

3. Production bioénergétique

De nombreux procédés permettent la production de bioénergie ; ils vont de la combustion de brindilles et de branches pour la cuisson des aliments et le chauffage à la gazéification de copeaux de bois pour la production de combustibles pour les transports. Les systèmes de production d'énergie peuvent être comparés par rapport à l'efficacité énergétique, aux coûts d'installation, aux émissions de carbone, à l'intensité de main-d'œuvre requise ou à une série de coûts et avantages. Toutefois, le bien-fondé des différents systèmes dépendra largement des structures et marchés existants plutôt que d'évaluations isolées de la production.

Ces dernières années, beaucoup de débats se sont déroulés sur la question des avantages supposés de la bioénergie sur le plan des émissions d'anhydride carbonique. Toutefois, il convient de noter que la bioénergie n'est une forme renouvelable et durable d'énergie que sous certaines conditions (Perley, 2008). Pour maintenir le bilan de l'anhydride carbonique, la récolte de biomasse ne doit pas dépasser l'augmentation de la croissance, et l'anhydride carbonique émis pendant la production, le transport et la transformation doit être pris en compte. L'efficacité de conversion du produit devrait être évaluée en même temps que son utilisation finale pour éviter le risque d'insuccès de la politique.

En termes économiques, environnementaux et sociaux, le bien-fondé de différents systèmes de production de bioénergie dépendra, dans une large mesure, du contexte national et local. Lors de la planification d'une stratégie bioénergétique, il faudrait analyser les différentes options et leur impact afin de réaliser les objectifs de la politique.

COMBUSTIBLES LIGNEUX SOLIDES

Bien que l'utilisation du bois pour la cuisson et le chauffage remonte à l'aube de la civilisation, l'efficacité de cette source d'énergie varie en fonction des systèmes de production. Les feux à ciel ouvert ne convertissent qu'environ 5 pour cent de l'énergie potentielle du bois. Avec les fourneaux à bois traditionnels cette efficacité monte à environ 36 pour cent, alors qu'avec les systèmes fonctionnant au charbon, elle oscille entre 44 et 80 pour cent, suivant le modèle du fourneau et les méthodes de production du charbon de bois. Les fourneaux modernes à granulés de bois à usage familial ont un rendement de conversion de l'ordre de 80 pour cent environ (Mabee et Roy, 2001; Karlsson et Gustavsson, 2003).

Pour la production bioénergétique à l'échelle industrielle, un grand nombre de technologies sont en cours d'utilisation ou d'élaboration aujourd'hui. Elles comprennent les chaudières électriques de récupération de chaleur, les systèmes pour la production combinée de chaleur et d'électricité et les systèmes de gazéification pour les techniques avancées de récupération de l'énergie.

Les chaudières électriques mues par des turbines à vapeur, principalement alimentées avec des écorces de bois, peuvent être installées dans les scieries pour remplacer les fours en ruche d'abeille et d'autres systèmes d'évacuation des déchets. La chaleur des chaudières électriques peut servir à produire de la vapeur, qui sera dirigée vers les turbines pour produire de l'électricité ou pour satisfaire les besoins de la transformation. De la même manière, les chaudières de récupération sont employées dans les usines de pâtes et papiers, pour recycler la liqueur noire et récupérer les produits chimiques de réduction en pâte, tout en générant de la vapeur pour le processus de fabrication de pâte. L'efficacité d'une chaudière électrique mue par une turbine à vapeur est généralement de l'ordre de 40 pour cent (Karlsson et Gustavsson, 2003). Le faible coût des combustibles fossiles dans le passé n'a guère incité à installer des générateurs d'électricité dans les scieries.

Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité peuvent utiliser la vapeur produite pour alimenter d'autres processus industriels ou des réseaux de chauffage urbains pour les immeubles résidentiels, les institutions et les installations industrielles. La récupération de chaleur et d'électricité permise par le processus peut augmenter considérablement l'efficacité des opérations. Si l'on utilise les technologies les plus avancées intégrant la récupération et le recyclage des gaz de combustion, l'efficacité peut être portée à 70 ou 80 pour cent (Karlsson et Gustavsson, 2003).

L'efficacité carbone des systèmes alimentés au bois pour la production combinée de chaleur et d'électricité est généralement élevée par rapport aux sources énergétiques non renouvelables et à la plupart des autres biocombustibles. Spitzer et Jungmeier (2006) ont constaté que la production de chaleur par une centrale électrique à cycle combiné alimentée par des copeaux de bois ne produisait que 60 grammes d'équivalent CO₂ par kilowatt d'énergie. Une centrale similaire alimentée au gaz naturel produisait environ 427 g.

D'après les statistiques, les nouvelles technologies qui utilisent la gazéification obtiennent une meilleure récupération d'énergie pour la production d'électricité que la combustion traditionnelle dans une chaudière électrique. Une installation de gazéification intégrée à cycle combiné pourrait porter l'efficacité à environ 47 pour cent et, théoriquement, à 70 ou 80 pour cent avec des systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité. Toutefois, des obstacles techniques importants demeurent.

La gazéification a été proposée pour fournir de l'électricité aux villages et aux petites industries. Les petites installations sont appropriées puisqu'elles sont moins coûteuses, les pièces de rechange sont plus faciles à trouver et les réparations peuvent se faire sur place (Knoef, 2000). Au Cambodge, Abe *et al.* (2007) ont constaté que quand la gazéification de la biomasse fournit de l'électricité à un prix inférieur à celui des générateurs diesel, les principaux problèmes résident dans la régularité de l'approvisionnement et les obstacles à la production de bois. La rentabilité des petites installations établies comme entreprises commerciales a été souvent marginale et fortement dépendante tant des prix de l'énergie que des coûts de l'apport en biomasse (Knoef, 2000). Wu *et al.* (2002) parviennent aux mêmes conclusions

pour les travaux entrepris en Chine et suggèrent qu'il pourrait convenir, lorsque les ressources financières sont limitées, d'utiliser des installations de taille moyenne.

Les fourneaux à granulés de bois, qui appliquent des technologies plus avancées pour la conservation et la récupération d'énergie, sont désormais une option attractive. Les granulés sont produits à partir de résidus ligneux (sciure ou rognures de bois) plutôt que de grumes entières, si bien qu'ils devraient être considérées comme partie intégrante de la fabrication des produits forestiers. La matière première est séchée, mécaniquement agglomérée et extrudée sous pression et transformée en granulés. Les petits fourneaux modernes à granulés de bois sont l'outil le plus efficace de production bioénergétique à petite échelle.

BIOCOMBUSTIBLES LIQUIDES

Les biocombustibles comprennent une gamme étendue de combustibles liquides et gazeux dérivés de la biomasse. Les biocombustibles de la «première génération» proviennent de cultures vivrières et contiennent le bioéthanol tiré du sucre et de l'amidon et le biodiesel provenant d'oléagineux. Les biocombustibles de la deuxième génération sont issus de cultures agricoles non vivrières et de produits forestiers, et utilisent la lignine, la cellulose et l'hémicellulose composant la matière végétale. La technologie pour la transformation de la lignine est en cours d'élaboration.

Ces derniers temps, avec les prix élevés du pétrole, l'intérêt porté aux biocombustibles liquides s'est intensifié. À cause de leurs prix plus faibles et de leur état de développement plus avancé, les biocombustibles tirés des cultures vivrières retiennent particulièrement l'attention. Il est prévu qu'à moyen terme, les innovations technologiques augmenteront la compétitivité des biocombustibles de la deuxième génération. Actuellement, de nombreux gouvernements les considèrent comme un moyen de réduire tant la dépendance à l'égard des importations de produits pétroliers que les émissions de gaz à effet de serre. C'est ainsi que l'Initiative biocombustible du Département de l'énergie des Etats-Unis vise à rendre l'éthanol cellulosique financièrement plus avantageux que l'essence d'ici 2012 et à remplacer 30 pour cent de la consommation actuelle d'essence par des biocombustibles en 2030 (CENUE/FAO, 2007).

Biocombustibles liquides de la première génération

Les biocombustibles de la première génération sont fabriqués à partir d'une série de cultures relativement propres à une zone géographique. Dans les régions tempérées, on utilise le colza, le maïs et d'autres céréales comme matière première des biocombustibles, alors que dans les zones tropicales c'est la canne à sucre, l'huile de palme et parfois aussi le soja et le manioc qui sont employés. La canne à sucre n'est pas très répandue dans les pays de l'OCDE, et seuls l'Australie et les Etats-Unis en sont les principaux producteurs. Toutefois, la betterave à sucre est produite dans de nombreux pays de l'OCDE et, bien que sa production soit consacrée principalement à l'alimentation, ce rôle peut évoluer à l'avenir.

Les techniques de production de l'éthanol à partir des sucres et de l'amidon ont été affinées et développées au fil des ans. Le Brésil et les Etats-Unis en particulier

ont amélioré ces technologies, le Brésil mettant l'accent sur la fermentation du sucre et les Etats-Unis sur l'hydrolyse et la fermentation de l'amidon. Un certain nombre de pays d'Asie et du Pacifique utilisent des systèmes de production de la canne à sucre bien développés et en expansion, notamment les Philippines, l'Inde, le Pakistan et la Thaïlande. L'un des avantages de l'emploi de la canne à sucre est que la bagasse, la composante cellulosique de la tige de la canne à sucre, peut être utilisée pour la production d'énergie servant à fabriquer le bioéthanol, augmentant ainsi l'efficacité énergie-carbone générale.

Dans le monde, les cultures oléagineuses sont plus diffuses que les cultures sucrières. Les premières servent à produire le biodiesel moyennant un processus connu sous le nom de transestérification. Toutefois, elles ont besoin de sols d'excellente qualité et de conditions de végétation optimales; il s'ensuit que les possibilités d'expansion sont limitées et que des terres forestières risquent d'être converties à la culture d'oléagineux si elles s'y prêtent.

L'Europe a dominé l'industrie du biodiesel à ce jour, représentant 90 pour cent environ de la production mondiale en utilisant l'huile de colza comme principale matière première. La Malaisie et l'Indonésie sont, à l'heure actuelle, les grands producteurs d'huile de palme. En 2006, la Malaisie détenait des plantations de palmiers à huile estimées à 3,6 millions d'hectares alors que l'Indonésie en avait près de 4,1 millions (FAO, 2007c). Toutefois, les estimations des plantations de palmiers à huile actuelles varient considérablement et certaines sources présentent des chiffres beaucoup plus élevés que ceux recueillis par la FAO (Butler, 2007a).

Le développement des biocombustibles et de l'industrie de l'huile de palme est particulièrement important en Asie, étant donné la montée rapide de la demande d'énergie prévue pour la région. La question de la conversion des terres aux plantations de palmiers à huile détermine des conflits car il est soutenu que leur expansion en Malaisie et en Indonésie s'est faite souvent aux dépens de superficies forestières exploitées récemment, de forêts ombrophiles de grande valeur ou de marécages tourbeux emmagasinant le carbone. En Asie du Sud-Est, 27 pour cent des plantations de palmiers à huile se situent sur des terrains tourbeux drainés (Hooijer *et al.*, 2006). Les émissions qui s'en dégagent contribuent considérablement à la formation des gaz à effet de serre mondiaux.

Récemment, on a étudié les possibilités d'utiliser d'autres plantes oléagineuses telles que *Jatropha* spp, comme matière première pour la production de biodiesel. *Jatropha* est un genre constitué de plus de cent espèces, dont des arbres et arbustes, originaire des Caraïbes mais présent aujourd'hui dans toutes les zones tropicales. Les graines de *Jatropha curcas* produisent une huile qui est utilisée de façon croissante pour produire du biodiesel, notamment aux Philippines et en Inde. Cette plante rustique pousse bien sur des terres marginales et peut servir aussi à remettre en état des terrains dégradés. Ces caractéristiques laissent penser que, si elle est bien gérée, la production de *Jatropha curcas* pourrait être accrue sans concurrencer directement les forêts naturelles ou des terres agricoles de très bonne qualité affectées à la production vivrière.

Biocombustibles liquides de la deuxième génération

Une deuxième génération de technologies en voie d'élaboration pourrait permettre d'utiliser des matières premières cellulosiques, notamment des résidus agricoles ou du bois, pour produire des biocombustibles liquides économiquement intéressants pour les transports. Il est prévu généralement que ces technologies efficaces de conversion compétitive de cellulose en biocombustibles liquides seront disponibles d'ici 10 à 15 ans (Worldwatch Institute, 2007). La production à l'échelle de la démonstration est déjà en cours (voir www.iogen.ca), le bioéthanol étant le combustible liquide cellulosique le plus proche d'être commercialisé. Le Gouvernement des États-Unis investit actuellement dans de petites bioraffineries cellulosiques (US Department of Energy, 2008).

Les résidus agricoles seront probablement parmi les matières premières les moins coûteuses des biocombustibles liquides. La bagasse et les résidus des cultures céréalières, y compris le maïs, le blé, l'orge, le riz et le seigle, sont parmi les matières premières pouvant servir aussi à produire le bioéthanol. Cependant, seulement 15 pour cent environ de l'ensemble de la production de résidus seraient utilisables pour la production énergétique en tenant compte cependant des quantités à garder pour assurer la conservation des sols, l'alimentation du bétail et pour faire face aux variations saisonnières (Bowyer et Stockmann, 2001). À mesure que s'accroît la production bioénergétique, les résidus agricoles sont appelés à prendre plus d'importance comme matières premières des biocombustibles et leurs disponibilités pourraient être accrues grâce à de meilleures pratiques de gestion.

Les résidus de l'industrie des produits forestiers et le bois issu des plantations forestières fournissent d'autres sources potentielles de matières premières pour la production de biocombustibles cellulosiques commerciaux. Aujourd'hui, une petite proportion seulement des biocombustibles liquides est à base de bois, mais la mise au point d'un processus économiquement viable pour produire des biocombustibles liquides cellulosiques pourrait favoriser une utilisation plus diffuse de la biomasse forestière dans le secteur des transports.

Deux technologies de base sont en voie d'élaboration pour convertir le bois en combustibles liquides et produits chimiques: la conversion biochimique et la conversion thermochimique (gazéification ou pyrolyse). Dans la conversion biochimique, le bois est traité à l'aide d'enzymes pour libérer l'hémicellulose et la cellulose sous forme de sucres. Ces sucres peuvent ensuite être convertis en éthanol ou en d'autres produits. La lignine résiduelle est également convertie en d'autres produits ou utilisée pour produire de la chaleur et de l'électricité servant à l'opération de l'usine ou pour la vente.

Dans la gazéification, le bois et l'écorce sont chauffés en présence d'une quantité minimale d'oxygène pour produire un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène qui, après épuration, est désigné sous le nom de gaz de synthèse. Ce gaz peut être converti ultérieurement en combustibles liquides. La pyrolyse est le processus de traitement du bois à basse température, en l'absence d'oxygène ou en présence d'une quantité minimale d'oxygène, pour convertir le bois en charbon,

gaz non condensables et huiles pyrolytiques. L'huile pyrolytique peut être utilisée directement comme combustible ou raffinée et transformée en combustible et produits chimiques.

Actuellement, les technologies de conversion biochimique exigent des copeaux de bois propres (dépourvus d'écorce) et pourraient exploiter les mêmes ressources ligneuses que les usines à pâte. En revanche, la conversion thermochimique peut utiliser un mélange de bois et d'écorce.

Une perspective intéressante est celle des bioraffineries qui devraient produire non seulement de la chaleur et de l'électricité, mais aussi des combustibles pour les transports et des produits industriels. Les usines à pâte modernes, qui sont dans certains cas des producteurs nets de chaleur et d'électricité, peuvent être considérées comme les prototypes des bioraffineries. On prévoit que les usines à pâte passeront du rôle de grands consommateurs d'énergie et de producteurs de pâte et de papier seulement à celui de producteurs de pâte et de papier ainsi que de chaleur, d'électricité, de combustibles pour les transports et de produits chimiques particuliers. On peut adapter la gamme de produits à la demande des marchés, optimisant ainsi les gains tirés d'une quantité donnée de bois (CENUE/FAO, 2007).

Il est probable que les biocombustibles de la deuxième génération rendront davantage lorsqu'ils serviront à alimenter les usines manufacturières existantes, comme les fabriques de papier, qui produisent ou utilisent de la biomasse bon marché ou comme sous-produit (Global Insight, 2007). La production d'éthanol cellulosique pourrait s'avérer faible hors des Etats-Unis, de l'Europe et du Brésil en raison de la taille limitée des marchés prévus et de la disponibilité de produits importés.

À l'heure actuelle, les Etats-Unis se situent parmi les pays où la conversion cellulosique est la plus développée. Le pays donne son soutien à la création de bioraffineries forestières intégrées qui pourraient être installées auprès des fabriques de pâte existantes et produire de la bioénergie renouvelable à partir de produits d'origine biologique forestiers et agricoles (CENUE/FAO, 2007). Les efforts actuels s'orientent vers trois domaines:

- identifier des processus rentables capables de séparer et d'extraire du bois certains éléments choisis avant la fabrication de la pâte pour la production de combustibles liquides et de produits chimiques;
- utiliser les technologies de gazéification pour convertir la biomasse, y compris les résidus forestiers et agricoles et la liqueur noire, en un gaz synthétique qui sera ensuite converti en combustibles liquides, électricité, produits chimiques et autres matériels de valeur élevée ;
- renforcer la productivité forestière, y compris le développement des plantations de biomasse à croissance rapide destinées à la production de matières premières économiques et de haute qualité pour la génération de bioénergie et de sous-produits.

Le développement des technologies servant à produire des biocombustibles à partir de sources cellulosiques permettra à l'avenir de promouvoir l'utilisation du bois dans la production d'énergie. Cependant, le besoin de faire appel à des inno-

vations technologiques avancées pourrait limiter, à l'échelle mondiale, la disponibilité de systèmes capables de convertir le bois et d'autres matières premières cellulosiques en combustibles liquides. L'Institute for Agriculture and Trade Policy a averti que les lois sur les brevets et le coût des redevances et de l'octroi de licences influenceront l'adoption des biocombustibles (IATP, 2007). Outre les questions technologiques et économiques, il est impératif de se rendre compte de la manière dont les lois sur les brevets peuvent avoir une incidence sur la production de biomasse et de biocombustibles pour comprendre comment les technologies de fabrication des biocombustibles pourraient contribuer au développement durable.

Les pays et les entreprises privées qui envisagent la production de biocombustibles liquides de la deuxième génération tirés de la biomasse cellulosique ont devant eux un avenir incertain, encore que potentiellement lucratif. Il faudra du temps et de gros investissements de recherche pour mettre au point des technologies permettant de produire des combustibles liquides compétitifs à partir du bois. Des investissements considérables sont aussi nécessaires pour les grandes usines, notamment pour la gazéification. Il convient de noter que les prix élevés du pétrole au début des années 1980 ont abouti à la construction d'un certain nombre d'installations de gazéification pour la production de méthanol tiré du bois, en particulier dans des pays européens. Cependant, le nombre de ces entreprises a diminué à cause des prix décroissants du pétrole. (Faaij, 2003). Les risques liés aux investissements dans les biocombustibles liquides de la deuxième génération étant relativement élevés, la plupart des pays en développement exploreront probablement d'autres options avant de s'embarquer dans cette aventure.

