

Octobre 2007



*Les copeaux de bois sont utilisés comme combustibles pour la production d'énergie
Copyright : Iwan Davies*

La valorisation énergétique de la biomasse au Royaume-Uni

La valorisation énergétique de la biomasse au Royaume-Uni

Les objectifs du Royaume-Uni visent à réduire ses émissions de CO₂ par rapport à celles de 1990, en innovant et en accélérant le développement des énergies provenant de sources renouvelables telles que l'éolien, le solaire ou plus récemment la biomasse : 20 % d'ici à 2010, 30 % d'ici à 2020, et 60 % d'ici à 2050¹. La stratégie britannique liée à cette dernière s'insère dans un contexte de réduction des émissions de CO₂, comme le démontre la publication *UK Biomass Strategy*. Le Royaume-Uni mène donc une politique pro-active pour favoriser l'utilisation de la biomasse et accroître les quantités d'énergies pouvant en être exploitées. En sus de la stratégie nationale, les régions dévoluées ont aussi dévoilé leurs propres politiques et plans d'actions qui sont alors adaptés aux contraintes locales. Les objectifs biomasse affichés sont d'étendre la production et l'utilisation de la biomasse, de faciliter le développement compétitif des marchés, de promouvoir l'innovation dans le secteur des technologies pauvres en carbone, de contribuer à la santé des écosystèmes et de se tourner progressivement vers une « bio-économie ». Ce dossier présente les techniques de valorisation actuelles de la biomasse au Royaume-Uni, la stratégie britannique spécifique qui s'y rapporte et les résultats de la recherche publique dans ce domaine.

Introduction

Au cours du siècle dernier, la surface de la Terre et la troposphère (partie la plus inférieure de l'atmosphère) se sont réchauffées en moyenne de 0,7°C. Le 4^{ème} rapport du GIEC paru en 2007 a permis de faire émerger un large consensus selon lequel ce réchauffement est en grande partie dû aux activités humaines, *via* les émissions de gaz à effet de serre, le plus connu étant le CO₂. Au Royaume-Uni, les émissions actuelles de CO₂ peuvent se répartir comme indiqué en figure 1.

Dans le but de contrer ce réchauffement climatique, le Royaume-Uni, comme de nombreux autres pays, développe les technologies existantes afin de réduire sa consommation d'énergie d'origine fossile et donc ses

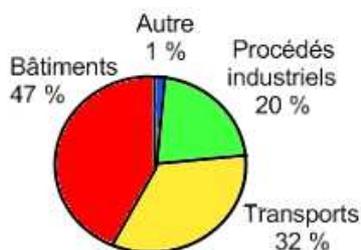


Fig. 1 : Répartition des émissions actuelles de CO₂ au Royaume-Uni

émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, il innove dans le but de mettre à profit ses ressources naturelles pour la production d'énergie dans un souci de développement durable. L'une de ses ressources naturelles phares au cours de ces dernières années est la biomasse, qui présente un potentiel énergétique considérable.

Dans ce dossier, proposant un état de l'art de la valorisation de la biomasse au Royaume-Uni, nous nous intéresserons en premier lieu à définir et décrire la biomasse (chapitre 1), les techniques de conversion de celle-ci en énergie (chapitre 2) avant de s'attarder, dans le chapitre 3, sur les priorités et la stratégie scientifique du gouvernement britannique dans ce domaine. Enfin nous identifierons dans le chapitre 4 les acteurs britanniques majeurs de la recherche publique en matière de biomasse et les perspectives d'évolution de la biomasse-énergie au Royaume-Uni.

1. Définitions et caractéristiques de la biomasse

1.1 La biomasse : une large gamme de produits organiques

Selon l'ADEME², la biomasse « désigne l'ensemble des produits organiques de l'activité biologique, y compris les déchets organiques. C'est la fraction fermentescible des pro-

¹ Le 23 octobre 2007, le Ministre de l'Énergie M. Malcolm Wicks a cependant annoncé que les objectifs du Royaume-Uni étaient revus à la baisse, et que seuls 10 à 15 % de l'énergie produite en 2020 proviendraient de sources renouvelables.

² Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

duits provenant de l'agriculture (substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ».

On peut donc classer au sein de ce terme générique : (i) le bois et ses produits de l'industrie connexe (écorces, sciures, copeaux, chutes, etc.) ; (ii) les cultures énergétiques (*Miscanthus*, blé, maïs, colza, tournesol, betterave, canne à sucre, peuplier, saule, *Jatropha*, etc.) et les co-produits des récoltes (paille et tiges, noyaux et coquilles) ; (iii) les déchets organiques des ménages, déchets liquides et déjections animales et lisiers.

1.2 La biomasse : une valorisation inégale

La diversité des matériaux constituant la biomasse, qui présentent chacun des caractéristiques distinctes, implique le développement de multiples méthodes de traitement permettant d'optimiser la valorisation du matériau au cas par cas, et d'en recueillir ainsi le maximum d'énergie. Pour obtenir un bon combustible à partir de la biomasse, les critères de choix sont d'avoir un matériau sec, à croissance continue et à résistance aux insectes et aux maladies. Le terme d'« efficacité » des matériaux est souvent utilisé, en fonction des rendements énergétiques de chacun d'eux. La recherche en biomasse-énergie se penche donc sur des recherches et/ou développements industriels permettant de maximiser la production d'énergie de façon spécifique à chaque matériau d'origine.

1.3 La biomasse : une solution pour la réduction des émissions de CO₂ ?

Si l'on considère que le cycle de la biomasse dans son ensemble est sans conséquence sur les émissions de gaz à effet de serre, car sa formation nécessite la capture de CO₂ de l'atmosphère par photosynthèse et son rejet lors

du processus de valorisation de la biomasse, la réalité est quelque peu différente. En effet, ce cycle n'est pas parfaitement neutre en carbone, car la production de biomasse, son transport et sa valorisation nécessitent un apport d'énergie. La biomasse est donc considérée neutre en carbone en comparaison aux énergies fossiles.

2. Procédés de conversion de la biomasse

2.1. Production de chaleur et/ou d'électricité

Les différentes méthodes de combustion

Il existe plusieurs méthodes de combustion pour la production de chaleur et/ou d'électricité. Dans un ordre croissant de coût de fonctionnement, on peut citer :

- **le chauffage simple** est le mode de valorisation de la biomasse le plus efficace et le moins coûteux, qu'il s'agisse de chaudières, de cheminées ou de poêles à bois ou d'installations à petites ou à grande échelle.
- **la cogénération** permet la production à la fois de chaleur et d'électricité. Il existe quatre systèmes distincts de cogénération :
 - **la turbine à vapeur** : méthode privilégiée, elle démontre un rendement électrique de 10 à 20 % et un rendement de production de chaleur de l'ordre de 80 à 90 % ;
 - **la turbine à gaz** d'une taille minimale de 30 kW, elle peut atteindre près de 30 % et 50 % de rendements électrique et thermique, respectivement ;
 - **les systèmes à cycles combinés** : adaptés à des installations d'une capacité d'un minimum de 7 MW, leur rendement électrique est plus élevé (environ 50 %) et leur rendement en chaleur réduit (environ 26 %) par comparaison avec les deux types de turbines utilisées séparément ;
 - **les systèmes à moteur inversé** dotés d'un moteur plutôt que d'une turbine, le rendement électrique s'élève à 30 %. Le rendement thermique, compris entre 33 à 50 %, fait que ces systèmes, dont la taille varie de 100 kW à 5 MW, sont principalement utilisés pour la production de chaleur.

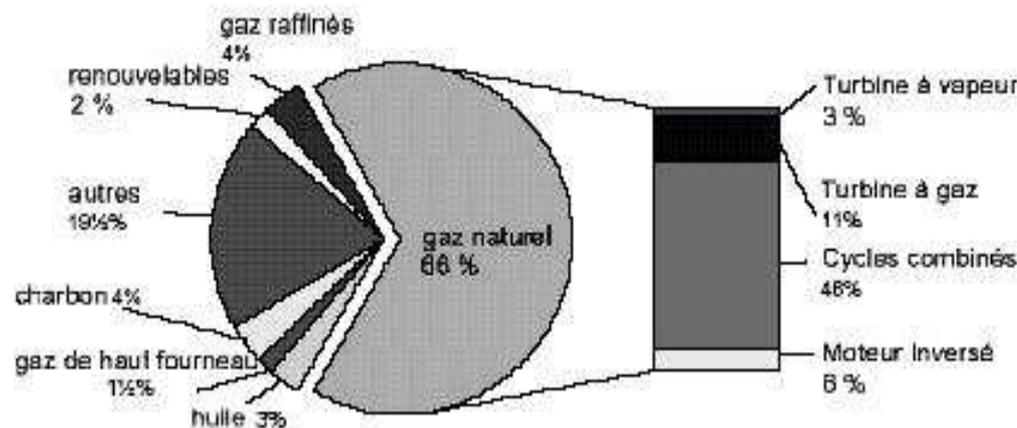


Fig. 2 : Répartition des combustibles utilisés par cogénération en 2005 (Source : Digest of UK Energy Statistics, 2005)

Notons que si la cogénération est en plein essor dans le domaine des énergies durables, la proportion de sources renouvelables utilisées reste faible (2 %) par rapport aux autres sources existantes, en particulier le gaz naturel (66 %), comme le mon-



Fig. 3 : les deux combustibles les mieux adaptés, copeaux (haut) et pastilles (bas)

tre la Fig. 2 détaillant les types de combustibles utilisés en 2005.

• **la coïncinération** : le combustible brûlé pour la production de chaleur et d'électricité est constitué d'un mélange de combustible fossile traditionnel et de biomasse. Le rendement de l'opération est inversement proportionnel à la quantité de biomasse dans le mélange, en général compris entre 35 et 40 %.

La production de chaleur et/ou d'électricité par la combustion d'arbres ou de plantes herbacées s'effectue principalement *via* les deux formes de combustibles les mieux adaptés :

en copeaux ou en pastilles (Fig. 3). Les copeaux présentent l'avantage d'être attractifs pour le client car ils se présentent sous une forme homogène en taille et en couleur, et offrent un prix plus compétitif que celui des pastilles. En revanche, ces dernières présentent une densité et un pouvoir calorifiques supérieurs à celui des copeaux, produisant environ 18 à 20 GJ/t². Un point important dans le choix de l'un ou l'autre combustible repose également sur l'espace dont dispose le client : les copeaux sont très demandeurs d'espace et il faut compter environ 400 tonnes de copeaux par an pour chauffer un quartier de 100 à 200 logements.

Quel que soit le combustible utilisé, celui-ci doit être séché pour répondre, d'une part aux systèmes de combustion actuels³ et d'autre part optimiser le rendement énergétique. Les copeaux et pastilles possèdent des taux d'humidité inférieurs à 30 %.

La combustion de matériaux dérivant du bois présente des avantages non négligeables en terme d'émission de gaz à effet de serre. A titre d'exemple, un foyer rejette annuellement moins de CO₂ s'il se chauffe au bois (90 kg) que s'il utilise du gaz (4 tonnes) ou de l'huile (5 tonnes). Trois arbres et plantes herbacées sont actuellement favorisés par le gouvernement britannique et sont soumis à la méthode des taillis à rotation courte⁴, à

savoir :

- **le saule** : il s'agit principalement des espèces appartenant à la famille des arbustifs, notamment l'espèce *Salix viminalis*, qui viennent le plus souvent de l'étranger et sont replantées au Royaume-Uni après un premier stade de développement d'environ 20 cm. Malgré son prix élevé (2 000 livres/ha, environ 3 000 euros), il présente l'avantage d'une multiplication des cellules et d'une croissance intense après la taille. La récolte se fait tous les 3 ans, sur une période de 25 ans après laquelle il faut replanter ;
- **le peuplier** : arbre à croissance rapide, pouvant atteindre 35 m à une vitesse de 5 m/an et dont la diversité génomique favorise la solidité immunitaire. Le prix d'une plantation de peupliers est deux fois moins élevé que celui d'une plantation de saules. Le peuplier nécessite cependant beaucoup d'eau, ce qui peut représenter un inconvénient pour sa culture intensive ;
- **le Miscanthus** : originaire d'Asie, il grandit rapidement jusqu'à une hauteur de 2 ou 3 m. Sa récolte se fait une fois par an, sur un cycle de 10 à 15 ans, et permet de récolter en moyenne 10 à 18 t/ha. Par comparaison, le colza ou la betterave à sucre ne peuvent être cultivés que tous les 3 à 5 ans. Si l'inconvénient majeur du *Miscanthus* reste son prix de vente (3 300 livres/ha, environ 4 900 euros/ha) son utilisation présente de nombreux avantages, ce qui explique les programmes de subventions mis en place par le gouvernement britannique pour inciter les producteurs à le cultiver : (i) il répond à l'ensemble des critères de choix d'un bon matériau pour la biomasse et possède de plus un potentiel de diversité génétique important ; (ii) il permet une réduction de l'utilisation des insecticides, fongicides et régulateurs de croissance ; (iii) il demande 2,4 fois moins d'énergie pour sa culture et sa récolte que le blé et présente ainsi le meilleur rendement entre l'énergie nécessaire à la croissance de la culture et l'énergie délivrée par la valorisation de la plante mature ; (iv) il ne favorise pas l'érosion des sols par comparaison avec d'autres cultures telles que le soja ou le maïs ; (v) enfin, il préserve une forte biodiversité au sein de sa culture.

L'utilisation des déchets

Les modes de conversion des déchets organiques en chaleur ou électricité sont variés et incluent des procédés mécaniques, chimiques, ou une combinaison des deux. Parmi les déchets organiques pouvant être convertis, citons notamment la litière des volailles, un combustible composé d'un mélange de sciure de bois, de paille et

² il est toutefois difficile de donner les chiffres exacts des pouvoirs calorifiques car ceux-ci dépendent du matériau de base et du taux d'humidité qu'il contient

³ certains appareils modernes de combustion de biomasse peuvent brûler des matériaux « verts » fraîchement réduits en copeaux. D'autres technologies, comme la digestion anaérobie, la fermentation, ou la gazéification sont également compatibles avec du bois ou d'autres produits très humides

⁴ méthode de culture qui consiste à récolter plus de biomasse et plus fréquemment : la récolte se fait tous les deux à cinq ans et les souches sont laissées sur place afin de faciliter la repousse

d'excréments. Son pouvoir calorifique est élevé (14,7 GJ/t) et sa combustion à environ 850 °C est utilisée pour entraîner une turbine à vapeur. D'autre part, 72 % des déchets sont encore envoyés dans les décharges où ils se décomposent et produisent un biogaz riche en méthane qui représente un important gaz à effet de serre. Collecté, ce biogaz peut cependant être converti en électricité et en chaleur.

- **l'incinération** : en marge de l'incinération des déchets, il est aujourd'hui possible d'incinérer des combustibles dérivés des déchets (aussi appelés *Refuse Derived Fuels*), qui se présentent sous la forme de condensés énergétiques préparés par les usines de recyclage, et utilisés sous forme de pastilles ou de billes. Si leur capacité calorifique est deux fois supérieure à celle des déchets solides municipaux (18 GJ/t), le contenu énergétique massique des deux matériaux est cependant équivalent. La capacité des usines de traitement varie de 50 à 500 t de déchets par jour et leur productivité peut atteindre 580 kWh/t, avec un rendement énergétique d'environ 22 %. Dix pourcent de l'énergie produite est recyclée dans l'usine, en général pour se chauffer, et le reste est vendu au *National Grid*, l'une des entreprises gestionnaire du réseau de transmission électrique en Grande-Bretagne⁵. Ce procédé présente cependant l'inconvénient majeur d'émettre beaucoup de poussières, consommant ainsi près d'un tiers du budget des usines uniquement pour le suivi du bon fonctionnement des systèmes.

- **digestion anaérobique et production de gaz combustible** : cette méthode reste la plus utilisée pour convertir les déchets organiques en énergie. La première étape, qui consiste à mélanger différents types de déchets solides et liquides avant le démarrage du traitement, est suivie par une étape de pré-pasteurisation, au cours de laquelle les déchets sont chauffés à 70 °C pendant une heure, pour éliminer les pathogènes et les virus. Le matériau est ensuite digéré à 36-38 °C pendant 20 à 25 jours, en conditions anaérobiques. Le volume final est égal à 60 % du volume initial. Cette méthode permet d'obtenir du biogaz et un liquide fertilisant pouvant être utilisé par les agriculteurs. Le biogaz, composé à peu près de 65 % de méthane et 35 % de CO₂, est lavé des éléments toxiques qu'il contient, avant d'être converti en énergie au moyen d'une turbine à gaz. On estime à 6,3 kWh/m³ le pouvoir calorifique du biogaz, et à 35 % le rendement de la conversion.

- **Traitement Mécanique et Biologique (TMB)** : ce terme générique réfère à une combinaison de traitements

appliqués aux déchets non biodégradables (mécanique) et biodégradables (biologique) sur un même site, qui sont ensuite stockés dans une décharge.

- **pyro-gazéification** : dans un premier temps, la matière organique subit un traitement pyrolytique en conditions anaérobiques qui produit un mélange de gaz légers incondensables, d'hydrocarbures lourds et de coke (carbone). La quantité de gaz obtenue et le rendement énergétique sont directement proportionnels à la température et la rapidité du traitement. Une étape de gazéification suit cette pyrolyse : elle consiste à chauffer les produits obtenus par pyrolyse dans une atmosphère pauvre en air et riche en vapeur d'eau, ce qui permet d'obtenir des gaz et des cendres en fin de traitement. Les gaz synthétisés peuvent ensuite être brûlés dans une turbine à gaz. Si le rendement de cette méthode produit jusqu'à 642 kWh/t, le marché correspondant reste limité. Ceci peut être expliqué par le fait que pas moins de 20 % de l'électricité générée sont consommés par le procédé lui-même.
- **fermentation** : les déchets fermentés produisent de l'éthanol ou du méthanol au cours d'un procédé qui n'est pas économiquement viable actuellement et les cultures énergétiques sont par conséquent privilégiées pour cette méthode.

2.2 Production de biocarburants : vers un renouveau des transports ?

Depuis quelques années, les transports font l'objet de nombreux développements visant à réduire les émissions nationales de CO₂ (32 % de ces émissions y sont attribuables au Royaume-Uni). Les biocarburants en sont un exemple important : ils sont constitués d'un mélange d'huiles raffinées ou d'alcools, obtenus à partir de la culture de plantes spécifiques, avec respectivement du diesel ou de l'essence. Les biocarburants dits de première génération actuellement commercialisés, bioéthanol (alcool) et du biodiesel (huile), contiennent 5 à 20 % d'alcool ou d'ester⁶. Ceux de deuxième génération en sont, quant à eux, encore au stade de la recherche.

L'hydrolyse libérant les sucres simples

La biomasse est composée essentiellement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine.

La cellulose, constituant majoritaire des parois cellulaires chez la plupart des plantes, se présente sous la forme de longues chaînes de molécules de glucose. Ces chaînes sont reliées entre elles au moyen de l'hémicellulose, qui se présente quant à elle sous la forme de chaînes de pentose. Une réaction d'hydrolyse brise ces chaînes de pentoses et libèrent des sucres simples (monosaccharides) qui seront fermentés pour produire de l'éthanol.

⁵ Deux autres entreprises, *Scottish Power* et *Scottish and Southern Energy*, gèrent le réseau de transmission écossais

		CO ₂ (g/km)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	SO ₂ (g/km)
Véhicule léger	Diesel	139	0,42	0,64	0,05
Véhicule léger	Biodiesel	0 ⁷	0,37	0,77	0
Véhicule lourd	Diesel	853	3,92	13,06	0,28
Véhicule lourd	Biodiesel	0	2,63	15,02	0

Table 1 : Comparaison des émissions de gaz entre diesel et biodiesel (Source : Sheffield Halam University, 2003)

Le bioéthanol : des sucres fermentés

Près d'un siècle après la tentative d'Henry Ford, il est aujourd'hui possible de faire fonctionner des voitures au bioéthanol, produit à partir de sucres fermentescibles contenus dans la betterave à sucre, le blé, la canne à sucre, le maïs, ou encore la pomme de terre. Le pouvoir calorifique du bioéthanol est cependant inférieur à celui de l'essence (21,3 MJ/l contre 32 MJ/l). Au Royaume-Uni, l'utilisation de la betterave à sucre et du blé est privilégiée. Notons que la fermentation de la betterave à sucre entraîne également la production de flegmes, composés d'alcools éthyliques trouvant des applications dans le

secteur pharmaceutique. La fermentation de blé, quant à elle, produit également des drèches, rémanents non fermentés de la céréale initiale, riches en protéines et en minéraux et qui peuvent être vendues comme alimentation pour les porcs, les bovins et la volaille.

En raison d'un coût de production très variable en Europe (0,13 à 0,67 livre par litre (entre 0,20 et 1 euro par litre) contre 0,27 à 0,40 livre par litre (entre 0,40 et 0,60 euro par litre) pour l'essence), la plus grande partie du bioéthanol vendu au Royaume-Uni est importée du Brésil où les coûts de production sont similaires à ceux de l'essence.

Carburant	Coût/l équivalent Pétrole en livres /l (euro/l)
Diesel	0,24-0,37 (0,35-0,55)
Biodiesel de soja	0,24-0,40 (0,35-0,60)
Biodiesel de colza	0,24-0,44 (0,35-0,65)
Essence	0,27-0,40 (0,40-0,60)
Bioéthanol de canne à sucre	0,13-0,27 (0,20-0,40)
Bioéthanol de Maïs	0,27-0,34 (0,40-0,50)
Bioéthanol de cellulose	0,47-0,67 (0,70-1,00)

Table 2 : Coût de la production de carburant en fonction de la plante de base utilisée (Source : Hawkhills Ltd, mars 2007)

Le biodiesel : des huiles raffinées

L'huile de base la plus utilisée par le Royaume-Uni est l'huile de colza. L'huile brute nécessite d'être raffinée, avant une étape d'estérification. Les produits résultants de cette réaction sont un méthylester et du glycérol brut. Après une nouvelle étape de raffinage, le méthylester peut être mélangé à du diesel traditionnel et le glycérol est incinéré. Un programme de recherche doté de 60 000 livres (environ 90 000 euros) a récemment été démarré par le *Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform* (DBERR, Ministère de l'Economie, de l'Entreprise et des Réformes Réglementaires) pour étudier les options de valorisation du glycérol.

Tout comme le bioéthanol, le biodiesel démontre un pouvoir calorifique légèrement inférieur au diesel classique (35 GJ/t contre 42 GJ/t) et un coût de production légèrement supérieur. D'un point de vue écologique cependant, le biodiesel présente des atouts non négligeables de par sa dégradation cinq fois plus rapide que celle du carburant fossile et ses émissions de gaz à effet de serre réduites (à l'exception des émissions d'oxydes d'azote, NO_x, voir table 1). Par ailleurs, le produit final est largement influencé par le type de culture, en termes

⁶ On peut débattre sur l'appellation « biocarburant » lorsque le mélange contient 80-95 % de carburant fossile. Cependant, ils peuvent être considérés comme une première étape vers une nouvelle génération de biocarburants, plus efficaces en terme de réduction d'émissions de CO₂

⁷ les quantités nulles de la colonne CO₂ correspondent à des émissions nettes de CO₂.

de coûts de production (voir table 2) et de rendement énergétique.

3. La stratégie du gouvernement britannique en matière de valorisation de la biomasse

La volonté du gouvernement britannique d'être « vert » le pousse à développer durablement ses activités afin d'entrer en adéquation avec des contraintes écologiques croissantes, grâce à la mise en place d'objectifs précis. Les principaux acteurs de la stratégie nationale sont représentés par les ministères de Westminster et les régions dévoluées, qui travaillent en étroite collaboration les uns avec les autres.

3.1 Une stratégie biomasse en marge de la stratégie britannique sur l'énergie

La stratégie globale de réduction des émissions de CO₂ du gouvernement britannique est proposée par le *Sustainable Energy Policy Network* (Réseau Stratégique des Energies Durables), dirigé conjointement par le DBERR et le *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (Defra, Ministère de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires Rurales). Le *Department for Transport* (DfT, Ministère des transports) et la *Forestry Commission*, dédiée à la protection et au développement des zones forestières, travaillent le plus souvent en aval du Defra et du DBERR.

Si la stratégie biomasse s'insère dans ce contexte de réduction des émissions de CO₂, elle est aussi présentée comme une stratégie à part entière comme le démontre trois documents principaux : l'*Energy White Paper* (Livre Blanc sur l'Energie) publié en mai 2007, la *UK Biomass Strategy* (Stratégie du Royaume-Uni pour la Biomasse) publiée en marge du Livre Blanc et qui donne suite au rapport *Biomass Task Force* d'octobre 2005 et le rapport britannique pour la Commission Européenne dans le cadre de la directive sur les biocarburants (2003/30/EC) de juillet 2007, qui présente les résultats de 2006.

Le Royaume-Uni mène donc une politique pro-active pour favoriser l'utilisation de la biomasse et accroître les quantités d'énergies pouvant en être exploitées. En sus de la stratégie nationale, les régions dévolues ont aussi dévoilé leurs propres politiques et plans d'actions en matière de biomasse (incluant les déchets), qui sont alors adaptés aux contraintes locales.

3.2 Une étude détaillée des réserves britanniques de biomasse : passées, présentes et futures

En raison des contraintes et atouts du pays, le gouvernement britannique a recensé de manière quantitative et a mené des études prospectives concernant ses ressources naturelles. Les résultats, publiés par le Defra et s'étalant sur la période allant de 2003 à 2030, sont évoqués dans la *UK Biomass Strategy*. Notons en quelques mots que l'Ecosse présente les plus grandes surfaces forestières

du pays, suivie par le Sud de l'Angleterre. Sachant que les ressources n'ont pas varié de façon significative depuis 2006, le Royaume-Uni dispose actuellement de 2,8 millions d'hectares de forêts et de 18,5 millions d'hectares de terres agricoles. Parmi celles-ci, près d'un tiers est cultivé à des fins alimentaires et moins d'un pourcent est dédié aux cultures dites énergétiques.

En marge des terres agricoles, le gouvernement cherche à augmenter l'utilisation des déchets organiques : environ 25 Mt de déchets municipaux sont rejetés au Royaume-Uni, comprenant 5 Mt de déchets « verts » issus des jardins, 4,5 Mt de déchets de papier et 4,5 Mt de déchets alimentaires fermentescibles. Selon Eumonia, entreprise de conseil en environnement, si la totalité des déchets alimentaires était soumise à une digestion anaérobie, entre 477 et 761 GWh/an d'électricité pourraient être générés, suffisamment pour subvenir aux besoins de 164 000 foyers.

On ne peut quitter ce tour d'horizon des réserves britanniques en biomasse sans évoquer les importations annuelles de biomasse qui s'élèvent à près de 54 TWh. Cette biomasse comprend celle dédiée aux secteurs alimentaire et énergétique. Le gouvernement souhaite accroître ces importations et la proportion de celles-ci consacrées à la production d'énergie. A l'avenir, on pourrait observer une légère diminution des forêts et une stabilisation du volume des déchets produits, avec en revanche des réserves provenant de l'agriculture qui seraient multipliées par trois d'ici à 2030.

3.3 Des objectifs affichés jusqu'en 2030

En termes d'objectifs généraux, le Royaume-Uni vise à réduire ses émissions de CO₂ par rapport à celles de 1990, de 20 % d'ici à 2010, 30 % d'ici à 2020, et 60 % d'ici à 2050 (voir note de bas de page 1 en p. 4). Si l'on se concentre sur la stratégie biomasse, les objectifs affichés sont d'étendre la production et l'utilisation de la biomasse, de faciliter le développement compétitif des marchés, de promouvoir l'innovation dans le secteur des technologies pauvres en carbone, de contribuer à la santé des écosystèmes et de se tourner progressivement vers une « bio-économie ». Le budget du Defra consacré à la lutte contre le changement climatique, incluant l'utilisation de la biomasse, augmentera de && milliard de livres 'environ 1,6 milliard d'euros) en 2008-09 pour accélérer la R&D dans le domaine des énergies faibles carbone.

En avril 2006, le « grand frère » de la *UK Biomass Strategy*, le *Biomass Action Plan* d'avril 2006 mettait en exergue douze points importants pour réduire les émissions de CO₂. Citons ici les quatre points majeurs : la création d'un Centre pour la Biomasse-Energie au sein de la *Forest Research*, l'attribution de subventions pour l'amélioration des chaînes complètes d'approvisionnement en biomasse, un programme de subvention pour les chaudières à biomasse, et l'utilisation de systèmes de

chauffage à la biomasse dans les bâtiments gouvernementaux.

La *UK Biomass Strategy* se situe dans la continuité de ces quatre points ayant été menés à bien, et se décline en trois objectifs majeurs :

- **accroître la production de biomasse** : la culture de plantes énergétiques sera dynamisée par une augmentation des surfaces cultivées à hauteur de 125 000 ha d'ici à 2010 et 350 000 ha d'ici à 2020. Par ailleurs, la stratégie anglaise sur les Biocombustibles Dérivés du Bois cherche à développer le marché du bois avec plus de 2 Mt de bois produits annuellement en Angleterre d'ici à 2020 ;
- **accroître la proportion d'électricité et de chaleur produites à partir de sources renouvelables** : le système d'obligation sur les énergies renouvelables (*Renewables Obligation*, RO) mis en place en 2002 impose à tous les fournisseurs d'électricité de recourir à des générateurs utilisant des sources d'énergie renouvelables à hauteur de 6,7 % de leur production totale⁸ (voir les Actualités scientifiques au Royaume-Uni de juin 2007, p.8). La proportion d'électricité consommée au Royaume-Uni

Si la totalité des déchets alimentaires était soumise à une digestion anaérobique, entre 477 et 761 GWh/an d'électricité pourraient être générés, pouvant subvenir aux besoins de 164 000 foyers

provenant de sources renouvelables sera augmentée par incréments : 10 % en 2010, 15,4 % en 2015 et 20 % en 2020. Enfin, on peut évoquer le fait que le gouvernement écossais, renouvelé en mai 2007, a rétabli la réduction des taxes domestiques que le gouvernement précédent avait supprimée (réduction de 100 livres, environ 150 euros, sur la taxe d'habitation pour les foyers utilisant des systèmes de chauffage à partir d'énergie renouvelable).

En Irlande du Nord, 12 % de l'électricité consommée devra provenir de sources renouvelables d'ici à 2012. Sur ce pourcentage, 15 % devra provenir d'une source autre qu'éolienne. L'Ecosse, quant à elle, possède son propre système de RO, indépendant de celui du gouvernement britannique, qui impose que 18 % de l'électricité produite provienne de sources renouvelables d'ici à 2010 et 20 % en 2020.

L'utilisation des déchets par coïncinération, quant à elle, fait l'objet d'une politique spécifique : les déchets doivent correspondre aux exigences de la *European Waste Incineration Directive* et être brûlés dans une usine respectant les limites fixées par l'*Environment Agency* (par exemple, les mâchefers (cendres résiduelles) doivent notamment contenir moins de 3 % de carbone).

- **accroître la proportion de biocarburants utilisés dans les transports** : la production de carburants sera soumise dès avril 2008 à une obligation sur les carburants routiers renouvelables (*Renewable Transport Fuel Obligation*, RTFO), dont l'objectif est d'augmenter le pourcentage de biocarburants (en volume) pour les ventes totales de carburants au Royaume-Uni, pour atteindre 2,5 % en 2008, 3,75 % en 2009 et 5 % d'ici à 2010. Les distributeurs de carburants devront demander un certificat pour chaque litre de biocarburant produit et devront comptabiliser l'ensemble des certificats obtenu à chaque fin d'année. Les fournisseurs n'ayant pas obtenus suffisamment de certificats seront à l'amende : 0,15 livre par litre non estampillé (environ 0,22 euro) en 2008 et 2009 et de 0,30 livre par litre (environ 0,45 euro) en 2010 et 2011. Parmi les conditions attachées aux RTFOs, notons que les biocarburants doivent être produits dans un esprit de développement durable, que les mélanges à 5 % de biocarburants ne doivent pas conduire à des transformations techniques sur les véhicules et que les coûts pour le consommateur et l'impact économique doivent être acceptables. Si ces objectifs sont remplis, le Royaume-Uni verrait ses émissions nettes de CO₂ réduites d'un million de tonnes par an d'ici à 2010.

3.4 Les mesures mises en place : « la carotte et le bâton »

On estime actuellement à moins d'1 % le taux de chaleur consommée au Royaume-Uni provenant de sources renouvelables. Le gouvernement, qui souhaite augmenter ce pourcentage en utilisant la biomasse-énergie, a mis en œuvre différents programmes pour accélérer son utilisation par le public mais surtout par les industriels.

- « **Le bâton** » : la *Climate Change Levy* (CCL). En sus des quotas et taxes évoqués ci-dessus s'appliquant aux fournisseurs d'électricité et aux distributeurs de carburants, le gouvernement prélève la CCL auprès des consommateurs d'énergie non renouvelable dans les secteurs industriel, commercial, agricole et de l'administration. Les prix prélevés s'élèvent à 0,15 pence/kWh pour le gaz ou le charbon, 0,43 pence/kWh pour l'électricité, et 0,07 pence/kWh pour le GPL. (Pour plus d'information sur la CCL, voir les Actualités scientifiques au Royaume-Uni de juillet-août 2007, p.6)
- « **La carotte** » : des programmes de subvention visent à inciter le public et les industriels à utiliser la biomasse-énergie. Ils se répartissent selon deux catégories de subventions :
 - **dédiées à la production de biomasse**, elles visent à aider à la création et la gestion des cultures existantes et favorisent l'utilisation d'infrastructures spécifiques pour

⁸ 6,7 % en 2007 ; 7,9 % en 2008 ; 9,1 % en 2009 ; 9,7 % en 2010

accroître la biomasse-énergie (*Bioenergy Infrastructure, Programme Woodland Grant, Programme Scottish Biomass Support, Programme Low Carbon Buildings*) ;

- dédiées aux équipements adaptés à la conversion énergétique de la biomasse, par exemple pour alléger les coûts de création d'entreprises et d'installation d'infrastructures biomasse-énergie (*Programme Wood Energy Business, Enhanced Capital Allowances, Programme Bioenergy Capital Grant*).

• **Création d'emplois** : le DBERR estime qu'une usine de production d'une capacité de 100 kt/an de biocarburants peut créer ou maintenir entre 60 et 80 emplois directs et 550 emplois indirects dans le secteur agricole. Il estime que d'ici à 2020, dans toute l'Europe, plus de 300 000 emplois pourraient être créés autour de la production de biomasse. Il souhaite donc accroître la conversion de certaines cultures alimentaires en cultures énergétiques qui permettraient de palier la décroissance de l'emploi en zones rurales.

4. La recherche publique britannique sur la biomasse-énergie

Le gouvernement britannique, désireux de développer au maximum le potentiel de la biomasse-énergie, augmentera le budget alloué aux conseils de recherche impliqués dans cette thématique de recherche de près de 7 millions de livres en 2007/2008 (environ 10,4 millions d'euros). Après avoir identifié les acteurs de la recherche publique en biomasse au Royaume-Uni, nous nous attarderons sur les programmes et consortiums existant actuellement.

4.1 Les acteurs de la recherche publique britannique en biomasse

Les ministères

Depuis 1998, le *Bioenergy Funders Forum* du Defra coordonne et supervise la recherche en biomasse-énergie au plan gouvernemental d'une part, et conseille le gouvernement sur la stratégie à mettre en place d'autre part. Ce forum est constitué de membres des Defra, DBERR, DfT, *Environment Agency, Forestry Commission*, ainsi que des *Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC)* et *Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC)*.

• Le budget du Defra pour la biomasse-énergie s'élevait en 2006/07 à 1,5 million de livres (environ 2,2 millions d'euros), réparti principalement entre trois grands projets : mise en place d'une bibliothèque génétique du *Miscanthus* (2001/06) ; amélioration de la méthode des taillis à rotation courte à travers l'étude de la reproduction et de l'étude du génome des plantes concernées (2003-08) ; amélioration des méthodes de culture du *Miscanthus* et de sa valorisation (2004/09).

• Le DBERR conduit le Programme des Energies Nouvelles et Renouvelables (*New and Renewable Energy Programme*), dont le budget sert principalement à soutenir la R&D industrielle. En 2005, ce budget s'élevait à 13,8 millions de livres (environ 20 millions d'euros) et supportait plusieurs projets, parmi lesquels : « combustibles issus des cultures énergétiques », « impact de la méthode des taillis à rotation courte sur la faune et la flore », et « développement de systèmes de cogénération de petite échelle ».

• La *Forest Research* (Recherche Forestière) est la division de la *Forestry Commission* dédiée à la recherche, dotée d'un budget d'environ 10 millions de livres (environ 15 millions d'euros). La *Forest Research* étudie actuellement les disponibilités en biomasse, la récolte des résidus, le séchage du bois, la méthode des taillis à rotation courte, les concasseurs, et les normes européennes en vigueur.

• La *Forest Research* a créé le *Biomass Energy Centre* suite à la réponse du gouvernement sur le *Task Force Report* de 2006. Grâce à un budget de 150 000 livres (environ 225 000 euros) alloué par le Defra, la *Forestry Commission* et la *Forest Research*, ce centre a pour mission d'informer le gouvernement et le grand public des divers aspects de l'utilisation actuelle de la biomasse dans le secteur énergétique, comme les différentes méthodes de valorisation, l'évolution de la recherche ou encore les programmes de subvention disponibles. Pour cela, il organise des réunions et des conférences, et tient à jour un site Internet.

• En Ecosse, *Highland Birchwoods* a initié le programme *Northern Woodheat*⁹, qui étudie pour le gouvernement écossais les énergies issues du bois en approfondissant trois axes : la viabilité économique des combustibles de petite et moyenne échelle à travers la récolte du bois et de son transport, le développement rural et l'encouragement des fermes et des coopératives, et la pérennisation du marché de ces combustibles. D'autre part, la région dispose de cinq instituts de recherche agricole et biologique, les *Scottish Agricultural and Biological Research Institute*, qui lui permettent d'approfondir ses connaissances sur les plantes. Enfin, le *Biomass Energy Group* écossais est une branche du *Forum For Renewable Energy Development in Scotland*, qui a été mise en place en 2002 afin de regrouper et diffuser les informations issues du gouvernement écossais, de la recherche et de l'industrie sur la biomasse-énergie.

• Au Pays de Galles, le gouvernement a mis en place un groupe sur les énergies durables relié à l'assemblée nationale (*National Assembly Sustainable Energy Group, NASEG*), dont le rôle est d'étudier les énergies renouvelables et de servir de référence aux décisions gouvernementales dans ce domaine-là.

• L'Irlande du Nord ne dispose pas d'institut de recherche

⁹ ce qui signifie approximativement en français : la chaleur issue du bois dans la région du nord

che gouvernemental.

Les conseils de recherche (RCs)

Les conseils de recherche sont des organismes publics indépendants du gouvernement, qui subventionnent la recherche britannique et favorisent le transfert des connaissances à travers le spectre complet des disciplines académiques de recherche. Leur budget combiné s'élève à près de 2,8 milliards de livres en 2007/08 (environ 4,2 milliards d'euros).

Les RCs sont au nombre de sept. En plus du MRC (*Medical Research Council*), qui finance la recherche médicale, de l'AHRC (*Arts and Humanities Research Council*), finançant la recherche en sciences humaines et la recherche artistique, et du STFC (*Science and Technology Facilities Council*) finançant la recherche en astronomie, en nucléaire et physique des particules et les grands équipements, arrêtons-nous sur les quatre RCs portant un intérêt particulier et finançant la recherche dans le domaine de la biomasse-énergie (par ordre alphabétique) :

- le BBSRC (*Biotechnology & Biological Sciences Research Council*) : avec un budget de 336 millions de livres en 2006/07 (environ 500 millions d'euros) il a consacré près d'1,5 million de livres (environ 2,2 millions d'euros) pour améliorer, d'une part la compréhension des fixation, division et conversion photosynthétiques du carbone (du photon initial à l'énergie produite), et, d'autre part l'optimisation des procédés de valorisation de la biomasse. Le BBSRC avoue être un acteur secondaire de la recherche en énergies renouvelables et finance des programmes de taille modeste dans ses instituts propres (*Institute of Grasslands and Environmental Research*, *Rothamsted Research*), respectivement sur le saule en taillis à rotation courte et le *Miscanthus*. Il finance aussi un large éventail de projets concernant la photosynthèse ou encore les mécanismes moléculaires déterminant la qualité de la plante, et offre un soutien budgétaire de 860 000 livres (environ 1,2 million d'euros) au programme de recherche sur l'Utilisation des Terres et l'Economie Rurale (*Rural Economy and Land Use Program*, voir p. 15) et de 650 000 livres (environ 920 000 euros) au centre pour une économie énergétique durable (*Towards a Sustainable Energy Economy*, TSEC) qui cherche à établir les solutions énergétiques optimales sur les plans économique et environnemental. Plus récemment, en mars 2007, le gouvernement a alloué la somme de 20 millions de livres supplémentaires au BBSRC pour la mise en œuvre d'une Initiative sur la Biomasse-Energie (*Bioenergy Initiative*), ayant pour but de financer des centres ou des réseaux

de recherche sur la biomasse-énergie. Cette initiative disposera d'un total de 36 millions de livres sur cinq ans (environ 54 millions d'euros).

- l'EPSRC (*Engineering & Physical Sciences Research Council*), avec un budget provisionnel de 725 millions de livres en 2007/08 (environ 1,1 milliard d'euros), a récemment créé un programme énergétique commun à

Environment Agency

L'Agence pour l'Environnement (*Environment Agency*) est un organisme public dédié à la protection de l'environnement en Angleterre et au Pays de Galles. Financée par 900 M£/an provenant à 60 % du gouvernement et à 40 % de programmes divers, l'Agence pour l'Environnement est indépendante et travaille avec les autorités locales pour améliorer les conditions environnementales de l'industrie et du public. Elle est également responsable de la mise en place de la Directive sur les décharges (*Landfill Directive*) qui, démarrée en 2002, visait à réduire la pollution issue des déchets dangereux laissés dans les décharges ainsi que leur impact sur l'air, les sols et les eaux souterraines d'Angleterre et du Pays de Galles. Cette directive a été revue en février 2007 et s'appliquera en fin d'année 2007 aux déchets non dangereux : les décharges ne pourront plus recevoir de déchets liquides, et les déchets solides devront subir un prétraitement spécifique de triage, de modification des caractéristiques des déchets et de réduction du volume et de leur nocivité.

tous les conseils de recherche (*Research Council's Energy Program*) dans le but de promouvoir l'innovation et les résultats de la recherche auprès de l'industrie. Ce programme est le résultat d'une demande commune des conseils de recherche et sera mis en œuvre en collaboration avec les universités. L'EPSRC finance également le centre UKERC, et les consortia SUPERGEN et SUE Waste (voir p. 18).

- l'ESRC (*Economic & Social Research Council*) possède un budget provisionnel de près de 137 millions de livres en 2007/08 (environ 200 millions d'euros). Il finance des études diverses en biomasse-énergie, comme notamment une étude récente sur la redynamisation économique des zones rurales où sont installés des systèmes de chauffage à biomasse de petite échelle.
- le NERC (*Natural Environment Research Council*) a pour mission de regrouper et d'appliquer les connaissances afin d'améliorer la compréhension, et donc les prédictions de changements de l'environnement naturel et de ses ressources. Avec un budget provisionnel de 345 millions de livres en 2007/08 (environ 500 millions d'euros), il finance la recherche en Science de la Terre, notamment les programmes RELU et TSEC (voir p. 18).

Les universités

Le Royaume-Uni compte près de 120 universités, parmi lesquelles un peu plus de dix mènent des recherches majeures en biomasse-énergie (liste non exhaustive) :

- L'Université d'Aston coordonne le programme *SUPERGEN Biomass*. Son groupe de recherche en biomasse-énergie, le *BioEnergy Research Group*, est spécialisé dans le domaine de la pyrolyse. Il est l'un des plus grands groupes de conversion thermo-chimique de la biomasse dans le monde, avec pour mission d'appliquer l'ingénierie chimique et la technologie aux énergies issues de la biomasse. Plusieurs groupes de recherche au sein de l'université travaillent sur un projet de production de biomasse, et de son utilisation énergétique, dans les régions d'Inde pauvres en eau. Ce projet est mené en collaboration avec des scientifiques basés dans les universités de Warwick, Leeds, Bristol, Coventry, au Centre de Recherche sur l'Eau (*Water Research Centre*) et à l'Institut Indien de Technologie de Delhi (*Indian Institute of Technology Delhi*). Il a notamment été envisagé de développer un système de refroidissement pour la protection des aliments et la production de glace, ou encore des procédés alimentaires nécessitant peu de chaleur, grâce à un budget de 860 000 livres (environ 1,2 milliard d'euros) apporté par l'EPSRC.
- *Imperial College London*, à la demande du gouvernement, conseille, contribue au développement de la stratégie politique et analyse le commerce international des énergies issues de la biomasse. Il coordonne également le programme *TSEC-Biosys*. Au sein de son Centre pour la Stratégie et la Technologie Energétiques, *Imperial College London* mène divers projets, au Royaume-Uni et dans le monde entier, parmi lesquels *COMPETE* (*Competence Platform on Energy Crops and Agroforestry Systems*, Plateforme de Compétences sur les Cultures Energétiques et les Systèmes Agroforestiers), et *BEST* (*Bioethanol for Sustainable Transport*, Bioéthanol pour le transport Durable).
- depuis 2005, le Centre pour la Production Décentralisée et l'Energie Electrique Durable des Universités de Manchester et Strathclyde vise à orienter la recherche académique vers les besoins de l'industrie afin d'atteindre les objectifs du gouvernement pour 2010. Ce centre est financé par le DBERR à hauteur de 1,5 million de livres (environ 2,2 millions d'euros) sur 5 ans ;
- L'Université de Southampton est, à travers divers groupes de recherche, impliquée dans de nombreux projets, parmi lesquels les consortia *TSEC-Biosys* et *SUE Waste* et les projets *POPYOMICS* (recherches sur le génome du peuplier) et l'optimisation de la méthode des taillis à rotation courte ;
- L'Université de Sheffield : le *SUWIC* (*Sheffield University Waste Incineration Centre*) est l'un des principaux centres de recherche internationaux travaillant sur le traitement des déchets. Il est également membre du consortium *SUPERGEN Bioenergy* ;
- L'Université de Leeds s'est spécialisée dans la pyrolyse et la gazéification de biomasse ;
- les scientifiques de l'Université de Cardiff travaillent à la modélisation de la combustion à grande échelle et mènent des recherches sur les émissions de particules fines. D'autre part, au sein du Centre pour l'Energie, les Déchets et l'Environnement, ils étudient les procédés de traitements biologiques des déchets solides. Enfin, l'université accueille les projets du Centre Gallois pour la Biomasse (*Wales Biomass Centre*) où les recherches se concentrent sur les cultures énergétiques ;
- L'Université de Glamorgan est membre du consortium *TSEC-Biosys* et est impliquée dans les programmes de *SUPERGEN* dédiés aux piles à combustibles et à l'hydrogène. Cette université s'est spécialisée dans la production d'hydrogène par réactions de fermentation et par digestions anaérobique et aérobie ;
- les Universités d'Edinburgh et du Surrey sont membres de *TSEC-Biosys*. Leurs scientifiques étudient le rendement de la méthode des taillis à rotation courte, l'effet des climats futurs sur les ressources en bois au Royaume-Uni, et soutiennent et conseillent le gouvernement britannique ;
- L'Université d'Aberdeen : les recherches qui y sont menées étudient le bilan carbone des cultures énergétiques et les applications possibles de la méthode des taillis à rotation courte. Elle est également membre du programme *TSEC-Biosys* ;
- au *Centre for Novel Agricultural Products* (CNAP) de l'Université de York, le *Jatropha curcas* et son potentiel énergétique sont au centre des recherches (voir les résultats de ces études p. 16).
- L'Université de Cranfield dirige un réseau d'amélioration génétique de la biomasse à vocation énergétique (*Biomass for Energy Genetic Improvement Network*, *BEGIN*), qui vise à sélectionner les plantes selon leur génotype afin d'optimiser les cultures énergétiques, les plantes sélectionnées ayant de meilleures caractéristiques.

Les organisations publiques non-gouvernementales

Il existe au Royaume-Uni des organismes de recherche publique qui viennent s'ajouter aux départements de recherche des universités. Leurs statuts peuvent varier, depuis un Institut d'un conseil de recherche à une agence publique indépendante.

- Le *UK Energy Research Centre* (UKERC) s'intéresse aux systèmes énergétiques durables. Créé en 2004 sur préconisation de Sir David King, alors Conseiller Scientifique en chef du gouvernement britannique (remplacé le 1^{er} octobre 2007 par le professeur John Beddington), il est aujourd'hui devenu un acteur incontournable. L'UKERC a obtenu un financement du centre TSEC supérieur à 14 millions de livres sur cinq ans (environ 20 millions d'euros). Parmi les activités réparties sur 10 thématiques, la recherche sur la biomasse-

⁵ Au sens du temps écoulé depuis leur constitution

énergie est effectuée au sein du département « Sources d'Énergie pour le Futur » (*Future Sources of Energy*) de l'Université de Southampton.

- L'*Institute of Grassland and Environmental Research*, (IGER, Institut pour la Recherche Environnementale et les Zones de prairies), institut du BBSRC, tente de déterminer les possibilités d'utilisation des zones de prairies, tout en respectant les notions de développement durable appliquées à l'économie rurale, de minimisation des risques de santé dus à l'environnement et de qualité de la chaîne alimentaire. On peut notamment citer les études sur :

- *les cultures énergétiques*, ayant démontré qu'environ 1 million d'hectare de terres étaient disponibles au Pays de Galles pour la méthode des taillis à rotation courte, ce qui pourrait produire jusqu'à 3 GW d'énergie ;

- *l'amélioration génétique du Miscanthus*, visant à sélectionner les gènes du *Miscanthus* qui permettraient un rendement optimal de sa culture ;

- *l'avenir des plantes herbacées dans la raffinerie*, qui démontrait les avantages des biocarburants de deuxième génération en s'appuyant sur les enjeux environnementaux, la hausse des prix du pétrole, le potentiel de remplacement des importations de pétrole par une production locale d'herbe, et l'aide apportée à l'économie rurale.

- Le *Rothamsted Research* est un institut du BBSRC qui s'intéresse, quant à lui, et depuis plus de 160 ans, à la gestion des terres et à l'impact environnemental. Parmi les cinq centres qui le composent, un premier est dédié à la biomasse-énergie et un deuxième à l'amélioration génétique des cultures. Enfin, il contribue, en partenariat avec les Universités de Cranfield et Southampton, au Réseau pour l'Amélioration Génétique de la Biomasse-Énergie, un réseau travaillant au développement génétique du saule et du peuplier.

- Le *National Non Food Crops Centre* (NNFCC, Centre National des Cultures Non Alimentaires) est un centre financé principalement par le Defra et le DBERR, et de façon plus modeste par le secteur privé. Ce centre travaille à la diffusion d'informations sur les produits issus de cultures énergétiques non alimentaires et les technologies correspondantes. Créé en 2003, son activité s'axe principalement sur les produits pharmaceutiques issus de plantes, les polymères renouvelables, les biocarburants et bioraffineries, et les matériaux de construction issus de cultures énergétiques.

- Le *Carbon Trust* est une compagnie indépendante financée par le gouvernement. Elle contribue à la réduction des émissions carbonées du Royaume-Uni, en aidant les secteurs public et privé à saisir des opportunités technologiques et commerciales grâce, entre autres, au programme de subvention *Enhanced Capital Allowances*. Le *Carbon Trust* mène par ailleurs un projet nommé *Biomass Heat*



Accelerator, d'un budget total de 5 millions de livres (environ 7,5 millions d'euros) dont l'objectif est d'examiner les contraintes au développement de la production de chaleur issue de biomasse, notamment les coûts élevés, les mauvaises infrastructures d'approvisionnement en combustible et le manque de connaissances du marché quant aux avantages de ce système.

Les partenariats publics/privés dédiés à la biomasse-énergie

- L'*Energy Saving Trust* est une organisation à but non lucratif, financée à la fois par le gouvernement et le secteur privé. Elle étudie les conséquences du changement climatique et vise à réduire les émissions de CO₂ en promouvant les énergies renouvelables dans des centres de conseils répartis sur l'ensemble du territoire : diffusion d'informations relatives aux méthodes de chauffage domestique, aux coûts d'installation et d'approvisionnement en combustible, aux économies de CO₂ réalisables, et aux produits et entreprises disponibles en fonction des besoins du foyer.
- L'*Energy Research Partnership*, également financé par les secteurs public et privé, aide à l'orientation de la R&D du secteur énergétique en établissant les priorités à suivre. L'ERP met notamment l'accent sur les biocarburants et les technologies énergétiques dédiées aux bâtiments, en particulier le chauffage domestique.

4.2 Les services aux industriels et particuliers

Il existe de nombreuses organisations indépendantes travaillant en étroite collaboration avec le gouvernement, les laboratoires de recherche, et l'industrie afin d'aider les particuliers et les industriels à réduire leurs émissions de CO₂. Parmi celles-ci, citons :

- La *Renewable Energy Association*, (REA, Association des Énergies Renouvelables), établie en 2001, représente les producteurs britanniques d'énergies renouvelables. Elle travaille à l'optimisation de la structure législative imposée aux producteurs et informe entre autres les différents ministères et les ONG. Elle propose également le programme *REAL Assurance* (Association des Énergies Renouvelables *Listed*), qui aide et conseille les consommateurs désireux d'acheter des systèmes de production d'énergie renouvelables (biomasse-énergie mais aussi solaire, éolienne et marémotrice) de très petite échelle.
- *C-Tech Innovation* est une entreprise de conseil qui offre des services en innovation à d'autres entreprises, universités et organismes gouvernementaux. *C-Tech Innovation* collabore, entre autres, avec l'Université d'Oxford dans le cadre de *EKB Technology*, une façade commerciale destinée à diffuser les technologies de valorisation énergétique de la biomasse, comme notamment la fermentation, le traitement des eaux usées ou



encore la production de biomasse.

- L'*Energy for Sustainable Development* (Energie pour le Développement Durable) est un organisme qui propose, principalement au gouvernement, des consultations sur le changement climatique et qui possède une branche dédiée à la biomasse.
- *EnviroFutures*, compagnie de services environnementaux aux entreprises, propose le *Carbon Footprint*, qui consiste dans un premier temps à mesurer l'impact de l'entreprise cliente en termes d'émissions de gaz à effets de serre, puis à proposer des solutions pour réduire cet impact.

4.3 Les grands programmes de recherche sur la biomasse-énergie

En plus des trois projets principaux de recherche sur la biomasse-énergie, il existe un certain nombre d'autres programmes plus modestes en terme budgétaire mais dont les résultats sont également intéressants pour le développement des technologies renouvelables issues de biomasse. D'autre part, le Royaume-Uni fait partie de plusieurs grands programmes de recherche à envergure européenne et mondiale.



Le consortium SUPERGEN

Lancé en novembre 2003 et ayant été doté de plus de 32 millions de livres (environ 48 millions d'euros), SUPERGEN fait partie du *Research Councils' Energy Programme*. Le consortium fonctionne grâce à la collaboration d'universitaires et d'industriels, et couvre une dizaine de thématiques, dont la biomasse-énergie. Cette dernière, dotée d'un budget de 2,9 millions de livres (environ 4,3 millions d'euros) est dédiée à l'étude de la conversion thermochimique de la biomasse, particulièrement des cultures énergétiques telles que le saule ou le *Miscanthus*. Se consacrant dans un premier temps à l'étude des interactions entre la plante de base, la méthode de valorisation, le système de production d'énergie et l'environnement économique et sociétal, les recherches se sont aujourd'hui élargies aux biocarburants et au concept de bioraffinerie.



Le consortium TSEC-Biosys

Du programme TSEC est né le consortium TSEC-Biosys avec pour objectif de créer une nouvelle approche systématique complète pour l'analyse de l'offre et de la demande en biomasse-énergie. Ce consortium, coordonné par le Centre de Technologie et de Politique Energétique

d'*Imperial College London*, est composé de 13 membres (universités, instituts de recherche, etc.) et ses objectifs sont de construire et d'analyser les scénarii possibles de développement du secteur de la biomasse-énergie, et plus spécifiquement, d'étudier l'intérêt et la contribution potentielle de la biomasse-énergie aux objectifs environnementaux britanniques, et d'identifier les points délicats et de proposer des solutions pour l'innovation technologique et politique.



RURAL ECONOMY AND LAND USE

Le programme RELU

Le programme *Rural Economy and Land Use Program* se déroule sur une période de cinq ans (2004-2009). Son objectif est d'informer le public et le gouvernement des choix existant quant à la gestion économique des zones rurales. Il est formé de chercheurs de l'ESRC, du BBSRC et du NERC, qui collaborent autour d'un budget total de 24 millions de livres (environ 35 millions d'euros) complété d'une aide du gouvernement écossais et du Defra. Ce programme étudie divers aspects de l'utilisation et de la gestion des terres, dont la digestion anaérobie des déchets fermiers, un projet démarré cette année et dont la recherche s'effectue à l'Université de Southampton, ou l'impact de la surexploitation des terres par les cultures énergétiques, à l'institut *Rothamsted Research*.

4.4 Les résultats majeurs de la valorisation de la biomasse

De manière rapide, nous allons maintenant survoler quelques résultats scientifiques des études menées au Royaume-Uni.

Les taillis à rotation courte (*Short Rotation Coppice*, TRC)

Il s'agit d'une méthode en plein essor. Les plantes les plus utilisées sont le saule, le peuplier et le *Miscanthus* car ils poussent rapidement et leurs cultures sont denses. La récolte (10-18 t/ha/an¹⁰) se fait tous les deux à cinq ans et les souches sont laissées sur place afin de faciliter la repousse. Cette méthode permet, entre autres, de produire de la biomasse ligneuse sur des terres agricoles ou sur des terres forestières fertiles mais dégradées. Elle présente aussi un avantage financier non négligeable pour les producteurs, car elle rapporte entre 4 et 7 fois plus par tonne sèche que les récoltes traditionnelles. La méthode du TRC est étudiée, en particulier son impact sur la biodiversité de la faune et de la flore, dans un programme conduit et financé par le DBERR (Programme des Energies Nouvelles et Renouvelables). Les premiers résultats ont démontré que les champs cultivés par TRC attirent plus de vies animales que le champ initial non

¹⁰ en tonne de matériau sec

cultivé, notamment pinsons, mésanges et grives, et que les zones périphériques contiennent plus d'oiseaux, en nombre d'individus, que le centre de la culture.

Enfin, un réseau de cinquante-deux expériences a été mis en place par la *Forest Research* en 2000, pour étudier l'effet de différents paramètres, comme le type de sol ou la pluviométrie, sur la production de peuplier et de saule par la méthode des TRC. Cinq catégories d'expériences sont menées et les résultats (encore non publiés) devraient accroître les connaissances sur, par exemple, le type de coupe optimale favorisant la repousse, la période de récolte optimale, ou encore le choix des engrais.

Le *Jatropha curcas*

L'atout principal de cette plante (grand buisson ou petit arbre originaire d'Amérique Centrale) semble être sa capacité à se développer sur des sols à priori non arables. N'étant pas une plante du secteur alimentaire, elle est grandement favorisée par les chercheurs pour le développement des cultures dans les zones en friche des pays en voie de développement, et apparaît comme la nouvelle base de la production de biodiesel. Trois kilos de graines peuvent être récoltés par heure et cinq kilos sont nécessaires pour un litre d'huile. Il faut ensuite 1h30 de travail pour presser et purifier l'huile.

Les biocarburants : des résultats contrastés

Les biocarburants de première génération, dont on pensait qu'ils révolutionneraient le secteur des transports, démontrent des faiblesses que la recherche a mises en lumière progressivement. Aujourd'hui, en raison d'une efficacité médiocre, les scientifiques se tournent de plus en plus vers une « deuxième génération » de biocarburants, et tentent de valoriser la globalité des produits et matériaux qui en sont issus au travers du concept de bioraffinerie.

- Première génération : une efficacité remise en cause

Les biocarburants de première génération ont un pouvoir calorifique inférieur et un coût de production supérieur à ceux de leurs homologues fossiles. Selon David Lemon, consultant indépendant, l'objectif britannique en matière d'émissions de dioxyde d'azote (NO₂) n'est pas atteint et l'utilisation de biodiesel issu du colza présente donc un désavantage considérable. De plus, il souligne qu'un véhicule consomme davantage de bioéthanol que d'essence, et qui émet plus d'aldéhydes. Enfin, l'eau étant soluble dans le bioéthanol, les moyens de stockage doivent être étanches et spécifiques.

- Deuxième génération : les ressources lignocellulosiques

En octobre 2006, la *Royal Academy of Engineering* démarrait une étude portant sur les possibilités d'innovation dans des biocarburants issus de lignocellulose, cette partie ligneuse d'une plante ou d'un arbre (troncs, écorces, branches et brindilles) inutilisable dans le sec-

teur de l'alimentaire. « Son recyclage » présenterait donc l'avantage de réduire la pression sur les cultures énergétiques d'une part, et la compétition entre cultures énergétiques et cultures dédiées à l'alimentation, d'autre part. Par ailleurs, à productivité égale, la ressource lignocellulosique nécessite moins d'intrants fossiles que les cultures, ces biocarburants de deuxième génération émettent moins de CO₂ que leurs homologues de première génération. Le défi principal sera, selon *La Royal Society of Chemistry*, d'améliorer le rapport rendement/prix, à travers l'optimisation des méthodes actuellement utilisées, à savoir la fermentation et le traitement thermo-chimique. Dans le premier cas, il s'agira de réduire le nombre d'interventions nécessaires au cours des nombreuses étapes de transformation de la lignocellulose en bioéthanol en utilisant, par exemple, un « sac d'enzyme » qu'il suffirait de répandre sur la lignocellulose en début de réaction pour récupérer le biocarburant en bout de chaîne. Le traitement thermo-chimique permet, quant à lui, de transformer la lignocellulose par gazéification (l'hydrogène produit peut alors être utilisé de manière variée : brûlé, synthétisé par la méthode de Fischer-Tropsch afin de produire des hydrocarbures ou utilisé pour produire du bio-méthanol) ou par pyrolyse rapide (le liquide obtenu de la biomasse peut être utilisé dans des turbines et les moteurs). *La Royal Society of Chemistry* estime que le traitement thermo-chimique pourrait être développé immédiatement au Royaume-Uni, car le pays dispose de grandes quantités de déchets.

- Un professeur s'oppose aux biocarburants

Le Pr. Roland Clift, enseignant les technologies environnementales au Centre de Stratégie Environnementale à l'Université du Surrey, travaille sur les technologies durables depuis plus de dix ans. Ses conclusions quant à la valeur des biocarburants sont diamétralement opposées à la position actuelle du gouvernement britannique. Selon lui, les terres disponibles sont insuffisantes (il en faudrait près du triple en surface) pour produire des biocarburants en quantité suffisante pour remplacer les carburants fossiles utilisés au Royaume-Uni, une opinion soutenue par Roger Kemp, professeur d'Ingénierie à l'Université de Lancaster et conseiller au Ministère des Transports. D'autre part, l'utilisation de 10 % des terres de cultures et de 50 % des terres de pâtures pour supporter des cultures énergétiques dédiées aux biocarburants augmenterait la consommation d'électricité britannique de 10 % et celle de chaleur de 80 %. Enfin, il soulève un certain nombre d'autres points tels que la compétition entre l'approvisionnement en nourriture et la sécurité en carburant, le maintien et l'augmentation de la biodiversité dans les cultures énergétiques, l'utilisation optimale de l'eau, les émissions et utilisations agrochimiques, le maintien de la population rurale, le faible rendement des biocarburants et la dépendance de leur efficacité aux conditions locales de production.

Le Pr. Clift affirme donc que l'utilisation optimale de la biomasse - permettant ainsi de meilleurs rendement et fiabilité - se trouve dans la cogénération de petite échelle. Les biocarburants de deuxième génération lui paraissent une alternative acceptable dans les rares zones où la demande en chaleur et électricité est relativement basse.

Les bioraffineries : un concept en développement

Les bioraffineries, comme les raffineries de pétrole, ont pour but d'intégrer divers processus de conversion de la biomasse afin d'en tirer des carburants, de la chaleur, de l'électricité et des produits chimiques. Ceci présente l'avantage de réduire la compétition entre cultures à but alimentaire et cultures énergétiques. L'échelle optimale d'une bioraffinerie est 100 fois moins grande que celle d'une raffinerie pétrochimique traditionnelle, mais les coûts sont augmentés par des facteurs divers tels que l'humidité du matériau de base, l'air qu'il contient (notamment pour la paille), ou encore le transport, qui est à éviter lorsqu'il dépasse 30 km. Pour réduire ces coûts potentiels, il est alors nécessaire de pré-traiter la biomasse. S'il n'existe pas encore de bioraffinerie au Royaume-Uni, un rapport du NNFCC datant de mai 2007 et intitulé « *Mapping the Development of UK Biorefinery Complexes* » (Planifier le Développement des Complexes de Bioraffineries au Royaume-Uni), indique que le déploiement des premières raffineries devrait voir le jour au début des années 2020. Les recommandations publiées dans ce rapport incluent les ressources lignocellulosiques, ce qui permettra de développer directement des bioraffineries produisant des biocarburants de deuxième génération.

Conclusion

Le Royaume-Uni a fixé ses objectifs en matière de réduction d'émissions de CO₂ pour l'horizon 2010 et on peut voir l'importance grandissante de la biomasse dans la stratégie mise en œuvre pour les atteindre. Les prochaines années risquent donc d'être décisives et

devraient marquer un tournant dans la production ainsi que dans la consommation d'énergie provenant de sources renouvelables.

Le gouvernement britannique promeut fortement la R&D dans le domaine de la biomasse, favorisant ainsi l'obtention d'un grand nombre de résultats qui devraient permettre à l'industrie d'accélérer son développement d'une part dans les pays du Nord, (TRC, biocarburants de deuxième génération ou bioraffineries), et, d'autre part, dans les pays du Sud, avec notamment le *Jatropha*.

Il est cependant important de ne pas oublier les contraintes et limites posées par la biomasse-énergie. Les émissions de CO₂ ne seront pas réduites à néant d'ici à 2010 grâce à l'utilisation et l'expansion de la biomasse. Par ailleurs, si le gouvernement britannique affiche un optimisme inébranlable, il semblerait que le nombre d'experts plus pessimistes, ou pour le moins plus circonspects, soit en augmentation. Les biocarburants, en particulier, sont les plus critiqués, car leurs production et consommation seront limitées par la surface agricole nécessaire : pour produire 10 % de biodiesel sur la production totale de diesel en Europe il faudrait planter du colza sur une surface aussi grande que l'Allemagne et la Belgique réunies.

Sources : Department for Environment, Food and Rural Affairs, (Defra), Department for Trade and Industry (DTI) and Department for Transport (DfT), « UK Biomass Strategy », 05/07, www.defra.gov.uk/environment/climatechange/uk/energy/renewable-fuel/pdf/ukbiomassstrategy-0507.pdf; Defra, « Waste Strategy for England », 05/07 ; DTI et Future Energy Solutions, « Woodfuel Resource in Britain », 2003 ; SUPERGEN, « Sustainable Power Generation and Supply », 2007

Dossier rédigé par le docteur Claire Mouchot à partir du rapport de stage de Mlle Perrine Onteniente.

Les articles d'Actualités scientifiques au Royaume-Uni peuvent être librement diffusés à condition qu'ils ne soient ni modifiés, ni vendus, ni exploités commercialement et que soit indiquée la source suivante :

Service Science et Technologie

Ambassade de France à Londres
www.ambascience.co.uk