

## Chapitre 2. Les techniques de transformation

### 2-1 Énergie de la biomasse

#### Introduction

On appelle **biomasse** l'ensemble des matériaux organiques, **d'origine principalement végétale, naturelle ou cultivée, terrestre ou marine**, provenant de la conversion chlorophyllienne de l'énergie solaire, à l'exclusion des combustibles fossiles.

La **photosynthèse** est la propriété que possèdent les plantes, grâce à l'action de la chlorophylle, **de convertir le rayonnement électromagnétique en énergie chimique**. Celle-ci, **stockée essentiellement dans les végétaux sous forme de glucides**, c'est-à-dire de sucre, sert à leur croissance et à leur reproduction.

Sous l'action du rayonnement solaire, le gaz carbonique de l'air et l'eau puisée dans le sol sont transformés en glucides dont dérivent ensuite tous les composants de la matière organique.

**Le rendement maximum de la bioconversion n'excède pas 6 %, mais, compte tenu de la surface couverte par les végétaux, cela représente des quantités d'énergie considérables.**

.

La biomasse produit trois types de ressources : **forestière, agricole et aquatique**. Elle est principalement composée de lignine ( $C_{40}H_{44}O_6$ ) (25 %), et de carbohydrates  $C_n(H_2O)_m$  (cellulose  $C_6H_{10}O_5$  et hemicellulose) (75 %).

### 2-2 Différents modes de conversion

L'utilisation énergétique de la biomasse peut se faire selon trois grandes catégories de procédés :

- la **conversion biochimique** : digestion, hydrolyse et fermentation ;
- la **conversion chimique** (estérification) ;
- la **conversion thermochimique** : combustion, co-combustion, pyrolyse et gazéification.

#### a) Conversion biochimique

La **conversion biochimique** comprend deux principaux modes : la digestion anaérobie et la digestion aérobie.

Les **filières biochimiques** utilisent les **produits humides**. Elles mettent en jeu des processus micro-biologiques qui ont pour effet de dégrader la matière végétale :

- la **fermentation** méthanique produit du biogaz, mélange de gaz carbonique (30-35 %) et de méthane (50-65 %), combustible de bonne qualité. Les réactions prennent place à des températures comprises entre 20 et 70 °C ;
- la **fermentation alcoolique** permet de **transformer les glucides des végétaux en éthanol** ;
- la **fermentation acétono-butylique** permet, sous l'action de certaines bactéries, de produire **un mélange de butanol, d'acétone et d'éthanol**.

## **b ) Conversion thermochimique**

La **conversion thermochimique** se subdivise en combustion et co-combustion (en excès d'air), gazéification (en défaut d'air) et pyrolyse (en l'absence d'air). Les filières thermochimiques sont adaptées aux matériaux secs comme le bois et la paille.

\*La **combustion** ( $T \sim 1\,900^{\circ}\text{C}$ ) est le mode de conversion le plus ancien et sans doute le plus employé, tant pour les utilisations domestiques qu'industrielles. Son rendement est bon dans la mesure où le combustible est riche en glucides structurés (cellulose et lignine), et surtout suffisamment sec (humidité inférieure à 35 %).

Le **rapport C/N** se définit comme le rapport des quantités de carbone et d'azote contenus dans la biomasse. Il varie de 10 à 100 environ.

\*La **pyrolyse** permet de convertir une biomasse relativement sèche (humidité inférieure à 10 %) et de rapport C/N supérieur à 30, en divers combustibles à haut PCI, stockables, sous forme gazeuse, liquide et solide (le charbon de bois). Elle se déroule à des températures comprises entre 400 et 800 °C.

\*La « **gazéification** » désigne une transformation thermochimique consistant à décomposer par la chaleur un solide combustible carboné (charbon, biomasse) en présence d'un réactif gazeux (gaz carbonique, vapeur d'eau puis oxygène/air) dans le but d'obtenir un mélange gazeux combustible. La réaction de gazéification se passe dans des conditions de température très élevées (plus de 1 000 °C). Le gaz de synthèse obtenu à la fin, appelé « syngas » (pour « synthetic gas »), est un mélange de deux gaz combustibles : le monoxyde de carbone (CO) et l'hydrogène ( $\text{H}_2$ ).

Dans un gazéifieur, le combustible commence par être séché, puis il est pyrolysé, ces deux étapes étant endothermiques. Les produits gazeux sont ensuite brûlés à haute température, dégageant de la chaleur dont une partie est utilisée par les deux étapes précédentes. Les gaz brûlés sont alors remis en contact avec la phase solide issue de la pyrolyse et avec l'eau provenant du séchage, ce qui suscite une réaction de réduction qui conduit à la formation d'un gaz de synthèse riche en CO et  $\text{H}_2$ , dont le PCI est voisin de 70 à 75 % de celui de la biomasse d'origine.

**Ce syngas est utilisé principalement :**

- comme source de production de chaleur ;
- comme source de production d'électricité par l'action du gaz sur des turbines ;

- comme source de production d'hydrogène, de méthanol et de méthane par traitement chimique ;
- comme source de production de carburant de synthèse par le procédé Fischer-Tropsch.

### **Fonctionnement technique :**

Pour parvenir à la production du syngas, plusieurs réactions préalables sont nécessaires. L'ensemble de ce processus est appelé gazéification. Il nécessite, à partir d'une matière organique, d'obtenir au préalable dans le réacteur de la vapeur d'eau ( $H_2O$ ), du carbone (C) et de produire une chaleur suffisante pour la réaction finale de gazéification. Quatre étapes successives, fortement couplées, sont nécessaires, la troisième produisant la chaleur requise par les trois autres.

#### **1<sup>ère</sup> étape : séchage de la matière pour produire de la vapeur d'eau**

Cette étape se déroule à des températures comprises entre 100°C et 160°C. Sous l'effet de la chaleur, l'eau contenue dans la matière organique s'évapore.

Le combustible carboné résultant est sec et de différentes natures (charbon, biomasse, etc.). Dans le cas de produits non homogènes, une phase préalable (tri, broyage) est nécessaire avant d'introduire cet intrant dans le gazéifieur.

#### **2<sup>e</sup> étape : pyrolyse des intrants pour obtenir du coke (résidus de carbone) et des gaz de pyrolyse**

Cette étape sans oxygène (anaérobie) se déroule à des températures situées entre 120 °C et 600 °C. Elle est dite « autothermique » car elle ne produit ni ne consomme d'énergie. En augmentant progressivement la température en l'absence d'oxygène, la matière séchée se décompose et les atomes de carbone s'associent entre eux. Il se forme alors :

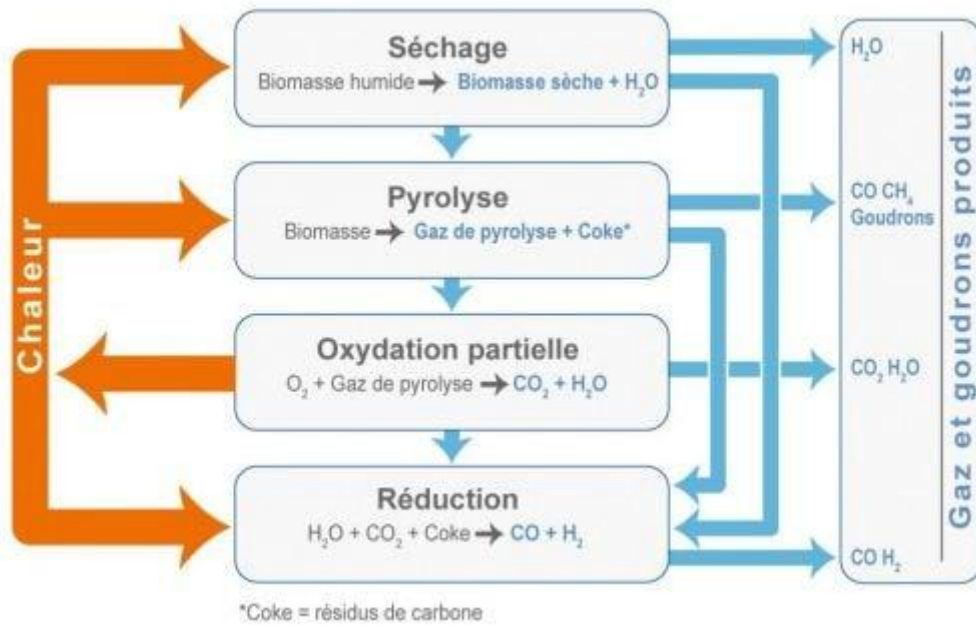
- du carbone réducteur presque pur (coke ou résidus de carbone) ;
- un mélange de gaz oxydants non-condensables composés majoritairement d'oxyde de carbone (CO) et d'hydrocarbures ( $CH_4$ ) appelés « gaz de pyrolyse » ;
- des goudrons et des matières volatiles condensables issues de vapeurs de composés organiques (acides acétiques, aldéhydes).

#### **3<sup>e</sup> étape : oxydation des gaz de pyrolyse pour générer une chaleur suffisante à la gazéification**

Cette étape se déroule **en présence d'oxygène** à des températures comprises entre 1 200°C et 1 500°C. Les matières volatiles issues de la pyrolyse s'oxydent. Cette combustion dégage la chaleur nécessaire aux deux étapes précédentes et à l'étape suivante de la gazéification. Elle nécessite un fort apport en oxygène.

#### **4<sup>e</sup> étape : la réduction ou « gazéification » du carbone pour produire le syngas**

Cette étape se déroule à des températures comprises entre 800 °C et 1200° C. **En l'absence d'oxygène**, le coke obtenu lors de la phase de pyrolyse réduit la vapeur d'eau et le gaz carbonique obtenus dans l'étape précédente respectivement en hydrogène et en oxyde de carbone pour former du syngas, combustible mélangeant en proportions variables CO et  $H_2$ .



Processus de gazéification ©2011