

LES ENJEUX TECHNOLOGIQUES

PASCAL CORTÉ
PHILIPPE GIRARD

Après les crises pétrolières, la rarefaction des ressources utilisables pour la production d'énergie a guidé les recherches dans deux directions afin d'améliorer les performances des filières bois-énergie :

- optimiser l'approvisionnement en diminuant le coût de la biomasse,
- optimiser les technologies de conversion.

Si l'obtention d'une ressource forestière à bas prix grâce à la mise en œuvre de cultures à courte rotation n'a pas pour le moment débouché sur des réalisations, l'essentiel des travaux de recherche dans ce domaine a été réalisé : les filières culturales sont connues, les matériels d'exploitation ont été mis au point et leur développement dépend principalement des conditions économiques et du prix des énergies en compétition. Actuellement et pour les prochaines années, la diminution du coût de la ressource passe par l'utilisation de déchets dont la valeur peut parfois être négative :



Plantations à courte rotation d'Ipil Ipil aux Philippines.

déchets industriels, déchets agricoles, mélanges de déchets et de bois... La mise en place de filières d'approvisionnement en déchets et la flexibilité des installations constituent ainsi les priorités pour le développement du bois-énergie.

PRODUCTIONS DE CHALEUR ET D'ÉLECTRICITÉ

L'optimisation des filières de conversion a fait l'objet de nombreux travaux depuis les années 70. Nous essaierons ici de dresser le bilan de la filière bioénergie, en précisant les enjeux pour optimiser les technologies.

DES TECHNOLOGIES À MATURITÉ

Les marchés des équipements de combustion du bois sont relativement différenciés depuis quelques années dans les pays du Nord et les pays du Sud. Dans les premiers, les besoins de chaleur pour le chauffage ont créé de nouveaux marchés pour les équipements thermiques alors que, pour les seconds (hors foyers domestiques), la demande en équipements est restée traditionnelle et limitée aux secteurs industriels : besoins de vapeur process et d'électricité...

Dans les pays du Nord, deux secteurs particuliers ont impulsé l'évolution des technologies de la combustion :

□ Centrales de chauffage

- La réalisation de centrales de chauffage pour alimenter des réseaux de chaleur urbains ou ruraux ont conduit à mettre en place des dizaines d'installations de quelques centaines de kW (principalement en Autriche) à plusieurs MW en Suède, Finlande, Danemark. Pour les plus grosses installations, ce sont souvent

des unités de cogénération qui ont été installées. Plusieurs évolutions techniques sont à remarquer dans ce domaine :

- le développement des équipements périphériques permettant de stocker le combustible, de transférer et alimenter les chaudières ;
- l'optimisation des cycles énergétiques à la fois pour mieux contrôler la combustion (ce qui est nécessaire également pour diminuer l'impact des chaufferies sur leur environnement immédiat en général fortement urbanisé) et améliorer l'utilisation des calories par la récupération, puis par la distribution de chaleur à basse température. La condensation des fumées, grâce à un échangeur en sortie chaudière, permet d'accroître le rendement utile de l'installation.

Ces technologies apparaissent toutefois peu transposables dans les pays du Sud où, en général, les besoins de chaleur s'arrêtent à la production de vapeur de process ou de fluide thermique à haute température.

Les industries du bois, de la trituration et les agroindustries sont les utilisateurs traditionnels des technologies de combustion de la biomasse. Pour les industries de première et seconde transformation ainsi que pour les agroindustries, bien souvent la recherche de systèmes optimisés ne s'est pas avérée nécessaire car la ressource disponible sur un site industriel est généralement supérieure aux besoins. Une chaudière peu performante permet ainsi d'incinérer les déchets superflus à bon compte. Toutefois les chaudières ont bénéficié ces dernières années d'améliorations quant au contrôle commande et à l'automatisation.

□ Industries papetières

C'est plutôt dans les industries de la pâte à papier et de la trituration que les évolutions techniques sont les

plus sensibles. En effet étant donné les consommations énergétiques très importantes de ces entreprises, il leur a été nécessaire de développer des moyens de production d'électricité et de cogénération à la mesure de leurs besoins (quelques dizaines de mégawatts) et de la disponibilité en déchets (écorces, liqueurs noires, déchets de bois et de papier...). Les systèmes de combustion en lits fluidisés : lit fluidisé simple, lit à recirculation... répondent maintenant à ces besoins.

Les technologies de combustion du bois devraient toutefois atteindre assez rapidement leurs limites. Si jusqu'à présent l'évolution des technologies de combustion des combustibles solides était similaire pour le bois, la tourbe ou le charbon, on s'achemine vers une différenciation des concepts de base. Les grandes unités utilisant le charbon s'orientent vers la combustion en conditions supercritiques (hautes température et pression) mais pour des puissances de plusieurs centaines de mégawatts. Ces conditions de fonctionnement permettraient d'atteindre des rendements électriques élevés. Pour les installations utilisant de la biomasse, atteindre une taille similaire est toutefois difficilement envisageable car le renchérissement rapide du coût de la matière première liée à l'augmentation du rayon de collecte de l'approvisionnement obère l'économie de grands projets.

La recherche d'une certaine flexibilité des installations vis-à-vis de la ressource est l'un des thèmes très actuels de recherche pour le domaine de la combustion. Ce mouvement qui vise à utiliser, pour une même installation, du bois (déchet) et du charbon ou des déchets (urbains, industriels ou agricoles) et du charbon ou des mélanges de déchets urbains et industriels a démarré depuis quelques années avec le renchérissement du coût de traitement des déchets et la pression grandissante qui

s'exerce pour éliminer les décharges. Cette flexibilité est, par ailleurs, un avantage important pour les exploitants de centrales énergétiques qui peuvent ainsi mieux gérer les variations de coût de leurs combustibles. Les pays tropicaux ont été parmi les premiers à s'intéresser à ce type d'installations notamment pour la production d'électricité à partir de bagasse, durant les saisons de récolte, et de charbon en intersaison (installations de Bois Rouge et du Gol à la Réunion, réalisées par la Sté Babcock et les Charbonnages de France). Ce type d'installation présente un grand intérêt pour toutes les agroindustries car il permet de pallier le caractère saisonnier, ainsi que la disponibilité de la biomasse.

LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ PAR GAZÉIFICATION, UNE TECHNOLOGIE D'AVENIR ?

La production d'électricité par gazéification a suscité de nombreuses études et expérimentations. C'est essentiellement le bois, généralement employé sous la forme de « plaquettes papetières », qui est le combustible de référence car il convient aux différents procédés de gazéification.

Cette technologie a toutefois du mal à arriver à maturité, à la fois pour des raisons économiques, car les premières unités ont un coût d'investissement de l'ordre de 2 500 \$US/kW installé, et pour des raisons techniques : fiabilité des systèmes de filtration des gaz mal établie, corrosion ou dépôt sur les moteurs / turbine mal maîtrisés, préparation / manutention / gestion de la matière première difficiles.

Pour des puissances moyennes de quelques mégawatts, le schéma technologique dominant des projets actuels est la gazéification en lit fluidisé en cycle intégré : gazéifieur



Centrale électrique « Dendrothermal » construite aux Philippines par ALSTHOM.

- turbine à gaz – récupérateur
- turbine à vapeur.

Les entreprises leaders dans ce domaine sont finlandaises (Ahlstrom maintenant repris par Foster Wheeler et Tampella / Enviropower repris par Carbona) ou suédoises (Tps). Les deux premières ont réalisé des pilotes (~ 10 t/h) qui ont permis de mener des campagnes d'essais de longue durée sur différents combustibles : bois, tourbe, lignite, charbon... et Ahlstrom a construit la première unité de démonstration à Varnamo en Suède pour la Compagnie d'Électricité Sydskraft. La taille de l'installation est limitée (6 MWe) et celle-ci conserve un caractère expérimental.

Cette unité est actuellement la seule au monde à fonctionner sur ce principe. Deux ans après sa construction, elle a produit, en septembre 1996, les premiers kWh électriques après couplage du gazéifieur à la turbine à gaz.

Bien que quelques centaines d'heures de fonctionnement aient été cumulées, une longue période de tests est maintenant nécessaire avant d'atteindre un fonctionnement « industriel ».

Malgré le soutien apporté depuis plusieurs années par des organismes internationaux telles l'Union Européenne ou la Banque Mondiale et par d'importantes aides publiques, les projets ne se sont pas encore concrétisés et plusieurs d'entre eux sont déjà abandonnés.

Antérieurement au projet de Varnamo, seule une installation de gazéification similaire a été réalisée mais s'est soldée par un échec : le projet E. D. F. en Guyane française avec une production de 7 MWe à partir d'un lit fluidisé canadien Biosyn / Biodev. Le gaz produit devait alimenter un moteur dual ; l'installation a été entièrement construite mais n'a jamais pu fonctionner, notamment à cause d'une épuration insuffisante des gaz.

Il faudrait, à l'avenir, explorer la flexibilité des installations de gazéification vis-à-vis du type de matière première car, si le bois, la tourbe ou le charbon et même les ordures ménagères sous forme de pellets ont été gazéifiés avec succès dans des lits fluidisés, c'est seulement cet équipement et non la chaîne complète de production d'énergie qui a été testé.

□ Des enjeux technologiques mais une politique industrielle affaiblie

Des coûts de développement élevés grèvent les différents projets de gazéification. Il semble qu'il soit difficile de diminuer notablement des coûts d'investissement initiaux très importants.

En effet, l'augmentation de la taille des installations qui pourrait permettre de jouer sur un effet d'échelle est délicate car, comme pour les installations de combustion, avec l'augmentation de la puissance se pose le problème de la disponibilité de la ressource. En dehors de situations particulières, l'approvisionnement de quantités substantielles de matières premières (de 500 000 à 1 000 000 de tonnes par an) provoque l'accoissement de la distance de collecte et rend celle-ci prohibitive.

Des problèmes de politique industrielle sont également à relever tant pour la production d'équipements de gazéification que d'équipements annexes.

Les concepteurs de gazéifieurs finlandais (Ahlström et Tampella) qui étaient initialement des entreprises exerçant une activité horizontale sur l'ensemble de la filière papetière et qui avaient développé ces gazéifieurs dans une logique industrielle de développement intégré n'ont pu trouver de marchés pour ces technologies. Ils se sont ainsi désengagés de ces activités en 1996 en les vendant à des groupes industriels plus spécialisés dans ces équipements énergétiques (respectivement Foster Wheeler et Carbona). Il est à craindre qu'à l'avenir, ces technologies ne bénéficient plus autant des aides publiques importantes allouées à la recherche et au développement par l'Etat finlandais.

Chez les fabricants de turbines à gaz et pour la gamme de puissance de 6 à 50 MWe qui est la plus intéressante pour des centrales élec-

triques à biomasse, on constate une absence d'offre de matériels. Ces fabricants ne perçoivent pas clairement l'existence d'un marché pour la production d'électricité à cette puissance et les turbines qui pourraient être proposées sont d'un coût très élevé car elles intègrent des coûts de développement qu'il est difficile d'amortir.

DE NOUVEAUX BIOCARBURANTS À PARTIR DU BOIS ?

De nombreux pays ont cherché à élaborer des carburants de substitution à partir de bois. Les travaux les plus nombreux concernent les procédés de production d'alcools.

Seuls les Etats-Unis poursuivent un programme méthanol à partir de gaz de synthèse obtenu par gazéification du bois. Les efforts ont porté, en particulier, sur les catalyseurs de synthèse et l'ingénierie en espérant arriver à des coûts de production compétitifs avec les carburants traditionnels d'ici une dizaine d'années.

La production d'éthanol à partir de bois ou plus généralement de matières lignocellulosiques est également recherchée. Si, dans le passé, la Russie a pu en produire par hydrolyse acide, les travaux plus récents s'orientent vers l'hydrolyse enzymatique. Ces travaux ont été initiés sur les produits d'origine agricole afin de compléter la conversion des sucres ou de l'amidon par celle des parties ligneuses des céréales ou des plantes saccharifères. Poursuivis par une réglementation environnementale qui veut promouvoir l'utilisation de carburants oxygénés, les Etats-Unis maintiennent des programmes de recherche importants sur ces thèmes avec, pour cette filière, l'objectif de concurrencer les carburants pétroliers dans un horizon de moins de dix ans. Le coût

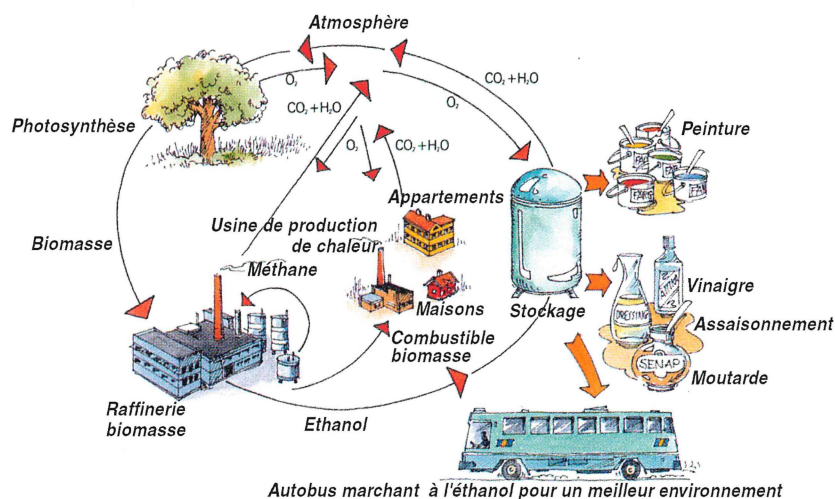
prévu est de 0,67 \$/gal en 2005 au lieu des 0,9 \$/gal atteint actuellement. De nombreux efforts restent à accomplir pour accroître la productivité des procédés : améliorer la production d'enzyme, la séparation des produits, diminuer les temps de fermentation, adapter les techniques aux espèces lignocellulosiques...

La recherche sur la production directe de combustibles ou carburants à partir du bois ne concerne plus que la pyrolyse (à pression atmosphérique). Les huiles de pyrolyse obtenues peuvent être stabilisées par un traitement complémentaire et peuvent conduire à un carburant substituable ou mélangeable à des supercarburants. Le coût de production de ces produits demeure toutefois encore fort éloigné de celui des produits pétroliers et les procédés de pyrolyse encore expérimentaux sont loin d'être optimisés.

□ Une nouvelle filière

La remise en cause du moteur thermique classique des automobiles par le développement de systèmes de traction électrique permet pour le futur de réenvisager le bois comme

ressource d'une nouvelle filière énergétique : l'alimentation des piles à combustible. Celles-ci utilisent de l'hydrogène, éventuellement de l'oxyde de carbone, et de l'oxygène pouvant provenir de l'air qu'elles convertissent en eau et CO_2 . Si les piles elles-mêmes commencent à faire l'objet de pilotes de plusieurs dizaines de kW, leur utilisation dans un véhicule rendrait préférable un stockage de l'hydrogène sous forme liquide. Le méthanol constitue alors la forme de stockage la plus appropriée mais elle rend nécessaire une mini-unité de craquage pour préparer l'hydrogène. La création d'une nouvelle et importante demande en méthanol pourrait ouvrir le marché à une production à partir de bois. D'ores et déjà des travaux de recherche se penchent sur la production de gaz de synthèse obtenus par gazéification de la biomasse et leur utilisation directe dans une pile à combustible. De nombreux obstacles devraient toutefois être levés pour arriver à fiabiliser un tel procédé : épuration des gaz, adaptation des piles à un mélange de gaz, régulations...



La biomasse, source de bioénergie renouvelable : les utilisations de l'éthanol.
Doc. Swedish Development Foundation.

□ Des enjeux à long terme pour les carburants

C'est sans doute dans le domaine des carburants que les enjeux scientifiques et technologiques sont les plus importants pour le bois. Toutefois ces enjeux sont limités économiquement par des prix de référence internationalement établis et dont la stabilité est actuellement forte. Selon les filières, des développements sont nécessaires allant de la recherche fondamentale sur les mécanismes jusqu'aux développements technologiques et à la réalisation de pilotes industriels.



Si de nombreuses technologies ont atteint un niveau de maturité industriel, les pays tropicaux en ont encore peu bénéficié et le véritable enjeu concerne aujourd'hui le transfert et l'adaptation de ces technologies. Avec la croissance de la consommation énergétique liée au développement industriel, deux secteurs devraient mériter toute leur attention :

- **La carbonisation pour la production de charbon de bois** devenu le combustible prépondérant des ménages vivant en milieu urbain.

L'amélioration des procédés de carbonisation par l'augmentation des rendements de production et l'élargissement de la gamme des bois utilisés deviennent donc une très forte priorité pour les prochaines années afin de répondre à une forte demande sociale et afin de limiter la pression sur la forêt restant à proximité des centres urbains.

- **La combustion pour la cogénération à partir de mélanges biomasse/charbon** dans les agroindustries (huilerie, sucrerie, industrie du bois...) a pour intérêt de pallier la saisonnalité des sous-produits disponibles et permet la revente en kWh sur le réseau.

D'un point de vue technologique, la production d'électricité ou la cogénération de chaleur de process et d'électricité est sans doute le domaine où les développements technologiques se sont le plus exprimés durant la dernière décennie. Cependant, le développement de cette filière ne pourra prendre vraiment place que dans le cadre d'une politique volontaire et avec l'aide d'une fiscalité adaptée. L'acceptation par les opérateurs de ces technologies n'est cependant pas

POUR EN SAVOIR PLUS...

BENABDALLAH B., CARRÉ J., KHENNAF S., VERGNET L.F. *et al.*, 1994.

Guide Biomasse-Energie. Québec, Canada, ACCT-HEPF, 320 p.

SILGUY (de) C., CORTÉ P., MÉRILLOT J.-M., 1996.

Biomass, Research and Development strategies, études pour l'Union européenne DG 12. Paris, France, ADEME, Edition 2488, 130 p.

acquise et doit être encouragée dans les P. E. D. Il en est de même pour l'ouverture du marché de l'électricité au secteur privé et le rachat des kWh autoproduits, pratiques encore peu courantes dans les pays tropicaux. □

► Pascal CORTÉ
ADEME-Basse Normandie
F-14209 HEROUVILLE-ST CLAIR CEDEX

► Philippe GIRARD
Programme Valorisation
des produits forestiers
CIRAD-Forêt/Montpellier