

# LA BIOMASSE ÉNERGIE



Alain Damien

# LA BIOMASSE ÉNERGIE

2<sup>e</sup> édition

DUNOD

Matériel protégé par le droit d'auteur

Tout le catalogue sur  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)



ÉDITEUR DE SAVOIRS

Illustration de couverture : © patleem – Fotolia.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, Paris, 2008, 2013  
ISBN 978-2-10-058539-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Matériel protégé par le droit d'auteur

# TABLE DES MATIÈRES

---

Introduction	1
--------------	---

## A

---

### Définitions et généralités

<b>1 • Les composés organiques produits par la Nature</b>	<b>5</b>
1.1 La production directe de biomasse	5
1.2 La production indirecte de biomasse	9
1.3 Le carbone fossile	10
1.4 Les produits intermédiaires	10
<b>2 • Les définitions réglementaires de la biomasse</b>	<b>11</b>
2.1 La réglementation de l'Union européenne	11
2.2 La réglementation française	12
2.3 Les précisions de l'ONU	13
<b>3 • Les définitions normatives de la biomasse</b>	<b>15</b>
<b>4 • Quelques considérations énergétiques sur la biomasse énergie</b>	<b>17</b>
4.1 Principe des unités de production de biocarburant	17
4.2 L'efficacité énergétique hydrocarbonée	19

## **B**

---

### La ressource

<b>5 • Les cultures dédiées à la production d'énergie</b>	<b>23</b>
5.1 Les plantes agricoles	23
5.2 Le bois et les forêts	58
5.3 Les plantes aquatiques et les algues	75
5.4 Les plantes invasives	83
<b>6 • Les résidus de la biomasse</b>	<b>87</b>
6.1 Agriculture	87
6.2 Les forêts	94
<b>7 • La biomasse des déchets</b>	<b>99</b>
7.1 Les déchets fermentescibles des ordures ménagères	99
7.2 Les boues de STEP	100
7.3 Les liqueurs noires	102
7.4 Les industries agroalimentaires	103
7.5 Les déchets verts	104
7.6 Les déchets de la voirie et des marchés	104
7.7 Les déchets des emballages en bois	104
7.8 Les bois de construction et de démolition	104
7.9 Les résidus des industries de transformation du bois	104

## **C**

---

### Les modes de transformation de la biomasse en énergies

<b>8 • La combustion</b>	<b>109</b>
8.1 Les chaudières et foyers	109
8.2 Les moteurs et turbines	113
<b>9 • La gazéification</b>	<b>119</b>
9.1 Le principe	119
9.2 L'usage de la gazéification en traitement de biomasse	120
9.3 Les technologies de gazéification	122

<b>10 • La pyrolyse</b>	<b>133</b>
10.1 Le principe	133
10.2 L'usage de la pyrolyse en traitement de biomasse	134
10.3 Les technologies de pyrolyse	135
<b>11 • La torréfaction</b>	<b>143</b>
11.1 Le principe	143
11.2 Le mode opératoire	143
11.3 Les coûts	145
<b>12 • La méthanisation</b>	<b>147</b>
12.1 Méthanisation et compostage	148
12.2 Principe de la méthanisation	149
12.3 Les réacteurs de méthanisation	152
12.4 La purification du biogaz	155
<b>13 • La fermentation alcoolique</b>	<b>159</b>
13.1 Le principe	159
13.2 La production industrielle d'éthanol en fonction des plantes	164
<b>14 • Le biogaz des décharges</b>	<b>171</b>
<b>15 • La synthèse Fischer-Tropsch</b>	<b>175</b>
15.1 Historique du procédé	175
15.2 Emploi du procédé	177
<b>16 • La synthèse du méthanol</b>	<b>179</b>
16.1 La synthèse chimique actuelle	179
16.2 La production issue de la biomasse	179
<b>17 • La transestérification</b>	<b>181</b>
17.1 Le procédé	181
17.2 L'application industrielle	182
<b>18 • La production de gaz naturel de synthèse</b>	<b>185</b>
<b>19 • La production de biohydrogène</b>	<b>187</b>
19.1 Le reformage	187
19.2 Les synthèses enzymatiques	188

# D

## Les biocombustibles et les biocarburants

<b>20 • Les biocombustibles solides</b>	<b>191</b>
20.1 Le bois de feu	191
20.2 Les plaquettes forestières	192
20.3 Les granulés ou pellets	193
20.4 Les grains récoltés	196
20.5 Les écorces	196
20.6 Les copeaux et sciures	197
20.7 Les biocombustibles solides	197
20.8 Le charbon de bois	197
20.9 Les pailles	198
<b>21 • Les biocombustibles solides en propulsion de véhicules</b>	<b>201</b>
21.1 Le gaz des forêts	201
21.2 Le gazauto	202
<b>22 • Les biocombustibles gazeux</b>	<b>205</b>
22.1 Le biogaz	205
22.2 Le biohydrogène	205
22.3 Le bio-SNG	206
<b>23 • Les biocarburants et les biocombustibles liquides</b>	<b>209</b>
23.1 Éthanol et ETBE	210
23.2 Méthanol et MTBE	216
23.3 Le butanol	217
23.4 Les huiles	217
23.5 Esters méthyliques d'acides gras (EMAG) ou esters méthyliques d'huiles végétales (EMHV) ou « Diester »	220
23.6 Diméthyléther ou DME	222
23.7 Les pyrolysats ou huiles brutes de pyrolyse	223
23.8 Les liqueurs noires	225
23.9 Le biogazole de synthèse	225
<b>24 • Performances comparées des biocarburants</b>	<b>229</b>



# E

## Situation de la biomasse énergie

<b>25 • Une réglementation favorable</b>	<b>235</b>
25.1 La production de chaleur	236
25.2 L'injection de biogaz dans le réseau de gaz naturel	237
25.3 La production d'électricité	238
25.4 La production de biocarburants	241
25.5 Les soutiens à l'agriculture	244
25.6 Les amortissements	246
25.7 L'élimination des déchets des usages de la biomasse	246
25.8 Les aspects sanitaires des usages de la biomasse animale	246
<b>26 • La biomasse énergie impacte la biomasse non-énergie</b>	<b>249</b>
26.1 Biomasse et consommation d'eau	249
26.2 Biomasse et production alimentaire	250
26.3 Biomasse et matériaux	251
26.4 Le retour au sol de la matière organique	252
26.5 Les conduites de culture	255
<b>27 • Les aspects négatifs de la biomasse énergie</b>	<b>259</b>
27.1 Une réduction de la production de gaz à effet de serre contestée	259
27.2 Une réduction de la surface forestière	260
27.3 L'effet des pratiques agricoles ou forestières intensives	261
27.4 Les transferts longue distance de biomasse	262
<b>28 • Les aspects positifs de la biomasse énergie</b>	<b>263</b>
28.1 Une énergie nouvelle renouvelable disponible	263
28.2 Un combustible peu dangereux	263
28.3 Une amélioration de la situation des agriculteurs	264
28.4 Un couteau suisse énergétique	264
28.5 Une réduction de la production de gaz à effet de serre	265
28.6 Un moyen de traitement de la pollution	266
<b>Conclusion</b>	<b>269</b>
<b>Glossaire</b>	<b>271</b>
<b>Index</b>	<b>293</b>



# INTRODUCTION

---

Vers la fin des années soixante, lycéen, j'apprends le russe et mes parents m'offrent alors un très gros dictionnaire français-russe des éditions de Moscou. En pensant à ce pays disposant d'une vaste forêt sibérienne, j'y ai recherché récemment en vain la traduction du mot « biomasse ». L'édition 1967 du dictionnaire Quillet ne comporte pas non plus ce terme. Ce concept semble donc récent : jadis, on faisait du feu, on brûlait du bois, on se réchauffait devant la cheminée... Il n'était alors nullement question de production d'énergie par la biomasse, bien que la découverte du feu remonte à la préhistoire.

Cette expression semble apparaître avec la naissance des « énergies nouvelles renouvelables – ENR ». Il s'agit dans un premier temps de ces énergies que Dame Nature propose à profusion de façon renouvelée sans trop se poser la question des limites quantitatives locales ou de leur dispersion temporelle indépendante des besoins instantanés des consommateurs. Les premières énergies renouvelables citées sont alors le solaire, l'hydraulique, l'éolien, la houle, les courants marins, les marées, les vagues, la géothermie et... la biomasse.

La prise en compte de la biomasse se trouve ensuite accentuée par la prise de conscience de l'effet de serre. L'accroissement permanent de la concentration en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère modifie progressivement le climat de la planète en accroissant les gradients de température de cette gigantesque machine thermique : les phénomènes climatiques extrêmes (typhons, sécheresses, inondations, tempêtes...) s'en trouvent renforcés. La biomasse énergie apparaît alors comme le moyen de « faire tourner » les atomes de carbone entre les usages énergétiques, l'atmosphère et les plantes, sans apport supplémentaire de CO<sub>2</sub> à l'atmosphère. Des aspects chaleur et électricité, la biomasse se trouve dès lors réorientée vers les biomatériaux (matières plastiques issues de l'amidon) et les biocarburants afin de se substituer au pétrole.

Après les énergies fossiles (carbone organique), fissiles et fertiles (nucléaire) apparaît l'énergie fatale de la biomasse, celle qui de toute façon sera produite et qu'il vaudrait mieux ne pas gaspiller : fraction fermentescible des ordures ménagères, boues de station d'épuration, biogaz des décharges d'ordures ménagères. Composés de matière organique, ces matériaux seront intégrés ultérieurement, pour partie dans la biomasse, après une multitude de discussions entre experts afin de mieux les situer entre le carbone fossile et les déchets plus ou moins dangereux.

La biomasse est une question complexe, les aspects technologiques de traitement sont probablement les plus aisés à cerner. Le choix des espèces végétales adaptées aux conditions pédoclimatiques locales nécessite plus de délai puisqu'il convient

d'expérimenter sur des cycles annuels. La ressource biomasse énergie, au demeurant limitée, nécessite de faire des choix qui restent à traduire au niveau de la réglementation : est-il raisonnable de placer sur un pied d'égalité la chaleur, l'électricité et les biocarburants, alors qu'il existe d'autres ENR pour produire chaleur et électricité ? Nous aborderons successivement ces différents aspects dans cet ouvrage : les définitions et généralités ; la ressource biomasse ; les moyens de transformation de la biomasse ; les biocombustibles et les biocarburants ; la place de la biomasse et enfin un glossaire indispensable pour cette forme d'énergie aux confins des techniques agricole, forestière, agroalimentaire, thermique, électromécanique et chimique.

# A

---

## Définitions et généralités

La définition de la biomasse énergie présente aujourd'hui certaines ambiguïtés. Nous débutons ce chapitre par la description des éléments générant la biomasse. Puis nous examinerons successivement l'éclairage fourni par la réglementation et par la normalisation. Conférer le caractère biomasse à un matériau revient à le faire entrer dans une catégorie de combustible qu'il convient d'aider à se développer par des mécanismes financiers et/ou fiscaux en dépit de sa non rentabilité intrinsèque afin qu'il se substitue à un combustible fossile. Nous terminerons sur certains aspects énergétiques spécifiques à la biomasse.



# 1 • LES COMPOSÉS ORGANIQUES PRODUITS PAR LA NATURE

---

A

DÉFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS

La biomasse est produite par les organismes vivants principalement par l'activité photosynthétique des plantes, mais aussi des animaux, des insectes, des micro-organismes... Elle est essentiellement constituée de polymères complexes de carbone, hydrogène, oxygène et azote, de soufre en faible proportion et d'éléments inorganiques.

L'aspect renouvelable introduit une distinction qui permet de n'en retenir qu'une fraction d'une part, d'y ajouter la production fatale de déchets issus d'autres composés organiques naturels industriellement transformés, donc pas toujours naturels, d'autre part.

## 1.1 La production directe de biomasse

Il s'agit là de biomasse brute : arbres et arbustes des forêts, végétaux poussant naturellement ou productions agricoles, matières aquatiques diverses comme le goémon, les algues ou le varech.

Le monde animal n'intervient pas en production directe d'énergie : aucun animal n'est élevé ou chassé pour produire exclusivement de l'énergie. En effet, la teneur en eau est généralement élevée, 80 % pour l'être humain, ce qui ne permet pas de disposer d'un PCI élevé. Ceci pourrait évoluer si l'on pouvait disposer localement d'une énergie de séchage peu onéreuse. On peut imaginer que les nuages de criquets africains puissent éventuellement devenir une ressource énergétique sous réserve de pouvoir les collecter et de les sécher, à l'énergie solaire par exemple.

Le monde végétal constitue la seule ressource de biomasse énergie cultivée spécifiquement ou produite naturellement et récoltée : bois et produits agricoles, voire aquacoles. Il se répartit en deux catégories :

- Les organismes hétérotrophes (incapables d'effectuer par eux-mêmes la synthèse de leurs constituants issus de la matière minérale) et chimiotrophes (récupérant l'énergie d'oxydation des composés organiques réduits qu'ils assimilent) comme les champignons.
- Les organismes autotrophes (aptes à assimiler les éléments inorganiques pour les besoins de la synthèse de leurs constituants organiques) et phototrophes (captant l'énergie lumineuse afin de fournir l'énergie nécessaire aux différentes étapes chimiques de production de leurs constituants). Ce sont les végétaux chlorophylliens.

Ces derniers constituent le principal gisement de biomasse et il convient de rappeler ici succinctement le principe de la production de matière végétale par photosynthèse pour en appréhender les limites.

### 1.1.1 Structure de la feuille

La **feuille** est un organe plat de la plante qui présente une grande surface en regard de l'environnement, ce qui lui permet de capter au mieux la lumière solaire.

Le **pétiole** ou « queue » désigne la partie rétrécie de la feuille la rattachant à la tige ou à la branche. Il constitue le faisceau conducteur de la sève.

Les **nervures** sont l'ensemble des vaisseaux conducteurs de la sève faisant saillie sur la face inférieure de la feuille. Leur disposition spatiale caractérise chaque espèce. Les monocotylédones présentent des nervures parallèles, alors que les dicotylédones sont pourvues de nervures divergentes. Les nervures assurent l'apport d'eau et des sels minéraux au sein de la feuille, le transport de la matière synthétisée vers la tige.

Le **stomate** est un pore disposé à la surface des feuilles traversant leur épiderme permettant les échanges gazeux ( $O_2$  et  $CO_2$ ) et la transpiration ( $H_2O$ ).

Le **limbe** remplit l'espace entre les nervures, il contient la majeure partie de la chlorophylle et assure la photosynthèse au moyen du parenchyme chlorophyllien.

Le parenchyme chlorophyllien se présente sous deux formes :

- Les dicotylédones disposent d'un parenchyme chlorophyllien palissadique tapissant la face supérieure des feuilles et un parenchyme chlorophyllien lacuneux réparti sur la face inférieure. Les stomates sont disposés sous les feuilles.
- Les monocotylédones ne présentent pas de différenciation marquée entre les deux parenchyms chlorophylliens.

### 1.1.2 Structure de la cellule chlorophyllienne

La cellule chlorophyllienne comprend :

Une **paroi** constituant une enveloppe externe rigide. Elle est constituée de cellulose [polymère du glucose ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> – n s'exprime en centaines ou milliers], de protéines et de lignine [polymère de coniféryle, de p-coumaryle et d'alcools sinapiques]. Elle enveloppe la membrane plasmique.

La **membrane plasmique** est constituée de lipides, de protéines et de sucres structurant les échanges de matière entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule ou entre deux compartiments cellulaires. Elle contient des tensioactifs, les phospholipides.

Le **cytoplasme** désigne l'ensemble du matériel cellulaire à l'intérieur de la membrane plasmique à l'exception du noyau.

Le **noyau** est un organite qui dispose de la plupart du matériel génétique de la cellule. Il contrôle les réactions chimiques du cytoplasme et stocke les informations nécessaires à la division cellulaire.

La **vacuole** est une cavité située dans le cytoplasme. Elle contient un liquide constitué d'eau, des glucides, des ions et des pigments : le suc vacuolaire. Les vacuoles peuvent aussi protéger la plante contre les prédateurs : elles contiennent parfois des composés toxiques ou désagréables au goût.

Des **chloroplastes**, qui contiennent la chlorophylle. La photophosphorylation se déroule dans les chloroplastes des végétaux et des algues. Le chloroplaste présente une taille variant de 1 à 10 nm. Il est constitué d'une enveloppe renfermant des



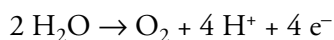
brins d'ADN, des ribosomes, des stroma, des amas d'amidon, des globules lipidiques et des grana formés de thylacoïdes accolés. Ces grana sont rendus solidaires au moyen de thylacoïdes inter-granaires. Les thylacoïdes contiennent le système photosynthétique absorbant la lumière, les complexes de transport des électrons, les enzymes et protéines de synthèse de l'ATP.

### 1.1.3 Les réactions de photosynthèse

La synthèse des glucides chez les végétaux vise à mettre en réserve de l'énergie (saccharose, amidon) et à produire les éléments glucidiques des membranes (cellulose, glycolipides, glycoprotéines, lignine...).

La photosynthèse s'opère en deux phases successives :

*Réactions photochimiques assurant l'oxydation de l'eau (« phase claire »)*

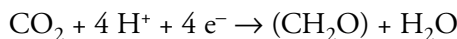


Les réactions de la lumière induisent une formation d'énergie sous forme d'ATP et de pouvoir réducteur sous forme de NADPH, H<sup>+</sup>. Ces deux composés ATP et NADPH, H<sup>+</sup> sont consommés par la synthèse des glucides. Ce processus de production d'ATP couplé au transport des électrons est dénommé photophosphorylation ou phosphorylation photosynthétique.

Ces réactions s'effectuent dans les thylacoïdes et permettent le transfert des électrons jusqu'au couple NADP<sup>+</sup> / NADPH pour permettre la synthèse d'ATP.

La lumière est captée par les pigments (caroténoïdes, xanthophylles) présents dans la cellule, transformée puis transmise par résonance à la chlorophylle **b**, puis à la chlorophylle **a** qui cède un électron à un accepteur.

*Réactions biochimiques de synthèse des sucres (« phase sombre »)*



La carboxylation désigne l'addition d'une molécule de CO<sub>2</sub> à une molécule organique présente. Ce gaz carbonique peut être atmosphérique ou dissout dans l'eau, il pénètre par les stomates dans la feuille.

Les glucides sont élaborés à partir de l'eau et du gaz carbonique. La séquence des réactions mises en jeu constitue le cycle de Calvin. Le CO<sub>2</sub> fixé dans les voies de carboxylation est libéré, repris par la Rubisco et converti en glucose à travers une suite de réactions enzymatiques au niveau du stroma du chloroplaste. Le cycle de Calvin se divise en deux phases :

- Les réactions de synthèse des hexoses.
- Les réactions de régénération du ribulose 1,5 bisphosphate (RUBP), accepteur du CO<sub>2</sub>.

Il existe trois voies d'assimilation du CO<sub>2</sub> employées par les végétaux. La production maximale de matière sèche d'un couvert végétal, hors facteur limitant, est fonction de la quantité de rayonnement intercepté par la culture et de l'efficacité de conversion de ce rayonnement en biomasse. Les cultures en C<sub>4</sub> ont des efficacités de conversion des rayonnements supérieures aux espèces en C<sub>3</sub>. Les cultures en C<sub>4</sub> présentent des potentiels de production plus élevés sous réserve d'être adaptées aux conditions climatiques locales afin d'intercepter le maximum du rayonnement.

### ■ Assimilation du CO<sub>2</sub> par les plantes en C<sub>3</sub>

Les composés organiques suivants apparaissent successivement : acide 3-phosphoglycérique (APG), les oses bis-phosphates comme la Ribulose 1,5-bisphosphate (RUBP), les sucres (trioses phosphate comme le 3-phosphoglyceraldéhyde, saccharose), les acides organiques, les acides aminés.

Le cycle de Calvin s'opère dans le stroma des chloroplastes en permettant la fixation du CO<sub>2</sub> par l'ATP et le NADPH :

- Fixation du CO<sub>2</sub> par RUBP catalysée par l'enzyme Rubisco (ribulose 1,5-bisphosphate carboxylase/oxygénase) pour synthétiser deux molécules d'APG à 3 atomes de carbone. La Rubisco peut aussi catalyser une réaction en utilisant l'oxygène au lieu du CO<sub>2</sub> (photorespiration), mais ceci se traduit par une diminution du taux de photosynthèse nette.
- Réduction de l'APG en trioses phosphate par NADPH et ATP.
- Régénération du RUBP par l'ATP.

Chez les plantes de type C<sub>3</sub> cette réaction constitue la première réaction enzymatique du cycle de Calvin. Ce type de carboxylation se rencontre principalement chez la majorité des plantes des pays tempérés (tomate, blé, orge, betterave...).

Le métabolisme en C<sub>3</sub> permet d'atteindre un rendement théorique maximum de production de biomasse de 33 t MS/ha/an<sup>1</sup>.

### ■ Assimilation du CO<sub>2</sub> par les plantes en C<sub>4</sub>

L'enzyme phosphoénolpyruvate-carboxylase (PEP-carboxylase) fixe le CO<sub>2</sub> dans un composé à quatre atomes de carbone, l'oxaloacétate, qui évolue en malate ou en aspartate par transamination dans le limbe (cellules mésophylliennes). Sous forme de malate et d'aspartate, ces diacides sont alors transportés à travers les membranes et pénètrent dans les cellules périvasculaires. Après transport et libération du CO<sub>2</sub>, ce dernier se concentre dans les cellules périvasculaires pour être fixé par la Rubisco comme pour les plantes en C<sub>3</sub>, mais avec un meilleur rendement car la photorespiration est quasiment nulle chez ces plantes du fait de l'enrichissement en CO<sub>2</sub>. Dans ces cellules, le malate est clivé en pyruvate et CO<sub>2</sub> par la malate déshydrogénase à NADP<sup>+</sup>.

Le PEP y est alors régénéré par la phosphorylation du pyruvate qui s'opère en une seule étape avec une réaction catalysée par la pyruvate orthophosphate dikinase

Ce mécanisme photosynthétique se déploie surtout dans les plantes graminées d'origine tropicale comme le sorgho, le maïs, le mil ou la canne à sucre. Ces plantes présentent une bonne efficacité photosynthétique, un haut niveau d'utilisation de l'azote et une bonne valorisation de l'eau. On notera qu'un certain nombre d'herbicides (atrazine, glyphosate) ont une action exclusive de destruction sur les plantes en C<sub>3</sub> (la plupart des adventices) et sont sans action sur les plantes en C<sub>4</sub>. C'est donc l'un des paramètres à prendre en compte dans le choix d'une culture orientée vers la biomasse énergie.

1. RESTMAC 5.1 – Technology identification and classification, Contact n° TREN/05/FP6EN/S07.58365/020185, European Biomass Association AEBIOM, European Biomass Industry Association EUBIA, 2006.

Le métabolisme en  $C_4$  permet d'atteindre un rendement théorique maximum de production de biomasse de 55 t MS/ha/an<sup>1</sup> dans les conditions climatiques où ces plantes se développent normalement (climats chauds avec soleil intense et non pas tempérés). La recherche actuelle sur les OGM vise entre autre à augmenter la productivité, la transformation d'une plante  $C_3$  (comme le blé) en une plante  $C_4$  plus performante est à l'étude.

### ■ Assimilation de type CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*)

Elle s'opère en deux phases séparées, non pas dans l'espace comme dans le cas des  $C_4$ , mais dans le temps en jouant sur l'alternance jour-nuit au moyen de deux enzymes carboxylantes. Les stomates ouverts la nuit permettent la pénétration du  $CO_2$  qui se stocke dans la vacuole des cellules photosynthétiques sous forme de malate par  $\beta$ -carboxylation du phosphoénolpyruvate catalysée par la PEP-carboxylase. Le malate accumulé pendant l'obscurité est décarboxylé à la lumière du jour par la malate déshydrogénase à  $NADP^+$ . Les stomates fermés durant la journée, le  $CO_2$  est restitué sous l'action de la Rubisco afin de s'assimiler par un cycle de Calvin. Cette disposition permet d'éviter les pertes d'eau par transpiration durant la journée et se retrouve dans les plantes grasses (crassulacées) et les plantes des déserts.

A

DÉFINITIONS ET GÉNÉRALITÉS

## 1.2 La production indirecte de biomasse

On évoque aussi l'expression de biomasse secondaire ou biomasse des déchets et des sous-produits.

Elle désigne tous les résidus issus de matières premières provenant des mondes végétal ou animal ayant ou non subis des modifications chimiques ou physiques. Ces déchets sont issus de l'industrie, des particuliers, du commerce ou des collectivités locales. Certains déchets sont parfois des résidus de traitement de matières issues du monde vivant avec des composés minéraux qui se retrouvent en partie dans leur composition, c'est le cas des liqueurs noires des usines papetières, du papier, du carton, du caoutchouc naturel, des huiles de friture usagées...

C'est le caractère fermentescible du déchet qui permet de l'assimiler ou non à de la biomasse. On distingue deux catégories de produits :

- Les déchets de la biomasse directe comprenant les déchets animaux et végétaux issus de leur production agricole (pailles, enveloppes des graines...), forestière (houppiers, racines, écorces, bois mitraillés pendant les guerres et impropres à toute valorisation matière...) ou d'élevage (fumiers, lisiers, litières...).
- La biomasse des déchets constituée de la fraction fermentescibles des déchets des collectivités locales (déchets verts, boues de stations d'épuration urbaines) et de certaines industries (agroalimentaires, papeteries, textiles...).

1. RESTMAC 5.1 – Technology identification and classification, Contact n° TREN/05/FP6EN/S07.58365/020185, European Biomass Association AEBIOM, European Biomass Industry Association EUBIA, 2006.

## 1.3 Le carbone fossile

Charbon, pétrole et gaz naturel sont issus de la biomasse vivante décomposée au fil des millénaires et accumulée dans le sous-sol. Ainsi stockés, ils ne génèrent pas de  $\text{CO}_2$  supplémentaire dans l'atmosphère. Leur combustion produit du  $\text{CO}_2$  qui se dilue dans l'atmosphère en accroissant sa concentration : l'extraction et l'utilisation ne s'opèrent qu'une fois et ne présentent pas un caractère renouvelable. Ces matières bien qu'issues de la biomasse ne sont donc pas considérées comme de la biomasse.

## 1.4 Les produits intermédiaires

### 1.4.1 La tourbe

Elle est produite à partir de plantes en décomposition dans des tourbières. Ce sont des zones humides permanentes gorgées d'eau à pH acide du fait de la matière organique des plantes qui s'y développent et s'y décomposent sur place en fournissant des acides humiques et fulviques. Les tourbières croissent par épaissement du sol à la vitesse de 2 à 3 cm par siècle : la tourbe est donc lentement renouvelable. Ce sont des sites présentant une forte biodiversité tant animale que végétale. Dans les pays européens peu pourvus en tourbières comme la France, ce sont des sites protégés. Certains espaces européens comme la Finlande, l'Irlande, l'Allemagne de l'Est, la Pologne ou l'Écosse présentent de grandes étendues de tourbières dont l'exploitation, déjà ancienne, comme combustible (pour la production de whisky par exemple) ou comme amendement pour les sols, se perpétue. Pour l'Union européenne, la tourbe n'est pas considérée actuellement comme de la biomasse (absence de mesures réglementaires favorables) puisqu'il convient de ne pas favoriser l'exploitation des tourbières qui tend à réduire la biodiversité locale.

### 1.4.2 Le gaz des mines de charbon fermées

Il provient du dégagement de méthane se désorbant des matériaux présents dans les galeries. Il s'agit là d'un gaz fatal, véritable déchet rémanent laissé sur place par l'exploitation minière. Valorisé en production d'énergie, ce n'est pas à proprement parler de la biomasse, mais il est considéré comme une énergie nouvelle renouvelable permettant de récupérer des permis d'émission  $\text{CO}_2$  au même titre que le biogaz des décharges afin de favoriser son exploitation et l'élimination d'un gaz 21 fois plus actif que le  $\text{CO}_2$  au niveau du renforcement de l'effet de serre. Le raisonnement est ici identique à celui du biogaz des décharges.

### 1.4.3 Le bois traité par des produits chimiques toxiques

Le bois traité par des produits chimiques toxiques (créosote, chrome-cuivre-arsenic...) pour ne pas se décomposer n'est plus vraiment un déchet biodégradable. Il ne peut donc en toute rigueur être assimilable à de la biomasse.

## 2 • LES DÉFINITIONS RÉGLEMENTAIRES DE LA BIOMASSE

### 2.1 La réglementation de l'Union européenne

#### 2.1.1 Directive 2001/77/CE (modifiée par la directive 2009/28/CE et abrogée au 1<sup>er</sup> janvier 2012)

Cette directive du 27 septembre 2001 relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité définit dans son article 2 :

*« Énergie produite à partir de sources renouvelables » (alinéa a) : une énergie produite à partir de sources non fossiles renouvelables, à savoir : énergie éolienne, solaire, aérothermique, géothermique, hydrothermique, marine et hydroélectrique, biomasse, gaz de décharge, gaz des stations d'épuration d'eaux usées et biogaz. »*

La production de chaleur et d'électricité s'obtient à partir de toutes ces formes de SER, alors que les biocarburants sont constitués d'atomes de carbone que l'on ne trouve que dans la biomasse : le biogaz de décharge, le biogaz des stations d'épuration et le biogaz de méthanisation. Ces biogaz, produits à partir de biomasse, seront aussi abordés dans cet ouvrage.

*« La "biomasse" (alinéa b) : la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture (comprenant les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux. »*

Cette définition constitue le référentiel des réglementations ultérieures visant à favoriser le développement des bioénergies.

*« "biocarburant" (alinéa i) : un combustible liquide ou gazeux utilisé pour le transport et produit à partir de la biomasse. »*

*« "bioliquide" (alinéa h) : un combustible liquide destiné à des usages énergétiques autres que pour le transport, y compris la production d'électricité, le chauffage et le refroidissement, et produit à partir de la biomasse. »*

#### 2.1.2 Directive 2001/80/CE

La directive 2001/80/CE du 23 octobre 2001, relative à la limitation des émissions dans l'atmosphère de certains polluants en provenance des grandes installations de

combustion, confère aux déchets issus de la biomasse un caractère de combustible lorsqu'ils sont employés pour la production d'énergie.

Font partie de la « biomasse » les produits composés de la totalité ou d'une partie d'une matière végétale agricole ou forestière susceptible d'être utilisée comme combustible en vue de reconstituer son contenu énergétique et les déchets suivants, utilisés comme combustible :

- a) Déchets végétaux agricoles et forestiers.
- b) Déchets végétaux provenant du secteur industriel de la transformation alimentaire, si la chaleur produite est valorisée.
- c) Déchets végétaux fibreux issus de la production de pâte vierge et de la production de papier à partir de pâte, s'ils sont co-incinérés sur le lieu de production et si la chaleur produite est valorisée.
- d) Déchets de liège.
- e) Déchets de bois, à l'exception des déchets de bois qui sont susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement, y compris en particulier les déchets de bois de ce type provenant de déchets de construction ou de démolition.

### 2.1.3 Directive 2003/30/CE

Cette directive du 8 mai 2003 vise à promouvoir l'utilisation de biocarburants ou autres carburants renouvelables dans les transports, elle mentionne :

- La définition des biocarburants : combustible liquide ou gazeux utilisé pour le transport et produit à partir de la biomasse.
- La liste des biocarburants : bioéthanol, biodiesel, biogaz, biométhanol, biodiméthyléther, bio-ETBE, bio-MTBE, biocarburants synthétiques (issus de la biomasse), biohydrogène et huile végétale pure.
- Des objectifs de production à atteindre par État membre : 2 % sur la base de la teneur énergétique de la quantité totale d'essence et de gazole mise en vente (...) pour le 31.12.2005 et 5,75 % (...) pour le 31.12.2010.

Ces biocarburants sont employés à l'état pur ou mélangés avec l'essence et le gazole.

## 2.2 La réglementation française

Les décrets et arrêtés reprennent les définitions européennes. Une synthèse de ces définitions adoptées au niveau français est fournie par l'ADEME<sup>1</sup> :

*« En France, la définition de la biomasse est la suivante : "la biomasse se présente à l'état naturel et n'est ni imprégnée ni revêtue d'une substance quelconque. Elle inclut notamment le bois sous forme de morceaux bruts, d'écorces, de bois déchiquetés, de sciures, de poussières de ponçage ou de chutes issues de l'industrie du bois, de sa transformation ou de son artisanat" (décret du 20 mai 1953).*

1. <http://www2.ademe.fr>; janvier 2007.

*Depuis la directive européenne sur l'incinération (4 décembre 2000), la définition européenne de la biomasse a été élargie aux "déchets de bois, à l'exception des déchets de bois susceptibles de contenir des composés organiques halogénés ou des métaux lourds à la suite d'un traitement avec des conservateurs du bois ou du placement d'un revêtement, y compris en particulier les déchets de bois de ce type provenant de déchets de construction ou de démolition". Cette définition a été reprise au niveau français en 2002 et 2003 avec les arrêtés régissant les grandes installations de combustion, mais pas intégrée dans la rubrique ICPE 2910.*

*Face à la difficulté d'identifier les déchets de bois susceptibles d'être intégrés dans la rubrique biomasse, un groupe de travail associant l'ADEME, le CTBA, l'UIPP, l'UFC, le SYPAL et l'UNIFA a proposé en 2004, au ministère de l'Écologie et du Développement Durable, un cahier des charges combustible bois.*

*Par ailleurs, les cendres issues de la combustion du bois sont des déchets non dangereux pouvant être valorisés en agriculture lorsque les caractéristiques des cendres le permettent (intérêt agronomique, innocuité vis-à-vis de l'homme, des animaux et de l'environnement). Ceci étant, les textes réglementaires encadrant la valorisation agronomique des cendres sont inexistantes en France... »*

L'article 19 de la loi n° 2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement, du 3 août 2009, résume la définition européenne (directive de 2001) de la biomasse en : « *la fraction biodégradable des produits, déchets et résidus provenant de l'agriculture, y compris les substances végétales et animales, issues de la terre et de la mer, de la sylviculture et des industries connexes ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et ménagers* ».

## 2.3 Les précisions de l'ONU

L'annexe 18 de l'*executive board* du « clean development mechanism »<sup>1</sup> considère la biomasse *renouvelable* si l'une des conditions suivantes s'applique :

- La biomasse provient de surfaces forestières qui le demeurent. Des pratiques de gestion durable permettent d'y maintenir un stock de carbone ne décroissant pas régulièrement avec le temps (ce stock peut varier provisoirement lors des récoltes). Les réglementations forestières nationale ou régionale y sont respectées.
- La biomasse bois provient de surfaces cultivées ou de prairies qui le demeurent ou sont reconverties en forêts. Des pratiques de gestion durable permettent d'y maintenir un stock de carbone ne décroissant pas régulièrement avec le temps (ce stock peut varier provisoirement lors des récoltes). Les réglementations forestières, agricoles ou de protection de la nature, nationale ou régionale y sont respectées.
- La biomasse non-bois provient de surfaces cultivées ou de prairies qui le demeurent ou sont reconverties en forêts. Des pratiques de gestion durable permettent d'y maintenir un stock de carbone ne décroissant pas régulièrement avec le

1. <http://cdm.unfccc.int/EB>, février 2007.

temps (ce stock peut varier provisoirement lors des récoltes). Les réglementations forestières, agricoles ou de protection de la nature, nationale ou régionale y sont respectées.

- Les résidus de la biomasse collectée ne doivent pas impacter le stock de carbone local (bois mort, couverture morte, carbone organique du sol de la surface de collecte). Ce sont des déchets de la production agricole qui auraient été employés ou mis en décharge, mais pas les rémanents demeurant habituellement sur place en exploitation forestière et participant au maintien de la teneur en carbone des sols.
- La biomasse provient de la fraction non fossile des déchets organiques industriels ou municipaux.

À ce stade, l'ONU se montre stricte sur le maintien du stock de carbone local et fait abstraction des autres composants nécessaires à la vie des végétaux : azote, phosphore, potasse, oligo-éléments... Le stock de carbone étant maintenu au moyen de végétaux, ces composants y sont présents involontairement.