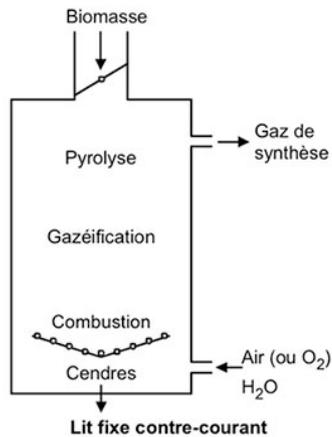


Annexe 2 : Principales technologies

Module 14.3 – Gazéification



- **Lit fixe contre-courant (*updraft*)**

Température élevée d'environ 1 200°C. Accepte les biomasses avec un taux élevé d'humidité. Par contre, le syngas est fortement chargé en goudrons ($\approx 100 \text{ mg.Nm}^{-3}$) produits lors de la pyrolyse car ceux-ci ne traversant pas la phase chaude avant d'être évacués, il n'y a pas de craquage thermique de ces goudrons.

-> Le PCI du syngas est augmenté à condition d'être valorisé dès la sortie du réacteur sans être refroidi. Débit de biomasse d'environ 4t/h.

Figure 1 : Schémas de principes de fonctionnement de réacteurs de gazéification - Seiler, Jean-Marie. 2019. La Gazéification. <https://www.encyclopedie-energie.org/la-gazeification/>

- **Lit fixe co-courant (*downdraft*)**

L'air est ici introduit dans la partie haute du réacteur. Ainsi le gaz traverse la zone d'oxydation à haute température avant d'être évacué : il a donc craquage thermique des goudrons (concentration de quelques mg.Nm^{-3} dans le syngas).

-> Ce réacteur est donc plus adapté pour une utilisation décentralisée du syngas. Mais demande un combustible de qualité et homogène ainsi que des réglages du réacteur plus pointus. Débit maximum de 0,5 t/h.

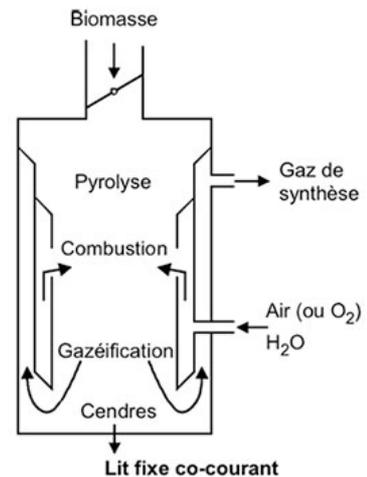
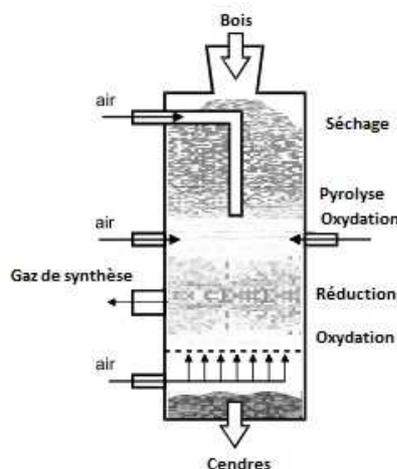


Figure 2 : Schémas de principes de fonctionnement de réacteurs de gazéification - Seiler, Jean-Marie. 2019. La Gazéification. <https://www.encyclopedie-energie.org/la-gazeification/>



- **Procédé à double feu (*Double fire gasifier*)**

Une combinaison des procédés co-courant et contre-courant. Les gazogènes co-courant ne permettant pas de convertir l'ensemble du coke présent dans la zone de réduction, en partie basse du réacteur.

Ici on rajoute une injection d'air (à gauche sur la figure ci-contre) pour créer une seconde zone d'oxydation et oxyder entièrement la fraction de carbone résiduelle.

Figure 3 : F. Lettner, H. Timmerer, et P. Haselbacher, « Biomass gasification - State of the art description », Intelligent Energy Europe (IEE), Deliverable 8, 2007

- **Les procédés étagés**

Dérivé des gazogènes co-courant avec une séparation des étapes de pyrolyse et d'oxydation/réduction dans deux réacteurs distincts. Cela permet une conduite optimale des deux réacteurs pour minimiser la concentration de goudrons ($< 20 \text{ mg.Nm}^{-3}$).

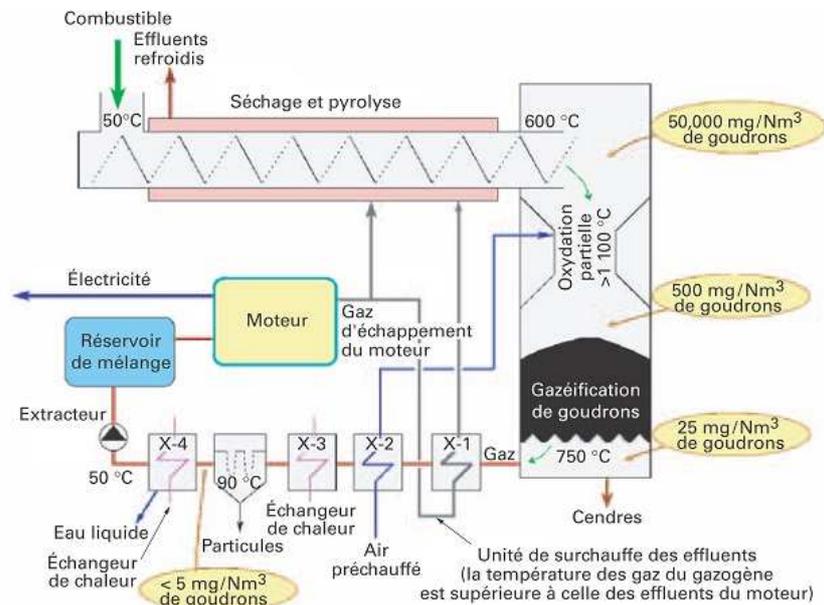


Figure 4 : Procédé étagé "Viking" DTUL. Gerun - Tech. Ing.
<http://www.gazéification.info/home1>

- **Les lits fluidisés**

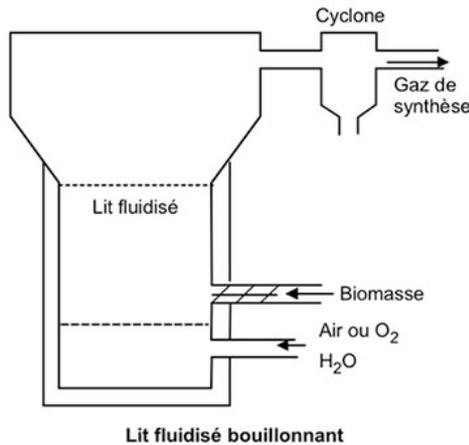
Par ce procédé, les particules sont mises en suspension dans le réacteur par injection à sa base d'un gaz qui va « soulever » les grains. Il faut donc des particules de petites tailles (2 à 5 mm), ce qui nécessite généralement un broyage préalable de la biomasse.

Cela favorise les échanges thermiques et massiques entre le gaz et le solide. La biomasse est pré-séchée.

Dans ce type de réacteur, les différentes étapes de pyrolyse, combustion ou oxydation ont lieu dans une seule et même zone. Par ailleurs, le gaz produit est fortement chargé en particules, exigeant la mise en œuvre de traitements avant sa valorisation (cyclone).

Bon rendement et permet l'utilisation de combustibles plus variés tels que les CSR (Combustibles Solides de Récupération).

Peu adapté aux installations de faible puissance à cause de sa complexité de mise en œuvre. Discuté dans une présentation ultérieure.



- **Lit fluidisé dense ou lit « bouillonnant » (*bubbling fluid bed*)**

Le combustible repose sur une grille à travers laquelle traversent les gaz oxydants. Leur vitesse est juste assez élevée ($1-2 \text{ m.s}^{-1}$) pour permettre le brassage des particules sans les entraîner hors du lit. Température entre 700 et 800°C .

-> Pas très souple d'exploitation, en particulier au niveau du contrôle du niveau du lit lors des variations de charge. Débit de la biomasse de 10 à 15 t/h . Concentration en goudrons de l'ordre de 10 mg.Nm^{-3}

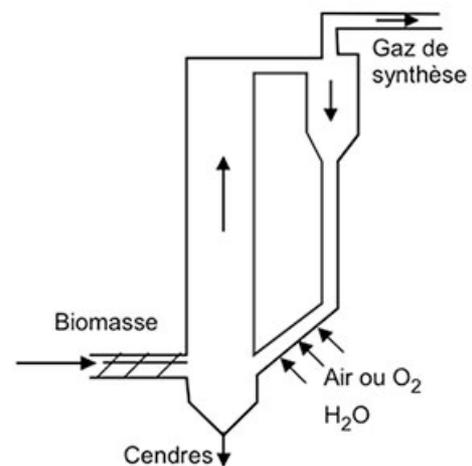
Figure 5 : Schémas de principes de fonctionnement de réacteurs de gazéification - Seiler, Jean-Marie. 2019. La Gazéification. <https://www.encyclopedie-energie.org/la-gazeification/>

- **Lit fluidisé circulant (*circulating fluid bed*)**

Le combustible circule entre la zone de réaction et un cyclone séparateur où les cendres sont éliminées. La vitesse de fluidisation est plus élevée (4 à 6 m.s^{-1}), si bien qu'une partie des particules du lit est entraînée hors du réacteur.

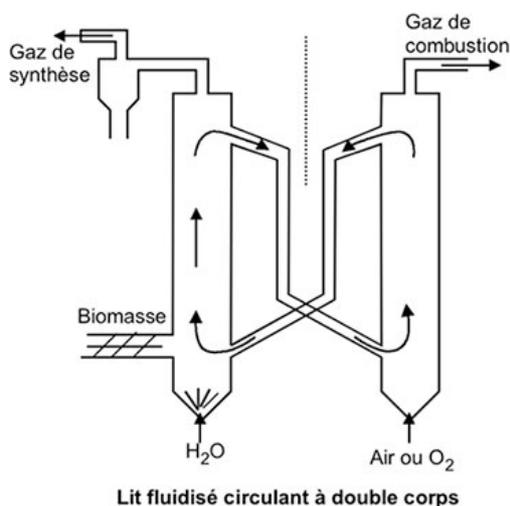
Un cyclone sépare la phase solide qui est ensuite réinjectée dans la zone de réaction.

-> Plus grande tolérance vis-à-vis du combustible que le lit dense. Intérêt économique pour les débits de biomasse élevés (15t/h ou plus).



Lit fluidisé circulant

Figure 6 : Schémas de principes de fonctionnement de réacteurs de gazéification - Seiler, Jean-Marie. 2019. La Gazéification. <https://www.encyclopedie-energie.org/la-gazeification/>



- **Lit fluidisé circulant à double corps (*twin fluid beds*)**

Extension du lit circulant. Le système de recirculation permet d'assurer, dans le circuit de retour, le mélange du matériau de fluidisation et de la biomasse dans un réacteur séparé dans lequel s'effectue la combustion du solide résiduel.

Le matériau recirculant devient alors un caloporteur qui transfère l'énergie de combustion du carbone solide résiduel vers le réacteur de gazéification.

-> Intérêt économique seulement pour les débits de biomasse élevés (10t/h ou plus) car trop complexe.

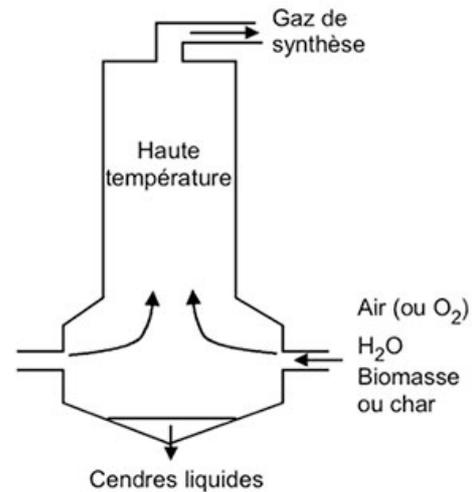
Figure 7 : Schémas de principes de fonctionnement de réacteurs de gazéification - Seiler, Jean-Marie. 2019. La Gazéification. <https://www.encyclopedie-energie.org/la-gazeification/>

- **Réacteur à flux entraîné (*entrained flow*)**

Le combustible est finement pulvérisé dans un jet d'oxygène : nécessite une biomasse ou du charbon moulu. + forte consommation en oxygène.

Pression entre 20 et 50 bars. Températures élevées (1400 - 1600°C) et cinétique de réaction très rapide. Vitesse de fluidisation supérieure à 6 m/s. Temps de séjour dans le réacteur de l'ordre de la seconde.

-> Craquage complet des goudrons, très haut rendement en gaz, faible impact environnemental et forte puissance des installations. Mais implique un prétraitement coûteux de la biomasse (taille des particules sous le millimètre). La pyrolyse peut être faite en amont du réacteur.



Réacteur à courant fluide ou à flux entraîné

Une des meilleures solutions pour faire de l'électricité à partir du charbon à l'échelle industrielle !

Figure 8 : Schémas de principes de fonctionnement de réacteurs de gazéification - Seiler, Jean-Marie. 2019. La Gazéification. <https://www.encyclopedie-energie.org/la-gazeification/>

- **Procédés allothermiques par plasma thermique**

Contrairement à tous les procédés précédents dits autothermique, un procédé allothermique utilise une source d'énergie extérieure. Pas d'apport d'oxygène donc pour une combustion (perte énergétique importante par séparation cryogénique de l'oxygène dans l'air). Il présente l'avantage de conserver la totalité de la biomasse entrante pour sa conversion en gaz de synthèse et par conséquent permet d'augmenter les rendements matières, en gardant des rendements énergétiques très bons. De plus, l'outil plasma permet de réduire significativement la quantité de goudrons.