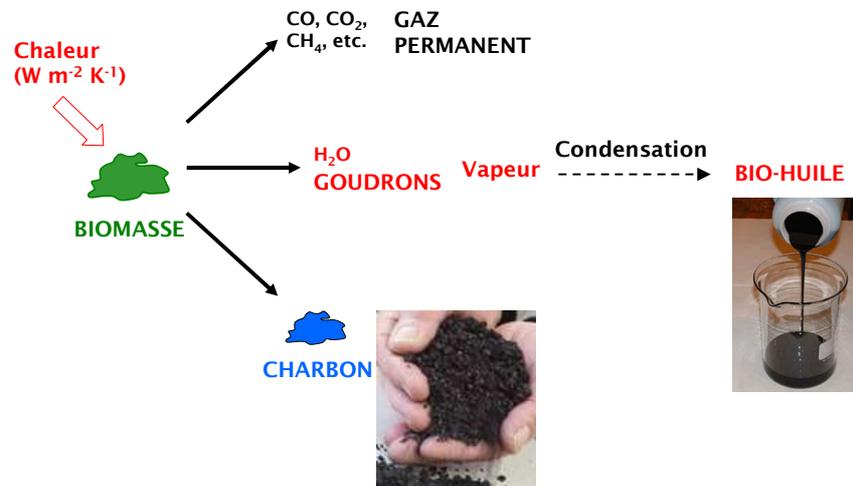


Différents procédés de conversion thermo-chimique en fonction de la température et de la pression

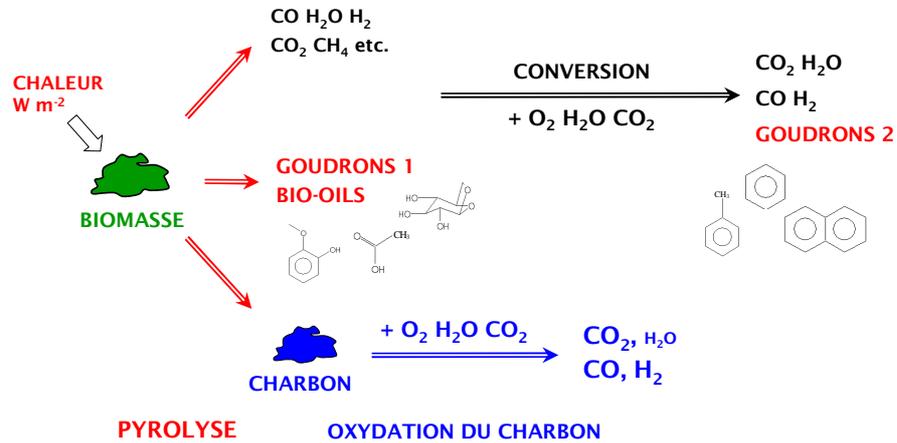


La pyrolyse est la première étape clé dans tous les réacteurs thermo-chimiques.

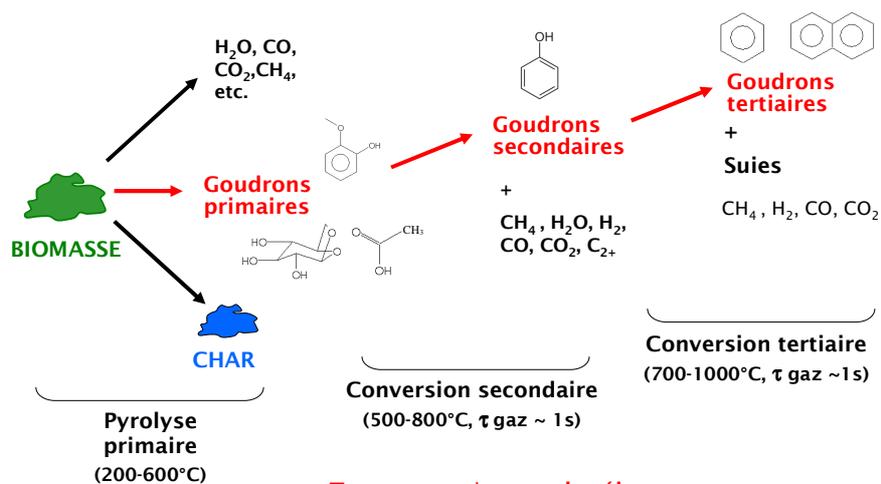
Elle forme des gaz, liquide (goudrons) et charbon.



Puis les produits de pyrolyse peuvent être oxydés, convertis...

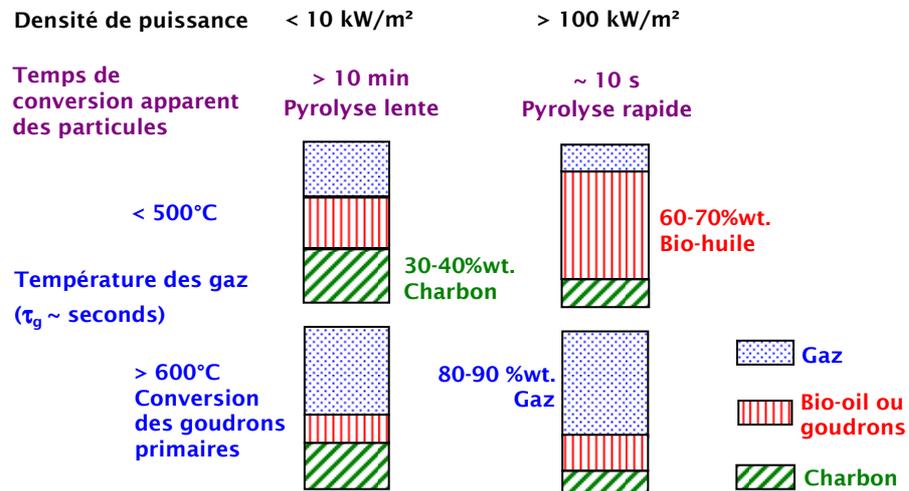


La composition des goudrons est un bon indicateur de « l'histoire thermique » de la phase gaz...



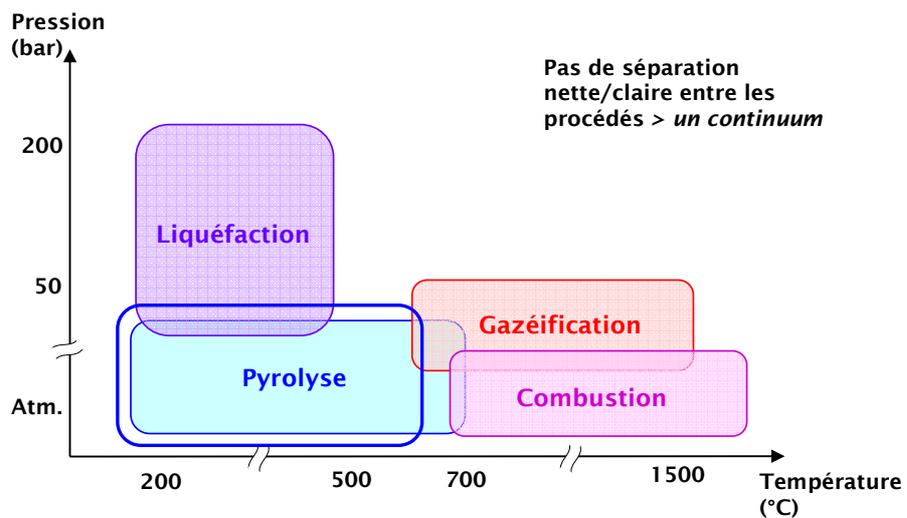
Adapté de Milne & Evans, 1987

La distribution des produits de pyrolyse dépend de la puissance de chauffe et de la température de la phase gaz.

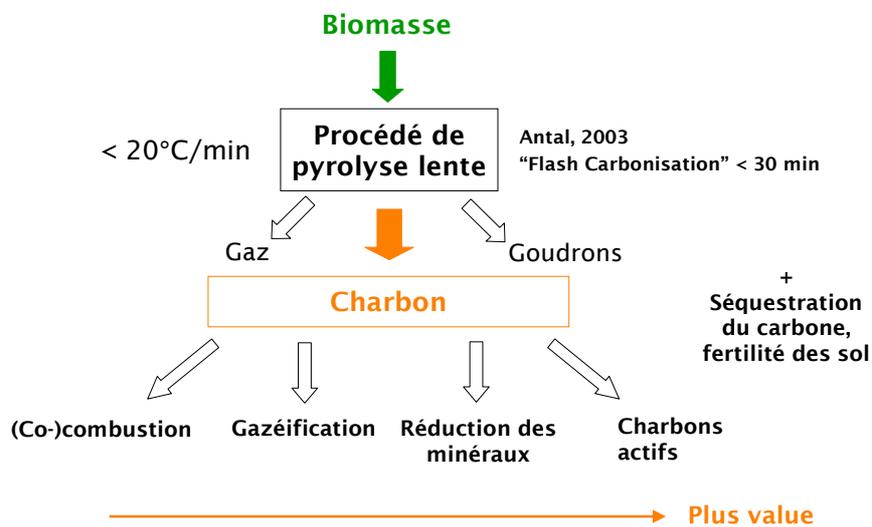


Adapté de Deglise, 1981

Différents procédés de conversion thermo-chimique en fonction de la température et de la pression



Usages du charbon de bois



Les « réacteurs » de carbonisation ont été développés depuis bien longtemps...



Four traditionnel

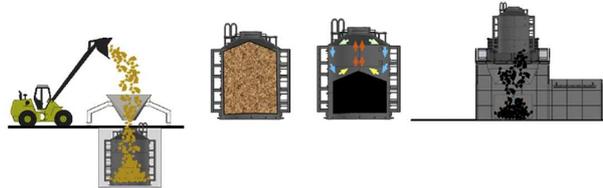


Usines de carbonisation (« distillation ») en France (Braque, 1949)

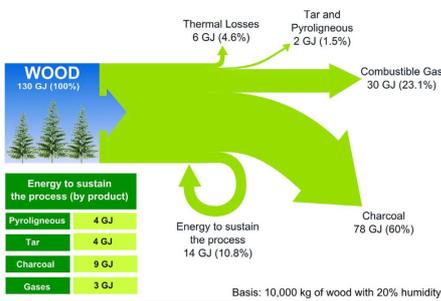
On utilise souvent des réacteurs batch (plus faible coût).



CML France

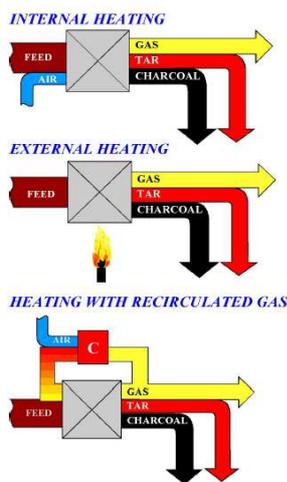


RCK Brésil: chargement, carbonisation, décharge du réacteur



Bilan énergétique du procédé industriel RCK
de Oliveira Vilela, 2014

Du réacteur batch au réacteur continu...



Gronli, 2002

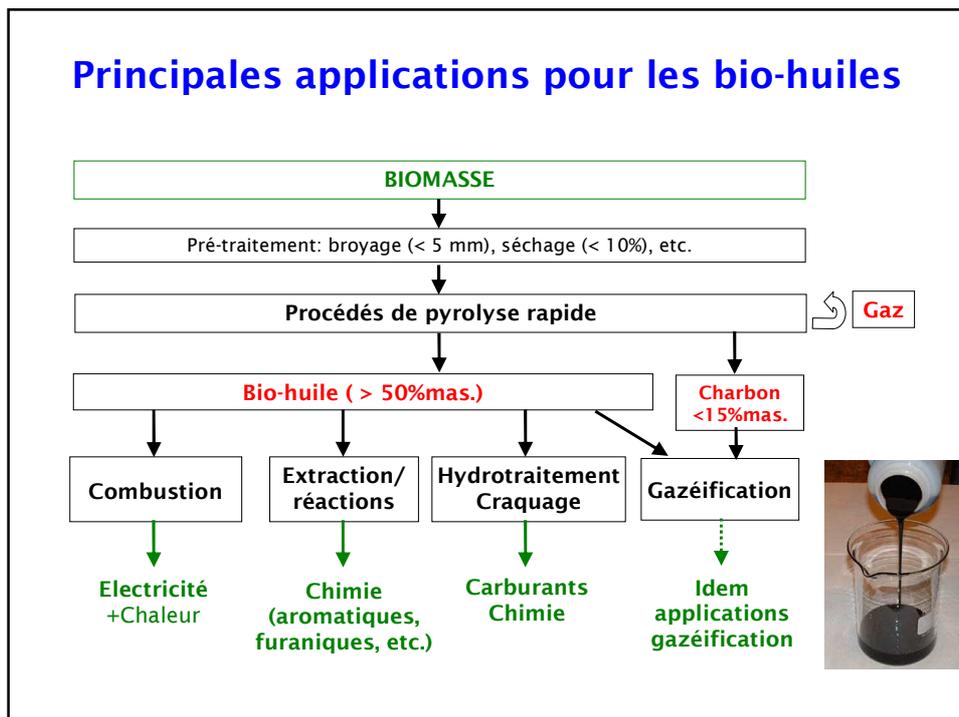


Napoli, 2009



Lambiotte, Prémery
(1887-2003)

Principales applications pour les bio-huiles



Différents types de réacteurs de production de bio-huiles par pyrolyse rapide

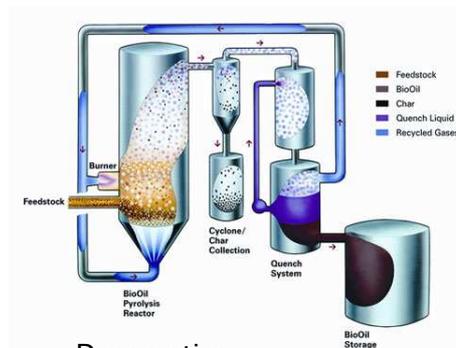
Lit fluidisé (ex.: ENSYN, Dynamotive, Aston, Hamburg)

Pyrolyse ablative (ex.: Lédé, 1987, NREL, Aston)

Pyrolyse sous vide (Pyrovac)

Cyclone (Lédé, 1980, Twente)

Rotating cone (Twente/BTG)

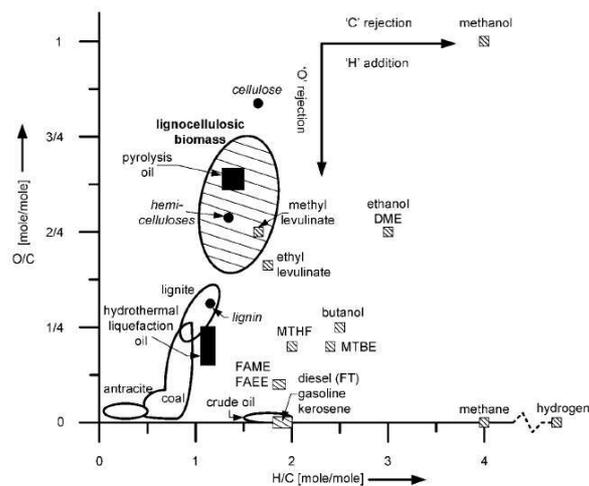


Propriétés physico-chimiques des bio-huiles

	bio-huiles	fioul lourd	commentaires
Teneur en eau (% m.)	15-30	0.1	
pH	2.5		bio-huiles acides
Densité	1.2	0.94	
Composition élémentaire (% m.)			
C	54-58	85	
H	5.5-7.0	11	
O	35-40	1.0	non-miscibles aux HC
N	0-0.2	0.3	
S	<0.05	2.5	
inorganiques	0-0.2	0.03	problèmes avec catalyseurs
PCS (MJ/kg)	16-19	40	
Teneur en solides (% m.)	0.2-1.0	1	érosion injecteurs
Résidu distillation (% m.)	jusqu'à 50	1	bio-huiles instables vs T

Czernik, S.; Bridgwater, A. V. *Energy Fuels* 2004, 18, 590-598 (modifié par Mauviel, 2009)
 Autre problème : stabilité de l'huile à froid (séparation de phase)

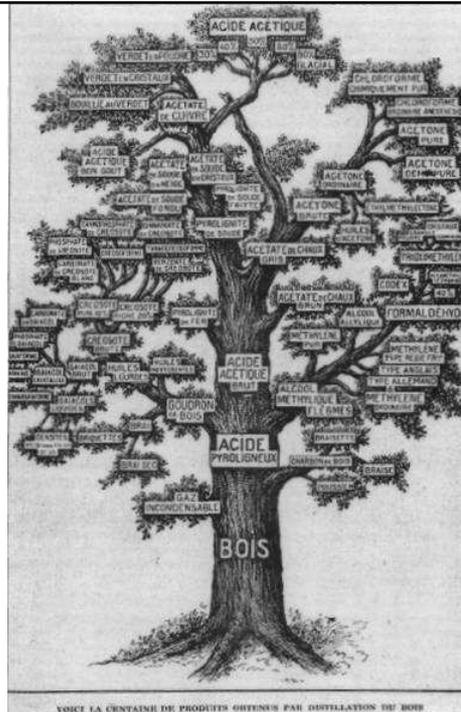
Il faut désoxygéner les bio-huiles si on veut retrouver le ratio O/C des produits pétroliers.



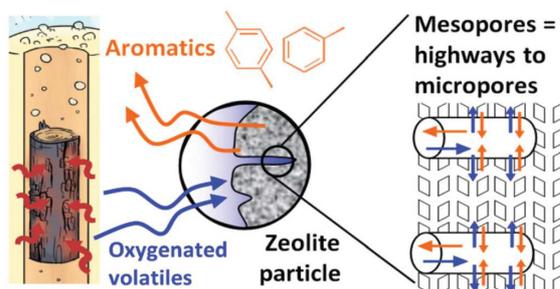
Kersten, Twente Univ. 2007

Des bioraffineries industrielles ont fonctionné en France durant plus de 100 ans !

Produits obtenus par la pyrolyse du bois au milieu du 20ème siècle

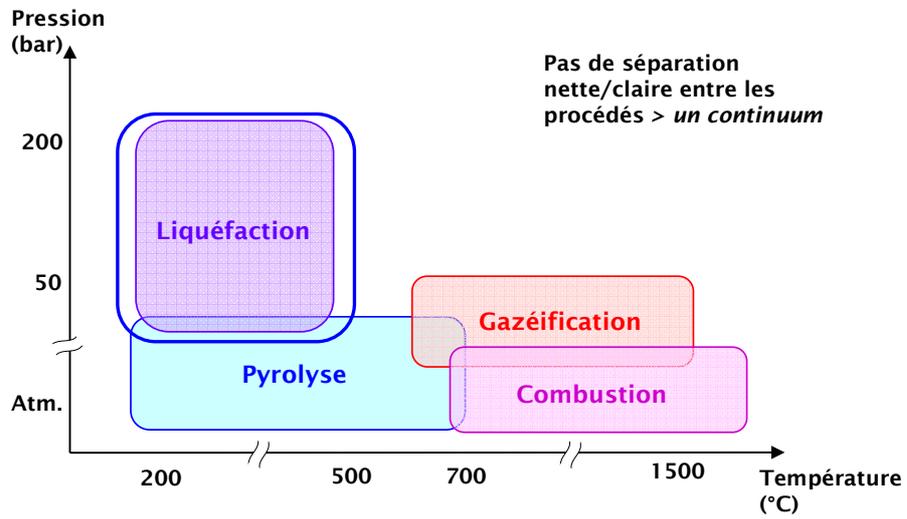


Pyrolyse catalytique avec des zéolites comme pour le FCC (Fluid Catalytic Cracking) du pétrole

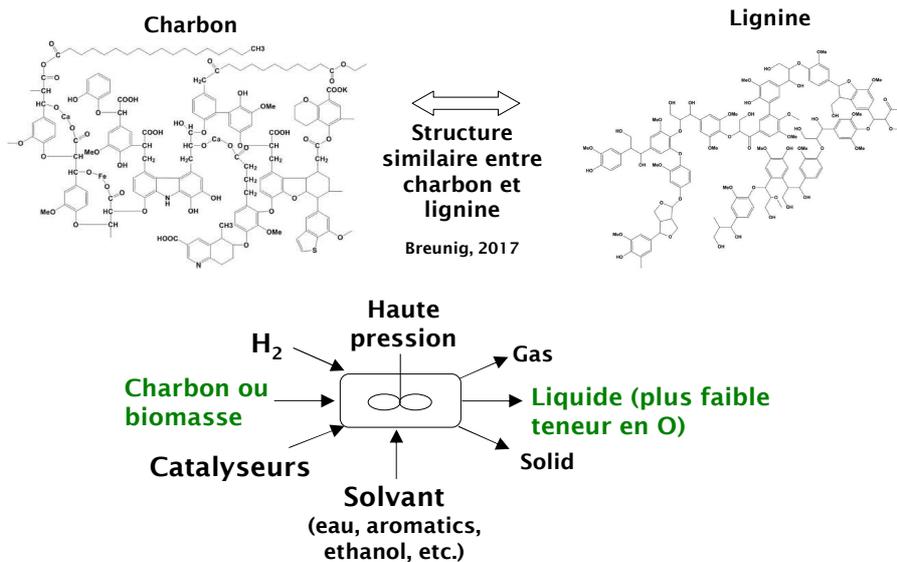


Les zéolites hiérarchisées permettent d'augmenter la production d'aromatiques.

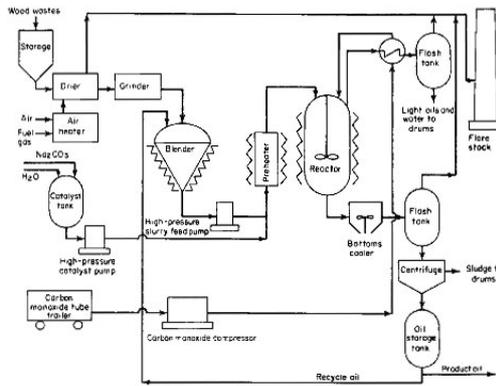
Différents procédés de conversion thermo-chimique en fonction de la température et de la pression



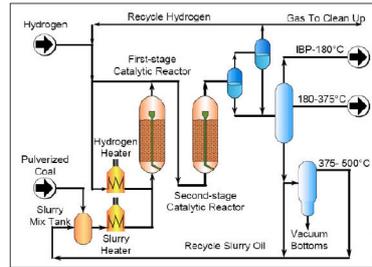
La liquéfaction du charbon est un procédé ancien... (Bergius, 1913)



Procédés de liquéfaction (lit bouillonnant, etc.)

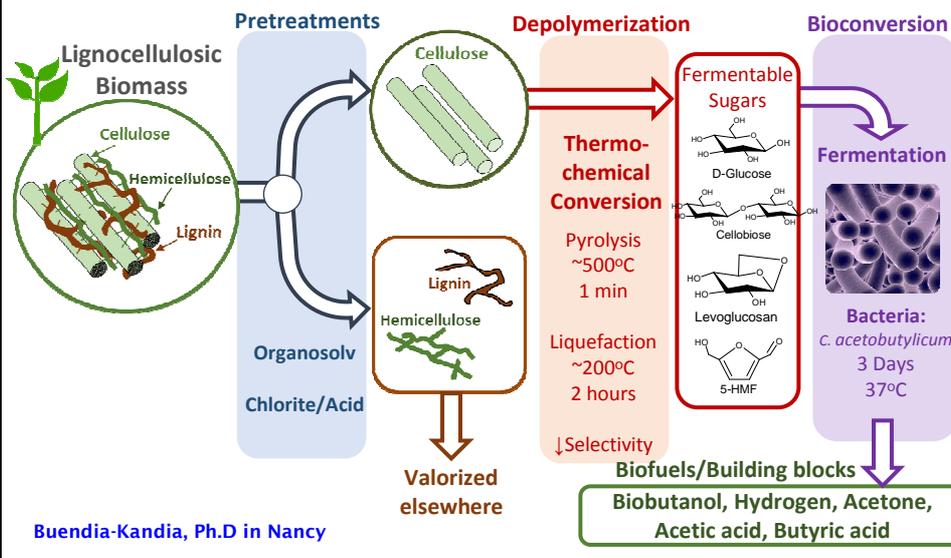


Pilote de liquéfaction du bois, Albany, Or.

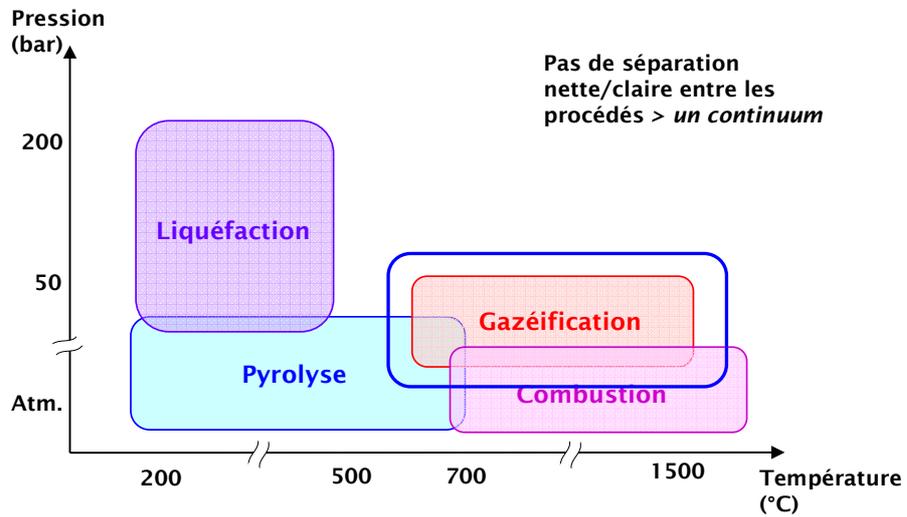


Shenhua, China
1Mt/an de carburant à partir du charbon !

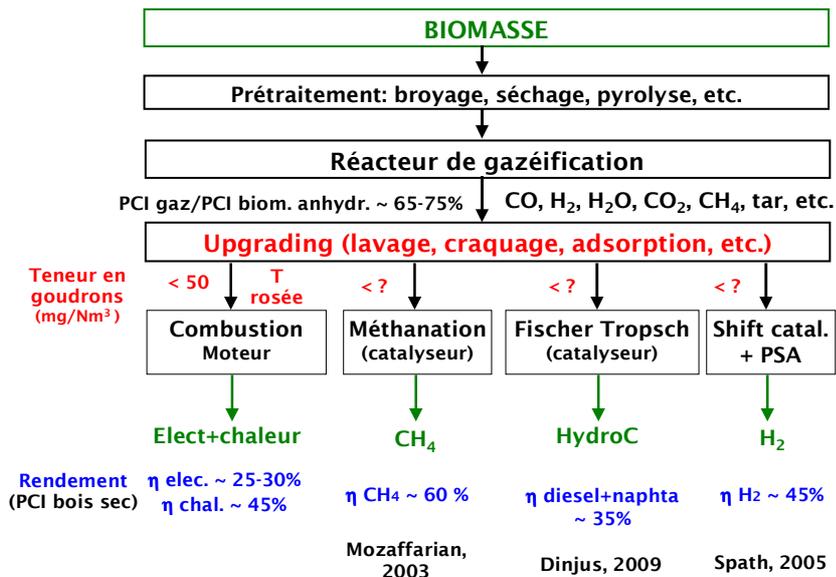
Comparaison entre pyrolyse et liquéfaction pour produire des sucres fermentescibles et du bio-butanol



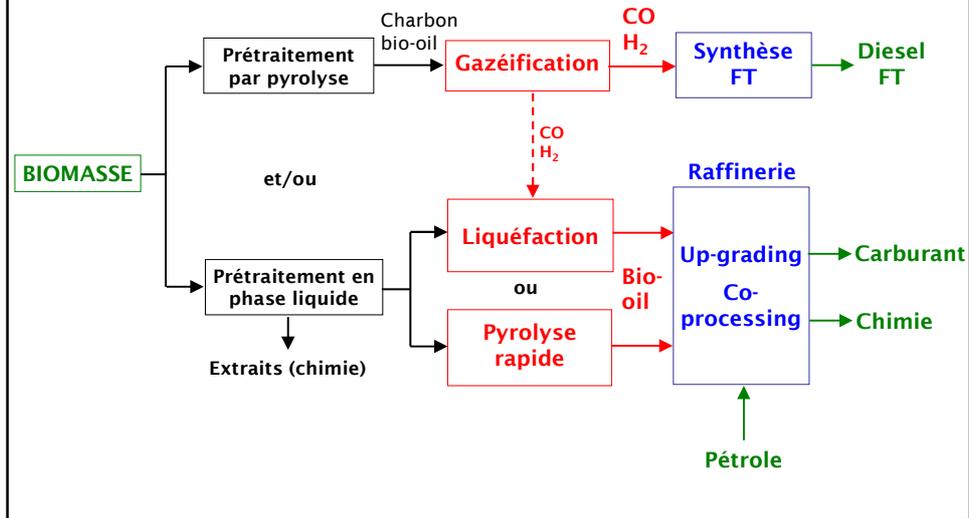
Différents procédés de conversion thermo-chimique en fonction de la température et de la pression



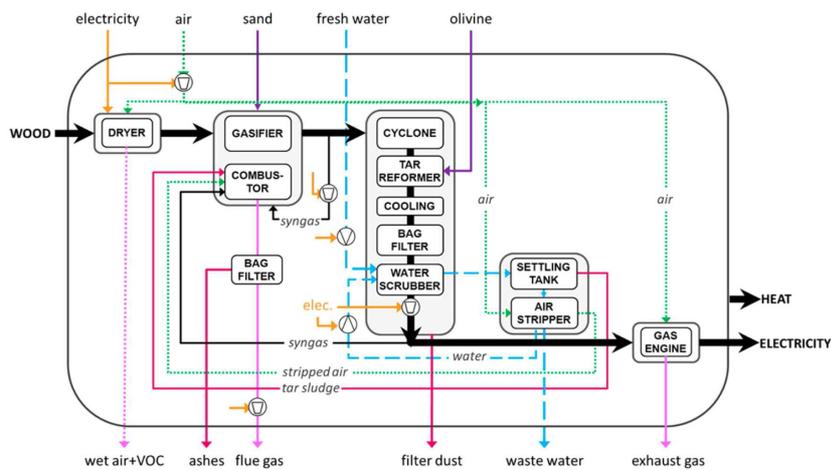
Principales applications du syngaz



Production de biocarburant de 2^{de} génération : traitement des bio-huiles en raffineries ou synthèse Fischer-Tropsch ?

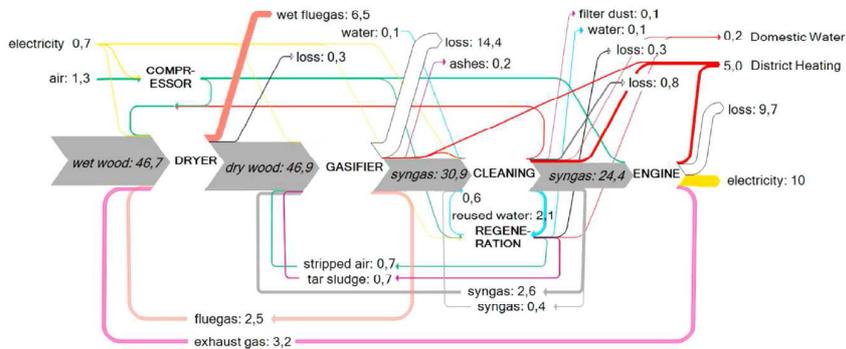


Modélisation des procédés de gazéification à Nancy pour obtenir des bilans matière et énergie précis



J. Francois et al., Biom. Bioenergy, 2013.

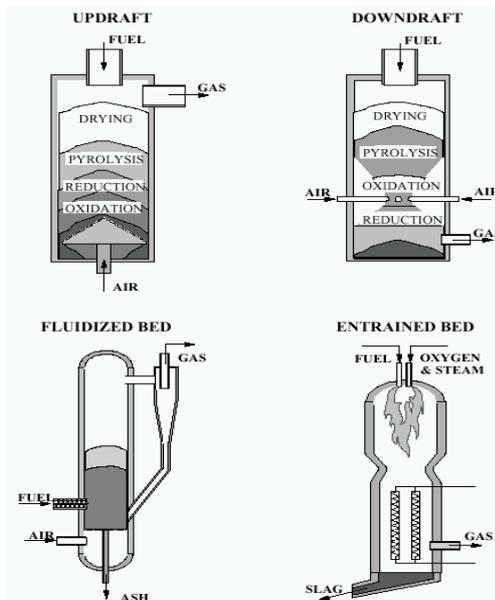
Bilan exergetique d'un procédé intégré



Rendement exergetique ~32% (elec.+heat [10+5]/wood [46.7])
 Dégradation de l'exergie principalement dans le gazéifieur
 Problèmes techniques et pertes à cause des goudrons

J. Francois et al., Energy & Fuels 2013.

Différents types de réacteur pour la gazéification



Lit fixe : technologie ancienne
 ~1930, Imbert, Mukunda, PRME,
 Ankur, Cogebio, Xylowatt, etc.

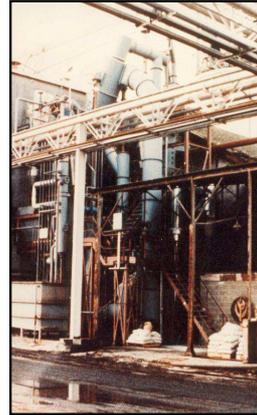
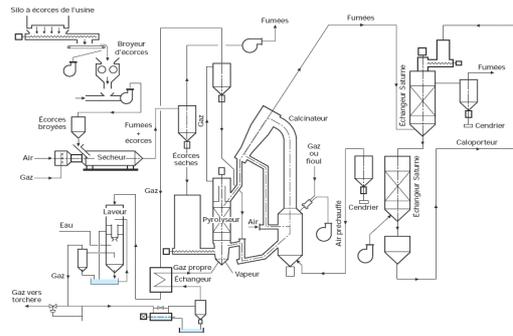
Lit fluidisé (1960-80): Pr.
 Kaminsky, Pr. Kunnii, Pr. G. Xu,
 GTI, Foster Wheeler, Leroux&Lotz
 (ex-TPS), Enerkem, Valmet, EQTEC,
 etc.

Le choix du gazéifieur dépend
 de l'application et de l'échelle.

Type de Reacteur	Application	Echelle (ton biom. /h)
Co-courant	Electricité	< 0,2
Lit fluidisé	Elec., CH ₄ , H ₂ , FT diesel	~ 1 to 50
Lit entrainé	diesel FT, H ₂	> 50 (?)

**Un excellent procédé de gazéification a été développé en France dans les années 80.
(TNEE/Cellulose du Pin)**

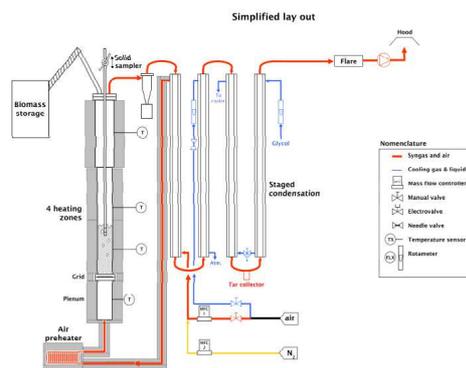
Puis procédé similaire développé dans les années 90 à Vienne puis Güssing, Gobigas, projet GAYA en France (ENGIE), etc.



**500 kg/h d'écorces 1984-1985
(Facture, France)
PCI gaz ~16 MJ/m³**

Deglise, 1985

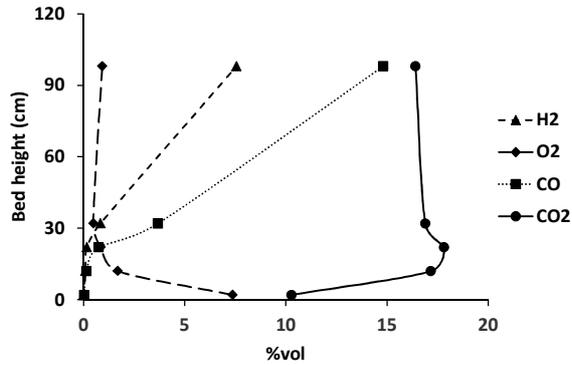
Lit fluidisé dense à Nancy (5-10kg/h) (avec EDF et Leroux&Lotz)



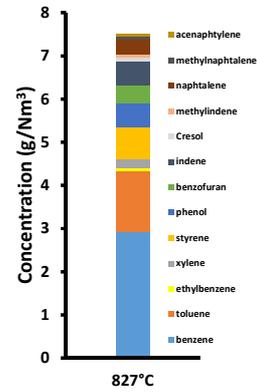
**Plus de 40 températures et capteurs de pression
Echantillonnage du lit durant l'opération
Pilote entièrement fabriqué à Nancy**

G. Mauviel, G. Lardier et al. En&Fuels, 2016

Profil de formation de gaz, goudrons, agglomérats en fonction des conditions (biomasse, déchets, etc.)



Profil de formation de gaz le long du lit fluidisé

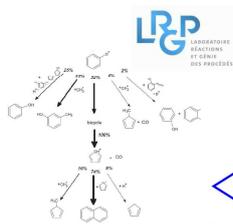


Analyse des goudrons en sortie

G. Mauviel, G. Lardier, En&Fuels, 2016

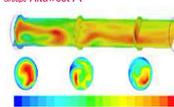
Laboratoire commun entre le LRGP et Leroux&Lotz (technologie industrielle pour la gazéification de biomasses et déchets)

Cinétique et analyse des goudrons



L&L
LEROUX & LOTZ
Groupe Altavest AI

Design et essais unités industrielles



Synergies

Essais échelle laboratoire



Plateforme de démonstration INNOV'ENERGY



Il faut bien épurer les goudrons pour réduire l'encrassement des moteurs à gaz.

Retour d'expérience de Jenbacher

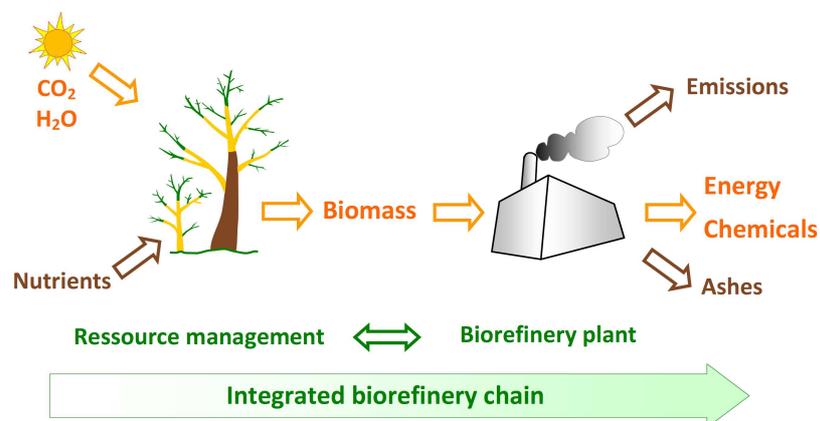


naphthalene crystals
gas pressure
control valve
naphthalenes > 1g/sm³
LHV = 5.414 MJ/sm³

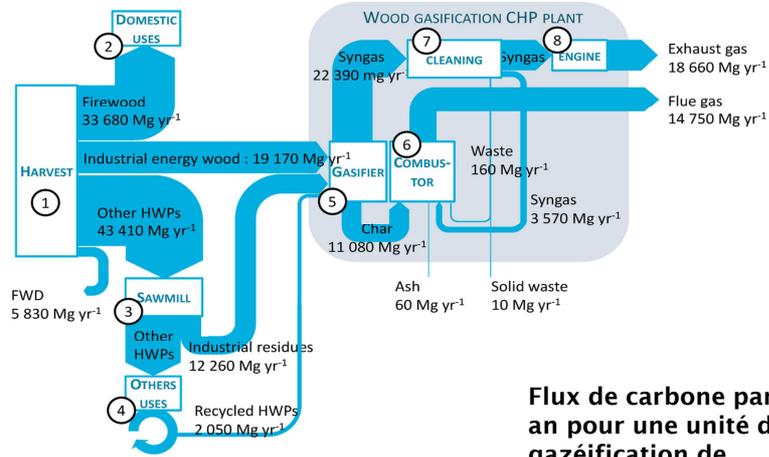
Deposit of coke & tar in the diffuser housing



Bilan matière et énergie des filières: du sol à l'énergie finale



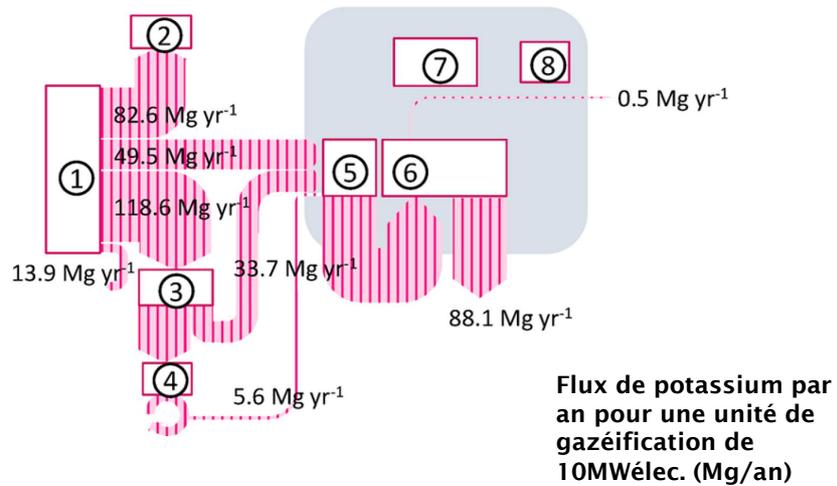
Bilan carbone de la filière forêt-énergie



J. Francois, M. Fortin et al., Env. Sc. Technol. 2014.

- 35 -

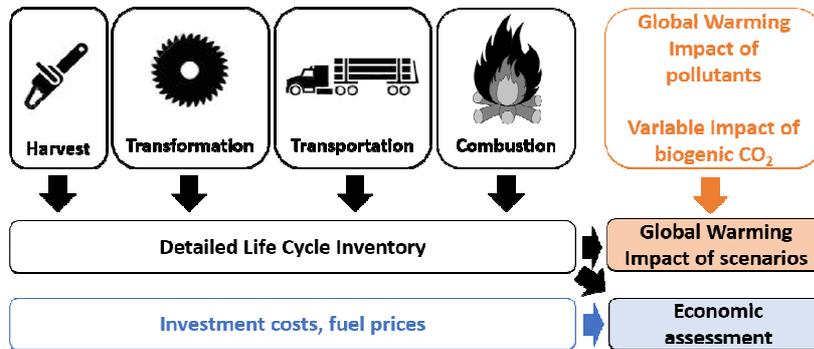
Bilan sur les nutriments du sol...



J. Francois, M. Fortin et al., Env. Sc. Technol. 2014.

- 36 -

Analyse environnementale et économique des filières



C. Pelletier, App. Energy submitted

Impact « réchauffement climatique » pour le chauffage d'une maison (en Lorraine !)

Figure supprimée pour la version en ligne

Impact réchauffement climatique et coût des différentes technologies

Fort impact de l'hypothèse sur le « CO₂ biogenic »

Figure supprimée pour la version en ligne

Les nouvelles technologies doivent être adaptées aux besoins et à la perception de la société...



Faut-il implanter des bioraffineries industrielles de grosse taille ?...

Anenberg, 2013

Merci et vous êtes le bienvenu à Nancy!

