nowfuture.org
Le blog du **vrai** développement durable

Cogénération à la biomasse

Une solution renouvelable et moins chère pour l'énergie belge

par Laurent Minguet

Octobre 2006

ABSTRACT

Aujourd'hui, la Belgique consomme chaque année près de 60 millions de tonnes d'équivalent pétrole (tep) d'énergie primaire pour produire son énergie secondaire, c'est-à-dire de l'électricité et de la chaleur. Pour ce faire, elle est obligée d'importer des produits fossiles – pétrole, gaz, charbon – (76% de son énergie primaire exprimée en tep) ainsi que de l'uranium (21%). Au total, le prix de revient (énergie primaire, investissements et frais d'exploitation) de l'énergie électrique et de chauffage résidentiel et tertiaire s'élève à 11,6 milliards d'euros (G€) par an.

Le plan belge de cogénération décrit dans les pages qui suivent propose de généraliser les centrales thermiques à biomasse (combustible renouvelable composé de déchets végétaux ou de bois-énergie) en vue de produire simultanément de l'électricité et de la chaleur distribuée via des réseaux d'eau chaude de quelques kilomètres.

Un investissement de 50 G€ (dont 35 G€ pour les centrales et 15 G€ pour les réseaux) permettrait de fournir toute l'électricité et 80% des besoins de chaleur aux consommateurs raccordés. Le reste serait chauffé par chaudière individuelle à pellets (sciure de bois compactée en granulés). Cette stratégie permettrait de baisser de 25% le prix de revient de l'énergie en Belgique (2,9 G€) et permettrait une économie de 2,3 G€ chaque année sur la balance commerciale.

La mise en œuvre d'environ 1.000 centrales capables de fournir 14 GW de puissance électrique est rentable au coût de l'énergie primaire et secondaire actuelles. De plus, les certificats verts rendent ces investissements très rémunérateurs, avec un rendement interne supérieur à 20%.

La consommation annuelle des 80 millions de tonnes (Mt) de biomasse nécessaire (soit 0,1% seulement de la quantité totale de biomasse produite naturellement chaque année dans le monde) proviendrait en grande partie de pays partenaires qui se spécialiseraient dans la production de bois-énergie.

La production de CO2 tomberait de 120 Mt à moins de 70 Mt, pulvérisant ainsi l'objectif belge de Kyoto qui vise 20 Mt de réduction.

Table des matières

1 Fondamentaux..... 4

1.1 Electricité..... 4
1.1.1 Centrale thermique..... 4
1.1.2 Production fossile et biomasse..... 5
1.1.3 Production nucléaire..... 6
1.1.4 Transport et distribution..... 6
1.1.5 Subsides..... 6
1.1.6 Consommation privée..... 7
1.1.7 Consommation industrielle..... 7
1.2 Chaleur..... 8
1.2.1 Production fossile..... 8
1.2.2 Biomasse..... 8
1.2.3 Transport & Distribution..... 9
1.2.4 Taxes et subsides..... 9
1.2.5 Consommation privée et tertiaire..... 10

2 Cogénération..... 11

2.1 Principe et avantages..... 11
2.2 Réseaux de chaleur..... 11
2.3 Equilibre chaleur/électricité..... 12

3 Plan belge de cogénération.....13

3.1 Investissement de production..... 13
3.2 Investissement de distribution..... 13
3.3 Rentabilité microéconomique..... 14
3.4 Rentabilité macroéconomique..... 14
3.5 Comparaison des coûts cogénération et production séparée..... 15
3.6 Déploiement..... 16

4 Conclusions..... 18

1 Fondamentaux

La production de chaleur et d'énergie motrice, sous forme d'électricité, est la base de tout développement économique. Le développement durable préconise de n'envisager, à terme, que la production d'énergie renouvelable sans impact sur l'environnement. L'utilisation d'énergies fossiles ou fissile issus de stocks non renouvelables, produisant différents types de déchets nuisibles pour l'environnement ou la sécurité doivent être progressivement remplacés.

On nomme énergie primaire, l'énergie brute nécessaire à produire ou transformer l'énergie finalement consommée. Chaque année, 10 milliards de tonnes équivalent pétrole (tep) produisent les quelques 7 milliards de tep consommés sur la planète.

L'unité d'énergie utilisée est le MWh (1000 kWh). Une tep équivaut à 11,6 MWh. L'unité de puissance est le MW (1000 kW). M exprime le million et G, le milliard (giga).

La Belgique consomme environ 60 Mtep par an soit 6 tep par habitant.

1.1 Electricité

L'électricité est la forme la plus commode de transport et d'utilisation de la force motrice. Sa conversion entre électricité et force motrice par un moteur électrique ne coûte qu'un ou deux pourcent d'énergie.

Au total, la Belgique produit environ 84 millions de MWh électrique par an.

1.1.1 Centrale thermique

La production d'électricité se réalise généralement dans une centrale thermique. En produisant de la chaleur (fossile, nucléaire, biomasse, solaire, géothermique…), on peut créer de la force motrice en la transférant à une source froide par un cycle thermodynamique approprié.

Le rendement de conversion d'énergie thermique en énergie motrice augmente avec la différence de température entre la source chaude et la source froide.

Ainsi, les rendements des centrales thermiques sont compris entre 15% et 60%. Le solde de l'énergie est constitué de pertes (10% à 20%) et de chaleur cédée à la source froide. La force électromotrice est ensuite transformée en électricité par un alternateur comme dans une éolienne ou une centrale hydroélectrique.

1.1.2 Production fossile et biomasse

Il existe trois énergies fossiles : charbon (C), pétrole(CH) et gaz naturel (CH4). Les réserves mondiales sont respectivement de 600 Gtep, 130 Gtep et 140 Gtep pour une consommation mondiale annuelle de 8 Gtep d'après l'AIE (Association Internationale de L'Energie). On peut en déduire que, d'ici une centaine d'années, ces réserves seront épuisées. En fait, l'augmentation de la consommation individuelle et de la population mondiale raccourciront vraisemblablement la durée de vie des stocks.

Les trois énergies fossiles produisent du CO2 qui est actuellement taxé à 15€ par tonne. On pense cependant que le prix à long terme devrait être se situer entre 20€ et 30€ par tonne, prix de l'élimination d'une tonne de CO2 par séquestration. Celle-ci consiste à capter le CO2 sur le lieu de production pour le stocker sous forme chimique ou physique au lieu de le dissiper dans l'atmosphère.

Les centrales au charbon ont un rendement de l'ordre de 30% et produisent 1,2 tonne de CO2 par MWh. Le coût actuel de production, hors taxe CO2, est d'environ 30€ dont 18€ de charbon. En incluant la taxe CO2 actuelle, le prix s'élève à 48 € par MWh.

Les centrales au fuel ont un rendement de l'ordre de 35% à 40% et produisent environ 800 kg de CO2 par MWh. Le coût actuel de production, hors taxe CO2 est d'environ 110€ dont 100€ de pétrole. En incluant la taxe CO2, le prix s'élève à 122 € par MWh.

Les centrales TGV ont un rendement de l'ordre de 50% pouvant s'élever à 60% et produisent environ 450kg de CO2 par MWh. Le coût actuel de production, hors taxe CO2, est d'environ 60€ dont 50€ de gaz. En incluant la taxe CO2, le prix s'élève à 67€ par MWh.

En Belgique, les centrales à biomasse les moins chères ont un rendement de l'ordre de 27%. Le coût de production est d'environ 55€ par MWh dont 45€ de biomasse.

Le mix énergétique tient à des raisons historiques. Les centrales au charbon polluantes – une tonne de charbon produit entre 10% et 30% de cendre et de suie – ont été remplacées par des centrales au fuel quand le pétrole était bon marché puis des centrales nucléaires et des centrales TGV dont le coût du MWh était le plus bas jusqu'en 2004 à moins de 30€.

L'investissement lourd d'une centrale thermique rend difficile son remplacement par une centrale utilisant le combustible optimal.

1.1.3 Production nucléaire

La production nucléaire est basée sur la réaction de fission de l'uranium 235 extrait de l'uranium naturel dont les réserves mondiales s'élèvent à 46 Gtep d'après l'AEN, agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE.

Sa contribution à l'énergie primaire dans le monde est seulement de 6% mais de 21% en Belgique. Elle est utilisée uniquement pour la production d'électricité dont elle fournit entre 55% et 60% de la consommation soit 45 millions de MWh.

L'investissement d'une centrale nucléaire est de 3M€ par MW. D'après Electrabel, le prix de revient est d'environ 32€ par MWh sans compter l'assurance du risque majeur qu'aucune compagnie au monde ne veut assurer. En effet, un accident comme celui de Tchernobyl coûterait plusieurs centaines de milliards d'euros sans parler des pertes en vies humaines.
Ne pas couvrir ce risque est un subside offert par la collectivité à l'industrie nucléaire.

D'autre part, il est vraisemblable que les sommes provisionnées par les électriciens ne soient pas suffisantes pour couvrir la gestion des déchets nucléaires dans le futur dans la mesure où certains, comme le plutonium, sont extrêmement dangereux et restent radioactifs pendant des centaines de milliers d'années. Il est vraisemblable que les déchets nucléaires soient ultérieurement frappés d'une taxe à l'instar de la taxe sur le CO2 ce qui augmenterait d'autant le prix de production de l'électricité nucléaire.

Actuellement, il y a deux pôles de production nucléaire en Belgique, Tihange en Wallonie qui couvre 51% de la production nucléaire et Doel en Flandre, 49%.

1.1.4 Transport et distribution

Contrairement à une idée reçue, l'électricité ne se transporte pas facilement. Son stockage coûte très cher et est affecté d'un rendement de 50% seulement. La production doit donc, en permanence, équilibrer la consommation d'où l'intérêt d'interconnecter les producteurs et les consommateurs par un réseau. Au-delà de quelques centaines de kilomètres, le transport de l'électricité n'est plus envisageable à cause des pertes (effet joule, courants de Foucault…)

Le transport s'effectue en moyenne et haute tension (30 kV – 380 kV) et la distribution en basse tension et moyenne tension (<70 kV).

La distribution est gérée par des sociétés à capitaux majoritairement publics formant le GRD , gestionnaire du réseau de distribution. Le prix de la distribution et du transport, appelé le « timbre » varie entre 10€ et 50€ par MWh selon le profil de consommation de l'industriel ou du particulier.

1.1.5 Subsides

La production d'énergies renouvelables est subsidiée dans les trois régions. Les règles sont différentes et fluctuantes. On peut retenir que la production d'un MWh

électrique renouvelable donne droit à un certificat vert (CV) dont le prix varie entre 65€ et 100€.
Quand il est associé à de la production de chaleur, on peut obtenir jusqu'à 2CV par MWh.

1.1.6 Consommation privée

En Belgique, la consommation privée globale est de 38 millions de MWh soit 3,7 MWh par personne relativement bien réparti tout au long de l'année mais présentant des variations importantes au cours de la journée. La consommation est faible la nuit mais importante entre 7h et 9h ainsi qu'entre 18h et 20h.

Ainsi, la puissance moyenne par personne est de 425 W environ.

Pour la Belgique, cette puissance moyenne due à la consommation privée est de 4.400 MW sur une puissance totale de 16.000 MW pour l'ensemble des moyens de production.

Les sociétés de production d'électricité ont l'habitude de dire que cette consommation augmente inéluctablement de 2% par an. C'est cependant le résultat d'une politique poussant à la surconsommation et la malconsommation comme la promotion pour le chauffage électrique encore présente dans certaines intercommunales.

La technologie permet aujourd'hui de réduire par 5 la consommation pour produire de la lumière par l'emploi des ampoules économiques. Les électroménagers de classe A consomment de 2 à 3 fois moins que leurs homologues antérieurs pour un résultat souvent meilleur. Les ordinateurs et appareils électroniques consomment sensiblement moins pour des performances inimaginables il y a 20 ans. Bref, une politique énergétique volontariste permettrait de diminuer la consommation d'énergie privée malgré une augmentation du confort par le recours aux écotaxes et aux écosubsides qui commencent à exister. Cette nécessaire distorsion du marché guiderait le consommateur vers les équipements sobres sans qu'il soit besoin de le sensibiliser par de coûteuses campagnes d'information dont le résultat est souvent fort mitigé.

C'est le principe même du développement durable ou de l'efficience : davantage de confort avec moins de consommation d'énergie ou de matière.

D'après les statistiques 2005 du Ministère Français de l'économie, le prix moyen hors taxe payé par le consommateur belge est de 110€ par MWh soit un peu plus cher que la moyenne européenne 106€ et française (91€) mais moins que nos voisins hollandais (111€) et allemands (135€).

1.1.7 Consommation industrielle

Actuellement, l'industrie et les transports consomment 42 millions de MWh par an.

Quoique des efforts d'efficience puissent être encore entrepris, l'industrie est perpétuellement à la recherche d'économie d'énergie pour améliorer sa rentabilité.

La taille des installations permet de réaliser des études et des investissements en ce sens.

L'industrie bénéficie d'un prix moyen du MWh de 70€, plus que la moyenne européenne (67€), que la France (53€) et les Pays-Bas (66€) mais moins que l'Allemagne (80€).

1.2 Chaleur

La chaleur est utilisée pour le confort des habitations, l'hygiène, la cuisson des aliments, les processus industriels…

Actuellement, la Belgique en consomme 26,4 Mtep soit 300 millions de MWh principalement sous forme de pétrole (14,3 Mt), gaz (10,5 Mtep) et charbon (1,6Mtep).

1.2.1 Production fossile

La transformation de combustibles fossiles s'effectue dans des chaudières avec des rendements compris entre 70% et 95% selon la taille de l'installation et le combustible. Le gaz donne le meilleur rendement avec les chaudières à condensation.

Le coût actuel du pétrole varie autour de 40€ /MWh soit environ 50 € / MWh de mazout livré. En juillet 2005, le gaz coûtait 36 € /MWh pour le particulier et 19€ /MWh pour l'industriel mais son prix devrait s'aligner sur celui du pétrole à court terme.

Le charbon n'est quasi utilisé que par la sidérurgie.

1.2.2 Biomasse

La biomasse sous forme de déchets de bois (plaquettes ou chips) ou de sciure compactée (granulés ou pellets) permet de convertir cette énergie chimique en énergie thermique avec des rendements de l'ordre de 90%.

Contrairement aux énergies fossiles et fissile, la biomasse est un combustible renouvelable.

La planète en produit spontanément 80 milliards de tonnes par an soit 4 fois la consommation mondiale d'énergie primaire en convertissant moins de 0,1% de l'énergie solaire incidente, 6.000 fois la consommation mondiale d'énergie primaire.

Dans une plantation de bois énergie, on obtient des rendements 5 à 10 fois plus important. Ainsi, en Belgique, on peut produire environ 12 tonnes de matière sèche à l'hectare (tms/ha) et jusqu'à 40 tms/ha en zone subtropicale comprise entre les parallèles 15° nord et sud.

Les forêts belges, 500.000 ha, offrent cependant un potentiel limité à un peu moins de 1 Mtep car elles sont déjà exploitées pour le bois d'œuvre dont le rendement massique est moindre ou comme zone d'agrément dont l'exploitation est difficile.

Par contre, les 1.700.000 ha agricoles ont un potentiel théorique de 10 Mtep, en compétition avec les productions alimentaires (cultures et pâtures) et les biocarburants.

En Belgique, à moins de maîtriser l'énergie solaire, aujourd'hui hors de prix, il sera toujours nécessaire d'importer de l'énergie primaire.

Dans les zones subtropicales, tout en préservant les forêts primaires, réservoirs de biodiversité, la production de bois énergie semble promise à un bel avenir. De vastes zones permettraient de couvrir tout nos besoins futurs en association avec d'autres énergies renouvelables.

La combustion de la biomasse produit entre 0,5% et 2% de cendres composées de matières minérales assimilés lors de sa croissance.

Le prix de la biomasse est extrêmement variable car il peut avoir un prix nul voire négatif quand il est considéré comme déchet. Ainsi, par exemple, les résidus de noix de coco coûtent environ 12€ / MWh alors que les pellets, forme calibrée du bois énergie, se négocient entre 20€ et 25€ / MWh en quantité industrielle et 35 €/MWh livré pour le particulier.

1.2.3 Transport & Distribution

Le transport intercontinental de l'énergie coûte…de l'énergie. Selon qu'il soit très compact comme le pétrole (11,6MWh/t) ou plus dilué comme le bois (5MWh/t) voire léger comme le gaz naturel, le transport consomme de 5% à 10% de l'énergie transportée.

Actuellement, le prix du transport maritime international est d'environ 30€ par tonne soit le double d'il y a 3 ans.

La distribution locale des liquides et solides s'effectue par camion à un prix de 10€ par tonne alors que le gaz naturel qu'on ne peut liquéfier à température ambiante doit être transporté par canalisation.

On transporte également la chaleur dans des tuyaux d'eau chaude isolés sur quelques kilomètres : les réseaux de chaleurs.

1.2.4 Taxes et subsides

La combustion d'énergie fossile est soumise à la taxe CO2. En brûlant une tonne de pétrole, on produit environ 3 tonnes de CO2, contre 2,4 t pour le gaz et 3,8 t pour le charbon. On ne compte pas le CO2 produit par la biomasse lors de la combustion car il a été préalablement capté lors la croissance de la plante. Abstraction faite du transport, le bilan est donc nul.

En Belgique, il n'y a pas de subsides liés à la consommation de biomasse mais seulement à l'installation de chaudière, entre 10% et 20% de l'investissement. Notons cependant que la TVA sur la biomasse est de 6% contre 21% pour le mazout et le gaz.

1.2.5 Consommation privée et tertiaire

Le chauffage représente 80% de l'énergie consommée dans les bâtiments en Belgique, lanterne rouge européenne de performance énergétique. Cela représente 11,6 Mtep d'énergie primaire, 6,3 Mt de pétrole et 5,3 Mt de gaz soit 135 millions de MWh.

La transformation du pétrole en mazout réduit d'environ 10% l'énergie utilisée dans les chaudières. Le rendement moyen est vraisemblablement de 80% à cause d'un parc vieillissant et des rendements très mauvais en période estivale.

Le gaz ne doit pas être transformé et les chaudières ont un meilleur rendement moyen de l'ordre de 90%.

Prenons comme hypothèse que chaque individu consomme en moyenne 10 MWh utiles répartis sur les bâtiments résidentiels (80%) et tertiaires (20%). Environ 12% de cette énergie sert à la production d'eau chaude sanitaire (1.2 MWh). La part de la cuisson alimentaire est négligeable.

Le prix de la production de chaleur individuelle peut se répartir entre les frais de combustible et tous les autres frais de fonctionnement : investissement, entretien, redevance…

Pour une habitation individuelle, la firme ACV cite des frais hors combustible annuel par personne de 150€ pour le gaz contre 200€ pour le mazout et le bois.

Avec un rendement de 80%, une chaudière au mazout brûle 12,5 MWh de combustible par personne soit environ 625€. Le coût total est de 825€ par an.

Avec un rendement de 90%, une chaudière au gaz brûle 11,1 MWh soit actuellement 390 € par an mais il est vraisemblable que ce prix s'aligne sur celui du mazout pour s'élever à 550€. Le coût total serait de 700€ par an.

Actuellement, le chauffage est réparti moitié-moitié entre le gaz et le mazout avec une progression du chauffage au gaz. Le coût total du chauffage en Belgique serait d'au moins 7,8 G€ sans compter le chauffage électrique heureusement marginal.

Les chaudières aux pellets ont un rendement de 85%. Il faut donc 11,8 MWh de pellet soit 410 € de combustible sur un total de 610 € par an.

Si tous les bâtiments de Belgique étaient chauffés aux pellets, le coût global serait de 6,3 G€ dont 4,2 G€ de pellets, environ 24 Mt.

La puissance moyenne annuelle par habitant est donc d'environ 1,1 kW avec un maximum de 3 kW en hiver. La variation diurne est moins importante si on joue sur l'inertie des bâtiments ou de ballons d'eau chaude qui permettent le stockage de la chaleur pendant plusieurs heures.

2 Cogénération

2.1 Principe et avantages

La cogénération consiste à utiliser la chaleur d'une centrale électrique thermique cédée à la source froide pour satisfaire simultanément les besoins de chaleur et d'électricité. Ceci permet d'optimiser la consommation de combustible pour la production d'énergie.

Dans une centrale électrique pure, on maximise l'écart de température entre la source chaude et la source froide, généralement un fleuve ou une tour réfrigérante. La température de l'eau rejetée est assez basse, en général 10°C au dessus de la source froide. Pour que la chaleur puisse être utilisée, il est nécessaire qu'elle soit d'au moins 60°C ce qui diminue le rendement électrique de quelques pourcents.

2.2 Réseaux de chaleur

La chaleur produite par une centrale thermique se transporte au moyen d'eau chaude formant une boucle à l'instar du chauffage central des bâtiments. Un échangeur de chaleur permet de la transférer au bâtiment à chauffer.

Les réseaux de chaleur sont très populaires à l'étranger. Ainsi, 60% de Copenhague est chauffée par réseaux de chaleur produite par les centrales au charbon.

En pratique, la chaleur peut se transporter sur une distance de 10 km avec une perte inférieure à 10% dans le réseau mais plus la distance est courte, meilleur sera le rendement et plus faible sera le coût de transport.

Des expériences historiques malheureuses ont été tentées trop tôt en Belgique (Verviers, Seraing..) à une époque où le coût de la chaleur justifiait mal sa mise en œuvre.

En équipant 50% des 100.000 km de voiries, on peut raccorder 80% des consommateurs aux réseaux de chaleur pour fournir environ 80 millions de MWh sur 100 millions de MWh consommés pour les besoins de chauffage en Belgique.

2.3 Equilibre chaleur/électricité

La priorité doit être donnée à la production d'électricité dont on a vu que l'offre doit en permanence équilibrer la demande. On peut cependant écrêter modestement cette demande par l'utilisation du bassin de stockage de Coo ou des délestages chez certains gros consommateurs d'électricité industriels aux heures de pointes.

La modulation de la puissance est cependant plus simple avec de nombreuses petites centrales en réseau qu'avec les centrales nucléaires dont le temps de réaction est de plusieurs heures.

La production d'électricité fixe donc la quantité de chaleur disponible quotidiennement pour les réseaux de chaleur en fonction du rendement des centrales thermiques utilisées.

En régime hivernal, les centrales peuvent tourner avec un modeste 20% de rendement électrique et 60% de rendement thermique, le reste étant perdu par la fumée et le transport, on fournit donc 3 MWh thermique par MWh électrique pour 5 MWh d'énergie primaire (une tonne de biomasse).
La cogénération permet de balancer l'énergie primaire entre énergie électrique et chaleur de sorte qu'en période de pic de consommation électrique, on privilégie sa production au détriment de la chaleur qui sera délivrée ultérieurement puisque celle-ci peut être plus facilement modulée dans le temps.

En régime estival, les mêmes centrales peuvent fournir 25% de rendement électrique et nettement moins de chaleur.

Pour simplifier la présentation, on supposera que le rendement électrique global est de 22,5%.

Actuellement, nous avons vu que la Belgique produit environ 84 millions de MWh électrique par an soit en moyenne, 230.000 MWh par jour.

En cogénération hivernale, la Belgique produirait donc quotidiennement 230.000 MWh électrique et 690.000 MWh thermique qui correspond à une puissance thermique continue de 28.750 MW.

Cette quantité de chaleur correspond aux besoins hivernaux des bâtiments reliés au réseau de chaleur. Il n'est donc pas nécessaire de produire de la chaleur complémentaire.

On pourrait néanmoins prévoir une production locale complémentaire de secours en cas de grand froid prolongé. Il peut s'agir d'une simple chaudière à biomasse raccordée ou non au réseau de chaleur.

On peut aussi penser que les besoins de chaleur globaux diminuent au fil des ans grâce aux efforts réalisés en PEB notamment par le remplacement progressif d'habitations obsolètes par des immeubles mieux conçus.

3 Plan belge de cogénération

3.1 Investissement de production

La cogénération peut s'envisager à l'échelle communale dans des centrales moyennes reliant les consommateurs par un réseau de chaleur correctement dimensionné. Les centrales doivent avoir des capacités de production d'au moins 4 MW électrique pour bénéficier d'une bonne économie d'échelle. L'investissement moyen est alors d'environ 2,5 M€ par MW. En considérant que la puissance de base en Belgique est de 6.000 MW et la puissance de pointe de 8.000 MW, l'ensemble des besoins seraient de production seraient couverts par un investissement de 35 G€.

Cette somme importante doit être comparée à l'investissement actuel des centrales nucléaires, 3M€ par MW, et fossile, 1 M€/MW. L'investissement du parc de production électrique belge serait de l'ordre de 28 G€.

Il convient alors d'y ajouter les investissements relatifs à la chaleur, soit le réseau pour la cogénération et les chaufferies individuelles pour la production séparée.

Comme les centrales de cogénération sont interconnectées au réseau, celui-ci régule le déficit ou l'excès de production. Ces systèmes de cogénérations peuvent donc s'installer progressivement sans ordre géographique particulier.

3.2 Investissement de distribution

Le coût moyen du réseau est d'environ 250€ par mètre dont beaucoup de main d'oeuvre. On peut estimer qu'un réseau de 50.000 km est nécessaire pour couvrir 80% des points de consommation en Belgique. Le coût du réseau est donc d'environ 12,5 G€.

Il faut également compter environ 300€ d'investissement par habitant pour l'échangeur thermique soit environ 2,5 G€.

L'ensemble du réseau coûterait donc environ 15 G€ pour une durée de vie de 40 ans.

L'ensemble de l'investissement de la cogénération est donc de 50 G€ environ.

La production de chaleur de 80% des consommateurs requiert un investissement de 3000 € par personne pour le mazout et de 2000€ pour le gaz.
L'investissement global est donc d'environ 20 G€.

En ajoutant le prix de production électrique, on obtient un total de 48 G€ pour la production d'énergie séparée, sensiblement égal à la production cogénérée à 80%.

3.3 Rentabilité microéconomique

L'investissement typique d'une commune de 10.000 habitants serait donc une unité de 14 MW électrique capable de fournir simultanément 42 MW thermique.
L'investissement de la production serait d'environ 35 M€.

Pour la distribution, il faudrait en moyenne 50km de réseau soit un investissement de 15 M€ y compris le raccordement. L'ensemble coûte donc 50 M€.

En finançant un tel système sur 40 ans avec un taux de 3,5%, la charge annuelle est d'environ 2,3 M€ soit 230€ par personne.

Cette unité consommerait environ 75.000 t de bois à 60€ /t soit environ 4,5 M€.

Enfin, en comptant 6€ de frais de fonctionnement par MWh électrique, les frais d'exploitation sont d'environ 0,5 M€ par an.

Les dépenses globales s'élèvent donc à 7,3 M€ par an.

Cette centrale fournit donc 84.000 MWh d'électricité au réseau à 65€ soit 5,5 M€.

En plus, elle vend de la chaleur à 8.000 personnes raccordées. En comptant 10 MWh utiles à 50€, on obtient un chiffre d'affaire pour la chaleur de 4 M€. En effet, 500€ pour 10 MWh utiles reste 20% moins cher que le prix du chauffage individuel au pellet de 610 € qui est lui-même moins cher que le chauffage au gaz, 700€, ou au mazout, 825€.

Les recettes globales s'élèvent à 9,5 M€. La marge brute est donc positive de 2,2 M€.

Un tel système est évidemment éligible aux certificats verts. En comptant un taux de 1,2, on génère environ 100.000 CV à 65 € minimum soit un revenu additionnel de 6,5 M€ qui viennent doper la rentabilité de l'opération.

La cogénération est sensible au prix de la biomasse mais il est vraisemblable que celle-ci augmentera en même temps que le prix de l'énergie électrique et thermique.

Dans un tel modèle, le taux interne de rentabilité est d'environ 22%.

3.4 Rentabilité macroéconomique

Le modèle de cogénération substitue à l'importation du gaz, du pétrole et d'uranium l'importation de bois.

La facture annuelle de gaz et de pétrole devrait converger vers un prix identique dans un futur proche que nous estimons à 400€/tep (68 $ le baril). La facture actuelle pour le chauffage et la production d'électricité est donc de plus de 16 Mtep soit 6,4 G€

Le prix du combustible nucléaire est relativement complexe à calculer car le processus d'enrichissement consomme pas mal d'énergie. On peut estimer qu'il coûte en minerai et énergie environ 6€ par MWh électrique soit 0,3 G€.

Il faut également ajouter quelques 4 Mtep de charbon soit environ 6,6 Mt @ 60€ soit 0,4 G€.

La facture globale d'énergie primaire pour le chauffage et l'électricité est donc de 7,1 G€.

La facture de bois énergie nécessaire à la cogénération serait de 80 Mt @ 60€ soit 4,8 G€ en supposant que toute l'énergie soit importée.

Le gain sur la balance commerciale est d'environ 2,3 G€ cependant ce montant devrait fluctuer fortement dans le futur plus probablement à la hausse qu'à la baisse.

L'investissement nouveau des réseaux de chaleur et des centrales de cogénération devrait être composé à 60% de main d'oeuvre locale soit environ 30 G€, c'est-à-dire plus de 800.000 emplois-an.

3.5 Comparaison des coûts cogénération et production séparée

Nous avons vu que le coût du chauffage en Belgique sera d'environ 7,8 G€ quand le prix du gaz s'alignera sur celui du pétrole. En fait, il est vraisemblable que ce montant augmente sensiblement car tant la demande en pétrole pour les transports que celle du gaz pour l'électricité risquent de tirer les prix à la hausse.

Le coût de production de l'énergie électrique de toute la Belgique, 84 millions de MWh, à un prix moyen de 45€ par MWh est de 3,8 G€.

Pour comparer les hypothèses, nous faisons abstraction du coût de la distribution de l'électricité qui doit être effectuée à peu près pareillement dans tous les cas de figure.

Aujourd'hui donc, le prix de l'énergie électrique et thermique de la Belgique s'élève à plus de 11,6 G€. En généralisant le chauffage individuel aux pellets, il pourrait être réduit à 10 G€.

En généralisant le modèle microéconomique à toute la Belgique, la cogénération coûterait 7,3 G€ auquel il faut ajouter le prix de production de 20% de chauffage individuel au pellet soit environ 1,3 G€.

Avec une solution à 80% de cogénération et 20% de chauffage individuel à biomasse, le coût global pour la Belgique serait d'environ 8,6 G€, 25% de moins que le prix de revient actuel.

La cogénération permettrait l'économie annuelle de 3 G€ environ par rapport à la situation existante à consommation de chaleur et d'électricité inchangée.

Un tel système consommerait annuellement 80 millions de tonnes de bois soit 8 t par personne ou 3,5 tep. Il permettrait l'économie de 20 Mt de CO2 pour la production électrique et de 32 Mt de CO2 pour la production de chaleur soit 52 Mt de CO2 sur les 120 Mt que la Belgique émet chaque année.

Ce système reste moins cher que la situation actuelle même avec un renchérissement de la biomasse de 40 € par tonne c'est-à-dire à un prix de moins de 100€. Sachant que les rendements agricoles de base (riz, froment, maïs, soja…) rapportent rarement plus de 1.000€ par ha, il est vraisemblable que l'équilibre entre offre et demande pour le bois énergie ne dépasse pas 60€ ou 70€ par tonne. A ce prix, les pays subtropicaux obtiendraient un rendement brut de plus de 1.500 € par ha cinq à dix fois supérieur aux rendements actuels.

3.6 Déploiement

Le réseau de cogénération devrait s'installer progressivement sur une période de 12 à 15 ans soit un investissement en réseau de chaleur et centrale de cogénération de 3 G€ par an environ. Cet investissement comprend au moins 1,8 G€ de main d'œuvre locale peu qualifiée pour l'installation du réseau et principalement moyennement qualifié pour la construction des centrales. On peut donc compter sur la création de 50.000 emplois.

Ces systèmes s'installeront naturellement sous l'impulsion des gains microéconomiques plantureux largement dopés par les certificats verts en commençant par les installations les plus rentables mais aussi les plus évidentes.

Les rives des cours d'eau, les voies de chemin de fer, les routes permettraient d'installer facilement les branches principales des réseaux.

Il serait souhaitable que la gestion du réseau soit contrôlée par le pouvoir public à l'instar du réseau électrique et d'appliquer un prix vérité sur le transport de la chaleur.

L'excès de chaleur pourrait être mis à profit par des entreprises consommatrices de chaleur notamment pour le séchage de pellets ou alimentaire. Il permettrait en tous cas de réduire la facture énergétique de l'industrie qui n'a pas été prise en compte dans ce bilan.

Le prix des certificats verts devraient tomber rapidement au minimum légal de 65€.

La cogénération est tout à fait compatible avec les autres sources d'énergies renouvelables comme les éoliennes ou les centrales hydroélectriques. En effet, une réduction de la demande en électricité diminuerait un peu l'offre de chaleur mais celle-ci resterait supérieure à la demande, en particulier durant la période estivale.

Comme l'offre électrique de cogénération va croître régulièrement sur plusieurs années, cela permettra aux producteurs actuels de démanteler progressivement

leurs installations les moins rentables. Il est vraisemblable que les dernières soient les centrales nucléaires dont l'excès de courant éventuel pourrait être exporté.

Dans le futur, les systèmes de captation et de stockage d'énergie solaire auront des prix moindre et des rendements supérieurs. En effet, aujourd'hui, dans les meilleures conditions, la biomasse ne stocke qu'un pourcent de l'énergie solaire incidente. Or la technologie des paraboles solaires couplées au stockage chimique permet déjà de dépasser 15% de rendement à un prix cependant trop élevé. L'intérêt de tels systèmes est de n'utiliser que des zones désertiques. On peut donc penser que le prix de l'énergie solaire stockée sous forme chimique n'augmente pas mais au contraire diminue.

Les réseaux de chaleur permettront de s'adapter à de nouveaux types de centrales thermiques. Si par exemple, le vecteur du futur devient l'hydrogène, la chaleur générée par la production des centrales thermiques pourraient être utilisée de la même manière.

4 Conclusions

Actuellement, la Belgique chauffe ses bâtiments au mazout et au gaz pour un prix de 7,8 G€.

La production de l'électricité principalement nucléaire, gaz et charbon coûte 3,8 G€. Le prix de revient total de cette énergie s'élève à 11,6 G€ par an.

Le remplacement progressif de ce système par des unités de cogénération à biomasse de taille moyenne décentralisée permettrait de produire simultanément toute l'électricité et la chaleur de 80% des consommateurs raccordées au réseau de chaleur pour un prix de 7,3 G€ par an.

En y ajoutant le prix du chauffage individuel au pellet pour les 20% restant, soit 1,3 G€, le prix de revient équivalent reviendrait à 8,6 G€ soit 3 G€ de moins.

Le boni de la facture énergétique sur la balance commerciale serait de 2,3 G€.

Ce système permettrait l'économie de 52 Mt de CO2 sur les 120 Mt que la Belgique émet actuellement, pulvérisant l'objectif de Kyoto de réduire les émissions de 20 Mt.

La cogénération se développera selon les règles du marché sans nécessiter de subsides.

Dans un premier temps, la quantité de biomasse non exploitées permettra le fonctionnement des premiers systèmes.

Dans un deuxième temps, la cogénération favorisera le développement de la coopération nord-sud pour l'approvisionnement de bois énergie en provenance de cultures dans les pays chauds et humides. Les gains substantiels que réaliseront ces pays permettront leur développement et leur réinsertion progressive dans le commerce international.

Dans un troisième temps, la cogénération s'adaptera à de nouvelles formes d'énergies chimiques et de nouvelles centrales électriques thermiques.

Ce plan démontre que, dès à présent, il est possible de produire chaleur et électricité renouvelable en Belgique. L'amélioration de la technologie, des économies d'énergie, de nouvelles sources d'énergie renouvelable ne feraient que renforcer cette thèse.