



La pyrolyse rapide de la biomasse

La pyrolyse rapide vise la production d'un combustible liquide plus facile à transporter et à utiliser en substitution de combustibles d'origine fossile dans des installations industrielles existantes. Deux installations pilotes fonctionnent au USA et Brésil et la recherche se poursuit en laboratoire.

Principe

La pyrolyse rapide (ou pyrolyse flash) consiste en une transformation thermique d'une biomasse (bois, paille, résidus agricoles ...) en absence ou défaut d'oxygène. Le but de cette transformation est de convertir le solide en un liquide combustible, plus homogène et moins volumineux que la biomasse initiale, en ayant le même pouvoir calorifique. Ce liquide contient également des composés chimiques d'intérêt qui peuvent être valorisés en chimie fine. Les autres produits de la réaction sont un résidu carboné (charbon) et des gaz incondensables (CO , H_2 , CO_2 , CH_4 , C_nH_m ...)

Par rapport à la pyrolyse lente, procédé traditionnel pour la production de charbon de bois, la pyrolyse rapide se caractérise par :

- Une vitesse de chauffage et de transfert de chaleur très grande, ce qui impose de traiter des bio-

masses finement broyées (particules de 0.5 à 5 millimètres)

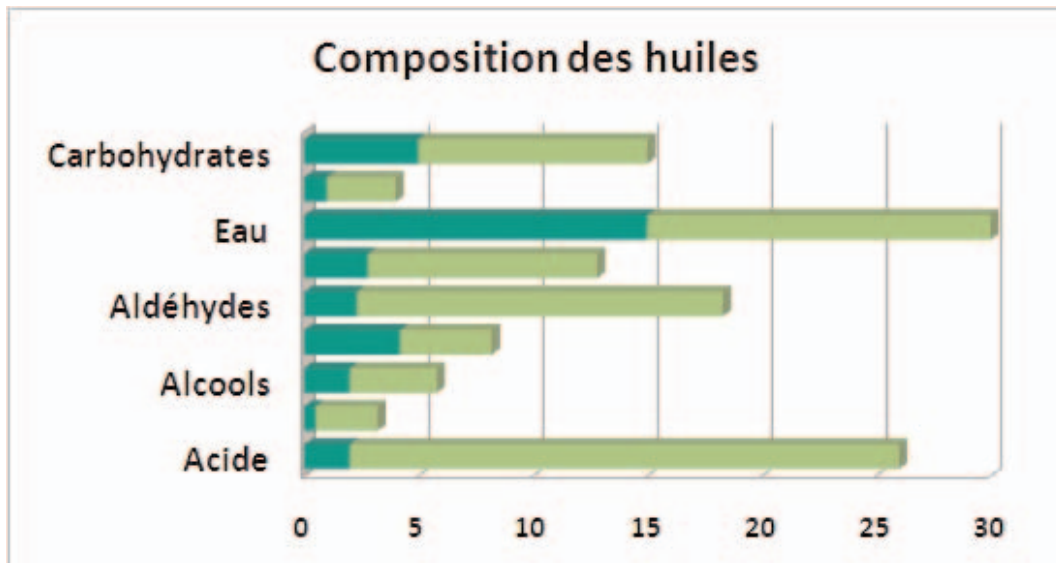
- La nécessité de disposer de biomasse très sèche (de l'ordre de 10% de tau d'humidité).
- Une température de pyrolyse contrôlée et plutôt basse (autour de 500°C) avec un temps de séjour très faible (de l'ordre de quelques secondes) pour éviter le craquage ou la recombinaison des vapeurs
- Un refroidissement rapide des vapeurs de pyrolyse pour obtenir le liquide, communément appelé bio-oil ou huile de pyrolyse ou bio-huile.

Les rendements en bio-oils se situent entre 70 et 80% selon le type de procédés utilisés.

Les huiles contiennent typiquement plus d'une centaine de composés chimiques organiques, avec des teneurs variables en fonction des conditions de pyrolyse et de condensation.

	Bio-oil	Fioul lourd
Aspect	Liquide marron foncé à noir selon les conditions de pyrolyse, la composition et la quantité de particules de charbon présente. Liquide instable qui ne peut pas être distillé.	Liquide noir visqueux à température ambiante.
Composition élémentaire en %/m	C (54-58) ; H (5.5-7.0) ; O (35-40) ; N (0-0.2) ; S (< 0.05) ; inorganiques (0-0.2)	C (85) ; H (11) ; O (1) ; N (0.3) ; S (2.5) ; inorganiques (0.03)
PCS	≈ 16 à 19 MJ/kg	≈ 40 MJ/kg
Miscibilité	Partielle dans l'eau, séparation de phase Non miscible dans les huiles fossiles	-
Densité	≈ 1,2 kg/l	0.94 kg/l
pH	≈ 2,5	-
Viscosité	≈ 40 à 100 cP à 40°C selon la composition	-

Composition et caractéristiques des huiles de pyrolyse comparée au Fioul lourd



Les procédés

Les procédés les plus utilisés sont les lits fluidisés, de part leur facilité de fonctionnement, une bonne maîtrise de la température et des temps de séjour et une possibilité de dimensionnement à grande échelle sans difficulté technologique. Les particules de biomasse sont injectées dans un lit de sable (le plus souvent) mis en suspension par un gaz vecteur.

Deux types de lits fluidisés peuvent être utilisés : les lits bouillonnant, ou les lits circulants.

- **Les lits fluidisés bouillonnant** : la vitesse des gaz utilisés pour la fluidisation est suffisamment grande pour obtenir un lit aéré composé de particules en suspension et de bulles de gaz, et le lit est stationnaire. Un grand nombre d'unités à l'échelle du laboratoire ou à l'échelle pilote fonctionnent selon ce principe. On peut citer DynaMotive au Canada (unité de 100 t/j, couplée à une chaudière et une turbine de 2.5 MWe) et Bioware au Brésil (unité de 200 kg/h).

- **Les lits fluidisés circulant ou entraînés** : la vitesse des gaz est plus élevée et entraîne les particules de biomasse. Les temps de séjour sont alors très courts et le solide doit être encore plus finement divisé. Des unités industrielles fonctionnent selon ce principe. La société Ensyn possède six usines d'une capacité de 50 t/j aux USA et au Canada pour la production d'arômes alimentaires. Le VTT en Finlande possède également une unité de ce type pour la recherche.

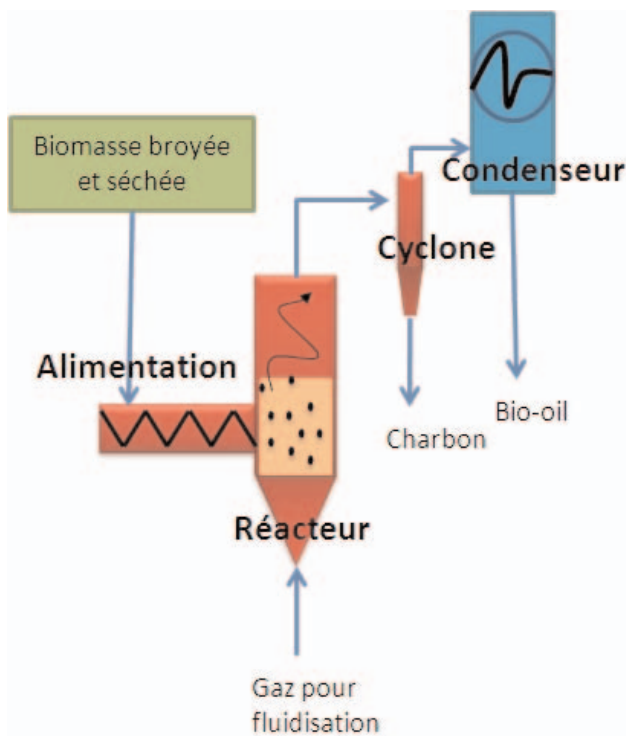


Schéma de principe d'un réacteur de pyrolyse flash.

D'autres types de réacteurs sont également à l'étude dans les laboratoires de recherche notamment en Europe :

- **La pyrolyse ablative** : le transfert thermique se fait par contact direct des particules sur la paroi chaude du réacteur, le contact est maintenu par l'application d'une pression. Les principaux travaux ont été



menés en France puis repris au Royaume Uni et aux USA qui ont développé un réacteur de type vortex.

- **La pyrolyse sous vide** : de faible pression de l'ordre de 15 kPa sont appliquées dans le réacteur. La vitesse de chauffage est lente, mais les temps de séjour des vapeurs sont très courts. Cependant, les rendements en huile sont inférieurs à ceux obtenus en lit fluidisés (de l'ordre de 50%). Une unité de 50kg/h a été développée aux USA pour la recherche. Une unité industrielle a également été construite mais ne fonctionne plus à ce jour en 2010.

Limites et contraintes à lever

Dans la majorité des cas où la biomasse n'est pas suffisamment sèche naturellement, il faut prévoir un procédé de séchage préalable à celui de pyrolyse flash.

La qualité des bio-oils évolue au cours du temps (acidification, séparation de phases) ce qui pose des problèmes de conservation pour certaines applications.

Des recherches sur les procédés sont encore nécessaires pour en améliorer la facilité d'utilisation et les performances techniques et économiques.



Réacteur pilote du Cirad. Lit fluidisé d'une capacité de 1 kg/h.

Les applications des bio-oils

Les bio-oils peuvent se substituer complètement ou partiellement à du gazole d'origine fossile dans des applications statiques pour la production d'électricité.

La principale différence avec les carburants fossiles est la teneur en oxygène plus élevée qui a pour corolaire un pouvoir calorifique moins élevé (18 Mj/kg contre 40 pour le fuel).

Leur combustion peut être réalisée en chaudière ou en moteur diesel modifié. Plusieurs centaines d'heure de fonctionnement ont été réalisés sur ce type de moteur et n'ont pas révélé de problème particulier.

Les bio-oils peuvent également être gazéifiées. L'intérêt dans ce cas est de résoudre les problèmes d'injection de biomasse solide (et de broyage très fin) dans des réacteurs à flux entraînés, tels que ceux qui sont utilisées pour produire des gaz de synthèse traités ensuite dans les procédés de synthèse Fischer Tropsch pour la production de carburant pour véhicules.

Dans le secteur chimique, on a vu que les bio-oils étaient composées de plus d'une centaine de composés dont certains font déjà l'objet d'une exploitation commerciale : il s'agit du levoglucosane (base pour la production de glucose) et d'un certain nombre d'arômes alimentaires (dont la vanilline, le goût « fumé » par exemple). On peut également citer la synthèse de résine phénolique pour l'industrie du bois.

Aspects économiques

La faisabilité de la production de bio-oils a été démontrée à petite échelle et quelques installations de démonstration ou commerciale sont en fonctionnement. Cependant, la construction de ces unités n'a pas été réalisée suivant une démarche d'industrialisation : les coûts d'investissement et de production estimés sont donc encore très élevés et peu fiables. Bridgwater¹ fait état d'une formule de

¹A.V.Bridgwater. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading – Biomass and Bioenergy. 2011-
doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.048



Renforcement des capacités des Collectivités, de la Société Civile, des secteurs privé et public dans les pays membres de la CEDEAO dans le domaine de l'Énergie.

calcul pour le coût d'investissement et le coût de production et situe le coût de production entre 100 et 500 €/t d'huile selon la capacité de production (entre 1000 et 500 000 tonnes/an de biomasse sèche traitée).

Conclusion

La pyrolyse rapide correspond à une technologie prometteuse pour produire des combustibles liquides à partir de biomasse solide. Les recherches en cours doivent être poursuivies pour améliorer les voies de valorisation énergétique.

L'intérêt de la combinaison possible des applications en chimie et en énergie est qu'elle permet une valeur ajoutée plus importante que les applications pour l'énergie et qu'elles peuvent s'intégrer dans un concept de « bio-raffinerie » pour une meilleure valorisation des ressources naturelles.

Ce document a été établi dans le cadre d'un projet de la facilité ACP-CE pour l'énergie de l'Union Européenne, financé par le 9ème FED. Réf. EuropeAid/123607/C/ACT/ACP – projet n° 40 : « Renforcement des capacités des collectivités, de la société civile, des secteurs privé et public dans les pays membres de la CEDEAO dans le domaine de l'Énergie ».

Partenaires du projet :



Email : Contact-biomasse@cirad.fr