



La lignocellulose source de biocarburant de seconde génération

BENDAOU Naima

Ingénieur de laboratoire

Division Application des Energies Renouvelables dans les Milieux Arides et Semi Arides -URAER

E-mail : bendaoud_naima@uraer.dz

Une grande partie de l'intérêt des recherches actuelles porte sur l'étude des biocarburants de deuxième génération issus des ressources lignocellulosiques. Le principal atout des biocarburants de seconde génération tient au fait que leurs procédés d'obtention doivent permettre de convertir l'intégralité de la biomasse. La compétition entre usage alimentaire et non alimentaire des produits agricoles est limitée. La plante complète est valorisée ; à terme, une valorisation de nombreux résidus et déchets organiques peut même être envisagée.

La biomasse lignocellulosique en effet, dans sa grande majorité, est constituée de lignine (15 à 20 %), de cellulose (35 à 50 %) et d'hémicellulose (20 à 30 %) plus ou moins intimement liés. La seconde génération se heurte encore à des difficultés techniques et économiques liées à la matière à valoriser puisque la lignine ne peut pas être fermentée en éthanol, seules les fractions cellulose et hémicellulosiques sont des sources potentielles de sucre fermentescibles, respectivement d'hexoses (glucose) et de pentose.

À l'horizon 2015-2020, deux grandes voies technologiques sont susceptibles de valoriser plus ou moins complètement ces polymères : la voie biochimique (hydrolyse et fermentation) qui permet la Production d'éthanol et la voie thermo-chimique (thermolysse et synthèse) qui permet la production de méthanol, de biodiesel et de toute une gamme de produit de synthèse (2).

La voie biochimique

Prétraitement La première étape de transformation consiste en un prétraitement de la matière première, qui vise le nettoyage et la « cassure » du matériau, afin de causer la destruction de sa structure cellulaire et de le rendre plus sensible aux traitements chimiques ou biologiques postérieurs. L'étape suivante consiste au retrait de la lignine et à l'hydrolyse de l'hémicellulose. Les principaux types de prétraitement utilisés pour l'hydrolyse de la biomasse cellulosique sont :

Prétraitement physico-chimique : Comme la thermohydrolyse qui conduit à une solubilisation complète des hémicelluloses entre 80 et 100% et significative de la lignine par l'utilisation de l'eau chaude (200 à 230°C) à haute pression de 15 à 60 mn. Elle permettrait une diminution de l'indice de cristallinité de la cellulose, favorisant ainsi l'hydrolyse enzymatique ultérieure 90% et ainsi que l'absence des Inhibiteurs de fermentation.(1)

Prétraitement chimique : Comme le prétraitement à l'acide dilué soit sulfurique ou chlorhydrique en proportion de 0,5 à 3% par rapport à la matière sèche de substrat. Elle est réalisée à température souvent inférieure à 150°C de 15 à 20mn.

Parmi les inconvénients de cette technique la présence des inhibiteurs de fermentation, ces derniers se forment pendant la réaction. Malgré cela, les résultats sont encourageants pour l'hydrolyse enzymatique qui dépasse 90%.(1)

L'hydrolyse

Dans l'étape de l'hydrolyse proprement dite, la cellulose est convertie en glucose, suivant une réaction catalysée par un acide (dilué ou concentré) ou par des enzymes (cellulase).



L'hydrolyse acide (acide concentré ou dilué) est effectuée en deux étapes pour tirer profit des différences entre l'hémicellulose et la cellulose. La première comprend essentiellement l'hydrolyse de l'hémicellulose, conduite suivant les conditions du prétraitement. Dans la seconde étape, des températures plus élevées sont appliquées dans le but d'optimiser l'hydrolyse de la fraction cellulosique. Le processus avec l'acide dilué requiert des températures et des pressions élevées, avec des temps de réaction allant de quelques secondes à quelques minutes, ce qui facilite l'utilisation de processus continus.

Les processus avec acide concentré, par contre, sont conduits sous des conditions moins extrêmes, mais avec des temps de réaction typiquement plus longs.

Dans le processus enzymatique, l'hydrolyse est catalysée par des enzymes appelées génériquement cellulases ; en réalité, il s'agit d'un complexe enzymatique composé d'endoglucanases (qui attaquent les chaînes de cellulose pour produire des polysaccharides plus courts), d'exoglucanases (qui attaquent les terminaux non-réducteurs de ces chaînes plus courtes et enlèvent la cellobiose (produit de la dégradation de la cellulose, c'est un diholoside dont la formule brute est $C_{12}H_{22}O_{11}$ comme le saccharose mais différent par sa configuration spatiale) et de β -glucosidases (qui hydrolysent la cellobiose et d'autres oligomères au glucose).

En comparaison, l'hydrolyse avec acide dilué est à un stade de développement plus avancé que les autres processus, avec des limites de rendement (50%-70%). L'hydrolyse avec acide concentré présente de meilleurs rendements et moins de problèmes quant à la production d'inhibiteurs. L'hydrolyse enzymatique, par contre, présente déjà des rendements élevés (75%-85%), et de grandes améliorations sont encore attendues (85%-95%) (3).



Tableau 1 : Comparaison des différentes options pour l'hydrolyse de la cellulose (3)

Processus	Intrant	Température	Temps	Saccharification
Acide dilué	< 1% H ₂ SO ₄	215° C	3 min	50-70%
Acide concentré	30-70% H ₂ SO ₄	40° C	2-6 h	90%
Enzymatique	Cellulase	70° C	1,5 jour	75%-95%

Fermentation éthanolique : la fermentation du glucose en éthanol est une réaction

Bien connue et exploitée depuis des siècles où l'éthanol s'obtient par l'action de levures et de bactéries sur les sucres (C₆H₁₂O₆ → 2C₂H₅OH + 2CO₂).

Mais l'utilisation de matériaux ligno-cellulosiques comme substrat initial implique des difficultés spécifiques qui justifient des efforts de recherche conséquents.

D'autre part, la conversion des pentoses tels que le xylose en éthanol ne peut pas être effectuée par les organismes classiquement utilisés en fermentation car ils sont très sensibles aux inhibiteurs comme le furfural issus de la dégradation des sucres et peu performants. (3C₅H₁₀O₅ → 5C₂H₅OH + 5CO₂)

On leur préfère les bactéries, dont certaines souches créées par les biotechnologies génétiques sont capables de convertir à la fois le glucose et les pentoses avec de bons rendements, et de résister aux inhibiteurs ; les souches de Zymomonas mobilis et de Escherichia coli en sont un bon exemple (2).

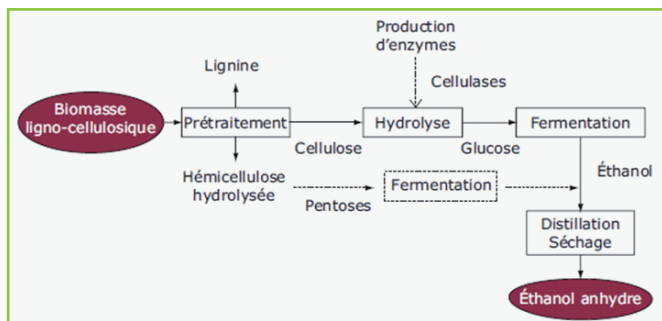


Figure 1. Schéma de principe du procédé de production d'éthanol à partir de biomasse ligno-cellulosique (voie biochimique). (2)

Voie thermochimique

La voie thermochimique désigne la filière de valorisation de la biomasse ligno-cellulosique par gazéification puis synthèse. Le produit final peut être du Diesel, du DME (diméthyléther), du méthanol ou encore de l'éthanol.

la conversion de la biomasse en biocarburants par voie thermochimique se fait à travers les étapes suivantes :

Pyrolyse : Est le processus primaire de conversion thermique des matières carbonées. Sous l'action de la chaleur, les constituants principaux de la biomasse sont convertis en trois phases valorisables sous forme de solide(charbon végétal),de composés organiques condensables(huiles) et de gaz permanents dont les principaux sont CO₂, CO, H₂, et CH₄. La pyrolyse de la biomasse génère du charbon végétal et des vapeurs primaires qui donnent après condensation les huiles de pyrolyse. En fonction des conditions de pyrolyse (température

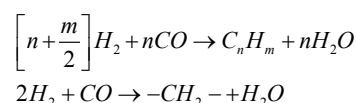
et temps de séjour), ces vapeurs primaires peuvent subir des réactions secondaires et tertiaires conduisant à la formation de solide complémentaire (coke et suies) et d'autres huiles.

Gazéification : La gazéification est la transformation thermique et chimique d'un combustible solide(charbon, biomasse...) en présence d'un réactif gazeux (oxygène, vapeur d'eau, hydrogène...) à la différence de la pyrolyse. L'objectif de la gazéification est la conversion du solide en un mélange gazeux, appelé gaz de synthèse ou « syngas », contenant principalement les espèces H₂, CH₄, CO₂, CO, H₂O et des composés indésirables tels que des goudrons et des inorganiques dans des proportions variables (1).

Épuration et conditionnement du gaz : L'épuration du gaz, en aval du procédé de gazéification, est nécessaire pour éliminer les produits indésirables tels que particules, goudrons, et inorganiques. En ce qui concerne les goudrons leur élimination peut se faire par craquage thermique (T > 1 200 °C) ou catalytique «base de nickel», ou bien par lavage humide.

Le conditionnement du gaz vise à obtenir le gaz de synthèse, c'est-à-dire un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone le plus pur possible et avec un ratio H₂/CO supérieur à 2 (2).

Synthèse d'hydrocarbures liquides : Les gaz de synthèse produits par gazéification permettent l'élaboration de carburants tels que le méthanol, le diméthyléther (DME), le gaz naturel de synthèse (GNS), l'éthanol et le gazole Fischer-Tropsch. La synthèse Fischer-Tropsch est la plus prometteuse car elle convertit le gaz de Synthèse (mélange H₂/CO) en un mélange d'hydrocarbures de différentes longueurs de chaîne carbonée selon les réactions suivantes :



La synthèse Fischer-Tropsch permet la production d'un biodiesel très pur, compatible avec les moteurs actuels (2).

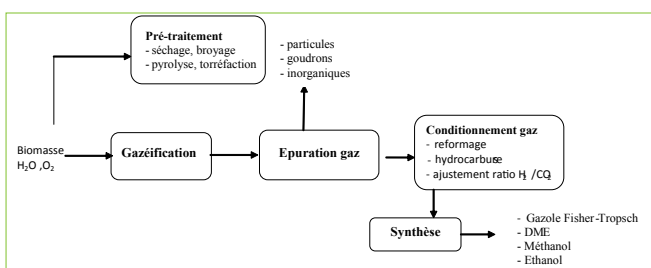


Figure 2. Schéma de principe du procédé de production des Carburants Liquides par voie thermochimique (2).

Références

1. Ballerini Daniel, ALAZARDTOUX Nathalie, Les Biocarburants.
2. Broust Francois, GIRARD Philippe et VAN DE STEENE Laurent, Biocarburants de seconde génération, Editions T.I.
3. Allouache Amina, Mémoire Etude de matières premières locales non alimentaires pour la production de biocarburants.