

RAPPORT DE LA TABLE RONDE 2
PERSPECTIVES DE CONTRIBUTION DE LA BIOMASSE ET DES TECHNOLOGIES DE CONVERSION A LA
SATISFACTION DES BESOINS ENERGETIQUES ET AU DEVELOPPEMENT ECONOMIQUE

Peter STRZOK - Consultant - AFGRO

310 East 8th Street Washblum, Wisconsin 54891 USA

Tél : 1.715.373.5002 - Fax : 1.715.373.1166

René Yvon BRANCART - Consultant 3E

01 P.O Box 452 Abidjan 01 COTE D'IVOIRE

Tél : 225.41.22.63 - Fax : 225.41.07.88 - bry3e@africaonline.co.ci

1 OBJECTIFS

Dans les pays en voie de développement, le débat sur le biomasse énergie a été dominé par la problématique du déboisement et de la désertification dus à l'agriculture itinérante et à l'utilisation du bois de feu pour la cuisson des aliments. Les efforts ont naturellement porté dans un premier temps sur l'accroissement de la ressource et dans un second temps vers les économies et la substitution. Pendant ce temps du fait des différentes crises pétrolières et de la prise de conscience des nuisances et risques liés aux énergie dites conventionnelles, la biomasse énergie a bénéficié d'un regain d'intérêt dans certains pays industrialisés. Les systèmes développés peuvent permettre à la biomasse de jouer un rôle important comme source d'énergie moderne notamment sous forme de cogénération d'électricité et de vapeur. Dans les zones forestières humides dont les potentialités naturelles inexploitées sont notables, mais aussi et plus généralement dans les régions où la disponibilité et le potentiel du sol peuvent supporter la culture de la biomasse, cette dernière est susceptible d'apporter une réponse satisfaisante aux besoins des pays tropicaux.

Les cultures agricoles et les industries agro-alimentaires sont généralement à l'origine de la production d'une quantité importante de déchets dont la valorisation est souvent limitée. Ces déchets doivent cependant être éliminés pour des raisons sanitaires (développement des ravageurs), environnementales (odeur,...) ou simplement techniques (fort volume). Dans nombre de cas la valorisation à des fins énergétiques de ces déchets pourraient être envisagée sans que les parties concernées, groupement de paysans, industriels, pouvoirs publics aient conscience de l'importance de cette ressource renouvelable.

Parmi les différentes solutions permettant de valoriser la biomasse, la combustion directe et la gazéification sont, à l'heure actuelle, les procédés les plus éprouvés sur le plan technique et les plus prometteurs au plan économique. La production de l'électricité se fait à travers de moteurs, de turbines à vapeur ou à gaz. Plusieurs centaines de centrales à biomasse fonctionnent déjà dans les pays développés et certains pays en développement notamment en Asie et en Amérique du sud. Les applications de ces technologies, pourtant matures, sont encore rares en Afrique. L'Afrique gagnerait à coup sûr à faire le point de ces expériences dans ce domaine et à amorcer des stratégies de transfert des technologies sur le continent.

Qu'en est-il des potentialités réelles dans chaque contexte. Quels ont été les résultats observés à ce jour pour les initiatives de production ligneuses à vocation énergétique? Quels sont réellement les impacts environnementaux et sociaux générés par l'exploitation à des fins énergétiques de la biomasse? Quelles sont les solution techniques mûre et transférable ? Quelles opportunités mais aussi contraintes existent à l'utilisation de ces produits à des fins énergétiques ?...autant de préoccupations qui conditionnent toute stratégie ou option politique en faveur d'une contribution mieux ajustée des ressources bioénergétiques. Neuf (9) présentations ont été faites à cette table ronde 2.

PRESENTATIONS 1,2

L'agroforesterie et la sylviculture constituent une filière de développement économique porteuse pour l'Afrique: des expériences significatives ont donné des résultats exploitables :

la réalisation du besoin suscite la vocation de sylviculteur dans le cas des jeunes charbonniers formés et mis à leur compte.

- les évaluations économiques manquent et doivent être privilégiées.
- la politique du bois énergie s'appuie sur des

techniques sensibles, il faut être prudent.

- la mobilisation de la ressource bois connaît des fortunes diverses avec des cas de succès au Cameroun et en Asie du Sud Est le potentiel d'accroissement de la ressource est chiffrable avec d'excellentes perspectives même dans des zones soupçonnées menacées: l'agro- foresterie et la sylviculture en pays propices du Sud ont un bel avenir.

- la diversification de la valorisation de la ressource est à encourager (poteaux et bois de service-bois d'œuvre-bois énergie) la mise en concurrence des énergies doit être équilibrée au plan des subventions, en intégrant la dimension environnementale et le développement propre et durable en Afrique.

PRESENTATION 3

La problématique de la biomasse est du même type au Nord et au sud au plan global mais d'importantes différences existent dans le détail.

La maturité des technologies de conversion de la biomasse énergie est reconnue: parmi elles, la gazéification semble la plus porteuse.

- le rôle des politiques énergétiques est essentiel, et la responsabilité des personnes qui en sont en charge est engagée.

- l'Afrique doit maîtriser les technologies dès l'abord.

- les pays africains doivent mettre en place des politiques volontaristes de valorisation énergétique de la biomasse.

- la revue des technologies disponibles et matures dégage l'intérêt pour l'industrie de la filière co-génération.

- les technologies matures, éprouvées, doivent être utilisées.

- les PME/PMI sont le socle du développement de ces technologies.

- un très important déficit d'information existe par rapport à ces technologies

- il faut procéder à l'identification des besoins, des ressources en résidus, des capacités locales, des schémas financiers et constituer des bases de données vivantes.

- il faut assurer la mise en place de systèmes d'information, de partenariats d'affaires, de promotion des technologies.

Les résultats de nombreuses années de travaux sont disponibles mais la recherche développement en matière de valorisation du bois est à privilégier en intégrant la problématique environnementale.

Les technologies matures doivent encore être adaptées au terrain et la transposition des expériences doit être effectuée avec précaution.

- des technologies considérées comme obsolètes doivent pouvoir être réhabilitées, p.ex. Les machines à vapeur.

- la formation des hommes reste le moteur de la filière bois énergie.

La participation des industriels et des partenaires de la société civile à l'effort sur la valorisation de la filière doit être encouragée par les politiques.

PRESENTATION 4

Le transfert de technologies propres et éprouvées est possible sous certaines conditions. Le programme COGEN en est un exemple significatif.

PRESENTATION 5

La gazéification est le bon choix pour valoriser la biomasse.

Le système GAZ-EL est basé sur une association entre plantations de souches d'arbres à courte

rotation et un gazogène couplé avec un générateur électrique est proposé, attention aux problèmes spécifiques du Sud => c'est là qu'il faut développer le procédé pour une meilleure appropriation.

L'Université Catholique de Louvain la Neuve (UCL) souhaite développer avec les milieux appropriés en Afrique un partenariat pour développer le système sur place.

Attention aux aspects financiers pour un projet de développement à dé-localiser du Nord au Sud (mécanismes nouveaux nécessaires).

PRESENTATION 6

Le système de cogénération de la société Wyncke est présente avec ces nombreuses qualités, qui répondent aux préoccupations des industriels

- la solution totale proposée donne 80 % de rendement

- des implantations existent en Europe et en Asie

PRESENTATION 7

Une technologie de carbonisation en continu avec purification des fumées est proposée par la société CML, pour des capacités de 1 à plusieurs kTonnes de charbon par an.

- 8 unités fonctionnent aujourd'hui en Europe.

Les spécificités du procédé appellent des réponses institutionnelles au niveau des procédures d'appréciation et d'évaluation environnementale.

- le financement de ce procédé relève de l'aide internationale.

PRESENTATION 8

La société US BMSI est spécialisée depuis 45 ans dans la fabrication de briquettes à partir de déchets biomassiques divers, par une technologie de haute pression (8 tonnes par pouce carré): deux modèles existent avec respectivement 2 et 5,5 tonnes par heure de capacité.

Les briquettes ainsi produites ont une valeur calorifique de 8 à 11 kBTU par livre et susceptible de satisfaire des besoins en chaleur et en électricité.

L'objectif de la société détentrice du procédé est de développer un partenariat en Afrique en contribuant à résoudre deux problèmes majeurs : les importations de pétrole et dérivés, les ordures ménagères une technologie de gazéification de ces briquettes est en cours de mise au point afin de fournir un combustible propre pour turbines à gaz, moteurs diesel bi-fuels, chaudières classiques à vapeur,

- les coûts d'achat et de maintenance sont les plus bas du marché mondial aujourd'hui.

PRESENTATION 9

La politique énergétique du Soudan a été présentée, fondée sur les réponses impératives à la problématique désertification / énergie

- la consommation d'énergie du pays est pour 87 % à base de biomasse.

La compaction industrielle des déchets de canne à sucre, de coton, d'arachide est répandue et le Gouvernement a pris des mesures autoritaires pour leur valorisation

- le ratio de reforestation / déforestation est comme partout en Afrique désastreux (40 000 ha contre 540 000 ha par an).

Les options de développement des énergies renouvelables fondent la politique énergétique globale du pays, avec un accent particulier sur les résidus de biomasse agro-industrielle.

2 LES PROBLEMES SAILLANTS ET CONCLUSION

- le transfert de technologies
- le manque d'information sur les technologies disponibles
- la maturité de certaines technologies
- le futur de l'agroforesterie et de la sylviculture en Afrique
- les politiques de développement de la biomasse énergie.

RESSOURCES FORESTIERES ET GESTION PRODUCTIVE DE LA BIOMASSE POUR LA SATISFACTION DES BESOINS ENERGETIQUES

Pity BALLE

Chargé de Recherches
Vice-Président - Côte d'Ivoire Ecologie
15 BP 950 Abidjan - COTE D'IVOIRE
Tél : 225.21.14.75 - Fax : 225.21.14.75 - cieco@africaonline.co.ci

1 LES RESSOURCES FORESTIERES

A quelques exceptions près¹ dans les PED, les combustibles ligneux consommés sont prélevés sur les formations ligneuses naturelles et les jachères. Ils correspondent pour l'essentiel aux sous-produits de leur défrichement pour la mise en œuvre de terres agricoles dans le cadre d'une pratique généralisée de l'agriculture itinéraire et de périmètres agro-industriels et résultent d'une exploitation de type cueillette. Les plantations sont en effet récentes, de superficies encore très limitées et mal intégrées aux circuits de production/commercialisation/consommation, actuels (filière bois énergie). Cette situation n'évolue que progressivement. A court et moyen terme l'offre en bois-énergie devrait rester essentiellement fonction de la production ligneuse effectivement mobilisable à partir des formations naturelles et des recrûs.

A plus long terme, les ressources artificielles accroîtront leur contribution. Elles résulteront de plantations forestières industrielles "en sec" ou "en irrigué" mais probablement aussi et surtout de la généralisation d'une sylviculture paysanne adaptée développant, notamment dans les zones les plus défavorisées, l'arbre dans les systèmes agraires, sous diverses formes :

- Association de l'arbre et des cultures : agroforesterie
- Création de bandes boisées pour un compartimentage du paysage
- Plantations d'Environnement, arbres d'ombrage ruraux ou urbains, arbres de case
- Plantations ligneuses rurales (communautaires, familiales ou privées).

Voyons par référence à la zone intertropicale africaine et aux facteurs climatiques de base, dont l'incidence sur la productivité des formations ligneuses apparaît prépondérante, comment se présentent de manière très schématique, les réalités. On distingue habituellement dans la région:

Le domaine sahélien

Soudano-sahélien, 600 à 900 mm de pluviométrie annuelle.

¹ Approvisionnement en bois de chauffe d'Addis Abeba, du pays Bamiléké (Cameroun) à partir de plantations d'Eucalyptus par exemple. Approvisionnement de plus en plus large de la sidérurgie brésilienne avec du charbon de bois produit à partir de plantations d'Eucalyptus spécifiques.

Sahélo-soudanien, 300 à 600 mm de pluviométrie annuelle.

Le domaine soudanien

Soudano-sahélien, 600 à 900 mm de pluviométrie annuelle.

Soudano-guinéen, 900 à 1200 mm de pluviométrie annuelle.

Le domaine préforestier et forestier

1200 mm de pluviométrie annuelle et plus.

1.1 Les formations ligneuses naturelles

1.1.1 Croissance et Productivité

Une synthèse provisoire de mesures réalisées depuis une trentaine d'années dans la région permet d'avancer les ordres de grandeur suivants :

- 0,05 à 0,1 m³ /ha/an pour les savanes et steppes buissonnantes (domaine sahélo-saharien : 150 à 300 mm de pluviométrie annuelle).

- 0,10 à 0,5 m³/ha/an pour les savanes et steppes arborées (domaine sahélo-sahélien, 600 à 900 mm de pluviométrie annuelle).

- 0,5 à 1.0 m³/ha/an pour les savanes boisées et forêts claires (domaine soudano-sahélien, 600 à 900 mm de pluviométrie annuelle).

- Probablement de l'ordre de 3 à 5 m³/ha/an pour les forêts denses humides (domaines préforestier et forestier > 1200 mm de pluviométrie annuelle).

Ces chiffres, bien entendu, concernent des formations non dégradées par une surexploitation ligneuse, une mise en valeur agricole, un pâturage intensif ou des feux annuels systématiques.

1.1.2 Possibilités d'aménagement des formations naturelles

Des méthodes d'aménagement simples apparaissent aujourd'hui susceptibles de permettre une amélioration de la productivité des formations naturelles tout en assurant leur pérennité :

- traitement en taillis simple, à révolution de 12 à 20 ans, pour les formations sahéliennes et soudaniennes

- exploitation partielle cadencée des forêts denses humides des domaines préforestiers et forestiers.

Il faut noter que par le passé les actions de développement ont presque totalement négligé les formations naturelles au profit d'opérations de plantations de type industriel.

En ce qui concerne les formations naturelles d'importants dispositifs ont été mis en place à partir de 1976 en Côte d'Ivoire puis en Centre Afrique et au Cameroun.

Le récent Projet Régional de capitalisation des connaissances sur les règles de cultures en forêts naturelles (FORAFRI) fait apparaître les résultats suivants :

- Gain de croissance notable dans les peuplements ayant subi un prélèvement de 40 % de la surface terrière ;
- Gain de régénération naturelle à condition que les prélèvements soient accompagnés d'opérations de délianage.

Malheureusement les actions de prélèvement se font par dévitalisation individuelle des arbres. Les bois morts sont difficilement récoltables.

Le constat d'un certain nombre d'échecs, techniques mais surtout économiques, en zone sahéenne notamment, a cependant récemment mis en évidence tout l'intérêt qu'offraient les formations naturelles et une bonne maîtrise de leur aménagement. Dans les domaines sahéens et soudaniens, l'aménagement des formations ligneuses naturelles apparaît aujourd'hui comme la base des actions forestières à mener en milieu rural pour la production de combustibles ligneux. Notons qu'il correspond à une action extensive, totalement intégrée au développement rural et que sa mise en œuvre et sa réussite restent à ce titre subordonnée à une acceptation et à une prise en charge par le monde paysan.

1.2 Les plantations forestières

1.2.1 Croissance et productivité des plantations pluviales

Elles sont conditionnées par les facteurs climatiques mais aussi par les conditions de sol (2), l'adaptation des espèces retenues, le degré d'amélioration du matériel végétal, le degré de maîtrise des techniques sylvicoles, enfin le ciblage des produits escomptés.

Dans des conditions optimums, rarement réunies dans les programmes actuels, on peut avancer en plantations industrielles les niveaux de productivité suivants :

- Isohyète 600 mm : productivité de 1,5 à 3,0 m³/ha/an.
- Isohyète 800 mm : productivité de 3,0 à 5,0 m³/ha/an.
- Isohyète 1.000 mm : productivité de 6,0 à 10,0 m³/ha/an.
- Isohyète 1.000 mm : productivité de 10,0 à 40,0 m³/ha/an.

Les productivités maximums doivent être considérées comme exceptionnelles (excellentes conditions de sol en particulier). Les productivités à retenir dans la majorité des cas sont plus voisines des minimums. Notons que l'influence côtière permet, à pluviométrie égale, des productions

largement supérieures.

En Côte d'Ivoire dans les zones de forêts denses humides, la productivité moyenne estimée dans les peuplements d'Acacia australiens avoisine en moyenne 30 m³/ha/an.

En ce qui concerne les plantations de bois d'œuvre, par exemple, le plus spectaculaire est celui du Teck. Aujourd'hui des mécanismes de production de charbon sont mis en œuvre en aval des éclaircies et des exploitations des plantations artificielles qui permettent d'optimiser les activités sylvicoles.

2 AUTRES MODES DE MOBILISATION DES RESSOURCES LIGNEUSES

Que ce soit en zone sahéenne ou en zone forestière, la culture itinérante sur brûlis, en l'absence d'itinéraires techniques de stabilisation des systèmes agricoles, est devenue très nocive pour le milieu. Les raccourcissements des temps de jachères sont compliqués, en forêts denses humides, par l'envahissement du *Chromolaena odorata*.

Les déficits qui en découlent sont nombreux :

- Déficit en terres cultivables pour les cultures pérennes (café, cacao) ;
- Déficit en bois d'utilisation courante : bois de service et bois énergie. Ce dernier aspect est particulièrement accentué dans la zone périurbaine d'Abidjan.

Les tentatives de gestion intégrée du terroir mettant l'accent sur l'introduction de l'arbre dans les systèmes agricoles permettraient de répondre à ces préoccupations. Il s'agit de la mobilisation des ressources forestières à très grand écartement (3 x 3 m à 5 m x 5 m) permettant aussi de produire des cultures vivrières.

Les légumineuses ligneuses couramment utilisées sont l'*Acacia mangium*, l'*Acacia auriculiformis*, l'*Albizia lebbek* et l'*Albizia guachepele*.

La deuxième mission d'évaluation (en rédaction) de 140 ha de plantations agroforestières mises en place par Côte d'Ivoire-Ecologie met en exergue les contraintes suivantes :

- La réticence des populations vis-à-vis du nouveau code foncier rural leur garantissant cependant la pleine propriété des arbres ;
- Le coût élevé de production des plants en pépinière qui rentre en compétition avec la production des cultures pérennes telles le cacao et le café ;
- Même quand les cultures sont associées aux arbres, le paysan crée ses propres champs de vivriers sur les sols plus riches afin d'être assuré d'un niveau de production correcte.

Les principaux résultats du Projet Régional sur les jachères en Afrique de l'Ouest mettent l'accent sur le concept de globalisation de la production des jachères avec en toile de fond, le développement des activités de conversion bioénergétique de la biomasse.

L'expérience de Côte d'Ivoire-Ecologie dans la formation de 100 charbonniers dans la zone périurbaine d'Abidjan est révélateur.

Chaque groupement formé (20 personnes par groupe) a reçu un four métallique. La pauvreté du statut ligneux dans cette zone amène ces jeunes charbonniers à créer leurs propres gisements de bois-énergie. Mais en l'absence d'un soutien gouvernemental les jeunes sont confrontés à des problèmes de disponibilités de l'espace agricole.

Si les charbonniers de la zone périurbaine n'ont pas de problèmes d'écoulement, il n'en est pas de même en ce qui concerne ceux de TABOU (Douké) et de GUIGLO (Gueya) où le marché est un véritable problème.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

En zone tropicale, les techniques d'aménagement des formations naturelles, malgré les gros efforts de ces dix dernières années, sont encore au stade d'élaboration de règles de gestion durable. Les dispositions prises récemment dans certains pays, de faire des exploitations forestières de véritables aménagistes, permettent de réaliser des travaux en vraie grandeur et d'espérer la mise en œuvre rapide de règles de sylviculture fiables.

En ce qui concerne la ligniculture intensive, le facteur limitant reste malgré tout le coût élevé de l'établissement des peuplements forestiers en l'absence d'un mécanisme d'écoulement fluide des produits.

Les technologies agroforestières méritent une attention particulière, bien entendu avec les mêmes problèmes que les plantations pures.

Au moment où l'Environnement rural connaît une dégradation de plus en plus poussée, des actions de recherche-développement doivent être entreprises portant sur :

- La réduction des coûts de production de plants et d'établissement des peuplements en mettant l'accent sur les semis-directs ;
- Les peuplements en mélange d'Acacias australiens (bons régénérateurs de sols mais à qualité de charbon très peu prisé) et d'Eucalyptus sp. (dont le charbon est d'excellente qualité) ;
- L'extension des études socio-économiques à tous les dispositifs d'aménagement du terroir intégrant l'arbre (bandes boisées linéaires) afin de disposer de données fiables ;
- La mise en œuvre d'études sérieuses sur l'analyse économique de la filière bois-énergie ;
- L'évaluation plus poussée, plus fine des systèmes de gestion forestière (sylviculture naturelle et artificielle) en terme de gains réels ;
- La poursuite des activités de recherche-développement sur les technologies de conversion thermo-chimique de la biomasse. Cet axe devrait être soutenu par des actions de diffusion et de vulgarisation de prototypes à des groupements déjà constitués et sensibilisés aux technologies bio-énergétiques.

REFERENCES

1. **DUPY, B., 1998** Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale africaine- série FORAFRI Doc 4328 p.
2. **BALLE, P., 1996** Problématique de la production globale des jachères en zones forestières humides cas d'Oumé. Atelier "Jachère lieu de production" Bobodioulasso Oct. 1996. Orstom/Dakar.
3. **FLORET, C., 1996** Jachère, lieu de production globale Bobodioulasso 1996
4. **VERGNET, L., 1995** Ressources forestières et mobilisation de la ressource Session de formation sur la valorisation énergétique de la biomasse lignocellulosique. Pôle Régional de Conversion Thermo-chimique d'Abidjan Nov. 1995.
5. **DURRIEU, L. et AL.,** Croissance et productivité en forêt dense humide. Bilan des expérimentations dans le dispositif de Mopri Côte d'Ivoire série FORAFRI (1978).
6. **DEVIENAU, J.L., 1975** Etude quantitative des forêts galeries de Lamto (moyenne Côte d'Ivoire). Thèse 3ème cycle Paris, France, 190p

MOBILISATION DE LA RESSOURCE EN BIOMASSE FORESTIERE ET RESIDUAIRE AGRICOLE ET AGRO-INDUSTRIELLE

Louis François VERGNET

Consultant

9 Cité de l'Ameublement - 75011 Paris - FRANCE

Tél : 33.1.43.73.39.17 - Fax : 33.1.43.70.39.17 - tengrev@aol.com

INTRODUCTION

Le bois et la biomasse correspondent à une source d'énergie : nationale, renouvelable, décentralisée, souvent résiduaire, leur mobilisation adaptée recouvre des enjeux importants tels que :

- valorisation résidus (environnement),
- développement rural (sédentarisation des populations agricoles),
- développement industriel,
- économie de devises (au profit de l'industrialisation).
- contribution actuelle et à venir bien supérieure à celle des autres énergies renouvelables, que l'on considère l'hydroélectrique aux investissements souvent prohibitifs et aux fortes contraintes environnementales ou le solaire, l'éolien et le géothermique aux prestations "confidentielles" et encore trop peu compétitifs.

La présente communication a pour objectif de rappeler les éléments qui conditionnent les perspectives de mobilisation réelle des différentes sources de biomasse susceptibles d'une contribution énergétique et d'ouvrir pour l'avenir quelques enjeux d'envergure pour la biomasse dans l'approvisionnement énergétique des pays africains et plus largement des pays en développement.

Nous traiterons séparément de la mobilisation des ressources forestières et de leur contribution perspective, par référence à la problématique Camerounaise et de celles des sous produits de l'agriculture, des agro-industries et des industries du bois par référence aux pays de l'Assena et aux pays du Conseil de l'Entente.

Nous tenterons au fil de l'exposé de tirer des exemples retenus, quelques recommandations pour s'orienter vers une contribution énergétique de la biomasse mieux en rapport avec les potentialités offertes par certaines zones.

1 MOBILISATION DE LA RESSOURCE EN BIOMASSE FORESTIERE

1.1 Considérations préalables

Le bois tient une place importante dans la satisfaction des besoins énergétique mondiaux mais surtout tropicaux et fait à ce titre l'objet d'une très large mobilisation.

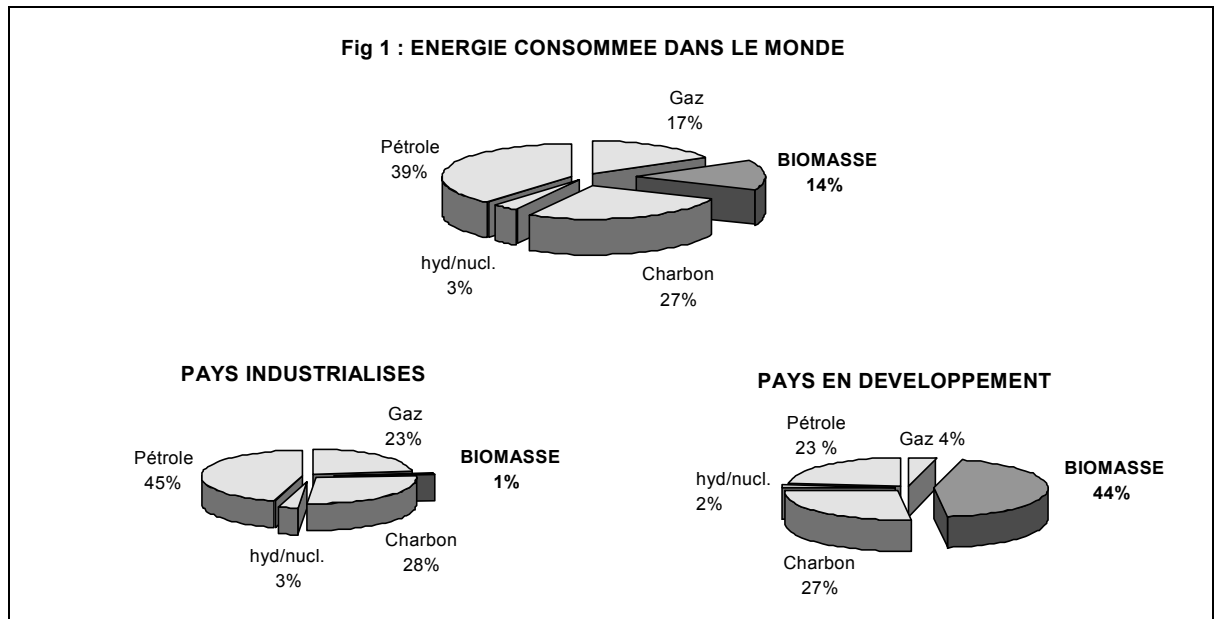
La figure ci-dessous présente la part de la biomasse dans l'approvisionnement énergétique mondial, des pays du nord et des pays du sud (Source : CIRAD - Forêt d'après Les Nations Unies, "Comité pour la mise en valeur et l'utilisation de sources d'énergie nouvelles et renouvelables")

La biomasse satisfait 14% des besoins énergétique mondiaux et quelque 44% de ceux des pays en développement. Elle contribue de manière compétitive à la fourniture d'énergie de la plupart des secteurs d'activité. Combustible privilégié des

secteurs domestiques et artisanal des pays en développement, elle est aussi très largement produite

et mobilisée au profit du secteur industriel (auto suffisance en chaleur et force motrice des agro-industries et des industries du bois les plus performantes, réducteur et source de chaleur en sidérurgie et électrometallurgie, alimentation énergétique de cimenteries, production d'électricité réseau ...)

Des prestations qui montrent à l'évidence que la mobilisation énergétique de la biomasse est maîtrisée par un grand nombre d'opérateurs tant individuels, qu'artisans et industriels (plusieurs centaines de millions de tonnes récoltées, conditionnées et transformées en chaleur, force motrice et électricité chaque année) et cela dans les contextes techniques, économiques et sociaux les plus divers.



Les voies de mobilisation de la biomasse, comme les compétences nécessaires à leur mise en œuvre existent donc assez largement et cela avec un niveau de maturité industriel incontestable. Si elles font défaut dans certains contextes, elles sont susceptibles d'y être transférées pour autant que les conditions économiques motivantes indispensables soient réunies.

Notons cependant que si la mobilisation de la biomasse relève du maîtrisé elle n'en constitue pas moins une activité délicate, spécifique à chaque type de produit mobilisable et à chaque contexte particulier (très forte diversité et hétérogénéité des produits utilisables).

Notons aussi que, si l'on sait satisfaire à partir de la biomasse les besoins énergétiques les plus pointus, les technologies correspondantes sont d'autant plus exigeantes en terme de caractéristiques du combustible (homogénéité, taille, teneur en humidité, matières minérales, produits corrosifs ...) quelles sont plus performantes mais aussi que, dans leur grande majorité les technologies de production d'énergie à partir de la biomasse fonctionnent d'autant mieux que leur approvisionnement est plus homogène et que leur conception et leurs caractéristiques sont plus spécifiques de la biomasse utilisée.

1.2 Mobilisation des ressources forestières

1.2.1 Préambule

Les perspectives de mobilisation de la biomasse forestière pour la production d'énergie vont d'abord dépendre de sa disponibilité et des conséquences des prélèvements effectués sur les équilibres écologiques locaux.

A ce titre, s'il faut prendre en considération les limites imposées par la situation des zones arides, il semble

nécessaire de se garder de généraliser et de dramatiser.

Une situation avenir de crise ?

- Oui dans les zones arides et plus densément peuplées ;

- Pas forcément ailleurs

Les pays africains ne sont en effet pas confrontés à une problématique unique, celle de la "crise du bois de feu" mais à une infinité de situations particulières avec, aux extrémités de l'éventail, des contextes radicalement différents, voire opposés:

Les zones arides (type sahel)

Dans ces zones la pression sur les formations ligneuses atteint souvent des valeurs critiques qui compromettent le caractère renouvelable de la ressource - (exploitation minière). Dans ce contexte, il existe une situation de crise dont les conséquences économiques, sociologiques et écologiques commencent à être correctement analysées et ressenties par la communauté internationale et les gouvernements mais encore insuffisamment des populations.

Notons cependant qu'il est aujourd'hui généralement reconnu que les formations forestières régressent presque exclusivement sous la pression de la demande en terres agricoles (défrichements agricoles sur lesquels sont prélevés le bois de feu et le bois à carboniser à usage domestique et artisanal) et qu'à ce titre tant que les défrichements perdurent il serait regrettable de ne pas en utiliser au mieux les produits. L'exploitation et, a fortiori, la destruction de formations forestières pour la seule production de bois reste encore marginale même si elle tend à se développer dans certaines zones, notamment en zone périurbaine.

Les zones humides et forestières

Dans ces zones, les énormes ressources naturelles en bois sont peu mobilisées et souvent détruites en pure perte alors qu'elles pourraient contribuer puissamment à l'essor économique régional et probablement à la solution de la crise dans les zones

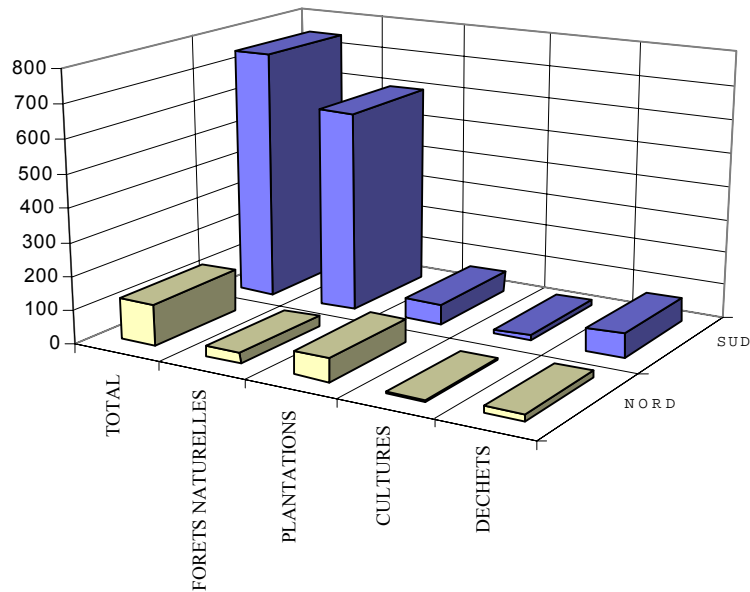


Figure 2 : Origine des produits bio-énergétiques utilisés dans le monde

La mise en place de plantations artificielles ou la valorisation de celles existantes quoique se heurtant

encore à des facteurs d'ordre économique de rentabilité des projets correspond par ailleurs à une alternative et un complément notable.

Dans les zones humides, le tandem "biomasse-énergie" prend tout son sens. C'est dans ces zones que la bioénergie devrait conforter sa compétitivité économique et se voir beaucoup plus largement mobilisée pour la production d'énergie.

La figure 2 compare les origines des produits bioénergétiques entre elles ainsi que pour les pays du Nord et du Sud :

La contribution des forêts naturelles résulte presque exclusivement de la mobilisation des bois abandonnés sur défrichements agricoles.

1.2.2 Le Cameroun, pays de contraste, illustre bien la diversité des situations

La combinaison de conditions climatiques, de relief, de qualité des sols, de densité de population, les plus variées se traduit par une gamme de situations allant du "sur excédentaire" à la "pré désertification" avec cependant trois cas caractéristiques principaux - **au Sud - Sud-Est**, une situation d'abondance résultant d'une ressource forestière naturelle pléthorique associée à une faible densité de population, - **au Centre Ouest** (provinces les plus peuplées en zone forestière et pré-forestière) un équilibre résultant déjà de l'exploitation des potentialités artificielles à l'initiative des populations elles-mêmes. (Pays BAMILEKE, par exemple),

- **à l'extrême Nord**, une zone sahélienne très peuplée, déjà confrontée à la problématique connue sous l'appellation "crise du bois de feu".

Aujourd'hui :

Les formations ligneuses défrichées pour l'agriculture fournissent près de 70 % de l'énergie primaire consommée par le pays : quelques 6 millions de tonnes de bois utilisées, en l'état ou après transformation en charbon de bois, par les secteurs domestique et artisanal.

200.000 ha de formations ligneuses naturelles sont défrichés chaque année, ce qui représente de l'ordre de 25 millions de tonnes de bois mobilisables et quelques 8 millions de tep/an.

Dès demain :

Les sous-produits des industries de transformation du bois pourraient garantir la couverture des besoins en chaleur et en force motrice à poste fixe du secteur (25 à 30 MW/an électriques).

Ils pourraient aussi fournir une contribution notable à l'approvisionnement en électricité et/ou en bois de feu des agglomérations voisines des industries.

Les produits de défrichement pourraient contribuer bien au delà des 6 millions de tonnes actuelles à la satisfaction des besoins énergétiques nationaux.

A moyen terme :

300.000 ha de plantations d'espèces à croissance rapide créés sur les savanes du Centre Est seraient susceptibles de soutenir une production Pérenne de

bois énergie représentant 1 million de TEP/an.

A plus long terme :

1,3 million d'ha de forêt dense, aménagés par exploitation et correction du couvert tous les 25 à 30 ans seraient aussi susceptible de soutenir indéfiniment une production de l'ordre de 1 million de TEP/an et de générer un complément de rentabilité de nature à susciter le respect des forêts considérées (emplois et revenus pour les populations péri forestières).

1.2.3 La mobilisabilité Economique du bois énergie quelques considérations

Qu'il s'agisse de produire du bois ou de mobiliser du bois à des fins énergétiques, la filière s'avère rentable et souvent compétitive. Les quelques exemples ci-après illustre cette réalité.

a) Compétitivité au niveau de la production du bois énergie

Quand on opte pour les zones appropriées, le bois énergie peut être produit à coût raisonnable.

Domaine climatique mm/an	Productivité m ³ /ha/an	Superficie nécessaire ha	Coût unitaire F	Investisse- ments MF
600 Sahélien	1,5 à 3	530 000	7 000	3 710
800 Soudano-sahélien	3 à 5	265 000	7 000	1 855
1 000 Soudano-guinéen	6 à 10	133 000	7 000	930
> 1 000 Pré forestier et Forestier	10 à 40	40 000	7 000	280
Plantations irriguées	15 à 20	53 000	40 000	2 120

Tableau 1 : Superficies et investissements nécessaires pour pérenniser une production annuelle de 100 000 tonnes de charbon

La TEP de bois produite artificiellement ou la tonne de carbone ainsi fixée revient donc 6 à 7 fois plus chère en zone sèche qu'en zone forestière. La elle représente alors une source d'énergie compétitive par rapport aux énergies conventionnelles.

b) Compétitivité du bois avec le GPL, son principal concurrent pour l'énergie domestique

Les conséquences de l'ajustement du prix de la calorie utile bois sur celui de la calorie utile GPL avec

l'hypothèse que la plus-value reviendrait au producteur apparaissent intéressantes. En effet, le prix de vente du bois de feu qui mettrait la calorie utile bois à prix égal avec celle résultant d'un GPL déjà assez largement soutenu, calculée à partir des pouvoirs caloriques et des rendements escomptables propres à chaque combustible (tableau ci après) montre que le bois pourrait être vendu au détail 35 F CFA/kg contre 20 à 25 FCFA à l'heure actuelle.

	GAZ	BOIS
Prix de 12 Kg (Cameroun)	2500 FCFA	
Prix pour 1 Kg	208 FCFA	35FCFA
PCI en Th	11	3.7
Rendement de transformation	50 %	25 %
Prix de la thermie utile	37.9 FCFA	37.9 FCFA

Tableau 2 : Prix de revient moyen de l'énergie utile Bois/Gaz

Si l'on maintient en valeur absolue la marge confortable actuelle à la distribution soit 15 FCFA/kg, 20 FCFA/kg reviendraient au producteur. Dans ces conditions, un hectare de plantation de bois énergie en zone humide rapporterait 200 à 300.000 F CFA/an.

Une prestation équivalente et bien souvent supérieure à celle des activités agricoles concurrentes avec plusieurs conséquences notables

- augmentation des revenus de l'agriculture périurbaine,
- augmentation de l'emploi en zone périurbaine et urbaine,
- économie des devises nécessaires à l'acquisition de GPL ou de Kérosène,
- économie de la subvention au GPL,
- maintien d'une couverture forestière :
 - . environnement urbain restauré,
 - . limitation de l'effet de serre .

Notons qu'une politique volontariste de taxation justifiée des produits de la forêt naturelle associée : au report sur les plantations de la subvention accordée au GPL et aux perspectives de raccourcir les circuits de commercialisation du fait de la proximité producteur /consommateurs pourraient permettre a une filière de ce type de trouver une compétitivité naturelle par rapport aux filières traditionnelles tout en maintenant les revenus mis en évidence ci dessus pour les agriculteurs.

c) Les échanges interrégionaux : l'interconnexion bois

Les formations ligneuses sont plus productrices dans les zones forestières humides que dans les zones sèches avec pour corollaire des coûts de production et des niveaux d'investissement de 6 à 7 fois inférieurs à la TEP ou à la tonne de carbone fixé.

Le Groupe international Bois Énergie (GBE) a prospecté l'idée de mobiliser dans les zones forestières les combustibles ligneux nécessaires aux zones arides. L'étude de faisabilité réalisée à cet effet concerne l'approvisionnement de Dakar en charbon de bois produit dans les zones côtières de la Côte d'Ivoire et du Congo (tableau 3)

	Côte d'Ivoire	Congo
Charbon de bois		
Filière traditionnelle (A)	84 000	
Plantations (B)	128 000	128 000
Manutention et transport (C)	58 000	66 000
Prix CIF Dakar		
Forêt naturelle (A + C)	142 000	
Plantations (B + C)	186 000	194 000

Tableau 3 : Prix de revient escomptables pour du charbon de bois importé en position CIF (en FCFA/tonne)

Au moment de l'étude le prix réel de vente au détail du charbon de bois résultant du défrichement de la Casamance ressortait à Dakar à 134 000 FCFA/t (enquête ENDA). Dans le cas le plus favorable (forêt naturelle) il aurait donc suffi de subventionner le charbon importé au niveau des coûts de distribution \approx 40 000 FCFA/tonne.

Pour une importation de l'ordre de 60 000 t/an (1/3 de la consommation de Dakar) la subvention ressortait à 2,4 milliards de FCFA/an, elle était à rapprocher :

- de la subvention accordée au 20 000 tonnes de gaz équivalentes soient \approx 4,6 milliards de FCFA/an,
- du coût de remplacement de la ressource détruite en Casamance (\approx 60 milliards de FCFA - 3 rotations de 5 ans) soient \approx 4 milliards de FCFA/an,

1.3 Les contraintes techniques de la mobilisation des ressources forestières et leur incidence sur les prix de revient

1.3.1 Quelques rappels

Les outils de valorisation énergétique de la biomasse fonctionnent d'autant mieux qu'ils sont approvisionnés avec un combustible :

- de taille adaptée (souvent faible),
- d'humidité constante et faible,
- de densité donnée,
- de composition constante.

Plus les techniques sont performantes, plus elles exigent un combustible de qualité constante, certaines d'entre elles ne disposant à cet égard d'aucune flexibilité.

Voyons comment les produits forestiers naturels et

artificiels permettent de satisfaire de tels critères et dans quelles conditions.

1.3.2 Les produits résultant des formations forestières naturelles

Le bois mobilisé pour la production d'énergie, aujourd'hui récupéré sur les défrichements agricoles et résultant demain d'un aménagement productif durable des formations forestières naturelles tropicales, confronte à l'énorme diversité des produits résultant de ces formations .

Les caractéristiques de produits résultant des formations forestières naturelles diffèrent beaucoup selon la zone écologique concernée : zones "sèches" et zones "humides".

a) Les zones "sèches"

En zones de savanes et de forêts sèches, la taille des produits est limitée, plus proche de celle constatée en plantations, mais la diversité des essences et de leurs caractéristiques apparait déjà conséquente. L'exemple suivant pris en zone de formation forestière naturelle Nord Soudanienne (savane arbustive arborée) permettra de préciser les réalités. On y recense :

1) quelques 4 400 tiges à l'hectare dont 500 présentent une circonférence à hauteur d'homme supérieure à 10 cm.

2) trois familles botaniques principales : combrétacés (29 à 38%), rubiacées (18 à 23 %) et mimosacées (18 à 20 %).

3) plus de 60 espèces en relevant cependant que 11 espèces "Principales" représentent environ 70 % de l'ensemble de la population et 80 % des tiges de circonférence > à 10 cm.

Circonférence (cm)	% des tiges	% des tiges circonférence > 10 cm
< 10	88,8	
10-20	6,6	58,80
20-30	2,15	19,21
30-40	0,9	7,92
40-50	0,65	5,67
50-60	0,35	3,00
60-70	0,17	1,51
70-80	0,11	0,96
> 80	0,32	2,87

Tableau 4 : Répartition par classe de circonférence

Au niveau quantitatif, on estime :

- que le stock de bois par ha est de 36 m³ (30 à 41 m³) ce qui correspond à quelques 115 stères/ha en moyenne,
- que les "petits bois" (circonférence < 10 cm) représentent 30 % environ du volume.

b) Les zones "humides"

En zone de forêt dense, on est confronté à une palette de taille des produits beaucoup plus large et une palette d'essence et donc de caractéristiques des bois encore élargie. Par exemple, 200 000 ha de formations forestières naturelles ivoiriennes, inventoriés dans les années 50, sont illustrés par les données quantitatives suivantes (tableau 5).

Classes de diamètre cm	Volume par ha (m ³)	Nombre de tiges par ha	Volume moyen par tige m ³
20 (15 - 25)	22,9	93,0	0,25
30 (15 - 25)	22,9	33,9	0,78
40 (35 - 45)	30,5	17,5	1,80
50 (45 - 55)	31,5	11,5	3,41
. 55 médian du volume fût sur pied			
60 (55 - 65)	27,1	7,0	3,85
70 (65 - 75)	21,8	4,2	5,23
80 (75 - 85)	19,3	2,9	6,78
90 (85 - 95)	12,7	1,5	8,47
100 (95 - 105)	10,4	1,0	10,34
110 (105 - 115)	7,9	0,6	12,42
> 115	26,3	1,3	20,08
TOTAL	245,5	174,4	

Tableau 5 : Caractéristiques des produits de la forêt naturelle tropicale
zone forestière (Cameroun)

Dans ces formations, on recense par ailleurs :

- Plus de 400 espèces différentes, 150 sur un même hectare.
- Des bois dont la densité anhydre varie de 0,3 à 1,2 avec une moyenne de 0,65 g/cm³.
- Des bois dont la teneur en silice varie de 0 à 5 %.
- Des bois dont l'humidité initiale varie de 30 à 70 % sur brut.

1.3.3 La récolte, le transport et le conditionnement des produits des formations forestières naturelles

Ils se trouvent limités par les caractéristiques des produits et notamment deux caractéristiques prépondérantes :

- la taille des arbres,
- la densité du bois.

Dans le contexte actuel de mobilisation par les filières dites traditionnelles les bois trop gros ne peuvent être débardés et transportés en l'état par l'intermédiaire des techniques manuelles employées. Le coût de leur fractionnement préalable (tronçonnage, éclatement) les rend moins compétitifs que les produits de diamètre manipulable. Tant que ces derniers existent en quantité suffisante, ils sont donc exploités en priorité. Les bois les plus lourds considérés comme meilleurs bois de feu sont aussi exploités en priorité. Deux options qui aboutissent à n'utiliser que le tiers ou le quart de la biomasse résiduaire sur les défrichements résultant de l'agriculture itinérante en

6 à 7 Millions de tonnes (Mt) de bois récoltés sur les 25 Mt abattus).

La mobilisation des gros bois et celle des bois légers par une carbonisation traditionnelle in situ par exemple, devrait être étudiée en priorité. Elle apparaît de nature à permettre d'accroître sensiblement la contribution énergétique de la biomasse à la satisfaction des besoins énergétiques des pays situés en zone forestière et pré forestière tropicale.

La mobilisation spécifique énergie des produits forestiers de forte taille par des techniques et matériels lourds d'exploitation de transport couramment pratiqués pour la mobilisation du bois d'œuvre et de conditionnement adaptés s'avère coûteuse. Les prix de revient du bois exploité et transporté sur une cinquantaine de kilomètres avoisinent alors ceux pratiqués en Europe pour les produits papetiers ou le bois de feu commercialisé en bûches, c'est-à-dire un prix égal ou supérieur à celui constaté au détail dans les villes africaines par exemple.

Ces réalités seront illustrées plus avant par rapport notamment à la situation propre aux formations artificielles.

1.3.4 Les produits de plantations forestières

Les produits de plantation à usage énergétique résultent de deux sources :

- les sous-produits de plantations pour la production de bois d'œuvre, de bois de service ou de bois à pâte,
- les produits de plantations spécifiques énergie.

a) Les sous-produits des plantations à objectif principal non énergétique

Ils correspondent essentiellement aux produits d'éclaircie des plantations bois d'œuvre et aux rémanents de l'exploitation de ces dernières et des plantations bois de service et bois à pâte.

Tous ces produits sont placés dans des conditions très voisines de leurs homologues en régions tempérées. Ils sont aisément mobilisables ; leur coût de mobilisation s'avère en général raisonnable (conversion manuelle, investissements modérés envisageables).

Les seuls écueils à la mobilisation énergétique des produits de ces forêts résultent de la distance des plantations par rapport au centre de consommation et pour certains d'entre eux de leurs caractéristiques propres (bois juvéniles tendres et légers par exemple).

b) Les produits des plantations énergétiques

Les plantations de bois énergie sont parfaitement maîtrisées. Un matériel végétal amélioré largement disponible garantit de bonnes performances.

Ce type de plantations se développe rapidement et avec succès dans certains contextes à l'initiative du secteur privé (plantations industrielles pour l'alimentation de la sidérurgie brésilienne, plantations paysannes autour de Kigali au Rwanda ou en pays Bamiléké au Cameroun).

Les initiatives gouvernementales passent moins bien au plan économique, souvent parce que placées dans des contextes moins favorables.

L'exploitation des plantations énergétiques relève de toutes les techniques, industrialisées ou non, développées dans les pays tempérés. La taille des produits favorise les pratiques manuelles économiquement favorables en PED.

c) Récolte des rémanents

Les techniques habituelles de récolte laissent éventuellement sur coupe des houppiers, des branchages et des souches. Les quantités récupérables sont fonction des peuplements exploités.

Récolte des houppiers et branchages : Le handicap majeur des houppiers et branchages est leur grand foisonnement qui résulte de leur forme irrégulière (75 à 150 kg/m³). Dès lors, compte tenu de la relativement faible quantité de matière sèche récoltable à l'hectare, il faut des conditions particulières pour que l'opération soit rentable : nécessité de nettoyer le parterre de la coupe, grande exploitation, etc.

Récolte des souches : Dans la plupart des cas, la récolte des souches n'est envisagée que pour permettre des opérations ultérieures : culture, reboisement mécanisé, etc. La matière ligneuse des souches peut être une source d'énergie. Les quantités récoltées à l'hectare et les difficultés d'extraction sont très étroitement liées à l'essence, au diamètre des souches et au type d'enracinement.

Compte tenu du grand foisonnement des résidus de l'exploitation, la mise en plaquettes correspond souvent à la seule solution pour homogénéiser la granulométrie, favoriser la manutention, réduire le coût du transfert et permettre un stockage adapté.

Les produits qui en résultent présentent des caractéristiques qui en font des combustibles facilement manutentionnables et bien adaptés tant aux utilisations domestiques et artisanales qu'industrielles.

1.4 Quelques éléments de comparaison des prix de revient

Le tableau 6 compare en % (valeur de base : tonne de matière sèche en provenance de la forêt naturelle ivoirienne) les prix de revient escomptables pour l'alimentation industrielle d'unités de forte capacité (sidérurgie, unité de production de méthanol, cimenterie...).

PROVENANCE DES BOIS	Prix de revient du bois sur pied	Coût de la récolte et de transport à l'usine ou au parc	Coût de la tonne de matière sèche entrée usine sur camion
Forêt naturelle hétérogène :			
. Cas type - forêt facile	PM	100	100
. Cas type - forêt difficile	PM	116	116
Plantations sur savane:			
. Cas type -savane côtière	18	75	93
. Cas type - savane intérieure	31	77	108
Après exploitation de la forêt naturelle			
. Cas type - forêt difficile	43	92	135
. Cas type - forêt facile	31	75	106

Tableau 6 : Approvisionnement en bois tropicaux des industries utilisant la biomasse forestière à des fins énergétiques (L. VERGNET et al, CIRAD-Forêt 1983).

On remarquera que les produits plantés ne sont pas plus coûteux que les produits résultant de la forêt naturelle cela malgré la prise en compte de leur coût sur pied alors que les produits sur pied naturels sont considérés comme gratuits.

Par ailleurs, la comparaison concerne des grumes sur camion donc des produits non conditionnés. Le conditionnement des produits de plantation plus facile est beaucoup moins coûteux leur donne un avantage que confirme définitivement leurs caractéristiques (homogénéité, régularité...). Notons enfin qu'une exploitation manuelle apparaît de nature à améliorer encore la compétitivité des produits artificiels auxquels elle est plus facilement applicable.

2 LA MOBILISATION DES RESIDUS AGRO-INDUSTRIELS ET AGRICOLES

2.1 Considérations générales

Dans leur grande majorité, les secteurs agro-industriels et les industries du bois sont susceptibles

d'autosatisfaire leurs besoins énergétiques à partir de leurs déchets. Pour s'en convaincre, il suffit de constater que depuis toujours les agro-industries les plus performantes utilisent avec succès leurs déchets pour assurer leur totale autonomie énergétique, souvent celles des villages qui leur sont associés et parfois même une commercialisation d'énergie.

La figure 3 qui compare la demande en énergie de l'industrie des pays de l'Aséan au contenu énergétique de l'ensemble des déchets des principales agro-industries (riz, sucre, noix de coco, palmier à huile et bois) de ces mêmes pays met en évidence un taux de couverture remarquable: le potentiel énergétique des déchets couvre la plupart du temps la demande de l'ensemble du secteur industriel.

Notons par ailleurs que la moitié de ce potentiel est d'ores et déjà exploité au profit des agro-industries correspondantes. Une situation très voisine de celle que connaissait la Côte d'Ivoire au moment de la préparation de son dernier Plan Directeur Energie.

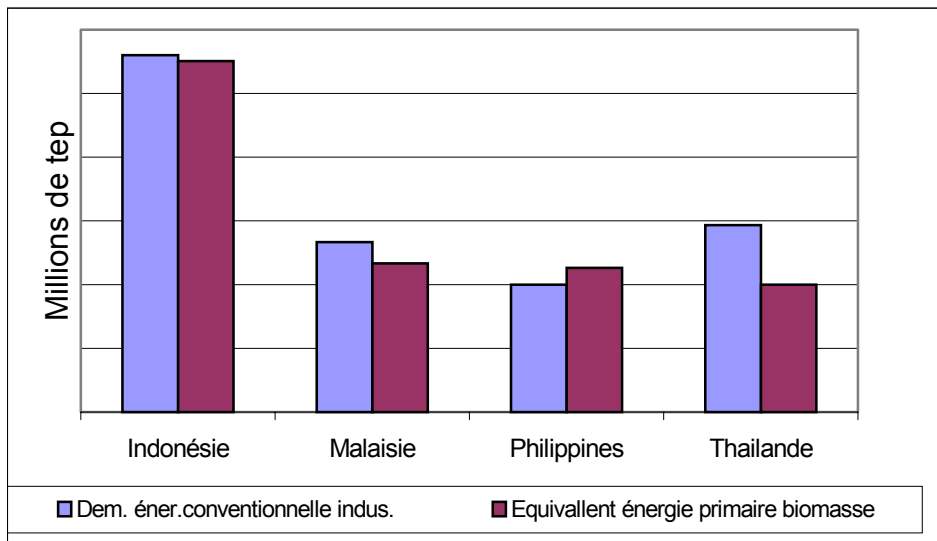


Figure 3 : Comparaison entre le contenu énergétique de l'état agroindustriel et la demande en énergie primaire du secteur industriel des pays de l'ASEAN

2.2 Les ressources dans les pays du Conseil de l'Entente

Les ressources des pays africains, beaucoup plus modestes, ne sont cependant pas négligeables comme le montre l'évaluation réalisée sur les pays du Conseil de l'Entente et présentées ci dessous.

Coques de café :

- Production 300 000 tonnes de café vert / an (Côte d'Ivoire),
- 250 000 tonnes de coques / an avec une teneur en humidité de 8 à 14 % sur brut,

- Brûlées en majeure partie afin d'utiliser comme engrais leurs cendres riches en potasse,

87 500 tep

Sous -produits du palmier à huile

Production 750 000 tonnes de régimes / an (Cote d'ivoire)

- Rafles humides 180 000 tonnes représentant encore 85 000 tonnes après séchage à 15 % humidité sur brut,

30 000 tep

- Fibres, coques et débris 160 000 tonnes à 40% d'humidité sur brut ou 114 000 tonnes après séchage à 15 %,

45 000 tep

Coques d'arachide

- Production 279 000 tonnes de d'arachide / an (Bénin : 69 kt, Burkina : 53 kt, Côte d'Ivoire : 51 kt, Niger : 88 kt, Togo : 18 kt),

- 70 000 tonnes de coques / an

27 000 tep

Tiges de maïs

- Production 1 237 000 tonnes / an (Bénin : 434 kt, Burkina : 105 kt, Cote d'Ivoire : 467,5 kt, Niger : pm, Togo : 230,5 kt) avec une teneur en humidité de 15 % sur brut (75 % au moment de la récolte),
- Brûlées en majeure partie afin d'utiliser comme engrais leurs cendres ,

433 000 tep

Tiges de mil

- Production 3 619 000 tonnes / an (Bénin : 88,5 kt, Burkina : 1 367,5 kt, Côte d'Ivoire : 119 kt, Niger : 1845,5, Togo : 198,5 kt) avec une teneur en humidité de 15 % sur brut (75 % au moment de la récolte),
- Brûlées en majeure partie afin d'utiliser comme engrais leurs cendres ,

1 266 000 tep

Balle de riz

- Production 534 000 tonnes de grain / an (Côte d'Ivoire),
- 110 000 tonnes de balle / an avec une teneur en humidité de 10 % sur brut,
- Brûlées en majeure partie,

32 000 tep

Coques et cabosses de cacao :

- Production 415 000 tonnes de cacao marchand / an (Côte d'ivoire),
- 580 000 tonnes de coques et cabosses / an avec une teneur en humidité sur brut de 10 % après séchage solaire,
- Abandonnées sur les lieux de décortilage,

174 000 tep

Herbes : gisement difficile à chiffrer

Soient au total quelques 2 Millions de tep principalement caractérisées par une très forte diffusion.

Notons cependant que le taux de mobilisation de cette ressource reste modeste et s'avère donc susceptible d'une forte augmentation .

Si les sous-produits agro-industriels sont largement mobilisables et si leur mobilisation relève d'une très large expérience et d'une parfaite maîtrise industrielle, il n'en va pas de même pour les sous produits de l'agriculture (tiges et pailles). Ces derniers, dispersés sur les cultures, à fort foisonnement, sont plus difficiles à récolter, transporter et conditionner avec un résultat économique satisfaisant. Une situation aggravée par le fait que ces produits jouent souvent un rôle déterminant dans la pérennisation de la fertilité des sols agricoles.

2.3 Secteurs agro-industriels : les équilibres demande énergétiques/disponibilité à partir des sous produits

Les schémas ci-après, préparés dans le cadre du programme de coopération COGEN entre l' Asean et la Communauté Européenne pour appuyer le transfert des technologies Européennes de production de chaleur et d'électricité à partir de la biomasse, illustrent pour les principales filières agro-industrielles les équilibres entre l'offre en énergie résultant des sous-produits et la demande énergétique du processus de transformation.

A titre d'exemple nous détaillerons le cas de la filière la plus diversifiée, celle des industries du bois.

2.4 Exemple détaillé : les produits connexes des industries du bois

2.4.1 Les sous-produits de l'exploitation forestière

Les houppiers des arbres exploités en forêt dense hétérogène sont peu accessibles (pistes rares, enchevêtrement dans la végétation environnante, branches fracassées...) et d'autant plus dispersés en forêt que celle-ci est pauvre (1 arbre/ha exploité en forêt africaine ou américaine, 1 à 5 en forêt asiatique). Leur récolte exigerait une organisation et des matériels spécifiques et se traduirait par des coûts prohibitifs par rapport à ceux des produits de même catégorie résultant des défrichements agricoles en périphérie des mêmes forêts, produits accessibles et exploitables en coût marginal par les agriculteurs.

2.4.2 Les produits résultant du conditionnement des grumes de la forêt au parc-usine

Ces produits, plus accessibles que les précédents, correspondent à 20 -25 % du volume sorti de la forêt et abandonné au cours des opérations relatives à la préparation des grumes commerciales au pied de l'arbre mais surtout sur parc de tronçonnage bord de route ou entrée unité de première transformation.

Les coursons résultant de ces opérations sont accessibles et éventuellement mobilisables en coût marginal par les équipements de manutention et de transport des grumes. Leur taille (diamètre 60 à plus de 100 cm, longueur variable de quelques dizaines de centimètres à quelques mètres) imposera cependant, avant commercialisation, un conditionnement coûteux : tronçonnage et surtout refente dont la mécanisation exige des équipements puissants et donc des installations surdimensionnées en capacité (niveau d'investissement et taux d'utilisation prohibitifs).

2.4.3 Les sous-produits de la transformation proprement dite

La transformation du bois génère une grande partie de résidus dont les caractéristiques physico-chimiques sont très diversifiées. On distingue généralement deux grands groupes d'industries : celles de la première transformation, qui travaillent à partir de grumes ou de bois ronds ; et celles de la seconde transformation qui utilisent des bois déjà usinés. L'intérêt de ce type de résidus est d'être concentré sur le site, ce qui facilite leur manutention et leur transport. Les inconvénients majeurs résident dans leur diversité et dans les quantités disponibles, ce qui dépend du volume de matière traitée et du genre d'activité.

Tous sont cependant mobilisables dans de bonnes conditions et l'énergie alors produite peut s'avérer très compétitive comme le met en évidence l'exemple présenté plus avant. Mis en œuvre ces déchets peuvent assurer une parfaite autosuffisance énergétique mais aussi être éliminés autrement que par incinération perdue avec une diminution importante des émissions polluantes en résultat d'une combustion plus parfaite et de la substitution d'énergies conventionnelles. Ajoutons à cela que la chaleur cogénérée permet aux industries correspondantes de proposer, à bon compte, des produits secs répondant par là à une demande de plus en plus impérieuse des marchés susceptible de freiner les exportations africaines de bois d'oeuvre ainsi qu'une augmentation du niveau de transformation locale finale.

2.4.4 Résidus de l'industrie de la première transformation

Les industries de première transformation assurent le débit des grumes ou l'usinage des bois ronds. Le tableau 6 donne quelques indications quant à la quantité des résidus générés.

Industries	Types de résidus	% du volume initial
Sciage	Ecorces Dosses et délignures Sciure	7 à 15 25 à 40 7 à 12
Déroulage - tranchage	Mise à dimensions grumes	4 à 5
Contreplaqué	Ecorces Noyaux de déroulage Résidus placages humides Résidus placages secs Poussières de ponçage, sciure	10 à 11 4 à 5 24 8 à 9 4 à 5
Pieux, tuteurs, poteaux	Ecorce, pointes mises à dimensions, ...	15 à 20

Tableau 6 : Quantité des résidus générés par les industries de première transformation (Carré et al., 1992)

Les chiffres repris par le tableau ci-dessus sont évidemment des ordres de grandeur. En effet, le pourcentage de résidus dépend très largement de la qualité des grumes utilisées et de l'équipement industriel de transformation mis en œuvre. Les résidus, selon leurs caractéristiques et l'environnement économique, peuvent être utilisés à diverses fins : industrie de la trituration, panneaux lattés ou énergie.

En région tropicale, ces considérations doivent être ajustées en fonction de certaines spécificités :

- Traitement sur place des grumes □ plus de déchets de second choix
- Pas de marché intérieur, pour les □ plus de déchets produits de second choix
- Grumes de grosse taille □ produits connexes parfois de grande (dosse > 100 kg) taille
- Jusqu'à 15 espèces différentes dans □ plus grande variabilité des produits une même scierie par exemple

Des considérations qui ont des conséquences importantes :

- un rapport : -----
 Potentiel énergétique des déchets
 Besoins en énergie
 plus favorable qu'en pays industrialisés
- des contraintes supérieures de mise en oeuvre (fractionnement...) à replacer dans un contexte économique spécifique (stabilité, disponibilité du capital et coût de l'argent) qui privilégie souvent le court terme.

2.4.5 Résidus des industries de seconde transformation

Les industries de seconde transformation sont celles qui utilisent des bois ayant déjà subi une première transformation. Le tableau 7 donne quelques indications quant aux rendements habituels de la seconde transformation.

Type de transformation	Rendement (%)	Type de résidus	
		Gros (%)	Fins (%)
Meubles massifs	50-60	73	27
Sièges	50-55	54	46
Menuiseries industrielles	80	38	62
Menuiseries	60	68	32
Palettes	80	-	-
Parquets	40 ¹	-	-

Tableau 7 : Résidus libérés lors de la seconde transformation (Rolin et Paré, 1980)

2.5 Un exemple probant de l'intérêt économique de l'utilisation énergétique des sous produits des industries du bois

Le cas présenté concerne un complexe industriel du bois au Sarawak qui a installé une unité de production d'électricité de 2,5 MW (filiale vapeur/turbine) avec pour objectif de s'auto-provisionner en régime normal ; les besoins en pointe restant prélevés sur le réseau.

Pour un investissement de 21,5 millions de francs, l'entreprise auto produira 11 000 à 15 500 MWh/an permettant une économie en produits pétroliers de l'ordre de 3 300 à 4 700 Tonnes/an.

Le projet est éminemment attractif au plan économique et financier comme le montre l'étude de sensibilité réalisée en fonction du facteur de charge.

¹ Rendement exprimé en % du volume de grumes (les autres industries fonctionnent sur un approvisionnement en avivés)

Facteur de charge	100 %	90 %	75 %
Valeur bois = 0			
TIR %	30	27	21
Retour (an)	4	4,4	5,2
Intégration coûts d'incinération			
TIR (%)			
Retour (an)	37 3,4	34 3,6	29 4,1

Prix de revient	Actualisation	
	F/MWh	
	12 %	10%
Facteur de charge 100%	0,20	0,19
90%	0,22	0,21
75%	0,27	0,21
Prix actuel réseau	0,36	

On remarquera que les performances économiques diminuent rapidement avec le taux de charge, cela traduit l'importance du niveau d'investissement lié aux solutions biomasse et conduit à recommander la mise en oeuvre de projets mixtes dans lesquels la solution bioénergétique satisfait (avec un facteur de charge élevé) la demande en base et où la demande en crête reste satisfaite par les énergies conventionnelles.

Cet exemple permet aussi de mieux comprendre les raisons de l'auto-provisionnement en énergie constaté dans de nombreuses agro-industries, même dans les régions où les énergies fossiles sont bon marché comme c'est le cas en Asie du Sud Est.

3 POUR L'AVENIR

Il apparaît aujourd'hui raisonnablement envisageable d'augmenter de manière significative la mobilisation de la biomasse pour la production d'énergie dans les nombreux contextes où elle s'avère disponible ou facilement générale. Les techniques et les matériels qui le permettent existent de longue date.

Chaque tep de bois ou de biomasse, aujourd'hui incinérée en pure perte pourrait, lorsqu'elle est apte à être mobilisée et valorisée, se substituer à une tep de produits fossiles et entraîner par ailleurs de substantielles économies de devises ainsi que la suppression des émissions polluantes correspondantes.

L'utilisation de la biomasse comme combustible semble plus à recommander qu'à freiner dans de nombreux pays de la ceinture intertropicale.

Il n'est plus que de développer les stratégies et les politiques qui permettraient à la valorisation énergétique de la biomasse de contribuer largement au développement de pays qui ont plus que jamais besoin de mobiliser toutes leurs ressources et d'en optimiser l'utilisation mais aussi à la limitation de l'accroissement de l'effet de serre et à un meilleur équilibre écologique local.

TECHNOLOGIES MATURES SUR LE CONTINENT AFRICAIN, DANS LES PAYS INDUSTRIALISES ET CONDITIONS DE TRANSFERT

Edgard BOSSOKEN

Directeur associé, chargé de l'énergie et de l'environnement
TECSIS - 34 bld des Italiens - 75009 Paris - FRANCE

Tél : 33.1.48.00.02.58 - Fax : 33.1.42.46.33.98 - ebossoken@tecsis.net et eboss@freesurf.fr

INTRODUCTION

La politique énergétique d'un pays est un élément indispensable pour assurer sa souveraineté et son développement. Elle doit répondre à des grandes priorités qui sont : la sécurité énergétique à long terme, la participation à la création de la richesse nationale en offrant aux entreprises une énergie compétitive et la construction d'un développement énergétique durable (viable, équitable et vivable) et respectueux de l'environnement.

L'objectif principal de cette politique est d'assurer une sécurité d'approvisionnement à long terme. Il implique de mettre en œuvre certaines actions telles que développer une production domestique d'énergie, promouvoir l'utilisation rationnelle de l'énergie et diversifier les approvisionnements extérieurs de combustibles par énergie et par origine géographique. Dans un contexte de marasme économique exacerbé par une concurrence farouche entre nations, cet objectif constitue un défi colossal pour les pays africains. Leurs économies, en majorité basées sur les revenus de l'agriculture ne peuvent se transformer efficacement dans une conjoncture de non compétitivité des coûts de l'énergie, leur dépendance énergétique étant forte. Leur besoin en capitaux pour assurer leur développement et leur approvisionnement en énergie ne cesse de croître.

Bien plus, l'emploi de combustibles fossiles en importante quantité pour la production d'électricité et les transports allié à une utilisation massive et inefficace de la biomasse contribuent fortement à l'émission des gaz à effet de serre. Dans les bilans énergétiques, la biomasse compte pour environ 15% de l'énergie utilisée dans le monde et pour près de 40% de celle utilisée dans les pays en développement. Cependant, une part importante de cette biomasse est utilisée de manière inefficace ; elle est abondamment exploitée pour la cuisson ou le chauffage dans les zones rurales des pays en développement et ce très souvent grâce à des techniques séculaires.

Aujourd'hui la biomasse peut être convertie en « vecteurs énergétiques » tels que gaz, carburants et électricité et ainsi contribuer à satisfaire les besoins en énergie de diverses populations. Ces vecteurs énergétiques sont produits dans de nombreuses circonstances à des coûts compétitifs. Pour les pays en développement, une utilisation efficace de la biomasse comme énergie constituerait une base de développement rural, de création d'emplois et de lutte contre l'exode rural de nombreuses populations. Bien plus, si la biomasse est exploitée de manière durable, sa production et son utilisation n'induisent aucun effet sur l'atmosphère.

Cet exposé composé de trois parties est centré sur la valorisation de la biomasse en électricité. Il présente un panorama des techniques matures de conversion utilisées dans le monde et leurs principales caractéristiques.

- La première partie présente l'état de l'art des technologies de conversion de la biomasse, leur degré de maturité et de diffusion dans les pays industrialisés.
- La deuxième partie est une analyse des politiques incitatives de promotion des technologies de conversion (prime à l'investissement, prime tarifaire, aides fiscales, etc.), leurs conséquences au niveau des mutations et de l'évolution des technologies et leur impact au niveau de la balance énergétique de quelques pays occidentaux.
- La troisième partie est une analyse des besoins en termes de transfert de technologies et des conditions susceptibles de créer un environnement propice à ce transfert en Afrique.

1 ETAT DE L'ART DES TECHNOLOGIES DE CONVERSION DE LA BIOMASSE¹

1.1 Analyse technique

La valorisation énergétique de la biomasse est assurée par trois types de transformations : la transformation chimique (production de

biocarburants essentiellement), la transformation biologique (méthanisation) et la transformation thermo-chimique à plus de 95%. Seule cette dernière sera analysée dans le cadre de cet exposé.

Les principales conversions thermo-chimiques de la biomasse et les produits obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Conversion thermochimique de la biomasse

Technologie de conversion		Produits primaires obtenus
La pyrolyse	Elle correspond à la décomposition thermique de la biomasse sous l'action de la chaleur et en l'absence de l'air.	- Charbon - Combustible liquide - Gaz énergétique
La gazéification	Elle correspond à la conversion de la biomasse en gaz énergétique par oxydation partielle et à température élevée.	- Gaz énergétique
La liquéfaction	Elle correspond à la décomposition de la biomasse à basse température et à haute pression en présence d'hydrogène ou de monoxyde de carbone.	- Combustible liquide
La combustion	Elle correspond à l'oxydation complète de la biomasse en présence de l'air.	- Chaleur

Ces procédés de conversion, conditionnés par les performances de la centrale (type de combustion et groupe turbo-alternateur) sont caractérisés par des rendements thermiques et électriques différents.

Rendements des différentes techniques de conversion

	Rendement thermique	Rendement électrique
La pyrolyse	44%	19%
La gazéification	76%	34%
La combustion	80%	22%

Il apparaît ainsi que la combustion directe de la biomasse est le procédé le mieux adapté pour la production de la chaleur, tandis que la gazéification directe est plus favorable à la production d'électricité.

1.1.1 La filière combustion

Cette filière utilise un cycle à vapeur de Rankine. Le combustible est brûlé dans une chaudière afin de produire de la vapeur sous pression qui est détendue dans une turbine et entraîne un alternateur, générant ainsi de l'électricité. Les rendements obtenus sont faibles (inférieur à 25%) du fait de la faiblesse du pouvoir calorifique inférieur des combustibles utilisés et de la température de combustion.

Les techniques d'utilisation de la filière combustion sont matures, fort répandues dans l'industrie et parfois très concurrentielles. Ce qui explique l'engouement des agro-industries et des industries forestières à les utiliser pour produire la chaleur et l'électricité dont elles ont besoin.

L'analyse de nombreux projets déjà réalisés montre que la combustion est la filière la plus appréciée par les industriels pour satisfaire leurs besoins à partir de la biomasse. Toutefois, pour qu'elle soit rentable, certaines conditions sont nécessaires : capacité d'investissement importante, implantation pérenne de l'unité industrielle à alimenter en énergie et prix élevés des combustibles concurrents (pétrole et gaz principalement). L'optimisation de la mise en œuvre technique de la combustion assure sa compétitivité même dans les pays où les produits pétroliers sont bon marché (cas des pays du Sud-Est asiatique tels que Malaisie et Indonésie).

Pour la production de l'électricité, les performances techniques de la filière combustion – turbine à vapeur sont tributaires de la taille de l'installation. Ainsi pour un système d'une puissance installée de 0,5 à 2 MWe, le rendement électrique est d'environ 15% alors qu'il varie de 20 à 22% pour des puissances supérieures à 2 MWe.

Les installations utilisant la combustion directe sont très répandues en Amérique du Nord et en Suède. Les puissances communément installées varient de 10 à 30 MWe. La plus grande unité de ce type d'une

puissance de 50 MWe et d'un rendement de 25% est en fonctionnement aux Etats-Unis (Burlington) ; des usines de 150 MWe y seraient en développement.

1.1.2 La filière pyrolyse

La production d'électricité par cette filière est assurée par l'utilisation des combustibles précédemment obtenus (charbon, combustible liquide ou gaz énergétique) dans une turbine, un moteur ou une chaudière.

Cette filière est fortement conditionnée par des problèmes de traitement des effluents chimiques. Les quantités d'eau et d'oxygène contenues dans le liquide de pyrolyse sont très importantes. Ce qui a pour principales conséquences d'induire : une faiblesse du pouvoir calorifique du produit pyrolytique obtenu par rapport à la biomasse préalablement utilisée, une réduction de la viscosité, une présence d'acides organiques (acides acétique et formique) rendant le liquide corrosif, etc.

La filière pyrolyse bénéficie de nombreux efforts technologiques aujourd'hui et présente l'avantage de découpler la production du combustible (permettant l'installation des unités de production près des aires de récolte de la biomasse) et la production d'énergie. La possibilité de stocker le combustible dans les meilleures conditions de sécurité et de facilité d'approvisionnement est l'atout majeur de cette technique pour une production d'énergie de pointe.

1.1.3 La filière liquéfaction

La production d'électricité par cette filière est assurée par l'utilisation du combustible liquide précédemment obtenu dans une turbine, un moteur ou une chaudière.

Le coût élevé des procédés de traitement haute pression et les problèmes d'alimentation et de préparation de la biomasse pour la catalyse à haute

pression ont quasiment stoppé le développement de cette filière.

1.1.4 La filière gazéification

La production d'électricité par la filière gazéification est assurée par l'utilisation du gaz énergétique précédemment obtenu dans une turbine ou un moteur. Cette production est très peu répandue mais plus développée que la pyrolyse du fait qu'elle ne pose pas de problème de transfert de chaleur comme cette dernière. C'est la filière d'avenir pour produire de l'électricité à partir de la biomasse. Grâce à ce procédé, les rendements électriques obtenus sont supérieurs à 30% car le combustible obtenu par gazéification a un pouvoir calorifique inférieur très élevé. Toutefois, cette filière est encore très coûteuse du fait de la nécessité d'épurer le gaz avant son entrée dans la turbine mais bénéficie déjà de progrès considérables réalisés en matière d'équipement (turbines, gazéificateurs et filtres notamment) et de procédés (refroidissement des gaz, épuration et récupération de chaleur).

Deux systèmes utilisant cette filière semblent promis au plus bel avenir : la turbine à gaz avec injection de vapeur et la gazéification à cycle combiné.

a - La turbine à gaz avec injection de vapeur (STIG)

Elle fait peu à peu leur entrée sur le marché. Son développement a bénéficié des résultats des travaux issus de la gazéification du charbon et de la combustion sous pression des combustibles solides. C'est un cycle simple de gazéification, les gaz d'échappement provenant de la turbine sont récupérés, injectés dans une chambre à combustion et mélangés au combustible provenant du gazéificateur et entraînent la turbine. Cette technique améliore le rendement de la turbine ; elle passe de 33 à 38% : une unité produisant en cycle simple 33 MWe en produit alors 51 MWe avec l'injection de vapeur.

b - La gazéification à cycle combiné (IGCC)

La production d'électricité est assurée en utilisant un cycle combiné turbine à gaz – turbine à vapeur. Les rendements électriques obtenus sont aujourd'hui supérieurs à 45%. Ce type d'unité de production utilise des turbines de « grandes puissances ou industrielles » dont les gaz d'échappement sont plus chauds que ceux des turbines aérodérivatives. L'aval du cycle composé de la turbine à vapeur produit le tiers de l'électricité.

Les cycles combinés sont très sensibles aux économies d'échelle et ne sont par conséquent pas indiqués pour des installations de petites puissances (inférieures à 100 MWe). Ce qui limite considérablement leur attractivité. Des équipementiers tels que General Electric conçoivent de nouvelles turbines qui permettront de réduire de manière substantielle les coûts d'investissements de ces systèmes.

Des dispositifs opérationnels et compétitifs de production d'électricité par cette filière sont peu répandus dans le monde. Cette situation est le fait de la stabilisation puis de la diminution des cours

des produits pétroliers qui ont fortement contrarié l'aboutissement des recherches et des programmes pilotes et de démonstration suscités par les crises pétrolières. Quelques initiatives de génération d'électricité sont mises en œuvre aux Etats-Unis et en Europe du Nord.

L'exemple des Etats-Unis est édifiant. La conversion de la biomasse en électricité y est couramment obtenue par trois types de technologie : la combustion directe, la gazéification (gazéification intégrée à cycle combinée – IGCC) et la pyrolyse. La combustion directe, incluant du charbon et utilisant des turbines à condensation conventionnelles est très utilisée par des producteurs indépendants et des compagnies électriques (rendement variant de 20 à 25%).

Les technologies classiques, bien que matures et développées aussi bien auprès des industriels que des producteurs indépendants d'électricité sont limitées par leur faible rendement électrique induisant une forte pression sur l'alimentation en combustible pour la production électrique. Il advient alors que du fait de leur taille réduite (environ 50 MWe), ces installations ne peuvent concurrencer en terme de puissance installée les autres modes de production électrique (la puissance électrique d'une centrale à charbon varie de 600 à 1200 MWe avec un rendement supérieur à 34%).

La principale conséquence découlant de cette limitation de taille est la restriction de ces technologies aux applications ponctuelles. Les coûts des combustibles étant importants, seuls les industries possédant d'importantes quantités de rebut peuvent produire de l'énergie à un coût compétitif. Cette compétitivité est d'autant meilleure que l'installation fonctionne en cogénération. Très souvent cette énergie est dédiée à la satisfaction de leurs besoins propres et non mise à la disposition du réseau électrique (en cas de production électrique).

Des progrès ont été réalisés d'une part dans les techniques de conditionnement ou de conversion de la biomasse en combustible (solide, gazeux ou liquide), minimisant les pertes et de fait les tensions sur la ressource et, d'autre part sur les transformations de la chaleur obtenue en électricité. Ce dernier point est principalement lié aux cycles utilisant les turbines à injection de vapeur et/ou des moteurs Stirling. Ces nouvelles techniques permettant des gains substantiels sur les rendements des centrales fonctionnant à la biomasse, la production d'électricité à des conditions économiques acceptables serait possible dans un avenir proche.

Plusieurs unités à base de chaudière et de four fonctionnant à partir de la biomasse transformée en combustible gazeux ou liquide pour la production d'électricité sont opérationnelles. Elles utilisent très souvent des moteurs alimentés en gaz pauvre ou des turbines à vapeur. Les rendements attendus sont de l'ordre de 30% pour des moteurs à combustion interne testés par la compagnie suédoise TPS.

D'après de nombreux spécialistes, la technologie la

plus prometteuse serait la filière combinant la gazéification de la biomasse à une turbine à gaz à injection de vapeur. Ce concept serait accessible à un coût minime tout en permettant d'atteindre des rendements élevés. Toutefois la réussite de la filière gazéification de la biomasse pour la production d'électricité est assujettie à une incertitude de taille : les coûts réels d'investissement à consentir.

Cette incertitude n'est pas le seul biais qui entache l'avenir de la filière gazéification. L'analyse des trente huit pilotes en fonctionnement dans les universités et les industries en 1992 montre qu'afin d'assurer son opérationnalité, des problèmes de traitement des effluents sont encore à résoudre. Toutefois, la production d'électricité à partir de la gazéification de la biomasse comportent de nombreux avantages qui sont directement exploitables :

- des coûts d'investissement plus faibles à termes,
- de meilleurs rendements électriques,
- une fiabilité plus élevée et une maintenance plus aisée pour les turbines,
- des rejets dans l'atmosphère plus faibles du fait de l'intégration de systèmes d'épuration des gaz (des réductions de 50 à 80% des émissions de polluants par kWh produit comparé à la combustion directe).

1.2 Analyse économique portant sur la France

L'analyse des coûts d'investissement et des coûts de production des centrales existantes ou d'études réalisées en Amérique et en Europe pour des puissances de 5 à 100 MWe permet d'appréhender les effets liés à « l'économie d'échelle », à « l'apprentissage » et à « la technologie ».

- Les coûts d'investissement d'une centrale électrique à base de biomasse sont plus élevés que ceux d'une centrale à combustible fossile.
- Ces coûts sont assujettis à un « effet d'échelle » : les coûts unitaires d'une unité de puissance plus importante sont moins élevés que ceux d'une unité de puissance plus faible. Entre 20 et 50 MWe, les unités à base de gazéification présentent des coûts comparables à ceux des systèmes à combustion directe aux rendements plus faibles.
- Les unités de gazéification à cycle combiné sont quant à eux assujettis à un effet d'apprentissage : leurs coûts d'investissement diminuent avec le nombre d'installations identiques installés. Il vient ainsi que si pour la première unité il se situe à 17800 FF/kWe il passe à 9750 FF/kWe pour la cinquième et à 8450 FF/kWe au bout de la dixième unité.

Afin d'appréhender l'économie des différentes filières, trois types de filières de production électrique à partir de la biomasse en France ont été distingués pour les besoins d'une étude réalisée pour l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie : la combustion directe avec turbine à vapeur, la gazéification avec turbine à vapeur et la gazéification avec turbine à gaz. Trois niveaux de puissance ont été étudiés pour ces filières : 5, 16 et 32 MWe.

a - La combustion directe en chaudière couplée avec une turbine à vapeur

Cette filière présente le handicap d'avoir des rendements de production électrique trop faibles (environ 18 % en turbine à vapeur à condensation, et 25% en turbine à vapeur à contre-pression) pour permettre une économie satisfaisante comparée à d'autres moyens de production électrique. L'investissement pour cette filière, compris entre 9000 FF et 12000 FF/kWe est relativement indépendant de la taille. Cela pousse donc à étudier les petites puissances avec forte valorisation de la chaleur (industrie, chauffage urbain) et bas prix du bois compte tenu d'une valorisation de bois de rebut.

Le coût du kWh produit varie de 55 à 91 centimes avec un coût d'achat du bois à 400 FF la tonne.

b - La gazéification du bois puis la valorisation du gaz en turbine à vapeur

Cette voie, permettant d'atteindre de meilleurs rendements (voisin de 40%) est maintenant mature. Des expérimentations ont été conduites en Suède, en Finlande et aux Etats-Unis. Toutefois, seule l'utilisation de turbine à vapeur en aval du gazéifieur est recommandée du fait de la présence de goudron dans le gaz qui conduit à l'encrassement des moteurs diesel ou à combustion interne. Cette filière connaît d'importants effets d'économie d'échelle.

La littérature internationale met en évidence un intérêt économique pour des centrales de l'ordre de 200 MWe. Il est vite apparu que les disponibilités de bois ne pouvaient excéder 30 MWe. Dans ces conditions, l'investissement passerait de 27 000 FF pour 5 MWe à 17 000 FF pour 32 MWe.

Le coût du kWh produit varie de 49 à 80 centimes avec un coût d'achat du bois à 400 FF la tonne.

c - La gazéification du bois avec production d'électricité en turbine à gaz.

C'est la filière d'avenir. Avec un gazéifieur pressurisé, elle permet des rendements approchant 45%, voire 50%. Elle bute néanmoins sur des difficultés de traitement et d'épuration des gaz agressifs pour la turbine. Cette filière ne fait pas encore l'objet d'installations de taille industrielle. Les données techniques et économiques la concernant étant peu fiables, on n'a retenu que les deux premières filières.

L'avis des experts internationaux concernant les projets à base de gazéification de la biomasse en cours de réalisation dans le monde, est d'avoir des centrales les plus grosses possibles (d'une puissance au moins égale à 100 MWe) en gazéification utilisant soit un cycle combiné (IGCC) soit une turbine à gaz (STIG ou ISTIG) pour bénéficier d'un effet d'échelle, et en nombre important (au moins dix unités) pour bénéficier de l'effet d'apprentissage et faire chuter les coûts d'installation. Dans le cas de la France, compte tenu des difficultés à mobiliser la ressource en deçà d'un certain prix, la taille optimale serait entre 30 et 50 MWe en cogénération.

1.3 Analyse de l'adéquation entre les besoins de développement des pays Africains et la palette des solutions technologiques disponibles

Cette analyse porte essentiellement sur la rentabilité

d'une installation de production d'électricité à partir de la biomasse. Elle procède de la compétitivité de tels moyens de production d'électricité face aux moyens conventionnels que disposent les pays africains.

Les installations de production de l'électricité à partir de la biomasse sont onéreuses car ce sont généralement des équipements produits à l'unité et nécessitant une importante mobilisation de capitaux. Leur implantation nécessite des études approfondies. Cependant quelques caractéristiques essentielles peuvent être édictées.

- La production électrique doit se situer en base (durée de fonctionnement de la centrale d'environ 6000 heures par an) afin d'amortir un investissement important. Faute de pouvoir fonctionner en suivi de charge pour des durées d'appel très courtes, l'économie des projets pousse à un usage de longue durée.
- L'installation doit fonctionner en cogénération si possible afin de valoriser la chaleur au maximum. La réduction de coût du kWh est comprise entre 4 et 13 centimes. Ce qui nécessite l'implication d'une industrie consommatrice de chaleur.
- Il faut disposer d'une ressource en bois garantie et à bas coût (notamment du bois de rebut issu de la transformation du bois). D'où l'importance de la mise en place de contrats entre les producteurs de bois et l'exploitant de la centrale. Un prix du bois de plus de 300 FF/tonne induit un coût total du kWh électrique supérieur à 60 centimes. Dans l'exploitation d'une installation de production d'électricité, le prix de la ressource en bois est de loin le plus gros poste (entre 30 et 40 centimes par kWh). Dès lors, il faut rechercher toutes les solutions permettant d'accroître les rendements. Une autre voie serait d'améliorer la logistique afin de baisser le coût de mise à disposition du combustible.
- Le "réglage" optimal de l'installation est nécessaire si l'on veut minimiser le coût de rachat. Celui-ci est en effet très sensible au rendement électrique (à rendement thermique fixé et prix de combustible donné).
- Les coûts les plus faibles pour les centrales à combustion directe sont obtenus pour les petites puissances compte tenu d'une ressource moins chère et d'une meilleure valorisation de la chaleur. Un contexte optimal peut permettre de descendre en dessous des 50 centimes le kWh.
- La puissance choisie pour la filière en gazéification avec turbine à vapeur voit son économie s'améliorer au fur et à mesure que la puissance augmente. Les montants d'investissements les plus faibles prennent en compte une subvention importante destinée à gommer le surcoût actuel. Sans subvention à la recherche-développement, le kWh électrique n'est jamais inférieur à 60 centimes. Avec subvention il peut descendre à 50 centimes (avec valorisation totale de la chaleur). La supériorité de la filière gazéification - turbine à

vapeur n'est pas établie par rapport à la filière à combustion directe pour les petites puissances. Bien que cette filière soit la plus attractive sur le plan économique, elle semble encore peu réalisable dans le contexte africain actuel car elle nécessite un effort conséquent de gestion de la ressource : une unité de 30 MWe a un productible de 464,4 GWh par an ; si l'on fait l'hypothèse que la forêt en se régénérant produit 4 tonnes de matière sèche à l'hectare par an, pour satisfaire cette production, l'exploitation forestière doit se faire sur une surface de 122500 ha/an soit 1225 km²/an (correspondant à un carré de 35 km de côté).

- Compte tenu des faibles densités de population dans les zones forestières, il est préférable de construire des installations à combustion directe de petite puissance directement prises en charge par des industriels. Ceci se justifie par la nécessité de valoriser la chaleur en cogénération, de disposer d'une ressource à bas prix et d'acquérir une première expérience industrielle pour ce type de centrales électriques.

- Le développement de la filière gazéification et production d'électricité par turbines en cycle combiné nécessite la réalisation d'unités pilotes dans des zones bien définies et la mise en œuvre d'une étroite collaboration entre les compagnies électriques, les universités et les industrielles. Le dimensionnement des unités opérationnelles ne pourra se faire qu'avec la certitude de la disponibilité de la ressource et des compétences pour leur maintenance. La construction de plusieurs installations du même type pourra alors être étendue.

- Cette étape franchie avec une première installation, il pourra être envisagé un second type de technologie avec turbine à gaz en aval du gazéifieur (technologie permettant d'améliorer les rendements électriques). D'ailleurs, dans les années qui viennent, l'expérience industrielle s'accroîtra fortement, tirée par les pays disposant actuellement des meilleures références (Amérique du Nord et Scandinavie).

2 ANALYSE DES POLITIQUES INCITATIVES DE PROMOTION DES TECHNOLOGIES

Le but ultime que recherche les politiques de promotion des énergies renouvelables en général et de la biomasse en particulier est de transformer le système énergétique d'un pays en incitant à la consommation des énergies indigènes. Avant d'analyser les politiques de promotion des technologies de production de l'électricité à partir de la biomasse il est important de noter que le développement de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables a connu deux ères distinctes.

La première, caractérisée par une intervention directe des pouvoirs publics pour améliorer l'indépendance énergétique de leur pays procède de la crise pétrolière de 1973. Cette dernière a contraint les autorités des pays industrialisés ayant peu de ressources fossiles sur leur territoire à

mettre en œuvre des programmes de développement des techniques utilisant des ressources énergétiques nationales afin d'améliorer leur indépendance énergétique. L'enjeu essentiel était d'assurer l'approvisionnement énergétique du pays (se défaire des contraintes géopolitiques de l'énergie) aux meilleures conditions financières. En général, le soutien des pouvoirs publics s'est quasiment arrêté dès la crise passée.

La seconde est survenue avec les préoccupations environnementales des populations des pays industrialisés au début des années 1990. Une vérité s'imposait enfin : si le modèle de développement économique connu par ces pays était suivi par les pays en développement, non seulement les ressources fossiles ne suffiraient pas, mais la planète ne pourrait le supporter. Il est apparu urgent de promouvoir un développement basé sur des énergies « propres », respectueuses de l'environnement, un développement durable.

Le développement de la production de l'électricité à partir de la biomasse dépend du contexte économique, législatif et réglementaire de chaque pays. La production d'électricité à partir de la biomasse dans un pays est fortement influencée par : la situation générale du système électrique, le cadre général et réglementaire de ce système, ses structures et les règles qui s'y appliquent et les types d'acteurs engagés dans son développement. Les mécanismes incitatifs mis en œuvre découlent généralement de ce contexte.

La suite de cette partie décrit les mécanismes utilisés par quelques pays pour promouvoir la production d'électricité à partir de la biomasse.

2.1 Le cas de l'Angleterre et du Pays de Galles

La promotion des énergies renouvelables au Royaume-Uni n'a été rendue possible que grâce à une action incitative radicale : la législation qui a institué l'*Electricity Act* en 1989 et l'*Environmental Protection Act* en 1990. Un des effets du processus de privatisation au Royaume-Uni issu de ces textes a été la mise en place par le gouvernement d'une taxe applicable à toute l'électricité produite à partir des énergies fossiles. Le produit de cette taxe, environ 10 milliards de FF par an devait servir à développer les énergies non fossiles. Cependant, l'industrie nucléaire a été la principale bénéficiaire de cette taxe. En effet, une part du marché électrique au moins égale à 17% lui était garantie et elle a perçu 94% des montant prélevés au titre de la *Fossil Fuel Levy* (FFL) alors que les renouvelables n'en percevaient que 2%.

La politique énergétique et environnementale du Royaume-Uni comporte certains mécanismes intéressants pour la promotion de l'efficacité énergétique et de la production d'énergie électrique par les énergies renouvelables.

- La *Non-Fossil Fuel Obligation* (NFFO) qui oblige les fournisseurs d'électricité à acheter une quantité donnée d'énergie d'origine non fossile (environ 20%). Dans ce cadre, l'électricité produite à partir de l'énergie nucléaire, des énergies renouvelables ou des déchets

disposent d'un marché exclusif. Cette obligation constituait au préalable une protection de l'industrie nucléaire dont les surcoûts étaient dus à la faible compétitivité de la filière développée par le pays. Elle s'est avérée ensuite comme un soutien important d'une mutation de l'industrie électrique vers les énergies renouvelables.

- Une taxe sur l'électricité d'origine fossile ou *Fossil Fuel Levy* (FFL) de près de 10% sur les ventes d'électricité a été imposée jusqu'à 1998, voire au delà. Elle représentait un montant d'environ 10 milliards de FF par an. Son taux était ajusté de façon à couvrir les surcoûts encourus par les achats au titre de la NFFO. Elle fut supprimée en 1996 à l'occasion de la privatisation de *Nuclear Electricity* et l'aide aux énergies renouvelables a été maintenue via une taxation de l'ensemble de l'électricité.
- Un fonds pour la promotion de la maîtrise de l'énergie, l'*Energy Saving Trust* a été créé en 1992 par le gouvernement et les principaux acteurs du secteur de l'énergie. Ses ressources annuelles de près de 2 milliards de FF par an sont destinés à financer les projets de maîtrise de la demande d'énergie. La nouvelle législation prône un prélèvement annuel d'environ 10 FF par consommateur d'électricité et de gaz.

Dans le cadre des *Non Fossil Fuel Orders*, l'énergie produite par les énergies renouvelables et livrée au réseau électrique, bénéficie d'une prime financée au moyen de la taxe sur l'électricité d'origine fossile (FFL).

Ce processus a créé un véritable engouement pour les énergies renouvelables : les réponses sélectionnées aux appels d'offres ont porté sur des capacités de 138 MW en 1990, 457 MW en 1991 et de 626 MW en 1994 alors que les niveaux initiaux des appels d'offres étaient respectivement de 100, 250 et 400 MW.

Toutefois, bien que ces projets pouvaient être financés à hauteur de 70 à 80% du coût total par une banque et le reste de fonds propres, le financement de ces projets a été considéré comme une véritable barrière pour les énergies renouvelables. Les banques, sensibles aux prix d'achat de l'électricité produite donc au temps de retour de l'investissement, exigeaient des taux d'intérêt élevés et se désintéressaient des micro-projets.

Les principales limites rencontrés par ces projets ont été analysées par D. FINON² :

- la difficulté d'obtenir un contrat dans le cadre du NFFO dans un système concurrentiel,
- le manque d'attrait pour les financiers de projets dont la taille est en général petite et dont la technologie employée est très souvent nouvelle,
- la manque de flexibilité des banques anglaises face à des promoteurs de projets nouveaux dont l'assise financière est le plus souvent perçue comme insuffisante,

- les coûts financiers proportionnellement prohibitifs pour les petits projets.

2.2 Le cas de la Suède

Depuis 1991, le gouvernement suédois développe un programme de promotion des sources d'énergies renouvelables. La base des incitations est la subvention. En effet, l'installation de turbines éoliennes et d'équipements solaires bénéficie d'une subvention de 25%. Un fonds de 625 millions de SKr soit 500 millions de FF est géré par NUTEK, l'agence de l'énergie pour subventionner la mise au point de nouvelles technologies à base de biomasse (gazéification et production d'électricité, etc.). L'usage de la biomasse pour la production électrique s'effectue principalement par l'usage des déchets constitués de liqueur de papeterie et des déchets urbains. L'industrie papetière produit actuellement 2,4 TWh sont en cogénération-biomasse.

2.3 Le cas de l'Allemagne

L'un des objectifs des politiques énergétique et environnementale en Allemagne est l'utilisation des énergies renouvelables. En effet, la « nouvelle politique énergétique » du parlement Allemand prône les économies d'énergie et l'utilisation des énergies renouvelables pour réduire les émissions de CO₂ en Allemagne de 25 à 30% à l'an 2005 comparé au volume des émissions de 1987. Le parlement a ainsi adopté en 1990 une loi sur la fourniture électrique (Stoßeinpreisgesetz) définissant les principes de définition des prix d'achat minimum.

Il est à noter que la sensibilité environnementale des populations joue en faveur de la promotion des énergies renouvelables en Allemagne. On assiste ainsi à la mise en place d'une politique de niches fondée sur l'obligation d'achat et des subventions directes ou tarifaires.

3 PROPOSITIONS POUR LA MISE EN PLACE DE PROGRAMMES VOLONTARISTES DE PROMOTION DE LA BIOMASSE EN AFRIQUE

La biomasse employée comme combustible pour la production d'électricité représente encore une part infime alors que le potentiel technique est énorme dans divers pays du monde. Ceci est attribuable à l'état actuel de développement des techniques de conversion qui sont tributaires des caractéristiques du marché de l'énergie (notion de compétitivité entre les énergies alors que les coûts des énergies fossiles n'intègrent pas les externalités qu'elles génèrent) et des contraintes institutionnelles (domination du *conventional wisdom* qui explique la réticence des planificateurs à essayer des technologies parfois nouvelles). Pour la production de l'électricité, de nombreuses barrières s'opposent à la pénétration de la biomasse : le manque d'infrastructure, leur relative immaturité technique et économique et les besoins d'économies d'échelle dans la fabrication des composants et le déploiement technique.

Dans les conditions actuelle, l'exploitation du potentiel biomasse à grande échelle nécessite en

général :

- d'améliorer l'efficacité et l'économie des systèmes de production d'énergie à partir de la biomasse
- de développer le déploiement et l'intégration effective dans les systèmes existants de production d'énergie malgré la restructuration et la privatisation des industries énergétiques.
- La promotion de l'utilisation des énergies renouvelables pour la production de l'électricité en Afrique reste à bâtir. Bien que les conditions de leur développement soient présentes (abondance de ressources, sous-capacité du système électrique et croissance forte de la demande d'électricité, notamment), des handicaps majeurs subsistent : manque de cadre législatif et institutionnel, contrainte financière et développement technique.

Cependant, depuis les conférences de Buenos Aires en 1992 et Kyoto en 1997, les besoins de mécanismes pour une collaboration internationale avec pour but d'aider les différents pays à atteindre les objectifs de sécurité énergétique à long terme, de protection de l'environnement et de limitation des émissions de gaz à effet de serre ont été appréhendés. Cette collaboration doit entre autres actions se traduire par des efforts accrus de recherche et développement au profit des meilleures technologies qui permettraient aux différents pays de réaliser leur objectif de sécurité, de propreté, d'accessibilité et de solidité d'offre et de demande d'énergie. Les gouvernements peuvent influencer le progrès technologique par des actions institutionnelles, économiques, fiscales et des mesures de régulation ayant pour finalité d'inciter les producteurs d'énergie à dédier une part importante de leurs investissements aux technologies les plus performantes.

La mise en œuvre effective des décisions internationales de limitation des émissions des gaz à effet de serre constitue une chance inespérée pour l'Afrique. Certaines instruments politiques peuvent désormais aider le continent à l'utilisation des énergies renouvelables pour la production de l'électricité. Parmi ceux-ci on peut citer : le mécanisme pour un développement propre, la mise en œuvre conjointe et l'échange de permis d'émission. De nombreuses actions peuvent être entreprises dès à présent :

- la création des agences nationales d'énergie et d'un réseau inter-africain de celles-ci en charge de la vulgarisation des informations et de techniques éprouvées en provenance des pays tiers, de la conception de programmes de promotion de technologies performantes de consommation et de production d'électricité et de gestion de programmes de recherche et développement sur l'utilisation des énergies renouvelables ;
- une planification des besoins de production électriques prenant en considération une palette large de technologies existantes en regard des ressources nationales des pays et du potentiel des économies d'électricité ;

- une restructuration des compagnies électriques africaines et la création d'un cadre politique incitant l'auto-production d'électricité par les entreprises privées ; ce qui est justifié par le manque de capitaux nécessaires au développement d'une électrification en réseau ;
- une obligation pour les exploitants de scieries d'une certaine taille à réaliser des unités de production d'électricité à partir de la biomasse, dont l'énergie serait gérée par les compagnies électriques ; la réalisation d'unités pilotes est un préalable à la généralisation d'une telle obligation ;
- l'incitation de certaines multinationales à réaliser des unités pilotes et/ou de production semblables à celles qu'elles exploitent en dehors du continent africain.

¹ Edgard BOSSOKEN et Pierre RADANNE, *Etude des coûts de production de l'électricité à partir de la biomasse*, INESTENE, Octobre 1995.

² Dominique FINON et alii, *Production décentralisée d'électricité à partir des énergies renouvelables et de la cogénération*, Tome 2, Institut d'économie et de politique de l'énergie, Juillet 1995.

BIOENERGY TECHNOLOGIES FOR AFRICA : DEVELOPMENT, PROMOTION AND TECHNOLOGY TRANSFER

Yves SCHENKEL, Jean-François VAN BELLE, José CARRE

Chercheurs Centre de Recherche agronomique de Gembloux

Département Génie rural - Chaussée de Namur, 146

B-5030 Gembloux - BELGIQUE

Tél : 32.81.61.25.01 - Fax : 32.81.61.58.47 - schenkel@cragx.fgov.be

INTRODUCTION

Biomass fuels are an important energy source in African countries. They are used for cooking in households, to produce heat and/or power in some agro- and wood industries. However, even if biomass fuels are widely used around Africa, there is still a potential for the development of this energy source. Indeed, most of the time, they are not converted efficiently : a great part of the energy potential is lost because of non performing technologies of conversion, leading in the same time to important environmental damage. There is thus room for a better use of biomass fuels, for more energy production and distribution and for a better environment. Biomass fuels can be divided in four segments according to their origin (table 1).

Table 1 – Biomass fuels : typology according to origin

Segment Origin	Primary	Secondary	Waste	Energy crops
Agriculture	Manure Straw	Agro-industrial residues : - Coffee, rice husks - Bagasse - Liquid effluents - ...		Miscanthus Sweet sorghum SRC
Forestry	Forest exploitation residues Pruning, clearing residues...	Sawdust Wood shavings Offcuts ...	Green waste Demolition wood Contaminated wood...	Eucalyptus Acacia Poplar

This table explains why the physico-chemical characteristics of biomass fuels (moisture content, bulk density, particle size, mineral content) can vary a lot. An efficient bioenergy technology has to integrate this fact.

In this paper, we are briefly reviewing the present situation of biomass energy production techniques in Africa and which techniques could or should be implemented in order to improve the energy efficiency and the impact on environment. Then, on the basis of our experience in technology transfer in Africa and in Asia, we are discussing some possible actions to promote an efficient use of biomass energy in Africa and to transfer the appropriate technologies for a better conversion of biomass.

The focus of this paper is on industrial energy conversion of biomass in agro- and wood industries, in central power stations, for the production of heat and/or power. The subject of bioenergy for domestic use is not discussed here.

1 BIOENERGY TECHNOLOGY IN AFRICA

It is very difficult today to present a comprehensive overview of the bioenergy technological status in Africa. There is no survey available which could provide project developers with a systematic review

of the technologies presently used in African countries.

However, even if a comprehensive overview cannot be presented today, a general appraisal can be drawn.

- Most current combustion equipment is mostly outdated or inefficiently used, often based on fixed grate burners and low-pressure steam generation (if needed), still using a lot of manual feeding of the combustion chamber.
- Most equipment are not adapted to the characteristics of the biomass fuels they are burning or the biomass fuels conditioning is so heavy and restricting that the result is not satisfactory.
- Regarding specifically gasification technologies, several projects have been implemented throughout Africa with mixed results. Indeed, many of them have failed to operate regularly. Furthermore, those which are still in operation face a lot of difficulties related to the fuel conditioning and the maintenance of the system (daily maintenance !).

But the potential of development is considerable. Indeed, the situation of agro- and wood industries is characterized by :

- the absence of a market for their residues and the necessity to invest in their elimination ;
- as a consequence, the large quantities of biomass residues available for energy production ;
- major difficulties to ensure a reliable and cost attractive energy supply, especially electricity.

Furthermore, these agro- and wood industries are usually located in remote areas, where energy supply is not only difficult but frequently absent. These industries could constitute a pole of development for electricity supply to their surrounding villages through local grids. In addition, the development of biomass residues use for energy production can help African countries to contribute to the world-wide effort to reduce greenhouse gases emission, thanks to the substitution of fossil fuels energy plants by bioenergy installations. There is thus a need for technologies producing power or heat and/or power (cogeneration) from biomass. Which technologies are available ? We are describing hereafter three different technologies : combustion, gasification and biomethanation.

1.1 Biomass combustion technologies

Producing heat and/or power from biomass fuels requires specific burning systems. Not only are the capacity and the reliability of the system essential, the efficiency and the impact on the environment are also of utmost importance for decision makers nowadays. These major points will be discussed for the four basic furnace designs :

- the grate furnace,
- the spreader stoker,
- the suspension burning system,
- the fluidised bed combustor.

The grate furnace is widely used in industrialised countries, and is still running in most parts of the world. This furnace is characterised by a combustion in two phases : firstly, the fuel is fed into a grate ; primary air is fed through the grate and secondary air is fed above the fuel bed. The grate furnace is usually lined with refractory bricks.

Fixed grate furnaces are still widely used in tropical countries. The major problem with this technique is that the air control is difficult, resulting in large quantities of unburned particles and carbon monoxide contents in the exhaust gases. However, recent development in the step moving grate, even for installed capacities as low as 500 kW, allow a complete and well controlled combustion of biomass fuels, with no damage to the environment. This technique of the step moving grate is today widely used in bioenergy plants all around Europe and North America and is more and more installed in agro- and wood industries of Asian and South American countries.

Spreader stoker furnaces combine the burning of small particles in suspension and the combustion of larger particles on the grate. The bed of fuel on the grate could be thin with a well designed feeding system, allowing a better control of underfire air.

Spreader stoker furnaces require little refractory material and are enclosed by water walls.

Suspension burning systems are specially designed to burn fuels of a very small particle size (like sawdust, sander dust, coal fines). This type of furnace does not require a grate, as the fuel is supported by air. An important characteristic of this system is that ashes are dragged out with the exhaust gases or fall to the furnace bottom. A major evolution of the suspension burning system is the fluidised bed furnace.

Fluidised bed combustors, which allow greater control of the combustion, make use of an inert material capable of absorbing energy thus maximising the heat transfer from the fuel. They have the ability to burn fuels with a very low calorific value (as low as 4.2 MJ/kg). There are two major types of fluidised bed combustors : the bubbling bed and the circulating bed systems.

The selection of biomass fuelled combustion systems must be based on several factors : size of the unit, energy required (from hot water to high pressure steam), fuel characteristics (moisture content, granulometry,...). The grate-fired systems have been and are widely used because of their flexibility. However, suspension burners and fluidised bed combustors are emerging as more relevant technologies in burning biomass fuels for high power outputs, given the possibility of attaining higher efficiency and better performance in meeting environmental requirements.

1.2 Environmental impacts

With regard to carbon dioxide (CO₂) production, biomass burning is considered to be CO₂ neutral : because it recycles CO₂, it does not contribute to CO₂ proliferation provided that biomass producing land (agricultural fields, forests, palm trees plantations ...) is restored when biomass is exploited. Another important advantage of biomass fuels is that they generally do not contain sulphur. Sulphur dioxide production is thus avoided. But biomass conversion is not always environmentally friendly, especially if the combustion is not complete. Noxious gases such as carbon monoxide (CO) or methane (CH₄) may be produced if the appropriate biomass energy conversion equipment is not installed or correctly operated.

These gases are produced when incomplete combustion occurs. Three main factors could lead to CO and CH₄ formation :

- the design of the furnace is not appropriate : especially when secondary air is not introduced at the right place or is not well distributed,
- the furnace is not well operated : for example, the excess air is not kept at a sufficiently high level, or the balance between primary and secondary air is not appropriate,
- very wet biomass fuel is burned in a furnace which is not designed to burn wet fuels.

The above conditions reveal the importance of installing well designed biomass equipment and operating it efficiently. Over the years, European biomass equipment manufacturers have developed

technologically advanced equipment to meet increasingly stringent environmental requirements. A significant development is the use of a secondary combustion chamber, where complete combustion of unburnt gases occurs, and the step moving grate. On the instrumentation side, the use of probes to measure the temperature and the oxygen content of flue gases is highly recommended. Indeed, it allows the boiler operators to more effectively regulate the combustion of biomass fuels.

Other pollutants produced by biomass combustion may include « particulates » and nitrogen oxides (NO_x). Particulates, the major pollutants emitted by biomass fuel combustion, include unburnt carbon, fly ashes and condensed droplets of liquid hydrocarbon. They are mostly generated when disturbances of combustion occur, especially when fuel is fed into the furnace.

Particulate emissions are influenced by the fuel feed rate, the granulometry of the fuel (percentage of fines), the air distribution and the excess amount of air. Staged combustion is a good way to control and minimise particulate emissions: in practice, underfire air is introduced in reduced quantities and overfire air is applied in excess. The remaining particles are eliminated using classical removal systems.

Different devices exist to capture particulates: electrostatic precipitators, scrubbers, baghouse filters and cyclone collectors. It is said that baghouse filters and electro-precipitators can achieve efficiency of 99 %. However, the most popular systems are the cyclone and multicyclone separators (cheap, few moving parts and compact). If necessary (e.g. in the case of old boilers fuelled with wet biomass), these can be combined with a scrubber. The efficiency of a cyclone collector system can be satisfactory if it is properly designed and maintained. Overall, the best way to avoid important particulate emissions is to perform good control of biomass combustion: it is preferable to avoid discontinuous refuelling and finely divided fuel burning in a non-adapted furnace. As already discussed, air distribution (optimum: 55 %-60 % overfire excess air) and control are also of prime importance.

Nitrogen oxides are the products of the reaction between nitrogen contained in the combustion air and in the fuel, and oxygen. Two types of NO_x are prevalent: « thermal NO_x », from the nitrogen in the combustion air and « fuel NO_x » produced by oxidation of reduced forms of nitrogen of the fuel. Thermal NO_x formation is a high temperature reaction, while fuel NO_x formation is not thermally sensitive. The problem with thermal NO_x is that the factors reducing their formation also reduce the energy efficiency of the combustion system: high levels of excess air decrease the flame temperature, while biomass combustors with low levels of excess air have very high efficiencies; high temperatures of preheated air also lead to high NO_x contents in exhaust gases, but these temperatures are necessary to reach good combustion efficiency. Thus for thermal NO_x, an optimal control of air

excess must be found by the combustor operators, respecting a compromise between environmental and energy efficiency issues. Fuel NO_x, meanwhile, is more simple to deal with and can be minimised by staged combustion.

The use of a well-designed and a well-maintained furnace combined with sound management of combustion operations are the key factors to producing energy in an efficient way (i.e. short term profit) while protecting the environment (i.e. long term profit).

1.3 Gasification techniques

Gasification is a technology for converting a solid fuel into a gaseous fuel. This gas can be combusted in a furnace to produce heat or in an internal combustion engine coupled with an alternator that generates electricity. Many techniques have been developed (fixed bed, fluidised bed, etc) but maintenance and gas cleaning problems limit the application of this technology. If the socio-economic and the technical contexts are suitable, gasification technologies produce electricity in the range of 25 to 300 kW for fixed bed gasifiers and in the range of 500 kW to 10 MW for fluidised bed gas producers.

1.4 Biomethanation

Anaerobic digestion has to do with the fermentation of organic effluents or wastes from farms, industries or communities to produce a high energy value gas: biogas. Biogas generally contains between 50 and 70 % methane.

The wastes or effluents usually treated within this technology are the following:

- wet biomass residues from industry,
- sewage sludge from urban waste water treatment,
- farm wastes (pig or cattle manure, poultry litter...),
- agro-industrial waste water (drinking, food processing, slaughterhouses...)
- some industrial waste water (pulp and paper, tannery, chemical industries...),
- raw municipal solid waste (M.S.W.),
- the sorted organic fraction of M.S.W.

The size of the plant is very different from one case to another: from 10 m³ household biogas digesters to several thousands of m³ for industrial digesters for waste water treatment.

Digester technologies

Anaerobic digestion technologies are adapted differently depending upon their objectives: energy production, pollution reduction or both.

Batch fermentation processes

The reactor is fed with raw material, put into operation then unloaded to exhaustion of the substrate. The average cycle time is 30 days. Gas production is time-dependent; it increases for 10 days, and decreases thereafter. Several tanks are then associated to obtain continuous production.

Continuous fermentation processes

Introduction and extraction of materials are regular and are achieved without emptying the tank. The waste is regularly mixed and the proper microbial environment is easier to maintain in these conditions.

Gas production is continuous and comes from only one tank. There is a complete range available for these applications, from locally-built basic digesters to very efficient and often automated industrial units.

At present, the most widespread technology and the most appropriate system to treat slurries up to 10 % dry weight is the continuous, completely mixed digester. The hydraulic mean residence time is usually maintained around 12 to 14 days. The daily average loading rate reaches 1 kg of dry organic degradable matter per m³ of working volume of digester. This 1 kg of degraded organic matter will produce not more than 0.8 to 1 m³ of biogas (50 % - 70 % methane content).

Two-phase digesters

The two step methanation process is based on the separation of the two biological steps of the fermentation. Two reactors are specialised for each of the steps : in the first reactor hydrolysis and acidification occur, while, in the second reactor, methanogenesis takes place. Each reactor can be based on one of the above mentioned types of digester. This technique allows better process control and a significant reduction in the overall size of the plant.

A biogas plant generally includes :

- reception and pretreatment facilities (storage, mixing, separation...),
- the digester,
- heat exchangers and temperature control equipment,
- post treatment of the biogas (gas drying, compression, H₂S removal...),
- gas storage,
- post treatment of the effluent (separator, storage, composting plant...),
- energy equipment for biogas use (burner, gas engine...).

Biogas production facilities are generally supplied with the following peripherals : pumps, compressors, heat exchangers, gasometers, counters, etc... This equipment must be suitable for specific conditions (corrosive atmosphere, charged materials...).

1.5 Applications

Raw materials

It is important that the raw material contains the substrates necessary for the growth of the bacteria : there should be a balance between the content of carbon, nitrogen and phosphorous, as macro nutrients.

In practice, digestion is possible with a C/N ratio below 25 and an amount of phosphorous corresponding to approximately 15 % of the amount of nitrogen.

Wet agro-industrial wastes, wastes, waste water, animal excreta, some industrial effluents and sewage sludge are particularly suitable for anaerobic digestion.

Biogas combustion

Biogas is colourless and odourless, it is explosive at air mixtures of 7 % to 20 % volume.

A typical composition is :

- methane (CH₄) : 50 % - 70 %,
- carbon dioxide (CO₂) : 50 % - 30 %,
- calorific value (60 % CH₄) : around 21 MJ/m³.

The maximum amount of methane recoverable is 0.35 Nm³ CH₄ per kg of chemical oxygen demand.

Maintenance

Once started, fermentation itself presents few accident hazards. Maintenance activities should therefore focus on peripherals : pumps, motors, pipes, etc.

The lifetime of a digester is that of civil engineering works, generally more than 15 years. That of peripherals is shorter and is dependent on equipment type.

1.6 Power generation

Steam is the principal heat carrier used in wood and agro industries. But the energy contained in steam can also be used to produce mechanical energy and electricity. Mechanical energy can be produced by steam engines or steam turbines, which if connected to a generator, can generate electricity.

Steam engines

Steam engines, although they have been used, extensively in the past, have limited applications today. The technology of steam engines has been well developed for electrical or mechanical energy production. They are reliable, easy to operate and suitable for low energy outputs (100 kW to 1 MW). Unfortunately, the investment cost for steam engines is rather high compared to alternative solutions ; consequently, there are only a few manufacturers still producing this kind of equipment around the world. Steam engine technology will not be developed here.

Steam turbines

Steam turbines are frequently installed in wood and agro-industries for power or combined heat and power (cogeneration) production. A steam turbine aims at converting thermal energy into kinetic energy and then into mechanical energy. "Thermal energy" is converted into kinetic energy by expansion of the steam through suitable nozzles. Power capacity ranges from 300 kW up to hundreds of MW.

Turbines are defined also by the number of stages. A stage of a turbine consists of a set of stationary blades and a set of rotating blades. Although single stage turbines exist for low power outputs, multi-stage turbines are usually used. Turbines generally operate at pressures higher than 20 bar, even if some turbines accept steam at 4 or 5 bar.

From the end-user point of view, two categories of steam turbines are of interest :

- condensing,
- back pressure.

In a condensing turbine, the steam is expanded in the different stages of the turbine and exhaust steam is condensed under vacuum. In a back pressure turbine the exhaust steam is at atmospheric pressure or higher. This steam is then used for the process.

The benefits of both condensing and back pressure systems can be combined via a special system allowing the extraction of steam directly from the turbine, and not after it. Extraction turbines are commonly used in cogeneration systems. The principle is to extract steam in the upper part of the turbine, when steam is still at high pressure.

The main advantage of extraction turbines is that the extraction pressure can be regulated, which is very useful in the case of cogeneration operation. Also, two or more turbines (of different types where necessary) can be installed in series, according to the user's needs.

Steam turbine selection

The selection of a steam turbine will depend on

- the balance between electricity and steam requirements,
- the load variations of steam and/or electricity during the day, during the milling season, during the year,
- the possibility of selling excess electricity and/or heat.

Gas engines

A gas engine coupled with a generator is another configuration that is often used in wood and agro-industries. Two types of biomass gas can be burned in gas engines :

- biogas produced by methanation of biomass,
- gas produced by the thermochemical conversion of biomass in a gasifier or in a pyrolysis reactor.

Before they can be burned in gas engines, these gases must be cleaned and cooled, in order to eliminate all undesirable particles (dust, tar, ...).

Two types of gas engines exist, namely dual fuel and pure gas (i.e. single fuel) engines. Dual fuel engines are derived from diesel engines equipped with a mechanical direct injection system. The gas fuel lighting is obtained by burning a small quantity of diesel which is injected in the combustion chamber. The main advantage of this system is that the total capacity of the engine for the production of electricity can be used immediately after starting, even if the gas generation system is not yet ready or is not at full production. This gives more guarantees regarding the availability of electricity at any time. In a dual fuel engine, the energy provided by diesel varies between 10 and 20 % of the total energy

consumed. Pure gas engines are derived from classical engines or are adapted diesel engines. A pure gas engine uses spark ignition to burn the biogas. A regulator and a diffuser-mixer system replace the carburetor. Automatic simple equilibrators also exist to ensure a good balance between air and gas when engine load is varying. The main advantage of pure gas engines is their independence vis-à-vis fuel oil, which is a critical factor in very remote areas or in regions where fuel oil is particularly expensive.

Cogeneration is also possible with gas engines. European manufacturers have developed systems to recover heat from the engine exhaust gases and/or from the water cooling system. The energy recovered can be sufficient to produce hot water, that can be used for kiln drying. The energy efficiency of the system is therefore considerably improved.

Gas gensets are reliable and are particularly appropriate for electricity production in small processing units, ranging from 50 kW to 1 MW.

1.7 Conclusion

Biomass energy technologies are developed and widely used in industrial countries. The potential of bioenergy, especially for rural electrification, is considerable in tropical countries. In the palette of technologies available on the market, many of them are suitable for application in tropical and developing countries. How can we achieve the development of the bioenergy market in African countries ?

2 BIOENERGY MARKET DEVELOPMENT IN AFRICA

To achieve an actual development of the bioenergy market in Africa, two actions must be carried out :

To implement proven technologies to generate heat and/or power from wood and agro-industrial residues.

To promote technology transfer by increasing awareness of clean bioenergy technologies and know-how.

How can we do that ? To illustrate the approach and methodology that can be developed to realize the bioenergy potential in African countries, we are presenting here very briefly the experience gained by CRA and other partners (Asian Institute of Technology, Cirad Enterprise, Danish Energy Agency, ...) through the EC-ASEAN COGEN Programme.

2.1 Objectives and targets of the EC-ASEAN COGEN Programme

Within the context of energy co-operation between Europe and ASEAN, the COGEN Programme started in early 1991. The Programme attempts to promote technology transfer by increasing ASEAN awareness of European technologies and know-how. It aims to accelerate the implementation of

proven technologies to generate heat and/or power from wood and agro-industrial residues. COGEN focuses on proven technologies only. This means that research projects, pilot plants, or prototypes or amateurish solutions were rejected.

The targets in Europe are mainly (but not only) manufacturers of furnaces, boilers and steam turbines; engineering and turnkey suppliers; and possible investors.

Table 2 : Type of products manufactured by COGEN European targets

Area	Product	N° of companies registered
Heat generation	Steam boiler	128
	Water tube boiler	49
	Gasifier	17
	Thermal oil boiler	16
	Heat recovery boiler	14
	Fluidised bed boiler	13
	Incineration equipment	6
Electricity generation	Turnkey plant	84
	Steam turbine	40
	Gas turbine	24
	Engine	25
Handling	Conveyor, silo, chipper, pellets, carbonization	61
Peripheral		65
Pollution control		35
Biogas		42
Financial companies	Banks, investors, ...	76

Source : EC-ASEAN COGEN Programme

Sources of biomass that need to be harvested or transported from long distances were not taken into account by the Programme because of the costs of such operations. The main focus has consequently been on waste products generated by the four biggest agro-industrial sectors in ASEAN (rice, sugar, palm oil and coconut) as well as by the wood sector. Waste is generally centralised at industrial sites, and available free of charge or at a minimal cost. Wood and agro-industries producing waste thus constitute the main target group in ASEAN. Local manufacturers of biomass energy technology wishing to form business partnerships with European equipment suppliers are also a target group for the COGEN Programme.

Finally, COGEN is directed towards policy-makers. Based on a systematic technical and socio-economic approach, the Programme attempts to provide policy-makers with an accurate assessment of the environmental and economic benefits associated with expanded use of biomass in the ASEAN energy supply.

2.2 EC-ASEAN COGEN products and services

To implement the Programme, a single two-pronged structure was put in place. It is based on programme co-ordination from ASEAN and a relay

point in Europe, both backed by technical and business expertise.

The secretariat and management centre of the Programme is based at the Asian Institute of Technology (AIT) in Bangkok (Thailand) where major decisions and strategic planning are conducted.

The secretariat is by a co-ordinator of each participating ASEAN country. The task of the co-ordinator includes collection of information about local biofuel resources and energy generation potentialities. They are also involved in generating awareness in energy generation from biomass wastes in industries. Requests from companies regarding investment needs are gathered and forwarded to the secretariat.

A relay point based in Europe is in close contact with manufacturers. It informs companies about business opportunities and latest energy news in ASEAN.

In line with its objectives, the EC-ASEAN COGEN Programme provides products categorised mainly as : Business Information Services (the "COGEN Business Line") and the Full Scale Demonstration Projects (FSDPs).

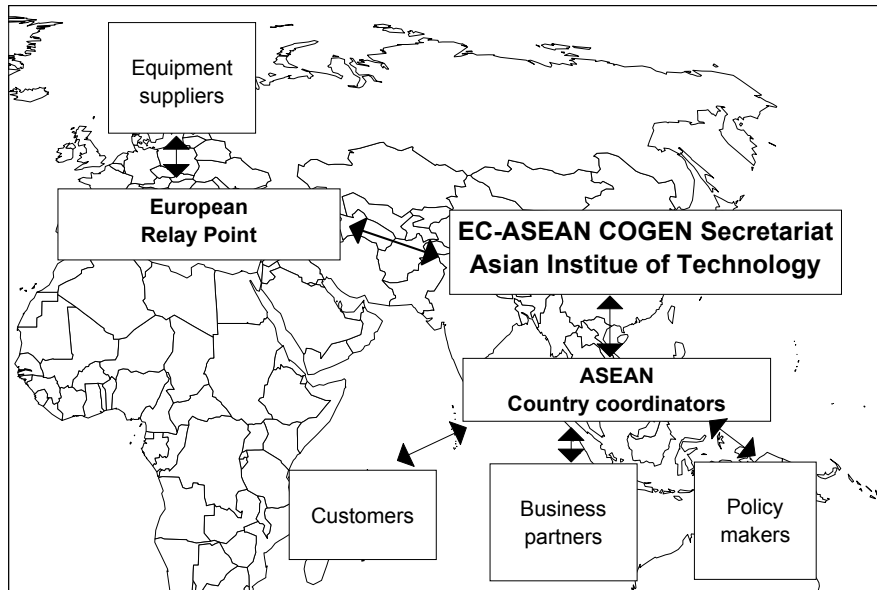


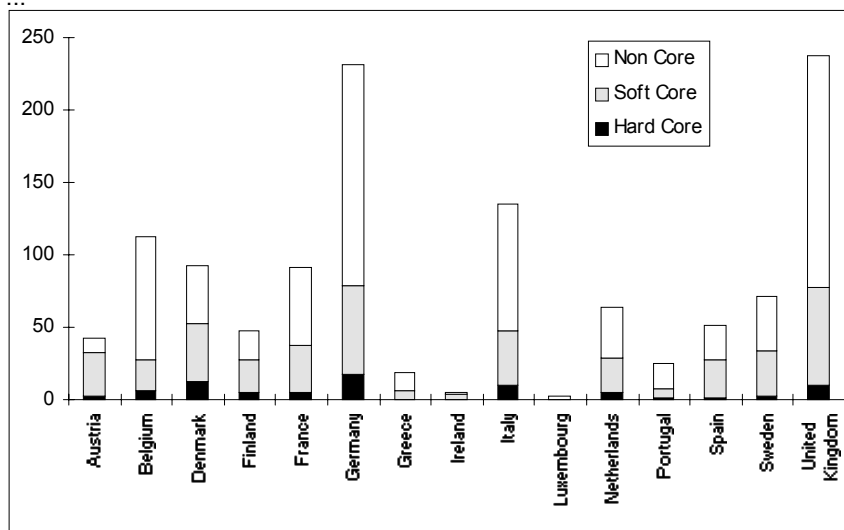
Chart 1 : EC-ASEAN COGEN Structure

The COGEN business line

The "COGEN business line" is a strategic information service designed to provide ASEAN customers with product information to facilitate their technology procurement processes in the field of biomass energy and to provide European suppliers with ASEAN market information (such as business opportunities) to assist their selling processes. Within this framework, the following services are being offered :

- Information scanning and dissemination : Strategic business information is disseminated both in ASEAN and Europe through channels such as regular "Information updates", press cuttings, sectoral reports, ...

- Identification/development of business opportunities : Through a network of local coordinators throughout ASEAN, business opportunities are being pursued which help promote industrial and business activities between ASEAN and European companies.
- COGEN Databases : The Programme maintains databases which are used to segment and analyse potential customers, joint-venture partners and relevant government agencies in ASEAN (in the case of the ASEAN COGEN database), and to segment European equipment suppliers (in the case of the European COGEN database).



Source : EC-ASEAN COGEN Programme

Chart 2 : Manufacturers by country

- Standard Techno-Economic Model (STEM) : The STEM has been developed to analyse the technical and economic feasibility of specific biomass equipment investment possibilities. Using this model as a toll, a pre-investment study service is currently being offered free of charge to ASEAN biomass producers and users.
- Workshops/seminars in ASEAN and Europe. These are aimed at creating awareness among ASEAN biomass end-users and European equipment suppliers of the opportunities in the ASEAN biomass energy market.

Full Scale Demonstration Projects (FSDPs)

The COGEN Programme has identified significant potential for technology transfer of proven technologies generating heat and/or power from wood and agro-industries. In order to accelerate these transfers, the Programme offers technical and financial assistance to implement FSDPs.

An FSDP can be defined as the on-site implementation of a proven technology on a full-scale basis in order to demonstrate its technical reliability and economic viability to other potential users in Southeast Asia (a shop window). For all FSDPs, ASEAN customers bought equipment at market conditions from European suppliers, COGEN sponsorship is more of a "premium", "guarantee" and sometimes a "label" compared to a classic grant mechanism being implemented in other multilateral programmes.

For all projects selected, COGEN provides a small financial assistance up to 15 % of the investment costs (with a maximum ceiling of 400 thousand ECU, and also provides funds for training and independent monitoring. In return, the end-users must allow the dissemination of the technical and economic results of the projects, and visits to the installation by interested parties throughout ASEAN (another aspect of demonstration). To date 14 demonstration projects have been set up (some still to be commissioned).

The average size of these projects range between 1 - 5 MWe of power capacity, also bigger installations are possible.

Malaysia and Thailand took the lion's share, with 8 and 5 demonstration projects respectively. However, the poor results obtained in Indonesia, and especially the Philippines where no projects have been set up so far, does not totally reflect the reality. Despite the fact that their particular business climate can sometimes make things less easy for foreign investors, both country offer real opportunities for biomass energy technologies (huge market, well-developed wood and agro-industries, high availability of biomass residues, thousands of islands with numerous factories located in remote areas, risks for investors more controlled than in the past, ...).

To ensure the maximum replication of the demonstration projects, independent technical and economic monitoring of the equipment is being performed.

The COGEN Business Link

The "EC-ASEAN COGEN Business Link" is a service aiming to create or reinforce links between European and ASEAN companies. EC-ASEAN COGEN helps European companies to find a partner, to enhance exiting collaborations, to set up alliances.

The COGEN Business Link provides :

- criteria for searching/finding the right partners (local agent, distributor, joint-venture, ...),

- names of ASEAN/European companies looking for relationships/partnerships
- company profiles,
- technically based matchmaking,
- D-Base search,
- Introduction for one-to-one discussions.

At least, the Programme wants to help companies "fixing up their starting blocks". This is part of the no-business-interference approach of the Euro-ASEAN Economic cooperation.

2.3 Results and future

In a short period of time, the COGEN Programme has established references of European and Euro-ASEAN equipment in selected wood and agro-industries in Southeast Asia. These projects have generated over US\$ 100 million in direct investment and represent showcases of proven technology in biomass energy equipment around the region. Some biomass energy projects have been highly profitable.

The success of COGEN can also be explained by an emphasis on market intelligence, i.e., information sources, channels and business opportunities rarely achieved in public-private initiatives.

The methodology developed by the EC-ASEAN COGEN Programme presents several major interests in the framework of energy markets strategic development.

First of all, the methodology is based on the identification of the local energy needs (bottom-up approach). The satisfaction of these local needs (heat and/or electricity for industrial processes, decentralized electricity production, rural electrification) contributes to the local economic development of rural or remote areas.

The implementation of bioenergy plants in agro- and wood industries is mainly realized by Small and Medium Enterprises (SMEs), as equipment suppliers as well as civil works or services companies. Consequently, the methodology of the COGEN Programme contributes significantly to the development of an important economic sector in developing countries, the SMEs sector.

The structure of the COGEN Programme allows the public and private representatives to meet and exchange ideas on a regular basis. This increased public - private interaction leads to an increased mutual awareness of public and private actors, and hence to an improved mobilisation of national and international private capital, increased economic exchanges in the energy sector, setting up of appropriate energy policies and regulatory framework.

Finally, the implementation of proven technologies demonstrate the reliability and performances of bioenergy technical solutions adapted to the local energy and technological context. Financial risks are consequently reduced and the replication of these bioenergy technical solutions is enhanced.

Table 3 : COGEN Full Scale Demonstration Projects

N°	Location	Industry	Equipment
21	Sarawak, Malaysia	wood	Boiler : 30 tph, 21 bar Turbine : 1,650 kW fully condensing - Process steam : 10 tph, 7 bar
29	Pahang, Malaysia	wood	Boiler : 16 tph, 22 bar Turbines: 900 kW condensing, 600 kW back pressure Process steam: 4 tph, 6 bar
31	Chonburi, Thailand	wood	Wood residues collecting system water boiler : 400,000 kcal/hr - Kiln dryers
32	Srakaew, Thailand	wood	Wood residues collecting system Boiler : 1,250,000 kcal/hr
33	Chachoengsao, Thailand	paper	Turbine: 600 kW back pressure (20 bar - 6 bar)
34	Nakorn Ratchasima, Thailand	rice	Boiler : 17 tph, 35 bar Turbine : 2.5 MW condensing
36	Surat Thani, Thailand	wood	Boiler : 21 tph, 24 bar Turbine : 2.5 MW extraction/condensing
45	Sabah, Malaysia	wood	Boiler : 35 tph, 43 bar, 435 °C Turbine : 10 MW condensing - Silo, chipper, switchgears
48	South Sumatra, Indonesia	wood	Boiler : 35 tph, 35 bar, 380 °C Accessories and piping works
50	Negeri Sembilan, Malaysia	wood	Boiler : 5 tph, 12.3 bar, 193 °C Automatic feeding system
65	Johore, Malaysia	palm oil	Boiler : 35 tph, 23 bar, saturated Turbine : 1200 kW back pressure at 4.1 bar
68	Kedah, Malaysia	wood	Boiler : thermal oil, steam generator (total thermal capacity of 22 Gcal/hr.) Material handling, transport, reclaim, metering and storage system - Boiler : 5 tph, 12.3 bar, 193 °C Wastewater treatment plant
69	Selangor, Malaysia	rubber	Steam boiler: 6.5 tph, 30 bar, saturated
86	Kedah Darul Aman, Malaysia	rice	Turbine: 450 kWh back pressure - Multicyclone dust collector Heat exchanger: 1,200,000 kcal/hr

Source : EC-ASEAN COGEN Programme

3 FUTURE ACTIONS

By way of conclusion, we are discussing practical possible actions aiming at developing the bioenergy market for industrial applications.

According to the agro – and wood industries processes (sugar mill, palm oil mill, rice mill, plymill, sawmill, ...), the energy needs are varying a lot. Furthermore, some of these plants have regular energy needs, others have very irregular ones. Some agro-industries have seasonal activities (milling season) , others are operating almost all year round. In the first case, the energy plant can be operated as a power station during the off-milling season. Combined heat and power can thus offer different solutions adapted to each agro- or wood mill.

However, implementing cogeneration plants in these industrial sectors implies a thorough analysis of two issues :

1. The industrial process must be optimized in terms of energy needs so to spare a maximum amount of biomass residues for commercial energy production.

2. The wide diversity of energy technologies available as well as the specific characteristics of each industry (process, biomass residues, environment) calls for a high quality well targeted information.

But biomass residues may also be used only for heat generation in various industrial processes such as wood or food drying.

Agro- and wood industries in Africa have an important need of technical information and assistance to modernize their production units and use all their potential to ensure their energy self-sufficiency or, more, to operate as a local power station. As mentioned above, this leads to an optimization of the industrial process and an improvement of the competitiveness, to a reinforcement of the local economic development and important market synergies in the field of biomass residues. There is thus a need to develop actions for a better technological information of the public and private sectors in Africa, and this is an area where operators like the Institut de l'Energie des Pays Francophone (IEPF – French Speaking Countries Energy Institute) can play an important role : support to sectoral studies, workshops organisation where agro and wood industries can

meet equipment suppliers, technology promotion, etc.

Practically, actions must be conducted in two phases. The first phase is an "identification" phase, consisting mainly of :

- at a regional level, country per country, an identification and an analysis of the energy and local development needs, completed by an identification and an analysis of the agro- and wood industries (production capacity, present use of biomass residues, present technologies in use, ...);
- critical survey of local enterprises (metallic construction, civil works, services, etc) which could be potential partners of equipment manufacturers ;
- an analysis of the national and international finance sector leading to the identification of financing schemes experienced in or suitable for energy investments in agro- and wood industries ;
- a critical survey and in depth analysis of equipment manufacturers in industrial countries, capable to offer the suitable technology to African enterprises.

This first phase must be conducted in collaboration with local organisations able to provide the necessary assistance to the management unit of this identification phase.

The second phase of actions, "implementation" phase, aims at implementing and operating the different instruments that will lead to the development of bioenergy markets and technology transfer in targeted sectors and countries :

- a strategic information system,
- a business link,
- full scale demonstration projects, including monitoring,
- promotion and dissemination of FSDPs and services through advertising, study tours, workshops, etc.

The successful implementation of these actions will contribute to the economic, social and environmental development not only of African agro- and wood industries sectors but also of their region of economic interest.

REFERENCES

1. SCHENKEL Y., VAN BELLE J.-F., PENNINGTON M. (1998). An Export Opportunity : the EC-ASEAN COGEN Programme. *In Proc. "Annual Conference COGEN Europe 1998", COGEN Europe ed., Brussels, Belgium, 8 p.*
2. NUSSBAUMER T., HUSTAD J.E. (1997). Overview of Biomass Combustion. *In Proc. "Development in Thermochemical Biomass Conversion", BRIDGWATER A.V., BOOCOCK D.G.B. ed., Blackie Academic & Professional pub., London, UK, 1229-1243.*
3. BENABDALLAH B., CARRE J., KHENNAS S., VERGNET L.-F., (1994). Guide Biomasse-Energie. *Institut de l'Energie des Pays ayant en commun l'usage du Français (I.E.P.F.), Québec, Canada, 320 p.*
4. TILLMAN D.A. (1987). Biomass Combustion. *In "Biomass – Regenerable Energy". HALL D.O. and OVEREND R.P. ed., John Wiley & Sons pub., New-York, USA, 203-219.*

CONTRIBUTION DE LA GAZEIFICATION DE LA BIOMASSE À LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

Pépin TCHOUATÉ HETEU, Frédéric BOURGOIS, Ingénieurs de Projet
 Université Catholique de Louvain -Groupe Energie Biomasse
 2, place du Levant – B-1348 Louvain-la-Neuve - BELGIQUE
 Tél : 32.10.47.22.19 - Fax : 32.10.45.26.92 - bourgeois@term.ucl.ac.be - tchaoute@term.ucl.ac.be

INTRODUCTION

L'électricité est un facteur essentiel au développement économique et social de la population d'une région, d'une ville ou d'un village. Elle apporte la force motrice pour les activités de production, le froid pour la conservation des aliments ou des vaccins, l'éclairage favorisant ainsi l'éducation, l'amélioration des soins de santé et permettant le développement de la culture et des loisirs.

Malheureusement au niveau mondial, l'accès à l'électricité reste limité. Les investissements nécessaires sont souvent considérables et les frais d'exploitation résultant du prix élevé des combustibles pétroliers, surtout s'ils sont importés, réduisent les possibilités d'extension du secteur électrique. La biomasse, largement disponible dans beaucoup de régions du sud, à un coût sans comparaison avec les combustibles pétroliers importés, peut contribuer au développement d'une électrification à moindre coût. Et, son exploitation, pour autant qu'elle se fasse de façon soutenable, est source d'activités économiques et participe à la préservation de l'environnement.

Dans ce cadre, la gazéification a un rôle fondamental à jouer : parmi les technologies de conversion énergétique de la biomasse, c'est la seule disponible qui permette d'obtenir des coûts et rendements acceptables dans la gamme de puissance 10 – 500 kW_e (cf. tableau 1). Cependant, son application dans le contexte africain nécessite un travail d'adaptation afin de mieux prendre en compte le contexte technique, économique et social dans lequel elle sera implantée.

	<i>Gamme de puissance</i> [kW]	<i>Rendement électrique</i> [%]	<i>Investissements</i> [MFCFA]
Chaudière + turbine vapeur	100 – 1000	.. 10 ..	1.5 .. 2.5
	>5000	20 – 30	
Chaudière + machine à piston	10 – 300	5 .. 10	0.7 .. 3
Gazogène + moteur à combustion	10 - 500	15 – 25	0.5 .. 2
Gazogène + turbine à gaz	> 5000	25 – 35	..1.5 ..

Tableau 1 : caractéristiques technico-économiques des procédés de conversion de la biomasse en électricité

1 CARACTÉRISTIQUES DES BIOMASSES

La biomasse ou plutôt les biomasses sont caractérisées par une très grande diversité tant du point de vue des origines que de leur nature. Parmi celles-ci, on peut citer les résidus agricoles (pailles, tiges de coton, coques d'arachides,...), les résidus d'exploitation forestière, les cultures énergétiques de bois, les herbes de savane,...

Malgré leur très grande diversité et la variabilité de leurs propriétés physiques et compositions, les biomasses sont caractérisées par une constance remarquable dans leur composition élémentaire en carbone, hydrogène et oxygène, ce qui conduit à un contenu énergétique par unité de masse quasi identique pour toutes les biomasses. La quantité finale d'énergie obtenue dépend plus du procédé de bioconversion mis en œuvre et de l'adéquation entre ce procédé et la biomasse que de la biomasse elle-même.

Un grand nombre de biomasses « sèches » peuvent ainsi être valorisées énergiquement dans un gazogène pour autant qu'elles répondent aux 3 critères suivants :

1.1 Granulométrie

La biomasse doit être préparée pour obtenir un produit dont la granulométrie est typiquement comprise entre 10 et 100 mm. Elle sera broyée si ses dimensions sont supérieures (branches, tiges) ou densifiée si elle se présente sous forme de sciure.

1.2 Humidité

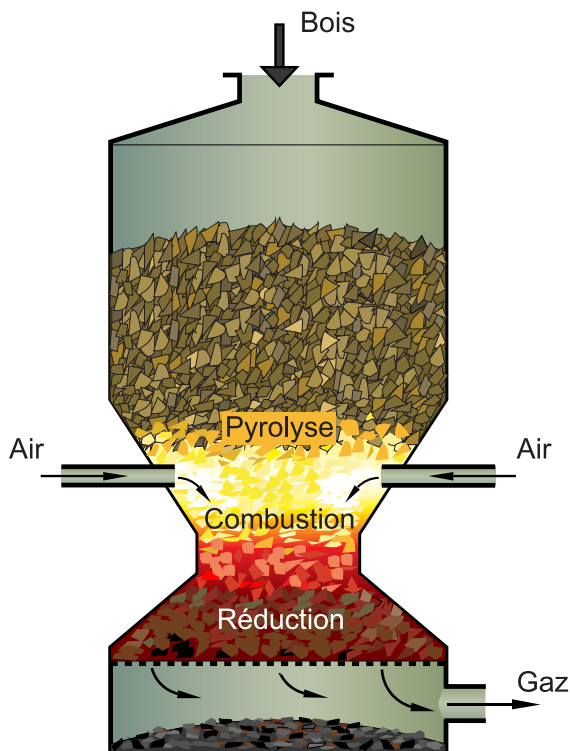
A la récolte certaines biomasses présentent des humidités supérieures à 50 %. La gazéification nécessite une humidité inférieure 20 %. Le séchage peut être naturel, la biomasse cédant son humidité à l'air ambiant, ou artificiel par récupération de la chaleur des gaz d'échappement du moteur.

1.3 Teneur et composition des cendres :

Pour éviter la formation de mâchefers dans le gazogène, les matières minérales contenues dans le combustible doivent avoir une température de fusion élevée et/ou être en concentration limitée.

2 LE PRINCIPE DE LA GAZÉIFICATION

L'objectif de la gazéification est de convertir un combustible solide, difficile à utiliser et offrant peu de perspectives d'utilisation, en un gaz beaucoup plus commode d'emploi.



La gazéification peut être assimilée à une combustion menée en défaut d'air de façon à convertir le bois en un combustible gazeux. Le principe de fonctionnement du gazogène à lit fixe et co-courant (downdraft gasifier) est représenté sur le schéma ci-contre. La biomasse est introduite dans la partie supérieure du gazogène. En s'approchant de la zone de combustion à haute température, elle se dégrade pour former les produits de **pyrolyse** : gaz de pyrolyse et charbon végétal. Au niveau de la zone de **combustion**, les gaz de pyrolyse brûlent avec l'air introduit par des tuyères périphériques. Le charbon végétal passe outre la zone de combustion et se retrouve dans la zone de **réduction** où il est consommé par les gaz de combustion pour former le gaz combustible. Le gaz est principalement constitué de CO (17 à 28%), de CO₂ (8 à 12%), d'H₂ (11 à 17%), de CH₄ (1.5 à 5%) et d'azote (50%). Son pouvoir calorifique inférieur est de l'ordre de 4 à 5.8 MJ/m³. Le rendement énergétique de conversion du gazogène à co-courant est de l'ordre de 70 à 80 % sur gaz froid (application « moteur ») et 80 à 90 % pour une application « chaudière ».

Utilisation du gaz dans un groupe électrogène

La composition et la qualité du gaz en font un combustible tout-à-fait approprié pour les moteurs, moyennant quelques adaptations et un conditionnement du gaz. A la sortie du gazogène, sa température est de 400 à 600°C et il contient des poussières et des goudrons. Avant utilisation dans un moteur, il convient de le refroidir jusqu'à environ 50°C et à en éliminer les particules et goudrons qui pourraient encrasser le moteur. Ces opérations s'effectuent généralement en 2 phases :

- épuration sèche par cyclone pour éliminer les particules
- épuration par voie humide (pulvérisation d'eau) pour refroidir le gaz et en éliminer les goudrons.

L'épuration est une opération déterminante pour le succès de l'installation : peu efficace elle conduira à la destruction du moteur par colmatage, trop exigeante en maintenance elle sera abandonnée pour des raisons économiques ou de pénibilité de la tâche. Une bonne maîtrise des effluents est également fondamentale pour l'environnement. Une fois refroidi et épuré, le gaz est un bon combustible pour les moteurs. Deux types de technologies peuvent être utilisées :

Le **moteur à allumage commandé**, dérivé du moteur à essence ou à gaz dans lequel est introduit un mélange carburé air-gaz de gazogène et dont l'ignition est effectuée par l'étincelle d'une bougie d'allumage. Cette technologie est également dénommée « tout gaz ».

Le **moteur diesel-gaz** est un moteur diesel standard dans lequel est introduit un mélange carburé air - gaz de gazogène. L'ignition du mélange est effectuée par une injection pilote de diesel représentant 10 à 20 % de l'énergie totale. Il est à remarquer qu'aucune modification structurelle n'est opérée sur le moteur si bien qu'il peut à tout moment fonctionner avec 100 % de diesel. Par rapport au moteur à allumage commandé, le moteur diesel-gaz présente l'avantage du coût et de la disponibilité des pièces de rechange et offre la possibilité de fonctionner avec 100% diesel en cas de défaut d'alimentation de gaz. L'inconvénient majeure des moteurs « dual-fuel » est de consommer en continu 10 à 20 % de diesel. En cas de mauvaise gestion, le pourcentage de diesel injecté peut croître jusqu'à 40 voir 50% rendant l'économie du projet caduque.

3 LES GROUPES GAZO-ÉLECTROGÈNE

Une installation de gazéification pour la production d'électricité, que l'on peut qualifier de groupe gazo-électrogène comprend donc :

- un lieu de stockage et de conditionnement de la biomasse
- le gazogène
- le laveur,
- le groupe électrogène qui produit l'électricité

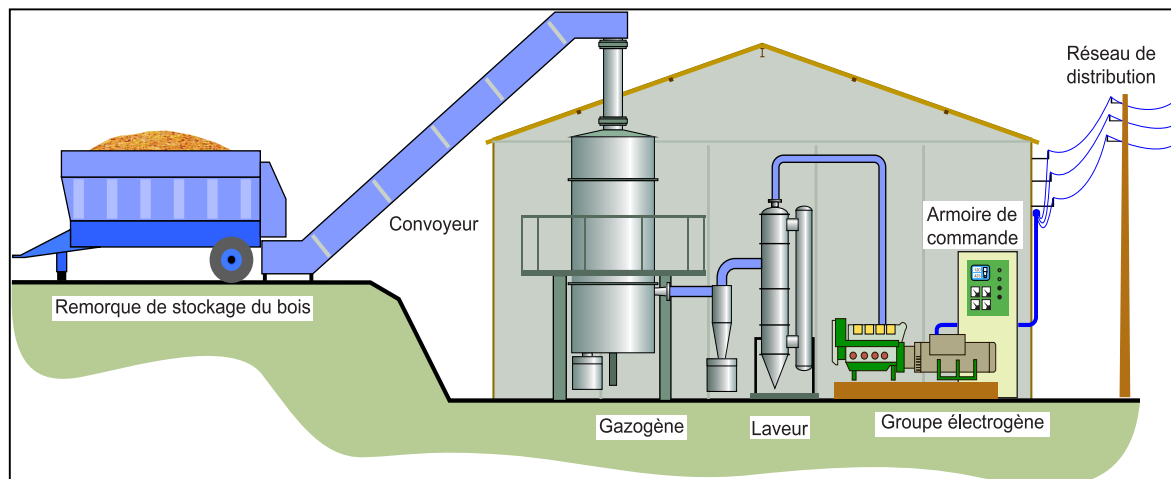


Fig 2 : Schéma de principe d'une installation entièrement automatisée de production d'électricité sur le réseau par gazéification de bois (projet TtCR-GAZEL).

Plusieurs variantes à cette technologie de base sont possibles, notamment :

- **L'alimentation du gazogène** . Elle peut être de type « *batch* » qui consiste à remplir le gazogène et à le faire fonctionner jusqu'à ce que toute la biomasse soit consommée. La durée de fonctionnement est déterminée par la quantité de bois présente dans le gazogène et la puissance délivrée. Généralement elle est comprise entre 8 et 16 heures. Il est également possible d'adapter une alimentation *continue*. Cette solution permet une production continue mais implique des investissements plus élevés et surtout une automatisation du procédé.
- **Production combinée d'électricité et de chaleur (cogénération)**: il est possible de récupérer la chaleur produite par le moteur au niveau du circuit de refroidissement et des gaz d'échappement. L'énergie récupérée peut être valorisée pour le séchage, pour la production d'eau chaude destinée à un process industriel ou à la production de froid (systèmes à absorption).
- **Degré d'automatisation** : il est possible d'automatiser complètement l'installation pour qu'elle puisse fonctionner sans la présence d'un opérateur, ceci implique des investissements plus lourds. Pour correspondre au mieux au contexte technico-économique, un compromis doit être trouvé entre une installation complètement manuelle ou entièrement automatisée.

4 DOMAINES D'APPLICATION DES GROUPES GAZO-ÉLECTROGÈNES – ETUDES DE CAS

Dans les *pays industrialisés du Nord*, la technologie de gazéification est depuis le début de la décennie en plein re-développement. Plusieurs facteurs sont à l'origine de ce renouveau des groupes gazo-électrogènes :

- la prise en compte de l'impact négatif de la production d'énergie sur l'environnement et la nécessité de développer les énergies renouvelables pour réduire les émissions CO₂.
- La volonté de gérer le bois « déchet » provenant des industries du bois, de l'emballage, de la démolition.
- Le potentiel de développement économique et de création d'emplois que représente la filière-bois.

Les groupes gazo-électrogènes développés dans ce cadre sont généralement destinés à la cogénération. Un niveau d'automatisation élevé est également recherché devant conduire à un fonctionnement sans présence humaine. L'alimentation en combustible est automatique.

Pour les *pays du Sud*, l'intérêt majeur de cette technologie est la réduction du coût de production de l'électricité qu'elle peut engendrer par l'utilisation d'un combustible **local, bon marché et renouvelable**. De plus, à part le moteur et quelques composants spécifiques, la plupart des éléments du groupe gazo-électrogène peuvent être réalisés dans des industries de fabrication métalliques du Sud.

Les créneaux pour lesquels il nous semble que les groupes gazo-électrogène présentent un grand intérêt sont :

4.1 Le secteur industriel

Les industries du bois (sciage, tranchage, ...) et certaines industries agro-alimentaires (huileries, coco, café, ...) génèrent des quantités importantes de résidus ligno-cellulosiques. Pour ces industries le coût de l'énergie représente généralement une part importante dans le coût de production du produit. L'utilisation d'un « déchet » du processus en lieu et place de l'électricité du réseau ou de fuel permet de réduire les coûts de production et d'accroître la compétitivité de l'entreprise. Pour des puissances installées inférieures à 500 kW, la solution la plus intéressante à mettre en œuvre est le groupe gazo-électrogène. Au-delà, il est à mettre en concurrence avec les turbines à vapeur.

A titre d'exemple, considérons le cas d'une scierie implantée loin du réseau électrique et donc contrainte de produire sa propre électricité. Cette scierie traite annuellement 11 000 m³ de grumes dont 6700 m³ se retrouvent sous forme de déchets répartis comme suit : dosses (31%), délignures (9%), chutes (45%) et sciures (9%). Ces déchets sont actuellement éliminés. En excluant les sciures plus difficiles à valoriser par gazéification, nous obtenons une ressource annuelle de l'ordre de 3000 tonnes de bois anhydre.

Les besoins en électricité de la scierie sont de 180 MWh/an actuellement fournis par un groupe diesel de 100 kW dont le coût d'investissement a été de 35 MFCFA (génie civil compris). Substituons le groupe diesel par un groupe gazo-électrogène. Deux alternatives sont possibles : le groupe « tout gaz » ou « diesel-gaz ». Les investissements à consentir sont respectivement estimés à 68 MFCFA et 62 MFCFA, les consommations annuelles de bois sont de 180 et 150 tonnes, le groupe diesel-gaz consommant 20 % de gasoil. Les « déchets » couvrent donc largement les besoins électriques.

Les frais d'exploitation sont constitués :

- du coût de conditionnement du combustible (broyage, stockage, manutention) : 9 FCFA/kg
- du coût du gasoil : 250 FCFA/l
- des coûts de personnel d'exploitation de la centrale : 1.8 MFCFA/an
- des frais de maintenance et pièces de rechange : 3% de l'investissement

En considérant un taux d'actualisation de 10% et un taux de croissance annuel de la consommation de 7%, le temps de retour du surinvestissement occasionné par le groupe gazo-électrogène est de 2 ans. L'analyse économique fournit les résultats résumés dans le tableau 2. La quantité de CO₂ évité

par la mise en place de cette technologie serait de l'ordre de **150 tonnes** par an.

4.2 L'électrification des centres urbains secondaires non-interconnectés

Au Burkina Faso, plus d'un tiers des villes électrifiées le sont par des groupes diesel débitant sur un réseau local, non-interconnecté. La plupart des groupes installés développent une puissance comprise entre 60 et 450 kVA, soit le créneau de puissance des groupes gazo-électrogène. L'électrification de ces centres s'intègre dans un programme de développement social et économique fondamental pour le pays mais la production dans ces centres est généralement déficitaire. Plusieurs raisons en sont la cause. Parmi celles-ci, le coût élevé du combustible (DDO) dont la part dans le coût de production est de l'ordre de 63 FCFA/kWh. Une analyse détaillée des ressources en biomasse, de la filière potentielle de récolte et commercialisation de la biomasse a été effectuée pour les villes de Houndé et de Manga. Manga se situe à 100 km au sud de Ouagadougou. La centrale, mise en service en 1999 comprend 2 groupes fonctionnant au DDO. Elle a pour objectif de produire 245 MWh la première année. La ressource envisagée pour un groupe gazo-électrogène substituant un groupe diesel est le bois. En effet, la région a connu dans les années 70 et 80 plusieurs programmes de reforestation. Aujourd'hui, la province compte plus de 790 ha de plantations d'Eucalyptus et autres essences à croissance rapide destinées à la production de bois de chauffe et de service. Mais peu d'entre elles sont exploitées faute de débouchés. La valorisation de ces ressources et leur remplacement par des essences locales mieux adaptées au contexte écologique représente une ressource satisfaisant largement aux besoins de la centrale. De plus, la création d'un débouché économique pour le bois issu de plantations (et uniquement celui-là) sera un incitant fort à la plantation qui manque actuellement aux programmes de reforestation. Le coût du bois comprenant culture, récolte, transport, stockage et broyage a été évalué à 21 FCFA/kg.

En prenant des hypothèses identiques pour les 2 sites, soit un taux de croissance annuel moyen de la consommation de 7% pour les 10 premières années et 5 % pour les 10 années suivantes, un facteur de charge de 30 % en année 1 croissant jusqu'à 55 % en année 10, les besoins sont satisfaits en année 1 par un groupe de 100 kW, complété par un 2^{ème} groupe en année 10.

	Groupe diesel	Groupe Gazo-électrogène	
		Option « dual fuel »	Option « tout gaz »
Investissement [MFCFA]	35.3	61.7	68.4
Coût du kWh produit [FCFA]	127	96	88
Coût du combustible dans le kWh [FCFA]	87	24,6	9
Temps de retour du surcoût d'investissement [ans]		2	2

Tableau 2 : comparaison des filières diesel , diesel-gaz et « tout gaz » pour la production d'électricité dans une scierie

Le tableau 3 présente les critères de rentabilité retenus en fonction de la filière. Le taux d'actualisation retenu est de 5%, retenu pour l'électrification des villes secondaires et de l'électrification rurale.

	Production Classique	Houndé : Filière « Coton »		Manga : Filière « bois »	
		Option « dual fuel »	Option « tout gaz »	Option « dual fuel »	Option « tout gaz »
Investissement actualisé [kFCFA]	43576	86167	96932	86167	96932
Coût du kWh produit [FCFA]	81,7	61,4	56,3	60,3	55
Coût du combustible dans le kWh [FCFA]	62,8	30,3	22,2	29,3	20,9
Temps de retour du surcoût d'investissement [ans]		3,4	3,4	3,4	3,4

Tableau 3 : comparaison des filières diesel , diesel-gaz et « tout gaz » pour la production d'électricité dans une ville secondaire

Il ressort que la filière biomasse-électricité est la plus rentable. Elle permet une économie variant de **15 à 25 FCFA par kWh** produit. Le surinvestissement lié au groupe gazo-électrogène par rapport à une solution classique au diesel est récupéré dans un délai de l'ordre de 3 ans. Malgré l'investissement plus élevé, l'option « tout gaz » présente un coût de revient d'environ 4 FCFA/kWh moins élevé que l'option dual fuel résultant de la substitution totale du DDO par de la biomasse.

Dans cette application, la filière gazo-électrogène permet une économie en émissions de CO₂ de **200 à 250 tonnes par an**, soit environ **2.5 tonnes CO₂ par million de FCFA investi**. Parallèlement, **80 tonnes de SO₂** sont évitées par an. La rentabilité de la filière dépend évidemment du coût de la biomasse conditionnée. L'analyse de sensibilité du prix des tiges de coton sur la rentabilité montre que le « break event point » pour lequel le coût de production du kWh par la filière gazo-électrogène serait équivalent à celui produit par un groupe diesel se situe à 48 FCFA/kg, soit plus du double de l'estimation (haute) du coût du coton.

4.3 Electrification villageoise

« Electrification villageoise » est un terme vaste regroupant un ensemble très diversifié de réalités. Considérons un groupe électrogène fonctionnant quelques heures par jour, destiné à l'alimentation

d'un moulin, au pompage de l'eau et à la satisfaction des besoins de quelques familles, soit l'éclairage et autres usages « résidentiels ». Les puissances et consommations sont représentées dans le tableau 4.

La consommation annuelle est évaluée à 52 650 kWh, la puissance installée de 40 kW. Le coût du combustible est de 300 FCFA/l et la consommation spécifique de 350 g/kWh.

On obtient aussi ici une meilleure rentabilité de la filière gazo-électrogène. Le différentiel avec la solution diesel sera d'autant plus grand que le taux d'utilisation du groupe est élevé, le prix du combustible biomasse, faible et les investissements de la partie gazogène, réduits.

Ce dernier point pourrait être rencontré par le développement d'une industrie locale qui prendrait en charge la réalisation et/ou l'assemblage des composants des groupes gazo-électrogènes.

En outre, l'économie en émissions de CO₂ est d'environ **47 tonnes** par an.

	Pompage d'eau potable	Moulin	Résidentiels	5 points lumineux
Puissance	30 kW	10 kW	10 kW	300 W
Consommation	90 kWh/j (le matin)	18 kWh/j	36 kWh/j	1.2 kWh/j

Tableau 4 : Puissances et consommations

5 CONTEXTE D'INTÉGRATION DES GROUPES GAZO-ÉLECTROGÈNE

Comme les exemples précédents l'illustrent, la filière gazo-électrogène offre des perspectives intéressantes en matière de réduction des coûts de l'électrification. Cependant son intégration implique comme toute "nouvelle" technologie des conditions d'implantation tant sur le plan organisationnel, technique qu'institutionnel.

Contrairement à la production classique d'électricité à partir de gasoil, une organisation rigoureuse en amont de la centrale doit être mise en place. Certaines expériences ou projets pilotes ont échoué parce que le projet a négligé le volet approvisionnement de la centrale en combustible. Une analyse détaillée doit déterminer les sources de biomasse disponibles qui peuvent être :

- les cultures énergétiques, auquel cas il est important d'étudier les systèmes agraires existants, les pratiques locales, de sélectionner les essences en fonction de leurs impacts environnementaux (sols, hydrologie,)
- les résidus agricoles auquel cas, il convient d'analyser la quantité disponible, les utilisations actuelles, le calendrier disponibilité et la localisation des ressources,

Dans les deux cas, il faut organiser l'approvisionnement en s'appuyant sur les organisations existantes (groupement d'agriculteurs, groupement de transporteurs,) et veiller à bien faire ressortir les étapes de la chaîne (production/récolte ou achat, transport, conditionnement broyage/séchage, stockage), les moyens et les coûts associés.

Sur le plan technique, la production d'électricité par gazéification a fait ses preuves. Cependant la mise en œuvre de la technologie doit être bien intégrée dans le contexte d'implantation. Il y a notamment lieu d'éviter les technologies nécessitant une maintenance lourde et fréquente qui provoquera

inmanquablement l'abandon de la technologie. L'adaptation de la technologie aux contextes africains ne peut se faire que par des acteurs du continent en collaboration éventuelle avec des équipes du nord. D'autre part, comme dans tout projet technologique, le volet formation du personnel est essentiel et doit accompagner chaque installation.

Sur le plan économique, la rentabilité de la filière gazo-électrogène est à mettre en balance avec un groupe diesel classique par rapport auquel elle présente des coûts d'investissement plus élevés mais des coûts d'exploitation plus faible. Chaque cas doit faire l'objet d'une étude spécifique. En première analyse, les éléments suivants marqueront l'intérêt pour la filière:

- coût du combustible classique supérieur à 180 FCFA le litre
- coût de la biomasse conditionnée inférieur à 35 FCFA/kg (électrification des centres secondaires) et 10 FCFA/kg (projets individuels)
- une demande forte en électricité : taux de raccordement initial élevé dans le cas d'ERD, besoins importants en milieu industriel et électrification de processus

Sur le plan institutionnel, la technologie des groupes gazo-électrogènes peut constituer un instrument des Etats pour satisfaire le Mécanisme de Développement Propre dans le cadre de la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). En effet, les projets d'électrification par groupe gazo-électrogène satisfont aux trois conditions « clés » du MDP :

- contribution aux objectifs de développement durable du pays hôte
- réduction à coût modéré des émissions
- réduction globale des émissions de GES

	Production Classique	Groupe gazo-électrogène	
		Option « dual fuel »	Option « tout gaz »
Investissement [kFCFA]	19 000	37 200	41 800
Coût du kWh produit [FCFA]	189	165	159
Coût du combustible dans le kWh [FCFA]	122	31,6	9
Temps de retour du surcoût d'investissement [ans]		4	4

Tableau 5 : comparaison des filières diesel , diesel-gaz et « tout gaz » pour la production d'électricité « villageoise »

COMCEPT SOLUTION FOR CBP FROM BIOMASS

Jef MESTDAGH

Délégué VYNCKE NV

Gentsesteenweg 224B – 8530 Harelbeke - BELGIQUE

Tél : 32.56.73.06.26 - Fax : 32.56.70.41.60 - jme@vyncke.be

INTRODUCTION

In 1912 Louis Vyncke started to rebuild boilers in order to make them suitable for the flax industry. He saw the potential of using the production waste as a solid fuel and so the first waste-to-energy boilers were born.

Initiated by the energy crisis in the early seventies, Vyncke started to adapt its energy plants to the specific needs of the wood industry and became a leader in the design, engineering and manufacturing of environmentally friendly energy systems.

The in-house technology, flexibility and creativity enabled Vyncke to successfully diversify in fuels (all biomass residues, from conventional fuel and wood residues over palm fruit fibers and coconut shells to rice husk and sunflower husk) and in countries.

Nowadays Vyncke is a global company, with engineering and manufacturing facilities in Belgium, the Czech Republic and in Malaysia, and a worldwide sales and service network.

The diversity of wood residues, the variety of the energy requirements and the increasingly stricter environmental standards always require a tailor-made solution.

Complete solutions

The integration of various technologies guarantees a complete and the most suitable solution for the

customer. Vyncke offers a wide range of peripheral equipment, from fuel preparation and storage to pollution control.

Fuel preparation	Chipper / compressor
Fuel storage	Silo unloading system
Fuel handling	Feeding systems
Combustion engineering	Grates
Energy technology	Boilers, turbines and condensing plants
Pollution control	Filters
Measurement and regulation	Automatisation
Visualization and telediagnostic	Control of the installation from Harelbeke

Adapted technology

Each country has its own construction norms, its own environmental regulations and its own specific characteristics, which calls for an adapted technology. Besides, each customers has its

specific needs and the diversity of biomass residues and the variety of energy requirements demands a personal approach of each project and a tailor made solution.

Fuel	→ Taylor made, modular solutions
Country	
Customer needs	

Application fields**Fuels**

In general, our fuels can be best described as biomass residues. Approximately 75% of the

applications are burning woodwaste, 25% burns agro-waste and coal. Gas and oil are mostly used as a back-up fuel.

Woodwaste	Sawdust
	Bark
	Off-cuts
	Sanderdust
	Chips
	Shavings
	Trimming
	Fibers
	...
	Agro waste
	Rice husks
	Coconut shells
	Coffee hulls
	Flax hulls
	Bagasse (sugar cane)
	Sunflower hulls
	...
Coal	
Oil, Gas	

Energy-medium

The energy available from the combustion unit can be used in various forms: water, steam, thermal oil,

hot gases, electricity or a combination of the previous.

Hot water	Max. 120 °C
Low pressure steam	Max. 0,5 bar - 1 bar
Superheated water	Max. 250 °C
High pressure saturated steam	Max. 50 bar
High pressure superheated steam	Max. 50 bar, 420 °C
Thermal oil	Max. 330 °C
Hot gases	Max. 1000 °C
Electricity / Cogeneration	Max. ± 10 MWe

Capacity

This table gives an overview of our capacity range for single energy units. Higher capacities will be reached by combining two or more energy units.

Gcal/hr	0,5	-	40
MJ/hr	2	-	165
MW (thermal)	0,6	-	45
MW (electrical)	0,3	-	10
MMBTU/Hr	2	-	160
tons steam/hr	0,5	-	50
pounds steam/hr	1.100	-	110.000

Geographical

Our global structure and worldwide sales net result in installations all over the world. The bulk of our installations (65%) are in Europe, followed by East

Asia (17%) and the America's (14%), but the number of our overseas installations is growing rapidly.

<i>Worldwide : + 1.500 installations</i>	
Europe	1.000
East Asia	250
North and South America	200
Africa	50
Australia	15

Cogeneration on biomass, a new challenge

These days we are facing a new challenge. Ever since the Kyoto climate congress, concerns about climate change, about expanding population and environment have been topics. The outcome of this congress was an agreement on the reduction of CO₂-gases.

In the course of the coming century additional energies will be necessary to meet these needs. We

believe that biomass, which is already an established source of energy in some industries, will become increasingly competitive for power and heat generation.

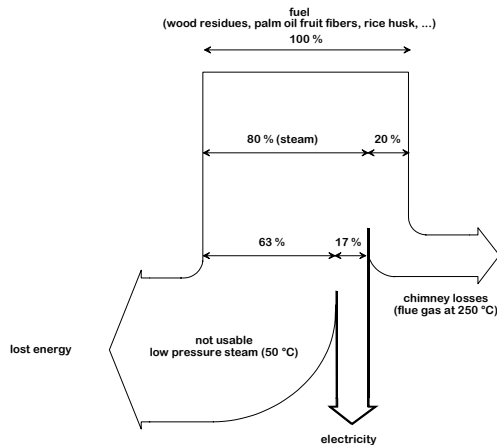
The fact that biomass can be a (partial) solution of the environmental problems and regulations which society is facing these days, is an advantage that will become increasingly important throughout the years.

BIOMASS FIRED POWER PLANTS

Cogeneration versus conventional electricity generation

Conventional electricity generation

Generating electricity with steam turbines is a well known technology.

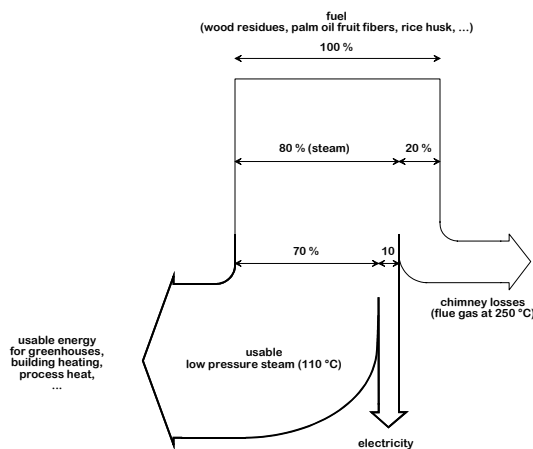


However, in this process almost 85 % of the available energy is lost (typical value for small scale biomass power plants). Since this is caused by the physical characteristics of water, this poor efficiency can not be improved by means of better turbine technology. The global efficiency remains only 17 % and the turbine exhaust steam can not be used anymore because of its low temperature.

Cogeneration

By generating less electricity with the same

installation, the temperature of the turbine outlet steam raises significantly.



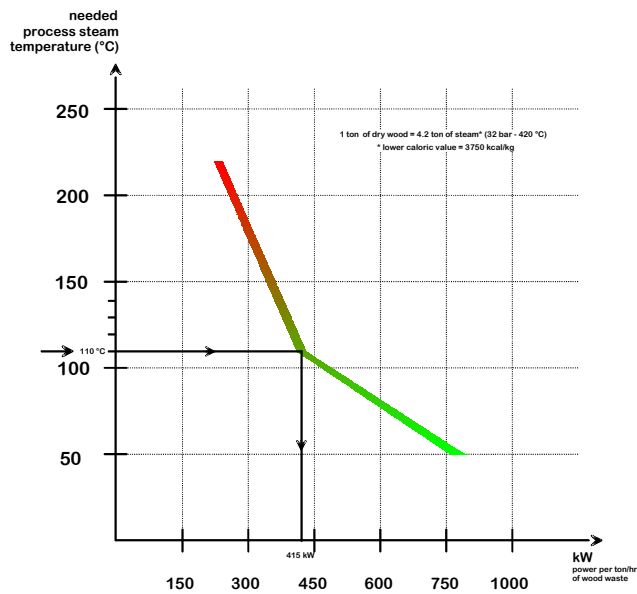
This low pressure steam can be used now in different industrial processes (drying, sterilizing, ...) or for greenhouse and building heating. In this concept, more energy is recuperated (both electricity AND heat). By applying COGENERATION, the global efficiency can add up to 80 %.

Some figures

Solid fuel equivalent in electrical output:	400 - 800 kW electrical power <i>per ton of waste</i> ¹
VYNCKE capacity range:	250 - 10.000 kW electrical power
Pay back period:	2 - 5 years

¹ The amount of power that can be generated depends on the calorific value of the fuel, the configuration of the installation (see further) and the steam conditions. Following data are estimations based on the combustion of dry woodwaste (LCV: 3800 kcal/kg).

Case study



A company, being active in the waste recycling industry, collects 35 tons/day of demolition wood. This is 1.5 ton/hr of wood waste. A nearby drying system requires steam at 110 °C.

Generated power
= $415 \times 1.5 = 622$ kW
Generated process heat
= 4.2 ton/hr at 110 °C

If no process heat is needed, the amount of power will be increased to
 $760 \times 1.5 = 1150$ kW.

Payback period:
3-4 years

Conclusion

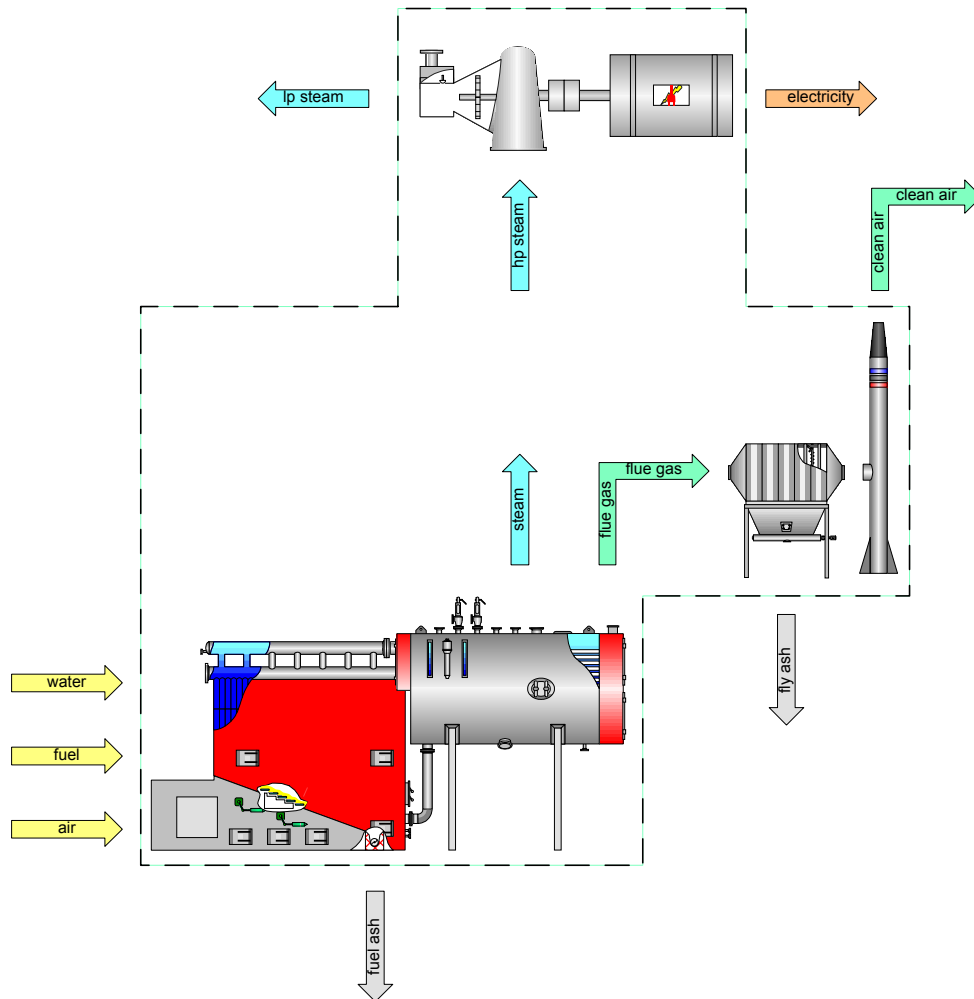
An attractive alternative for dumping of wood waste is the generation of power. Each dry ton of wood can generate up to 800 kW electrical power. When

required, the exhaust steam from the steam turbine can be used as a heat source for building heating, drying processes, etc..

Depending on the required temperature of the exhaust steam, the amount of generated power will vary.

Possible configurations

Backpressure system



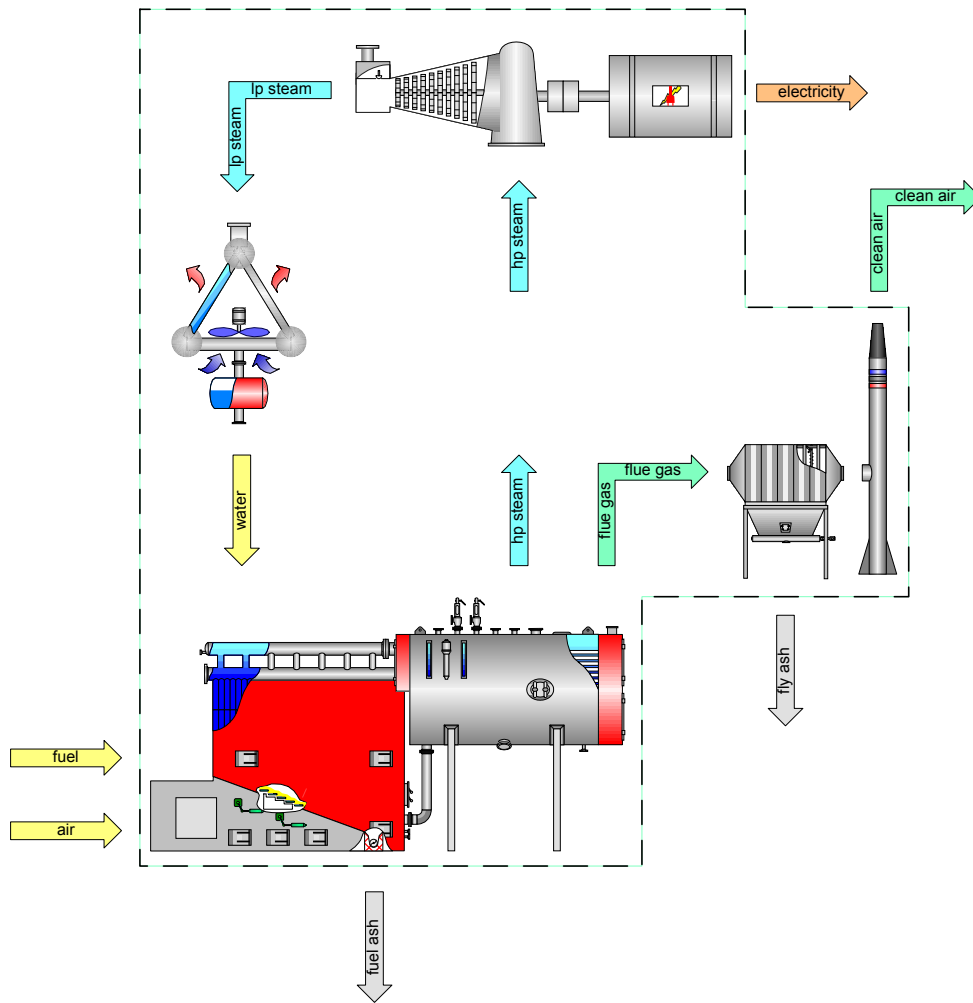
This configuration is used where, apart from electrical energy, also low pressure steam is needed in a substantial amount.

The high pressure steam from the boiler is injected into the turbine and expands to the pressure level that corresponds with the low pressure level that is needed in the process. The steam at the turbine

outlet is transported to the steam demanding process (drier, sterilizing process, building heating, ...).

A typical pressure level at the turbine outlet of a backpressure system is approx. 3 bar. The turbine technology is simple and solid and consist mostly of a single stage (one wheel) machine.

Fully condensing system



If the steam demand in the process is relatively low in comparison with the total steam flow of the boiler, it is interesting to invest in a fully condensing system. In this concept, the high pressure steam does not only expand to a low pressure level (f.i. 3 bar) but is forced to expand further to a pressure below atmospheric level. A typical pressure for the exhaust steam of the turbine is 0.25 bar(a).

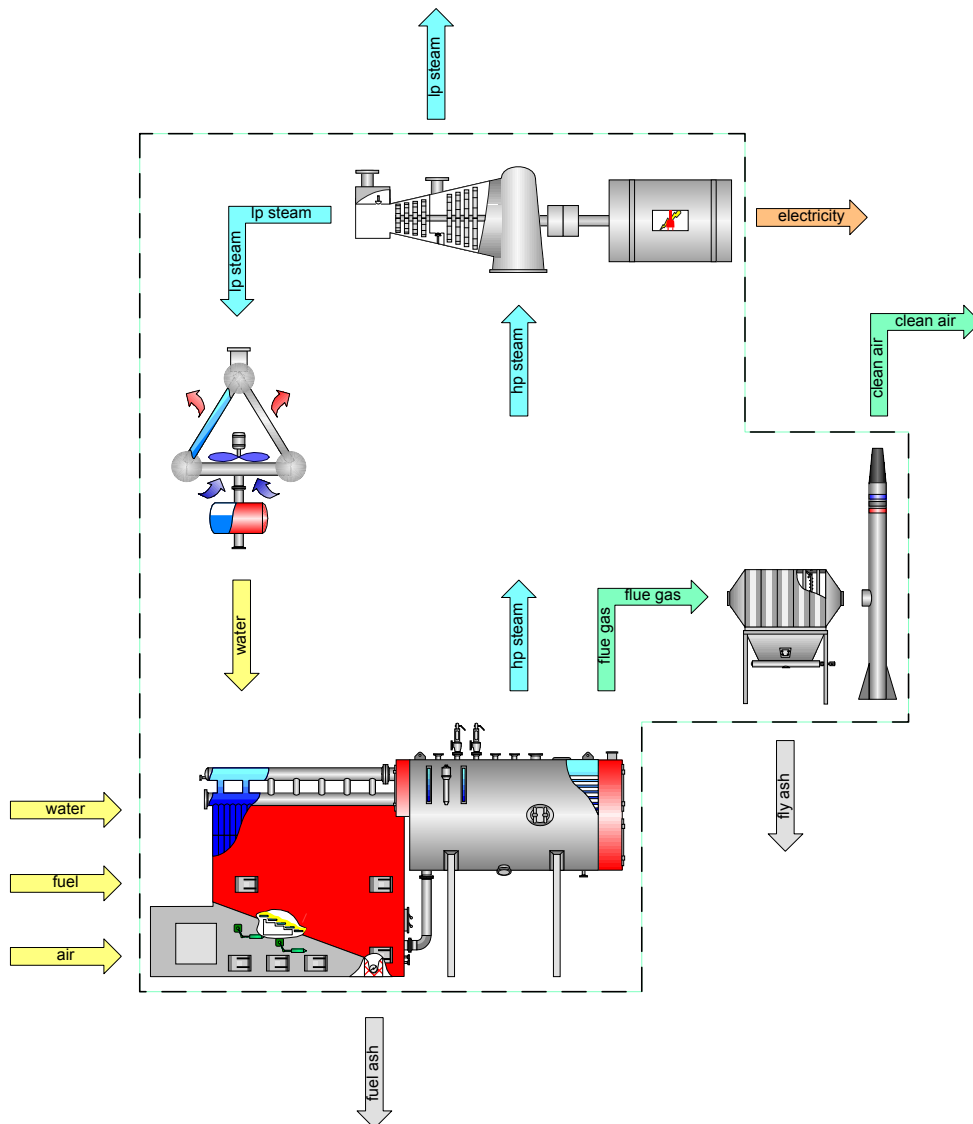
Since the temperature of this steam is low (typically $\pm 60\text{ }^{\circ}\text{C}$) it can not be used anymore for heating purposes, so the exhaust steam has to be

condensed in a separate cooling system. Depending on the conditions on site and the available budget, the cooling system can be a cooling tower or a dry cooler.

Generally spoken the amount of generated power can be doubled (using the same amount of solid waste) in comparison to a back pressure system.

This turbine technology consists of a multistage machine (several consecutive turbine wheels).

Extraction system



This system is a combination of both above systems and is the most complex one. In this configuration not all the steam is forced to expand to a sub-atmospherical pressure (like in a condensing turbine). The possibility is foreseen to extract steam from the turbine at a certain pressure level. The regulation is controlled in such a way that, at each point in time, the extracted steam flow meets the heat demand of the process. All other steam is sent to the second part of the turbine (mostly built into the same turbine casing) in order to condense further.

The amount of generated power will lay in between the result of the backpressure system and the condensing system, depending on the amount of steam that is extracted.

This turbine technology can consist of a condensing turbine with extraction point, or can consist of a backpressure turbine and a separate condensing turbine that is fixed on the same axis.

Some Vyncke - references in cogeneration

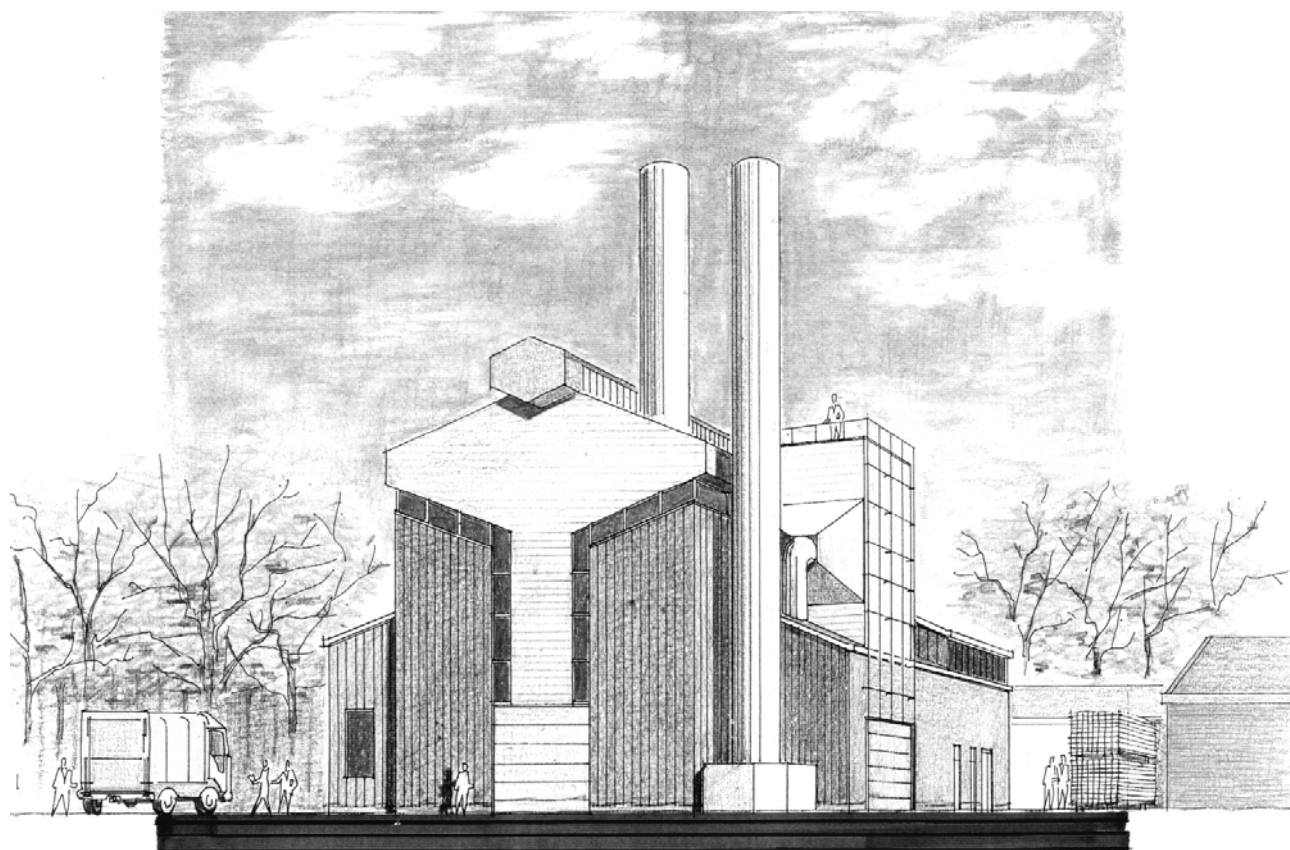
CUSTOMER	YEAR	COUNTRY	CAPACITY (kW)		MEDIUM
			heat	electricity	
BESUT TSUDA	1999	Malaysia	13000	1800	superheated steam
MORALT (PFEIDERER GRUPPE)	1999	Germany	7500	1500	superheated steam
SES TLMACE	1999	Slovak Rep	25000	1000	superheated steam
PFEIFER	1998	Austria	15000	1800	superheated steam
BAN HENG BEE	1997	Malaysia	4600	450	saturated steam
SCHIJNDEL	1997	Holland	6000	1200	superheated steam
AMAND	1996	Germany	5000	690	superheated steam
KNAUF	1996	Germany	3500	500	superheated steam
ENDESA	1995	Ecuador	13000	1500	superheated steam
TRT PARAWOOD	1995	Thailand	16000	2500	superheated steam
IB TIMBER INDUSTRIES (formerly: Sim Hoe)	1993	Malaysia	13000	1500	saturated steam
P.T. PAPYRUS SAKTI	1993	Indonesia	14000	2000	saturated steam
LEMAHIEU	1983	Belgium	5800	compressor	saturated steam

reference: DVPD035C - 14/06/99

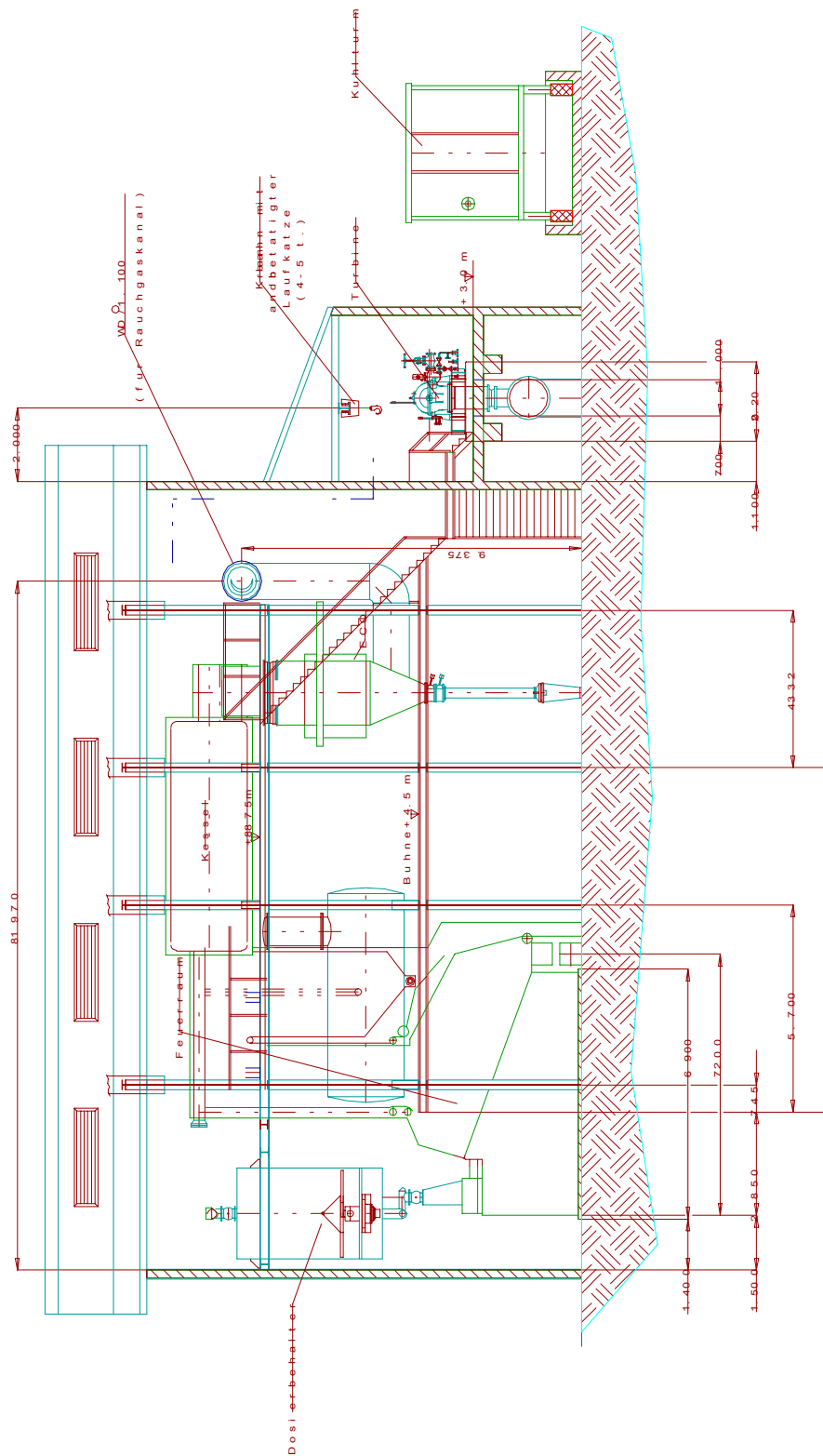
Project
“Houtindustrie Schijndel”**Project data**

Place	Houtindustrie Schijndel Schijndel, The Netherlands Woodworking industry
Fuel	Wood waste
Amount	12.000 ton/year
Energy production	1 MW energy for driers 1.260 kW power generation
Steam parameters	32 bar, 420 °C

Boilerhouse**View**



Layout



**UNITE CML 12 F - SYSTEME DE CARBONISATION
Semi-industriel par combustion partielle
NON POLLUANT AVEC RECUPERATION D'ENERGIE**

Christian BEDROSSIAN

Directeur de CML

Route de Port Galland - 01360 Loyettes - FRANCE

Tél : 33.4.72.93.96.16 - Fax : 33.4.72.93.96.17 - cml.loy@wanadoo.fr

1 DESCRIPTIF TECHNIQUE

Le descriptif technique correspond à la configuration la plus complète et la plus performante proposée par CML : la **CML12F**.

UNE UNITE DE CARBONISATION NON POLLUANTE CML12F est un ensemble homogène comprenant :

La production : 12 fours de carbonisation équipés de gaines de captation des fumées. En option nous proposons un système de pesée individuelle et en continu des fours avec suivi informatique (développé par le CIRAD Forêt).

La dépollution : c'est un ensemble constitué d'une unité de dépollution par incinération et de carneaux de collecte des fumées.

L'extraction : voir page 7/14.

Les accès : ensemble de charpentes et passerelles.

2 LA PRODUCTION

Le charbon de bois est fabriqué dans des fours à combustion partielle et tirage direct. Ils ont un volume unitaire en eau de 16,5 m³.

Chaque four comprend :

- 1 couvercle en partie supérieure,
- 1 trappe de vidange en fond de four,
- 1 cloche de tassement.

Le réglage de l'admission d'air se fait par clapets manuels situés sur le fond et la périphérie inférieure du four et dont la répartition a été optimisée. Un piquage fixe situé en partie supérieure du corps du four permet de capter les fumées produites lors de la carbonisation et de les diriger vers les carneaux de collecte.

Remplissage des fours

Le remplissage s'effectue par le haut du four à l'aide d'un chariot élévateur équipé d'un godet.



Option : Système de pesée en continu avec gestion informatique des données.

(développé par le CIRAD – Forêt)

Chaque four est monté sur pesons. Cela permet le suivi en continu de la perte de masse par référence à une courbe optimum fonction des caractéristiques du bois carbonisé. Un système d'alarme adapté invite l'opérateur ajuste les réglages dès que nécessaire et arrête la carbonisation dès que le stade requis est atteint (**gain de quelque 10 % sur les résultats**).

Au delà des gains de production escomptés (ce principe permet d'éviter les erreurs de conduite de cycle), l'informatisation est un outil indispensable à une gestion efficace de la production.

Vidange des fours

La vidange se fait à froid par la trappe inférieure

3 LA DEPOLLUTION

Cette unité est conçue pour traiter les fumées produites par les 4 à 5 fours qui fonctionnent simultanément, en allumage décalé sur la chaîne de carbonisation pour du bois dont le taux d'humidité est inférieur à 25%.

Les fumées, captées en partie supérieure du corps des fours, sont amenées au foyer de l'incinérateur par l'intermédiaire de gaines métalliques (une par four) puis de carneaux.

L'incinérateur comprend un foyer et une cheminée ; il est équipé d'un brûleur à gaz propane ou butane utilisé pour la mise en route de la combustion des fumées au démarrage de l'installation.

5 LES ACCES

Cet ensemble permet l'accès aisé à tous les niveaux de l'installation pour la réalisation de toutes les opérations de réglage, de contrôle et d'entretien.

6 PRECAUTIONS ET PERFORMANCES

La technologie CML accepte de carboniser tous les bois, feuillus comme résineux. Son fonctionnement optimum impose cependant un certain nombre d'impératifs. Les performances en carbonisation (rendement et productivité) sont en effet directement liées à la qualité et aux caractéristiques de la matière première (dimensions, taux d'humidité, propreté, ...) :

4 L'EXTRACTION

Plusieurs procédés sont possibles :

- Convoyeurs,
- Convoyeurs élévateurs,
- Vidange directe dans les étouffoirs.



- **Les chargements doivent être aussi homogènes que possible** : une essence, un même taux d'humidité, la même granulométrie par four.

- **Les sciures et autres petits déchets (écorces, etc...) créent des poches d'incuit et pour obtenir de bon rendement, il est préférable de les éliminer.**

- **Les caractéristiques dimensionnelles souhaitables sont les suivantes :**



- **Les meilleurs résultats sont obtenus avec du bois sec.** Pour fixer les idées, les rendements sur sec (c'est-à-dire par rapport à la masse anhydre de bois carbonisé) obtenus en moyenne sur les installations existantes chutent de 27 % pour du bois à 12 % d'humidité sur brut, à 24 % pour le même bois à 45 % d'humidité sur brut. Les temps de carbonisation peuvent varier de 12 heures à 6 heures.

- **Cycle de carbonisation moyen :** 22 à 24 heures se décomposant de la manière suivante :

- temps de carbonisation 6 à 8 heures,
- temps de refroidissement 14 à 15 heures,
- temps de chargement / déchargement 1 heure.

- **Rendement brut** sur masse de bois anhydre : **24 à 27 %.**

- **Production annuelle :** 2300 tonnes ¹

AVANTAGES DU SYSTEME DE CARBONISATION CML

L'utilisation du système de carbonisation non polluant CML offre les avantages suivants :

Qualité du charbon : Installation semi-industrielle garantissant une qualité régulière et conforme à la norme AFNOR NFB55101.

- **longueur** inférieure à 30 cm (des longueurs supérieures diminuent les coefficients de remplissage et donc la productivité de l'installation).

- **section** inférieure à cent centimètres carrés (de trop fortes sections augmentent les temps de carbonisation et affectent tant la productivité de l'installation que l'homogénéité du charbon produit).

Installation modulable : Pour 1 même incinérateur le nombre de fours peut évoluer de 4 à 12 et la production de 1 à 3.

Allégement des opérations de maintenance et meilleures conditions de travail : l'installation CML offre une grande simplicité de fonctionnement (aucune pièce en mouvement) et d'utilisation ce qui a pour avantage, d'une part d'améliorer les conditions de travail et d'autre part de réduire au strict minimum les opérations de maintenance.






Respect des normes européennes sur l'environnement :

- conformité à l'arrêté ministériel du 2/02/1998, Art. 27,
- traitement efficace des effluents par incinération des fumées, pyrolygneux et goudrons,
- suppression des nuisances olfactives et visuelles.

Récupération d'énergie : l'installation CML offre la possibilité de récupérer de la chaleur à la sortie de l'incinérateur (air chaud à des températures pouvant varier de 100°C à 600°C) pour sécher le bois avant carbonisation dans un séchoir adapté ou satisfaire tout autre besoin industriel, séchage de bois d'œuvre et de produits agricoles (substitution de produits pétroliers).

¹ Châtaignier 12 % - 850 kg/fours - 60 fours/semaine x 45 semaines = 2300 tonnes

Quelques Références

<p>STE VALBOIS (Ain) Mise en route : mai 1993 1 unité CML12F avec 10 fours</p>	
<p>STE EUROTRA (Belgique) Mise en route : mars 1997 1 unité CML12F avec 10 fours</p>	
<p>CHARBON DE BOIS DU PERIGORD (Dordogne) Mise en route : juillet 1997 2 unités CML12F avec 12 fours</p>	
<p>SOCCEM (Sarthe) Mise en route : mars 1999 1 unité CML12F avec 12 fours</p>	
<p>SOC.B.A. (Lot et Garonne) - Mise en route : oct. 1999 1 unité CML12F avec 12 fours</p>	
<p>CARBONISATION DES PYRENEES (Haute-Garonne) En cours de réalisation . 1 unité CML12 F avec 6 fours</p>	

BRIQUETTING BIOMASS RESIDUS/WASTE FOR INDIGENOUS ENERGY NEEDS

Peter STRZOK

On Behalf of Andrew O.Lee, President
 Briquetting Marketing and Services, Incorporated (BMSI)
 6866 Crow Wing Lake Road, SW - Fort Ripley MN 56449-7053 USA
 Tél : 1.715.373.5002 - Fax : 1.715.373.1166

ABSTRACT

A Minnesota, USA firm has developed a technology which transforms wood waste and other biomass residues into a fuel source superior to charcoal and firewood. By a process of high compression densification (8 tons/inch²), biomass wastes are transformed into homogeneous briquets; these average 200 grams, with 1.2 specific gravity ; can be stored for years ; energy generated = 375 calories/gm. Local biomass residues such as nuisance trees and shrubs, peanut and paddy shells and other agro-residues, marsh reeds, and weeds can be transformed as mixtures into fuel briquets, providing work for under-employed, reducing deforestation and providing a safe low cost fuel.

An important variant of this technology transforms organic urban waste, including plastics, into fuel briquets which can be gasified and used as bottled industrial gases and for electrical generation, with no harmful emissions. This technology has important implications for optimizing biomass fuel potential at low comparative cost and to valorize urban waste into useable energy. Self-contained briquet plants are both portable and fixed and durable (30 year half-life). Costs of production, emissions data, energy produced will be presented. Trials to date in West Africa will be discussed. Samples of briquets will be shown.

1 INTRODUCTION

Briquetting Marketing and Services, Inc. (BMSI) is a Minnesota corporation formed in 1981 to develop the fiber fuel industry, specifically the briquetting of wood residue, and a variety of other combustible waste products including paper, plastic waste, combustible landfill material, and agricultural waste. Based on its development of a new, more efficient briquetter, and the market research it has conducted, management of BMSI is convinced that a viable, economically feasible, and profitable business opportunity exists to produce energy from renewable sources as alternatives to current sources of fuel such as oil, natural gas, and coal.

The purpose of this presentation is to outline some of the key information about the business of the Company, its current products, and its business strategy for the future. BMSI is currently selling briquetters and has developed a gasifier to incorporate within their total energy system.

2 THE CONCEPT

BMSI has developed a very efficient high compression densification (HCD) machine, also known as a briquetter. The BMSI HCD will compress wood waste, commercial and household waste paper and plastic, or other organic material into hockey puck sized highcompression pieces, HCD briquettes, which are indefinitely storable, odorless, and take up less than one-tenth of the original space of the raw material. Through this densification alone, the landfill problem is lessened.

The HCD briquettes have an energy value of 8,000 to 11,000 BTUs per pound.

Because the HCD briquettes are uniform in size, density, and energy value, their use in any energy transformation process can be automated and more easily controlled.

The technology of turning combustible material into HCD briquettes has already been developed by the Company. HCD briquetters have been sold by BMSI and are in use around the world today, primarily using wood waste as raw material.

The business vision of BMSI is to market an integrated process that will contribute to solving two major problems of society today :

- waste disposal and landfill utilization, and
- the need to transport or import fuel for energy.

Through an exclusive gasification process that is being continually improved, the HCD briquettes can be transformed into gas that can be burned in regular boilers with minimal modifications. The gas can also be compressed for later consumption and used in diesel engines, jet turbines, and long stroke engines, that in turn generate high and low pressure steam, and electricity.

This integrated process reduces the need for dependence on non-renewable energy sources such as oil, gas, and coal with their corresponding environmental concerns. The combined process has

a low capital investment and low maintenance costs. The process can be economically employed at a small or large scale.

3 THE COMPANY

BMSI was founded by Andrew O. Lee to market a foreign briquetting machine in the United States. BMSI later developed and patented its own, more efficient HCD briquetting machine.

BMSI's President, Andrew O. Lee, has over 45 years of experience in engineering and manufacturing. He invented and patented the HCD briquetting machine described above.

Additional support staff of BMSI is retained under independent contracts reducing the need for permanent full time staff members within BMSI which adds to the efficient and lower cost operation of the Company.

For more details about Andy Lee's background and the additional management resources, please refer to Appendix 1.

4 PRODUCT DESCRIPTION

4.1 Current products and capabilities

The patented BMSI HCD briquetting machine fills a gap in the size range previously available. It has a newly designed front end that has resulted in a lower production cost and therefore lower selling price, and also has resulted in lower operating costs. Two present models have capacities of 2.0 and 5.5 tons per hour with larger capacity units being developed.

4.2 New products, research, and development

The development program of BMSI is concentrated in the following areas :

4.2.1 Continuous improvement of the current HCD briquetting machines.

4.2.2 Further development of gasification technology.

The knowledge of manufactured gases has existed for hundreds of years (Appendix 2). It is only during the last 15 years that the development and knowledge of the use of high temperature steel and ceramics has made it possible to develop the advanced BMSI technology. Success in producing gas from non-degradable material such as plastic, coated packaging material, and treated lumber is now possible. The family of dioxin gases produced by this material is near totally eliminated by the BMSI gasification process. The basic design of the BMSI Gasifier provides for proportional up or down scaling to adjust to capacities of available raw materials and the market size for the energy produced. The BMSI Gasifier also includes a new method for cleaning the created gas so that it can be used in diesel engines and gas turbines. Projected capacity ranges from small residential and industrial use to large commercial power plants.

The combined process will be a more efficient

process for turning most combustible material into energy while operating economically at the scale indicated by market demands. Locally produced fuel, and electric energy without the grid loss of powerline transmission, reduces transportation costs of both the raw material and the created energy.

5 THE MARKET

5.1 Target market

5.1.1 Segment to be Served

The first market segment to be served consists of the producers of garbage waste in commercial and residential locations. Reducing the environmental and health hazards created by garbage that cannot be properly disposed will bring an immediate benefit. Additional benefits will be derived through the production of industrial steam and gas for powering electric generators. The steam, gas, and electricity that is produced will be made available to an ever growing market of commercial and residential consumers.

5.1.2 The Decision-Making Unit

The decision to use a new technology for energy production will be made at the highest levels, especially in the beginning before the process becomes an accepted method. These leaders will be responsible for initiating change as waste is converted to energy.

5.1.3 Market Size and Growth

The market for generating energy from garbage is practically unlimited. Initially the market is limited to those prospects who are willing to try a new technology. There is a great need to reduce the landfill disposal of waste. All levels of leadership now have the opportunity to improve the method of disposal of waste, to reduce health concerns, to improve the environment, to create employment opportunities and economic development, to improve the quality of life, and to create needed energy.

5.2 HIGH COMPRESSION DENSIFICATION BENEFITS

5.2.1. HCD Briquettes and Gasification

HCD Briquettes are a highly successful form of densified waste materials for producing energy. HCD Briquetting applies enough pressure and heat to the raw material to make the natural resins hold the HCD briquettes together. Even dry sander dust can be briquetted in a BMSI HCD briquetter. A major strength of the BMSI process is the uniform density and size of the HCD briquettes. The fuel is therefore much more suitable for automated handling resulting in a predictable, continuous, low-variance combustion process.

Gasification allows the creation of a fuel close to the site of the raw material. The gas can be compressed to be used at a later date or it can be transported to another site for use in stationary or mobile engines. The fuel can also be used to create steam and electricity.

5.2.2 Strength of BMSI

One of the strengths of BMSI is the combination of HCD briquetting and gasification. By first briquetting the waste, the fuel is uniform and dense, and more suitable for automated handling resulting in a predictable, continuous process. The experience that BMSI has in HCD briquetting and gasification contributes to the success of the Company and its clients.

To the best knowledge of BMSI, there are no other companies manufacturing HCD briquetting machines in the United States. BMS's equipment is competitively priced which directly affects the ultimate cost of the fuel and energy produced.

6. THE MARKETING PLAN

6.1 Marketing objectives

In the final analysis, what BMSI has to offer must satisfy the customer's needs, or the customer would have no interest in their energy system. Reducing health and environmental hazards through a more efficient management of waste, while creating a fuel that will create usable, economical energy, is of importance and value to all.

6.2 Marketing strategy

6.2.1. The Benefits

The major benefit that BMSI clients derive from using the BMSI HCD briquetters and gasifiers is the low operating cost. This is accomplished by :

- Utilizing recently developed machine tool materials and technology.
- Reducing the volume of the waste being handled.
- Utilizing waste fibers and reducing the cost of disposal of the waste.
- Using the HCD briquettes as fuel for profitable energy production.

The major benefit to the market is improved waste management while at the same time producing low cost energy locally.

Another benefit to any customer is that they will be making a socially and environmentally responsible decision by reducing their use of limited natural resources.

6.2.2 The Place of Fuel Delivery

The BMSI energy system is a local process that does not depend on large-scale transportation of material, such as coal, oil, or gas. It is completely self contained and uses local labor and resources. The collection of raw materials, the operation of the equipment to process the raw material, the operation of the HCD and gasifier equipment, and the operation of the electric generators, all create employment opportunities. Employment opportunities will be created in a variety of skill levels from collection and sorting to management. In addition, the creation of a consistent, economical energy supply will create numerous employment and economic opportunities as other industrial applications expand or are created.

6.2.3 Price

The HCD briquetters and gasifiers of BMSI are the most competitive on the market. In addition, the operating costs of the BMSI energy system are lower than many other methods. Through the use of space age materials, additional cost reductions have been realized in the BMSI High Compression Densifier and Gasifier and in their operation.

6.2.4 Installation

Every HCD briquetter installation is somewhat different. Each plant varies in size, availability of raw material, and the size of the market served by the energy produced, and each must be sized accordingly. The energy system can normally be installed by the customer with Company instruction and training of local personnel.

APPENDIX 1 : MANAGEMENT RESOURCES

CEO : Andrew O. Lee

ADMINISTRATIVE AND DATA PROCESSING :

Philip Oran Lord : E-Mail : philior@greatiakes.com

CONSULTANTS AND ADVISORS :

To complement the knowledge and experience of BMSI, additional consultants and professionals will serve BMSI through retainer agreements including the following :

- Independent consultants in Europe with extensive personal and academic experience in the field of high compression densification.
- Association with the University of Minnesota in areas of research.
- European and American manufacturers of energy equipment.
- Company representation in Africa through Peter P. Strzok.
- Corporate Legal Counsel.
- Certified Public Accountants.
- Additional consultant members of the management team include specialists in engineering, marketing, human resources, management, and energy co-generation.

APPENDIX 2 : THE ENERGY OPPORTUNITY**GARBAGE TO ENERGY**

Garbage, garbage, garbage. You hear about it every day. Leaders worldwide are concerned about it and it has become a public nuisance. Garbage is an environmental and health risk with many attempts having been made to try to eliminate the problem.

In its collected form, most garbage is very difficult to handle and manage because of its sheer volume and irregular shapes and sizes of various pieces. There have been large efforts to try to mass burn the garbage, at a very high cost, and with many environmental and health concerns and side effects being raised.

BMSI has come up with a very simple process of reducing the volume of this waste by about 10 to 1. Basically, the recyclable and non-combustible material is removed from the mass of household and commercial garbage. What is left, about 65% of the mass, will then be ground up and sent through the briquetting process where it is densified. The mass of waste goes through a process called High Compression Densification (HCD) briquetting.

The High Compression Densifier reduces the

volume 10 to 1 under a pressure of approximately 7 to 8 tons per square inch. The pressure makes the product stick together under its own ligament as the mass plasticizes and holds the material together. The end product of the High Compression Densification process is known as a HCD briquette which resembles a hockey puck in appearance.

The waste produced with this system becomes storable. There are no air pollution problems. The material may be stored from month to month and, may then be used as fuel for the gasifier.

The HCD briquettes are fed into the gasifier which turns the waste into a gas for commercial and industrial use. The market at that point becomes a matter of selling the gas to commercial and industrial installations or in generating steam and electricity. Once the garbage has been gasified, it becomes an energy form that consumers of energy are accustomed to working with and can be distributed on a BTU basis, which is a common denominator on the market.

New technical knowledge obtained from the US space program (NASA) has enabled development and manufacture of a garbage, refuse derived fuel (RDF) to gas energy. With these technical advances, BMSI has been able to turn RDF to a gas which will significantly reduce the need for garbage landfills.

Through testing conducted by an independent scientist, it was confirmed that the combustion of RDF at the levels attained through the exclusive BMSI gasification process near totally eliminates any toxic emissions. The combustion is also so complete that only minute quantities ash remains and that ash can be safely handled.

AGRICULTURAL WASTE TO ENERGY

In a similar manner, agricultural waste, nuisance biomass, fibers harvested for their fiber content, damaged trees, and industrial wood waste ranging from sawdust to broken pallets, can all be processed through the BMSI HCD process. Presuming use of clean agricultural biomass or untreated wood, the HCD briquettes can be burned in an open fire or stove as a source of heat for cooking. This conversion of a non-toxic waste fiber to a clean fuel reduces the need for charcoal, reducing the environmental impact of charcoal production.

Through independent testing labs, and a major United States energy company, it was confirmed that the combustion of wood and agricultural waste HCD briquettes resulted in near total elimination of any toxic emissions and the near total elimination of ash. Any ash remaining from the combustion of wood and agricultural waste HCD briquettes was considered to a safe, beneficial nutrient enhancement to soil.

The HCD briquettes can also be converted to commercial and industrial gas for generating steam and electricity in the BMSI gasifier and energy system.

WHAT IS BMSI BRIQUETTING ?

- BMSI Briquetting is the High Compression Densification (HCD) of non manageable fibers
- Briquetting turns waste into a manageable fuel
- Briquetting creates an economical, renewable energy source as long as waste or agricultural fibers are produced
- Nuisance biomass becomes beneficial energy
- Waste paper and plastic becomes manageable energy
- Briquetting minimizes storage and handling by reducing volume by 10:1
- Uniform size and density of briquettes facilitates automated processing and reduces operating costs

WHAT IS GASIFICATION ?

- BMSI Gasification is the conversion of a solid fuel into gas
- BMSI Gasification allows utilization of nuisance biomes
- BMSI Gasification minimizes local waste problems by eliminating waste paper and plastic
- Waste paper and plastic briquettes become energy assets through BMSI Gasification
- High combustion temperature and efficiency ensures maximum breakdown of toxic ashes, with pollution near totally eliminated
- Gasification produces a manageable fuel that can be compressed for later consumption, or burned in gas turbines, internal combustion engines, or directly within a steam boiler chamber to create steam and electricity

THE OPPORTUNITY

It is now possible to :

- reduce the amount of municipal and industrial waste being buried in landfills and improve the health and welfare of all living beings through the proper disposal of waste and through reduced landfill utilization.
- develop new agricultural markets as poor quality soils may be utilized to grow fibers for the purpose of generating energy.
- utilize nuisance biomass fibers for the purpose of generating energy.
- create employment opportunities for a variety of skill levels of individuals ranging from raw material collection and fiber farming, to energy system engineers and managers. From entry level manufacturing workers to machinists. BMSI is presently developing a facility that will be used to train the owners and operators of BMSI energy systems. This facility, to be located in central Minnesota, USA, will be used to demonstrate the operation of all phases of the production of energy and to train energy system operators. As growth occurs, the individuals trained in Minnesota will become the trainers of others in a training facility to be located within Africa. When indicated, consideration will be given to developing a locally owned manufacturing facility to produce BMSI energy systems for distribution throughout Africa.
- create the manageable energy products of steam, industrial gasses, hot water, and electric energy utilizing renewable fibers and waste while improving the quality of life of many through improved health and the availability of low cost, dependable energy.
- create additional employment opportunities through economic development by developing each area's resources with the availability of low cost, dependable energy.

BMSI energy systems offer economic growth opportunities, waste disposal solutions, and low cost, environmentally clean energy.

**OPTIONS TECHNIQUES DE TRANSFORMATION DES SOUS-PRODUITS AGRICOLES À DES FINS
ÉNERGÉTIQUES : ÉLÉMENT CONTRE LA DÉTÉRIORATION DES RESSOURCES
NATURELLES AU SOUDAN**

Abdellah EL HASSAN^a, Gilles VAITILINGOM^b

^a Chercheur Département des sciences environnementales et des ressources naturelles,
Université de la Gezira. PO Box 20. Wad Medani. SOUDAN
Tél : 249.511.41623 - Fax : 249.511.40466 - abdoelhassan@yahoo.com

^b Chercheur Laboratoire de Bioénergie, Département Amélioration des Méthodes pour l'Innovation Scientifique,
CIRAD TA 40/15 - 73 rue Jean François Breton 34398 Montpellier cedex 5, FRANCE
Tél : 04.67.61.57.62 - Fax : 04.67.61.12.23 - vaitilingom@cirad.fr

INTRODUCTION

La biomasse est le combustible principal et souvent unique de beaucoup de ménages dans les pays en voie de développement (PED). Elle sert alors surtout à la cuisson des aliments mais aussi au chauffage des habitants dans certaines régions du monde. Il est difficile de donner une estimation fiable des quantités consommées car elles ne sont pas toujours prises en compte dans les statistiques de consommations énergétiques nationales. Il faut se méfier des chiffres que l'on peut rencontrer dans la littérature (Guide de l'énergie, 1988 ; Morgan). Fraser, 1988, donne les estimations suivantes de la consommation domestique : 4 à 6 tonnes/ménage/an si la disponibilité existe, 40% de la consommation totale énergétique des pays en voie de développement.

La crise de la biomasse se traduit par la difficulté croissante qu'ont les populations, dans certaines zones, à se fournir en combustibles ligneux pour un usage domestique ; difficulté qui se manifeste par un temps important pris par la recherche de combustibles, par une diminution de la fréquence des repas chauds et par l'utilisation de résidus agricoles et de déjections animales.

Selon les récentes estimations de la FAO et de la Banque Mondiale, la biomasse énergie couvre le tiers de la consommation mondiale d'énergie, en outre, elle occupe une place importante tant en matière de génération de revenus que d'emplois.

L'accroissement démographique, la permanence de systèmes de productions extensifs et la pression sur l'espace forestier ont pour résultat un déséquilibre socio-écologique global. Le déboisement et la dégradation de la végétation naturelle, conséquences pour partie des prélèvements excessifs de combustible, interviennent dans le processus global de désertification.

L'utilisation de nos ressources pour satisfaire nos besoins énergétiques est un des problèmes qui affectent notre environnement. Elle peut parfois être la cause de catastrophes naturelles dans le monde. Les causes principales de menaces globales doivent être prises en considération partout et par tous dans le monde. C'est pourquoi des solutions doivent être recherchées afin d'utiliser des ressources énergétiques propres qui n'aient pas d'effets négatifs sur l'environnement.

Enfin, aujourd'hui, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation mondiale. Le vingtième anniversaire de la journée de la terre « Earth day » qui a eu lieu en avril 1990, avait lancé cette attention. La journée Mondiale de la Protection de l'Environnement en juin 1999, a choisi pour slogan : « notre terre est notre futur, sauvez-la ! » (The earth is our future, save it !).

1 SITUATION ÉNERGÉTIQUE AU SOUDAN

1.1 Crise énergétique nationale

Le Soudan, qui dépend étroitement des importations de pétrole pour ses besoins énergétiques, a été touché de plein fouet par la crise pétrolière des années 70. Les conséquences de cette crise se sont répercutées sur tous les secteurs économiques et ont créé un grave déficit de la balance des paiements (Ahmed, 90).

Le manque de produits pétroliers s'est particulièrement fait sentir dans les secteurs agricoles, industriels et de l'énergie thermique. De nombreux

projets et programmes de développement

ont dû s'interrompre avec pour conséquences directes et indirectes des pertes considérables dans la production agricole, principale source de devises du pays.

L'importation de produits pétroliers, comme le gaz et le kérosène en particulier, considérée comme non prioritaire, a été réduite au minimum. La population et, en particulier, les ménages, qui utilisaient ces produits pour la cuisson des aliments, ont dû se retourner vers d'autres combustibles tels que le bois de feu, le charbon de bois et les résidus de récolte.

Le recours aux combustibles traditionnels, à base de biomasse, comme le charbon de bois et le bois de feu pour les besoins domestiques, a renforcé la pression sur les ressources naturelles et a accéléré le déboisement des zones forestières. En conséquences, l'éloignement des zones productrices de biomasse s'accroît d'années en années. Une étude de la FAO, a estimé que les taux de déboisement au Soudan étaient de l'ordre de 10 à 15 km² par an. L'éloignement de ces zones par rapport aux zones de consommation (plus de 1 000 km) accroît d'autant le coût de transport de ces combustibles sur les marchés. Le Soudan se trouve

aujourd'hui dans la situation paradoxale où l'énergie consommée pour le transport de la biomasse est supérieure à la quantité d'énergie qu'elle contient.

1.2 Bilan énergétique national

Le bilan énergétique du pays n'a pas connu de grand changement pendant la dernière décennie (1986-1996). En 1996, l'énergie totale approvisionnée a été estimée à 11,20 millions de tonne équivalent pétrole (TEP). La biomasse représentait 87% du total, les produits pétroliers importés 12% et l'électricité 1% (figure 1, et tableau 1).

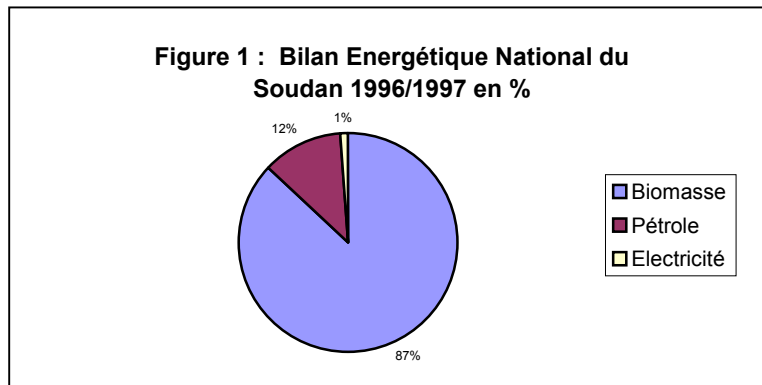


Tableau 1 : Energie Totale Consommée/Secteur en 1996/1997 (en 000 TEP)

Secteur	Biomasse %		Pétrole %		Electricité %		Total %	
1.Agriculture	0,0	0,0	181,4	14,8	2,6	2,5	184	2,9
2.Industriel	173,5	3,5	175,5	14,4	31,2	30,5	380,2	6,0
3.Transport	0,6	-	743,2	61,0	0,0	0,0	743,2	11,7
4.Ménage	4662,7	93	26,7	2,2	57,5	1,2	4746,9	75,0
4.Autres	175,5	3,5	92,3	7,6	11,1	10,8	278,9	4,4
Totale	5011,7	100	1219,1	100	102,4	100	6333,2	100
% de la Totale	79,1		19,3		1,6		100	

Source : Ministère de l'Energie, Soudan, 1998.

1.2.1. La Biomasse

Au Soudan comme dans d'autres pays en voie de développement, la biomasse est la première source d'énergie. La biomasse assure presque toute la demande énergétique des secteurs de consommations :

1. 84,8% pour le secteur domestique sous forme de bois et charbon de bois
2. 51,2% pour l'industrie telle que les boulangeries, briqueteries, etc.
3. 35,6% pour les services.(restaurants et salons de thé) consommateurs de charbon de bois
4. 97,6% pour les écoles coraniques

L'environnement est affecté sérieusement par la détérioration des forêts, des milliers d'hectares ont été coupés non seulement pour l'agriculture mais aussi pour la production d'énergie.

D'après l'Institut Mondial des Ressources, les pertes sur la couverture végétale au Soudan ont été estimées à 540 000 hectares/an. D'autre part, le reboisement en 1995-1996 était de moins de 40 000 hectares/an (soit 7 %). Ceci indique la rapidité alarmante de la détérioration et de la disparition des ressources naturelles au pays (Elgazoli,97).

Conscient de cette situation, l'Etat a lancé une vaste campagne de sensibilisation traduite sous le slogan : « Protéger les ressources naturelles, c'est protéger l'environnement, et protéger l'environnement, c'est se protéger nous-mêmes ». L'Etat a incité les institutions nationales à engager des recherches dans le domaine de l'énergie pour mettre un terme à cette situation dramatique et sortir le pays de son goulot d'étranglement.

Désormais, l'utilisation des sources d'énergie disponible comme les sous-produits agricoles (tiges de cotonnier, coques d'arachide, et bagasse de canne à sucre), est envisagée comme une solution possible et préconisée par les institutions nationales et internationales dans la formulation du Plan National de l'Energie (1990-2015).

Le plan recommande, dans le cadre de projets de coopération avec des organismes internationaux, d'engager des opérations de valorisation de ces sous-produits agricoles et de développer leur utilisation comme combustibles de substitutions pour les usages domestiques et industriels.

2 SECTEUR AGRICOLE ET ENERGIE DE LA BIOMASSE

2.1. Introduction

Le secteur agricole joue un rôle très important vis à vis de l'énergie de la biomasse. Le secteur agricole

est consommateur d'énergie d'une part et producteur d'énergie d'autre part. Ainsi, la relation entre le secteur agricole et le secteur de l'énergie est-elle à double sens (Parikh,92).

Le secteur agricole consomme de l'énergie pour presque toutes les opérations. Il consomme indirectement de l'énergie par le travail humain et animal et les équipements auxquels il faut ajouter l'énergie sous forme de pesticides et d'insecticides (Parikh, 93). Le secteur agricole produit de l'énergie sous forme de bois de feu, de sous-produits agricoles et de déjections animales utilisables à des fins énergétiques.

2.2. Potentialité des sous-produits agricole au Soudan

Le Soudan est le plus grand pays en Afrique (2.5 millions km², soit 250 millions d'hectares). Sur ses 250 millions d'hectares, le Soudan a la chance de posséder une potentialité énorme en terme d'expansion de la production agricole grâce à des ressources en terres arables non encore exploitées et à la disponibilité en eau. Aujourd'hui, la surface des terres arables disponibles au pays a été estimée à 84 millions ha, dont 10 millions ha seulement sont cultivés.

Les 10 millions ha cultivés se répartissent comme suit

- 1.8 millions ha en zone irriguée (périmètres étatiques)
- 4.0 millions ha en zone sèche mécanisée. (grandes exploitations)
- 4.2 millions ha en zone sèche non-mécanisée (exploitations familiales).

Ce secteur est le nerf de l'économie nationale du pays, il produit des quantités énormes de sous-produits agricoles. Nous avons essayé d'estimer la potentialité des trois cultures principales au pays (tiges de cotonnier, coques d'arachide et bagasse de canne à sucre), en utilisant les facteurs suivants :

a) Les surfaces moyennes cultivées de chaque culture durant la campagne agricole 96/1997.

b) La productivité des sous-produits agricole/unité de surface cultivée.

c) Les taux de disponibilités de chaque sous-produits agricoles selon des études préalables.

A partir de ces données nous avons estimé la potentialité qui pourrait être utilisée à des fins énergétiques au niveau du pays afin de soulager la crise énergétique de la biomasse. (tableau 2)

Tableau 2 : Potentialité moyenne de sous-produits agricoles disponibles à des fins énergétiques au pays en 1997

Culture	Surface cultivée (000ha)	Quantité produite (000tonne)	Quantité disponible 000T
1. Coton	247.38	606.08	484.86
2. Arachide	887.36	2218.4	1331.04
3. Canne à sucre	166.46	10600.2	4558.1
Totale	1301.2	13424.7	6374

Source: Enquête, Elhassan, Soudan, 1998.

D'après ces résultats la potentialité des trois cultures principales étudiées est environ de 6,3 millions de tonnes. Cette quantité immense pourrait avoir une influence très importante sur les bilans énergétiques au niveau du pays.

Afin de transformer cette potentialité en sous-produits agricoles à des fins énergétiques, l'option prise a été le transfert de technologies existantes dans le monde qui soient bien adaptées aux conditions socio-économiques et aux ressources en sous-produits agricoles du pays

3 OPTIONS TECHNIQUES DE TRANSFORMATION DES SOUS PRODUITS AGRICOLES

3.1 Introduction

La technologie de briquetage des résidus agricoles date du début du 19^e siècle avec la fabrication de briquettes de tourbe utilisées comme source d'énergie de substitution. Cette technique a été utilisée aux Etats-unis en Californie pendant la période de récession puis, en Europe centrale, pendant la Deuxième Guerre mondiale pour pallier les déficits en produits énergétiques.

En 1940, la production de briquettes à partir des résidus de bois s'est développée au Japon pour remplacer le bois de chauffe. L'utilisation des briquettes des résidus agricoles s'est répandue au niveau mondial à partir des années 1950 pour faire face aux besoins croissants en énergie.

Devant la pénurie de biomasse et la nécessité de lutter contre la déforestation dans un bon nombre de pays en voie de développement, il paraît judicieux de recourir à des combustibles de substitution, de préférence renouvelables et disponibles localement. En particulier, la densification et le briquetage des

résidus agricoles sous forme de briquettes semblent tout à fait intéressants. Les résidus de cultures, dont l'utilisation en vrac est d'un rendement médiocre, peuvent être compactés sous forme de briquettes aux performances relativement comparables à celles du bois de feu et du charbon de bois .

3.2. Choix du combustible (sous-produit agricole)

La composition chimique des résidus végétaux est relativement homogène, ce qui explique des pouvoirs calorifiques assez voisins, généralement compris entre 3 500 et 4 000 kcal/kg. Les variations les plus importantes pour la densification, concerne le taux de lignine qui décroît du bois aux plantes herbacées et qui joue un rôle important dans l'agglomération des particules, ainsi que le taux de cendre qui peut varier de 0,5 à 2% pour le bois, à 18% pour les balles de riz (Louvel, 88).

L'humidité est un facteur beaucoup plus contraignant. En effet, la plupart des procédés exigent une humidité comprise entre 5 et 15%.

Au-delà des caractéristiques physiques des sous-produits agricoles, il y a lieu, dans le choix de tel ou tel sous-produit, de prendre en compte les conditions suivantes :

- Le volume global des sous-produits agricoles disponibles qui détermine la taille de l'unité de transformation (les sites agro-industriels disposent de sous-produits agricoles homogènes, concentrés et en quantité importantes);
- la saisonnalité et l'irrégularité des récoltes, qui soulèvent un problème de stockage de la matière première et d'exploitation en continue de l'unité de transformation ;
- L'utilisation concurrentielle de ces sous-produits agricoles comme engrais, aliments pour le bétail ou comme matériaux de construction.

3.3 Choix d'un procédé (option technique)

Les différents procédés de densification produisent des briquettes de caractéristiques très diverses qui peuvent couvrir un large éventail d'utilisation.

L'environnement socio-économique conditionne, d'une part, les niveaux d'acceptabilité et de rentabilité du produit qui vont déterminer la taille de l'installation, le type de matériel et la politique commerciale les plus appropriés.

Il n'existe pas de procédé unique et idéal pour tous les sous-produits agricoles et le choix de l'un ou de l'autre sera pris dans chaque situation particulière, en fonction de l'usage final des briquettes, de la nature du résidu et des capacités de production envisageables.

Les caractéristiques des briquettes produites doivent répondre aux qualités exigées par les utilisateurs dans le cadre d'un usage domestique ou artisanal ou bien industriel en substitution du bois de feu ou du charbon de bois.

La nature du résidu intervient dans la qualité du produit au même titre que le procédé et le matériel utilisé. Le taux élevé de silice (18%) de la paille de riz, la rend, par exemple, difficile à densifier, et explique l'abondance des cendres. Il est nécessaire d'utiliser un liant pour les compacter.

Les capacités de production envisageables, sont définies par la quantité et la disponibilité des résidus

(saisonniers ou non, stockage ou non), ainsi que par la taille du marché, compte tenu de l'acceptabilité des briquettes et de leur compétitivité par rapport aux combustibles traditionnels.

La combinaison de ces critères permet de regrouper les procédés et les technologies selon trois options:

3.3.1 Option industrielle (ex. Presse à piston)

Cette option utilise des presses de grande capacité (entre 0,3 t et 1 t/h) fonctionnant à haute pression, généralement sur des sites agro-industriels disposant des résidus en quantité homogène et abondante (figure 2).

3.3.2 Option intermédiaire (ex. Presse à vis)

Dans cette option, les presses ont une capacité de production plus faible (entre 30 et 300 kg/heure) elles sont plus simples, fonctionnent à moyenne pression et sont moins onéreuses à l'achat comme à l'entretien. Elles sont destinées à des petites entreprises artisanales ou à des centres de transformations de produits agricoles de dimension moyenne (figure 3).

3.3.3 Option manuelle

Dans ce cadre, les presses sont très simples, elles sont composées de leviers plus ou moins démultipliés. Elles peuvent être utilisées, pour compacter des résidus, à l'échelle d'une exploitation familiale mais exigent souvent de recourir à un liant pour assurer l'agglomération des résidus (ex. presse de densification de la bagasse, figure 4).

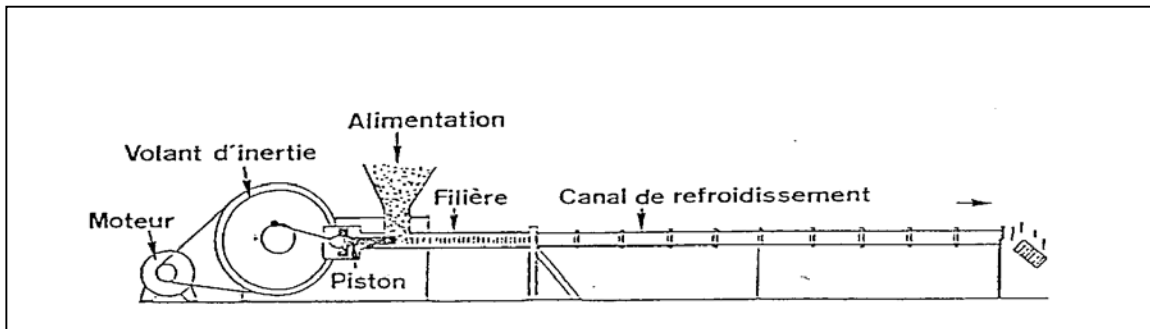


Figure 2 : presse à piston industrielle

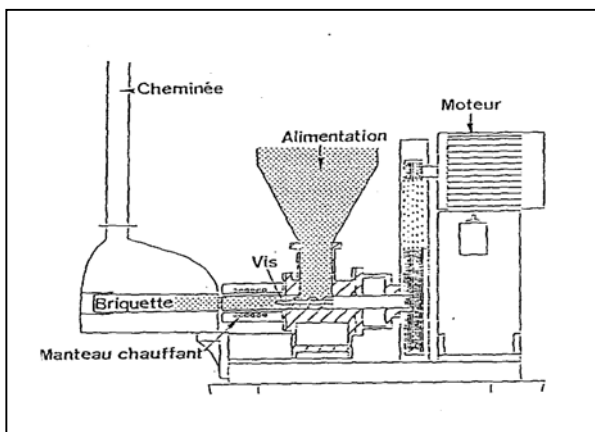


Figure 3 : presse à vis

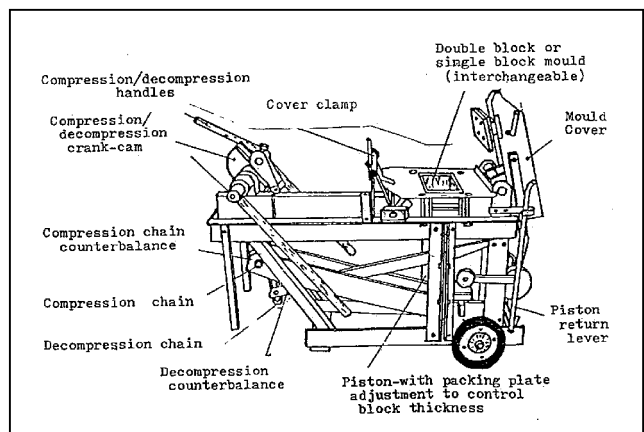


Figure 4 : presse manuelle

3.4 L'expérience soudanaise

3.4.1 L'histoire de options techniques au pays

La technologie du briquetage des résidus agricoles au Soudan a débuté en 1950. Le premier projet-pilote de fabrication de briquettes, installé dans la zone de la Gezira, a échoué en raison de problèmes techniques et de maintenance.

En 1977, à l'initiative d'une entreprise privée "*sirkis Azmerilian*", la fabrication de briquettes a été reprise dans une unité de briquetage à proximité d'une usine de décorticage d'arachide à Khartoum. La commercialisation de ces briquettes a rencontré diverses difficultés:

- concurrence avec les combustibles classiques (bois et charbon) dont les prix étaient relativement bas;
- dégagement important de fumée;
- approvisionnement instable en matière première.

En 1980, une unité de briquetage de coques d'arachide a été installée à Elbagier au niveau de la plus grande usine de décorticage du pays, à 35 km au sud de Khartoum. Des tests de préférence ont été réalisés auprès des utilisateurs à Khartoum. Les résultats de ces enquêtes ont mis en évidence que l'utilisation de ces briquettes entraînait un dépôt de suie mais ne modifiait pas le goût des aliments (UNSO, 1984). Les utilisatrices étaient disposées à les utiliser à un coût moins élevé et à condition qu'ils soient disponibles sur les marchés (Gasim, 1984).

En 1984, au regard des disponibilités en bagasse de canne à sucre dans la région Est (environ 0,5 million de t/an), le programme de développement de la biomasse de la FAO et du CEAR (comité européen d'aide aux réfugiés) en collaboration avec le département des ressources naturelles au Soudan, ont mis en place une unité de fabrication des briquettes à usage industriel et artisanal. Ces briquettes ont trouvé leur place facilement sur les marchés des combustibles dans la région avec l'aide de l'Etat régional qui interdit l'utilisation du bois de feu par le secteur industriel (FAO, 1988).

En 1985, une unité-pilote de briquetage direct des tiges de cotonnier a été installée dans la zone de la Gezira dans le cadre d'une collaboration entre NEA du Soudan et DANIDA (Danish National & International Development Agency), avec pour objectif premier de lutter contre les maladies du coton. Malgré les résultats phytosanitaires satisfaisants sur le coton, ce projet n'a pas été poursuivi en raison des difficultés d'adaptation de la technologie aux tiges de cotonnier.

En 1997, un projet de coopération entre le Ministère de l'Energie soudanais et le PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement), financé par DANIDA sur la production de briquettes à partir de bagasse, à usage domestique et industriel, a été engagée à l'Est du pays dans la zone de Nouvelle

Halfa, zone de production de canne à sucre avec une capacité productive de 1200 tonnes/saison.

Le projet est entré dans la phase de production, des modifications techniques ont été apportées pour adapter la technique aux ressources disponibles et les démonstrations du produit sont cours pour vulgariser ce nouveau combustible.

Dans cette intervention, nous allons présenter quelques applications des options techniques des sous-produits agricoles au niveau du pays qui sont :

- Technologie de briquetage des tiges de cotonnier et des coques d'arachide ;
- Technologie de densification de bagasse de canne à sucre ;
- Technologie de carbonisation des tiges de cotonnier (boulets) ;
- Technologie de gazéification.

3.4.2 Technologie de Briquetage

La technologie du "briquetage" est un procédé physico-chimique qui réduit par pressage le foisonnement des matières ligno-cellulosiques jusqu'à l'obtention de produits ayant une cohésion suffisante (Hebert.J. 1988).

Au sens large, le briquetage recouvre toute une gamme de procédés visant à réduire le volume des sous-produits. De façon générale, le briquetage comporte un pressage qui réalise un compactage simple en imbriquant mécaniquement les fibres, il peut être complété au besoin par un ligaturage. On peut y adjoindre un liant (goudron, mélasse...) qui permet d'agglomérer les fibres à des pressions beaucoup plus faibles.

3.4.2.1 Unité de briquetage des tiges de cotonnier

En 1995, un nouveau projet de production de briquettes de tiges de cotonnier a vu le jour. Ce projet de coopération entre le PNUD et le Ministère de l'Energie soudanais financé par DANIDA s'est concrétisé par une unité de fabrication de briquettes dans le périmètre agricole de la Gezira.

La capacité productive de l'unité est d'environ 2 000 tonnes/saison (soit 6 tonnes /jour) de briquettes à usage domestique (en remplacement du bois de feu et du charbon de bois), et artisanal (boulangeries, briqueteries, huileries, savonneries... en remplacement du bois de feu).

Le projet a réalisé des démonstrations pour populariser le produit et favoriser son usage.

L'unité est entrée dans une phase de pleine production et de diffusion à l'échelle régionale, mais il n'a pas encore atteint les résultats escomptés au départ. Son impact sur les consommateurs et les effets sur les bilans énergétiques des ménages de la zone viennent juste d'être étudiés afin de dégager les contraintes à son développement. Le tableau 3. montre l'évolution de la production des briquettes.

Tableau 3 : Evolution de production des briquettes de tiges de cotonnier (1995-1998 en tonnes/saison)

Année	95/96	96/97	97/98	Moyenne
Production.	350	840	1210	800

Source : projet documents, Soudan, 1998.

3.4.2.2 Unité de briquetage des coques d'arachides

Le projet de briquetage des coques d'arachide entre dans le cadre d'un projet de coopération entre le PNUD et le Ministère de l'Energie au Soudan financé par DANIDA pour développer et utiliser les ressources locales disponibles afin de lutter contre les déforestations. L'unité de production des briquettes de coques d'arachide, à usage domestique et industriel, a été installée, en 1988 dans la zone de Kordofan, zone principale pour la culture de l'arachide.

La capacité productive est estimée à environ 2 000 tonnes/saison (soit 6 tonnes/jour), ce projet est entré dans une phase productive depuis 1990. Les études d'évaluation faites par les organisations concernées font apparaître des résultats très encourageants pour l'avenir de cette technologie dans la zone (Mudawi, 1993). Le tableau 4, illustre l'évolution de la production des briquettes des coques d'arachide dans la zone.

3.4.3 Technologie de Densification

La densification, au sens strict, est un procédé d'agglomération des particules qui utilise comme liant naturel une polymérisation de la lignine après fusion entre 135°C et 195°C. La chaleur nécessaire à cette fusion peut provenir de :

- la conversion de l'énergie mécanique en chaleur par forçement et friction sous la pression de pistons à vis.
- l'apport de chaleur externe par un chauffage des résidus ou par un manteau chauffant qui enveloppe la

filière d'extrusion.

Mais il existe une autre voie de densification grâce à l'utilisation d'un liant. La densification de la bagasse de canne à sucre est une technologie simple manuelle qui consomme peu d'énergie par rapport aux autres technologies des sous-produits agricoles.

Elle se réalise de la façon suivante :

- obtention des résidus appelés « bagasse » après encrassement des cannes à sucre à l'usine ; la bagasse représente environ 45% de la quantité totale des cannes écrasées ;
- séchage de la bagasse au soleil ;
- transport de la bagasse par des charrettes à traction équine, vers l'usine de densification ;
- mélange d'une certaine quantité de bagasse de l'année, avec de la bagasse de l'année précédente et une quantité de mélasse servant de liant (tableau 5). Ce processus se fait manuellement par des ouvriers, il faut mélanger parfaitement les trois composants.
- mise en place de la bagasse obtenue sur les plateaux pour obtenir la forme de briquette.
- compactage par une presse manuelle, et obtention des deux types de briquettes : une briquette de 29x11.8 cm qui pèse 2 kg pour usage industriel et une briquette de 23x11.8 cm qui pèse 1.3 kg pour usage domestique.
- séchage des briquettes au soleil pendant 1 à 2 semaines ;
- stockage et vente aux consommateurs.

Tableau 4. Evolution de production des briquettes de coques d'arachide (1993-1998 en tonne/saison)

Année	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	Moyenne
Prod.	900	1240	1180	1200	1450	1194

Source: Projet documents, Soudan, 1999.

Tableau 5. Composition des briquettes de la bagasse de canne à sucre

Composants	Bagasse nouvelle	Bagasse ancienne	Mélasse
Volume	10	75	15
Poids	7	60	33

Source: Projet documents, Soudan, 1998.

3.4.3.1 Unité de densification de bagasse de canne à sucre

Le projet de densification de la bagasse de canne à sucre est un projet de coopération entre la FAO et le département des ressources naturelles au Soudan. En 1992, l'unité de production a été installée dans la zone du Nil Blanc à proximité de l'usine sucrière de Assalya.

L'objectif principal de ce projet était de produire deux types de briques de bagasse de canne à sucre (avec une capacité productive de 6 tonnes/jour), pour remplacer le bois de feu et le charbon de bois dans

leurs usages domestiques et le bois de feu dans son usage industriel.

L'unité est actuellement en phase de pleine production, et une étude vient d'être entreprise pour évaluer l'impact de ces combustibles sur les consommateurs et ajuster la production et la distribution en fonction des besoins des ménages.

Le tableau 6, traduit l'évolution de la production des briques de bagasse dans la zone.

Tableau 6 : Evolution de production des briques de bagasse de canne à sucre (93/1998 en tonne/saison)

Année	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	Moyenne
Prod.	880	1214	1310	1248	1350	1200

Source : Projet documents, Soudan, 1998.

3.4.4. Technologie de Carbonisation

Le charbon de bois est le combustible privilégié des ménages urbains soudanais et il pourrait le rester encore de nombreuses années. Il est donc indispensable et urgent de trouver un produit de substitution de qualité et d'apparence à peu près équivalentes au charbon de bois. Les procédés de transformation des sous-produits agricoles par carbonisation permettent d'obtenir un tel produit comme les boulets de charbon de tige de cotonnier qui conviennent à de nombreux usages locaux. La carbonisation procède par différentes étapes sur les lieux de production et à l'usine de transformation.

Aux champs

Après avoir été arrachées, les tiges de cotonnier sont mises en tas pour être séchées au soleil. Les tiges sèches sont ensuite carbonisées dans un four dit « moderne » par l'exploitant et sa famille. Les tiges carbonisées sont ensuite transportées vers le site d'agglomération.

A l'usine d'agglomération

Cinq opérations principales sont réalisées : le broyage, la préparation du liant, l'agglomération, le séchage et l'emballage.

3.4.4.1 Unité de carbonisation des tiges de cotonnier (boulets)

En 1986, dans le cadre de la stratégie nationale de lutte contre le déboisement et la détérioration des ressources naturelles, un projet de fabrication de charbon de tiges de cotonnier carbonisées sous forme de « boulets » a été amorcé, en collaboration avec l'ERC (Centre national de la Recherche Energétique) du Soudan et la GTZ, dans la zone de Gedarif (au niveau du périmètre agricole de Rahad) à l'Est du pays. L'objectif principal de ce projet était de produire du charbon des tiges de cotonnier carbonisées, "boulets", uniquement pour un usage domestique comme combustible d'appoint pour les paysans de la zone de Rahad. Depuis 1990, le projet est géré entièrement par l'entreprise agricole de Rahad, syndicat agricole et l'ERC en tant qu'agent d'appui technique (Hood, 1990).

La capacité productive de l'unité est de 800 tonnes/saison, les démonstrations ont été réalisées dans plusieurs villes et villages auprès des ménages utilisant des foyers améliorés. Ce nouveau combustible a reçu un accueil positif parmi les utilisatrices et grâce à une bonne substitution au charbon de bois et à son prix abordable il a pénétré les marchés de combustibles dans les zones.

Outre l'intérêt incontestable de fournir un combustible de substitution au charbon de bois, cette initiative procure une nouvelle source de revenu aux exploitants par la vente de tiges de cotonnier carbonisées.

**Tableau 7. Evolution de production des boulets des tiges carbonisés
(Tonne/saison)**

Année	1991	1992	1993	1994	1995	Moyenne
Prod..	250	300	310	390	450	340

Source: Projet documents, Soudan, 1998.

Afin de pouvoir comparer du point de vue énergétique les combustibles des sous-produits agricoles (briquettes des tiges de cotonnier, de coques d'arachides, de bagasse de canne à sucre, et les boulets des tiges carbonisés) et les combustibles classiques (bois de feu et le charbon de bois). Les pouvoirs énergétiques de chaque type de combustibles ont été déterminés dans le laboratoire

du CIRAD-Forêt, sur des échantillons provenant directement du Soudan. Les travaux d'analyse ont classé les boulets de tiges de cotonnier carbonisés comme ayant le plus fort pouvoir énergétique et observé le plus faible pouvoir énergétique sur les briquettes de tiges de cotonnier non-carbonisées (tableau 8)

**Tableau 8. Pouvoirs énergétiques des combustibles des sous-produits agricoles
(TEP)**

Combustible	Briquette tige cotonnière	Briquette coque d'arachide	Boulets de tige carbonisé	Briquette de bagasse de canne à sucre
1. Echantillon	10	10	10	10
2. T initial moyenne C	20,38	20,38	20,38	20,38
3. T finale moyenne C	23,09	23,09	23,11	23,09
4. Pouvoir énergétique TEP	0.386	0.495	0.434	0.505

Source : Laboratoire Energie-Environnement, CIRAD- Forêt, juillet 1998.

TEP : Tonne Equivalent Pétrole.

3.4.5. Technologie de Gazéification

La technologie de gazéification vise à réduire la dépendance forte vis à vis des produits pétroliers grâce à l'utilisation de la biomasse comme « carburant ». C'est la transformation d'un combustible solide en combustible gazeux utilisable dans des moteurs à combustion interne.

En 1985, dans le cadre de la valorisation énergétique des ressources locales au niveau du pays, un projet de coopération Franco-Soudanais a été mis en œuvre par l'AFME (Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie) et la NEA (Administration Nationale de l'Energie) du Soudan. Il s'agissait de tester et d'évaluer un gazogène de technologie française dans les conditions soudanaises pour la production d'électricité destinée au pompage-irrigation et à l'électrification rurale (Vaitilingom, 86).

Devant le très faible nombre de références sur la gazéification de combustibles tropicaux, dont les caractéristiques varient de surcroît avec les variétés, il était nécessaire d'ajuster les appareils localement.

L'objectif final étant un transfert de cette technologie après mise au point et adaptation locale.

L'unité est composée d'une remorque routière supportant un gazogène et un groupe électrogène. Rendue opérationnelle avec son broyeur, lui-même alimenté par le groupe électrogène qui fournit le combustible, la chaîne est complète et délivre 28 KVA (Figure 5).

Phase 1 :

Pompage de l'eau d'irrigation dans une ferme de la faculté d'agriculture de l'université de Khartoum pendant une année. La biomasse utilisée a été du bois de feu puis des tiges de cotonnier. Des modifications techniques ont été faites sur l'unité pour qu'elle s'adapte aux combustibles locaux (en particulier réglage du gazogène pour éviter la formation de mâchefers). Les bilans de consommation ont révélé un ratio de 1.5 kg de tiges de cotonnier par kWh électrique fourni (Vaitilingom, 86).

Phase 2 :

Les limitations d'approvisionnement et le prix élevé des carburants, ajoutés aux difficultés de transport dans la plupart des régions soudanaises, expliquent le manque d'électricité dans les villages qui par ailleurs disposent de sous-produits agricoles. Ceci justifiait l'examen économique de la filière gazogène là où la biomasse combustible serait disponible.

Cette phase a vu la mise en œuvre sur site de l'unité électrogène pour fournir de l'électricité à des réseaux villageois. Dans deux villages éloignés (puissance

moyenne de 8 kW et 19 kW), plus de 450 heures ont été effectuées en conditions réelles d'exploitation, l'unité avait fonctionné de 8 à 10 heures par jour (Vaitilingom, 89).

La biomasse utilisée : briquettes des tiges de cotonnier, briquettes des coques d'arachide et tiges de cotonnier. Les consommations étaient de l'ordre de 20 kg de biomasse par heure. Les résultats des expérimentations ont montré que les briquettes des tiges de cotonnier étaient le meilleur combustible pour le gazogène. (Elhassan, et Ninnin, 88) (tableau 9).

Tableau 9 : Performances du Gazogène par rapport aux combustibles utilisés

Caractère	Tige de cotonnier	Briquettes de tige de cotonnier	Briquettes de coques d'arachide
Allumage	rapide	moyenne	lente
Mâchefer	non	non	énorme
Quantité de cendre	élevé	moyenne	peu
Moteur performance	moyenne	très bien	moyenne

Source: Elhassan & Ninnin, Soudan, 1988

Les expériences soudanaises ont montré que le gazogène apparaît comme une solution prometteuse pour l'électrification rurale. Mais son succès dépend largement des possibilités de réduction de son coût d'investissement en envisageant pour cela la possibilité de fabrication de l'unité au pays. Le projet était très bien vu par les responsables soudanais.

Grâce à cette réussite, la recherche dans ce domaine s'est poursuivie par des essais de fabrication locale de gazogènes soudanais par l'ERC (Centre nationale de la Recherche Energétique) au pays. Ils ont fabriqué un gazogène pour la production d'électricité (2 KVA) en

utilisant des briquettes des tiges de cotonnier et de bagasse avec des résultats encourageants (Eltaybe, 97). Une autre voie de recherche conduite au sein de cet Institut est l'utilisation de gazogènes pour produire de la chaleur (usage direct des gaz) en remplacement du bois de feu dans les boulangeries.

A l'Université de la Gezira, au centre de pays, il existe un projet de recherche sur l'utilisation de gazogènes soudanais pour faire tourner le moteur d'une voiture en utilisant les briquettes des tiges de cotonnier en remplacement du fuel (Idris, 98)

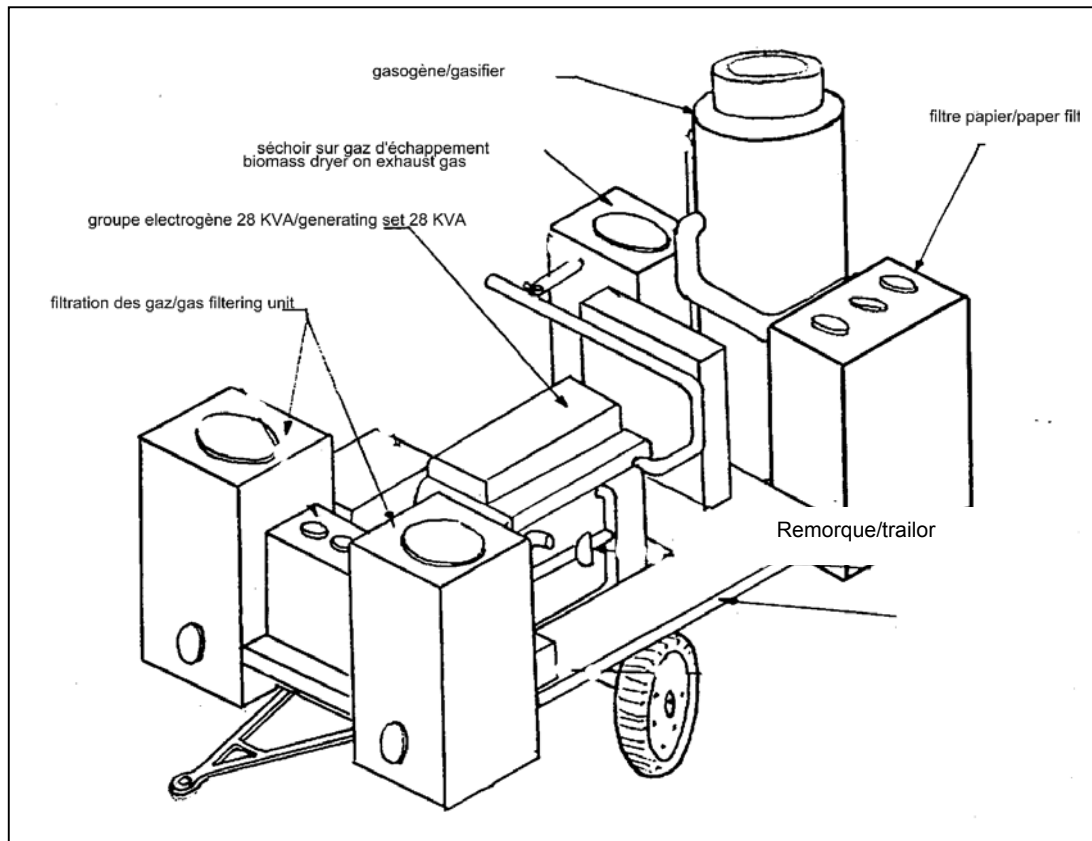


Figure 5 : le groupe électrogène mobile à gazogène (28 KVA)

4 SYNTHÈSE ET CONCLUSION

La conclusion que l'on peut retenir de l'expérience soudanaise dans le domaine de la transformation des sous-produits agricoles à des fins énergétiques, c'est que les options techniques pourraient jouer un rôle considérable sur le soulagement de la pression très forte sur les ressources de la biomasse. Et ainsi contribuer à réduire la crise énergétique au niveau du pays dans les deux secteurs consommateurs de la biomasse (ménages et industrie traditionnelle telles que, les boulangeries, briqueteries etc), en remplaçant au bois de feu et de charbon de bois dans leurs usages.

Les problèmes rencontrés par ces options techniques au Soudan sont d'origines différentes. Il s'agit plutôt de problèmes de distribution et de marketing des combustibles de substitution sur les marchés et de problèmes de qualité des produits que des problèmes technico-économiques. Le Soudan est considéré parmi les pays africains où ces options techniques ont des chances remarquables de réussite.

Enfin, la réussite de la valorisation de ces sous-produits agricoles comme combustibles de substitution au niveau des ménages dépend de la politique énergétique définie à l'échelle nationale par les autorités gouvernementales qui peuvent favoriser la diffusion de ces combustibles par diverses mesures incitatives :

- Investir dans ce domaine de l'énergie de substitution, ou bien encourager le secteur privé à investir en lui facilitant le transfert des technologies bien adaptées ;
- Former des cadres professionnels, soutenir les Centres des recherches travaillant dans ce domaine prometteur et encourager les échanges scientifiques nationaux et internationaux ;
- Mobiliser et encourager la population à utiliser ces combustibles au niveau de leurs ménages afin de servir l'intérêt national pour la lutte contre la détérioration des ressources naturelles et la préservation de l'environnement au pays.

REFERENCES

1. Ismail, G: Energy and environment, the scientific conference, National Council for Research, Khartoum, Sudan, april 1995.
2. Elhassan, A: Problèmes de valorisation des déchets agricoles comme source d'énergie de substitution: cas des coques d'arachide au Soudan, (thèse de DEA, ENSAM, Montpellier, septembre, 1994.
3. Eltaybe, I: Energy in the Sudan: Conventional and renewable energy, ERC, Khartoum, Soudan, 1994.
4. BENS: Natinal survey of agricultural residues and their potential in Sudan, april 1993.
5. Elhassan, A: Utilisation des déchets agricoles comme source d'énergie domestique: Etude de quelques aspects socio-économiques dans une zone rurale au Soudan, thèse de Master of Science, IAM, Montpellier, juillet 1993.
6. Paddon, A: Bagasse fuel-blocks, a new source of renewable energy for the Sudan, Khartoum, FAO, Sudan, 1993.
7. Fatin, A: Valorisation des tiges de coton par le voie sèche: cas du Soudan; Compiègne Université de technologie, thèse de doctorat, 1990.
8. Siddig, S: Appropriate technology for the the developing countries: The case of Elnahud pilot briquetting plant, University of Khartoum, these of M.Sc degree, Sudan, 1989.
9. Vaitilingom, G: Projet de Gazéification au Soudan: Mission d'évaluation, fev, 1989.
10. Elhassan, et Ninnin: Gasification for rural electrification , International Workshop on Biomass Fuel Briquetting in Developing Countries, Khartoum, Sudan, june, 1988.
11. Vaitilingom, G: Expérimentation de matériel de gazéification au Soudan: Etat d'avancement des travaux, rapport de mission, nov.1986.
12. Ahmed, H: L'expérience soudanaise dans le domaine de l'application de la technologie de l'énergie, Ministère de l'énergie, Khartoum, Soudan,

LA BIOENERGIE POUR LE DEVELOPPEMENT BESOINS EN R&D ET SPECIFICITE DU TRANSFERT DE TECHNOLOGIES EN AFRIQUE

Philippe GIRARD

Responsable Laboratoire Energie Environnement
CIRAD-FORET - TA 10/16 - 34398 Montpellier Cedex 5 - FRANCE
Tél : 04.67.61.44.90 - Fax : 04.67.61.65.15 - philippe.girard@cirad.fr

INTRODUCTION

La situation énergétique de nombreux pays africains demeure assez paradoxale dans la mesure où la disponibilité en ressources énergétiques est significative alors que la grande partie de la population a un accès limité à l'énergie, notamment l'électricité. Ce constat est particulièrement vrai pour la biomasse. En effet, si elle reste la source majoritaire de satisfaction des besoins énergétiques des ménages, via le bois et le charbon de bois et où elle intervient pour plus de 80% dans le bilan énergétique de certains pays comme le Burkina Faso, le Mali, elle ne participe que peu au développement économique de ces pays alors que la disponibilité en technologies matures, transférables semble garantie.

Cette situation de prime abord paradoxale résulte à la fois des contraintes inhérentes aux technologies de la valorisation énergétique de la biomasse, mais aussi des spécificités des besoins africains.

Si le bois et le charbon de bois et plus globalement la biomasse pèse de façon considérable au niveau des bilans énergétiques des pays africains, cette consommation ne concerne pour l'instant que les ménages et très peu l'industrie avec la mise en œuvre de solutions techniques souvent peu performantes. A l'instar de certains pays d'Asie ou d'Amérique latine confondus (Malaisie, Brésil), la biomasse pourrait cependant jouer un rôle significatif dans la satisfaction des besoins tous secteurs du moins pour plusieurs pays dont la disponibilité en biomasse n'est pas menacée.

Biomasse et Environnement

Il ne s'agit pas ici de reproduire les éléments qui ont été maintes fois publiés mais d'insister sur les avantages comparatifs de la biomasse vis à vis des autres ENR et qui auront des conséquences pour la suite de ce document.

- **La biomasse constitue le plus gros gisement d'ENR actuellement accessible** avec , en 1990, 1500 Mtep mobilisables sans risque de déforestation au niveau des pays du Sud. Le bois énergie issu des formations forestières pourrait fournir 75% de ce potentiel avec approximativement 20% soit 270 Mtep, pour l'Afrique. A titre de comparaison, le potentiel ENR mobilisable serait le suivant pour les pays du Sud en Mtep (B.DESSUS, 1994) :

Hydro	Solaire	Eolien	Biomasse	Total
320	162	18	1490	1990

- Elle offre en outre **une opportunité réelle en terme de substitution** notamment pour l'industrie et les agro-industries disposant de déchets et sous produits peu ou mal valorisés. L'impact est alors double en ce sens que les déchets permettent une substitution directe d'énergie fossile à partir de produits qui devraient, de toute manière, être éliminés, le plus souvent par combustion.

- **La création de plantations énergétiques et une bonne gestion des espaces forestiers dans des schémas de développement propre permettent en outre le stockage du carbone.** La production d'énergie ne se réalise

en effet qu'à partir de l'accroissement. Ainsi la production d'un MW électrique à partir de plantations forestières nécessite la mise en culture de 750 ha de manière pérenne ¹ permettant une économie d'émissions annuelle de 7000 t de carbone et un stockage de 60 000 t.

Energie et développement durable

Il semble nécessaire de évoquer le contexte dans lequel s'inscrit notre démarche qui si elle est acceptée par beaucoup reste encore floue pour certains. Il convient en effet de rappeler que l'accès à l'énergie correspond à un besoin fondamental de l'homme et qu'elle est indissociable de la notion de développement (c'est avec la maîtrise du feu que les premiers hommes ont commencé leur essor).

Cette notion de développement passe par la **création de revenus** ou plus généralement de valeur ajoutée.

L'économie de très nombreux pays africains repose sur l'agriculture (1/3 du PIB sur les 15 pays de l'Afrique de l'Ouest). Cette agriculture très extensive est basée sur des pratiques culturales ancestrales qui pèsent lourdement sur les écosystèmes et sont largement responsables de la dégradation du milieu. La protection de l'environnement et le développement économique en Afrique passe donc

¹ 1 MWe produit en solution conventionnelle "chaudière turbine" nécessite environ 15 000 t de bois. A raison d'une production de 20 t/ha/an et une rotation tous les 5 ans ce sont 150 ha qui sont exploités par an. Les 600 ha restant permettent de stocker 60 000 t de carbone.

assez largement par l'intensification de l'agriculture. Cependant, cette intensification ne pourra se réaliser sans source d'énergie pour le pompage de l'eau, la mécanisation,

L'intensification agricole n'a ensuite de sens que si la production a accès au marché qu'il soit local, régional ou international. La nécessité de transporter, stocker, conditionner ou transformer ces produits agricoles exige, là encore, une source d'énergie. Le développement de cette filière doit permettre la mise en place de PME/PMI, fortement créatrice d'emplois et de valeur ajoutée.

La durabilité donne à la fois une **dimension temporelle** à la notion de développement mais suppose aussi que ce **développement soit viable** c'est à dire soit compatible avec l'environnement.

La mise à disposition du monde rural de force motrice doit donc être privilégiée pour que les actions de développement, qui sont menées aujourd'hui, s'inscrivent significativement dans le sens de la lutte contre la pauvreté et les grandes conventions internationales : conventions climat et lutte contre la désertification.

1 NATURE DES BESOINS ENERGETIQUES

Nous n'aborderons pas ici la problématique de l'énergie domestique en milieu urbain qui a fait l'objet d'autres présentations. De même cette présentation aborde les problèmes de façon globale pour l'Afrique même si nous ne sommes pas sans ignorer les spécificités qui existent au niveau régional, voire local. Mais les problématiques du monde rural ou des zones péri-urbaines répondent à certaines constantes sur lesquelles nous souhaitons insister.

Il n'est pas question non plus de dresser une liste exhaustive des besoins énergétiques par type d'activité en zones rurales, mais plutôt de donner les ordres de grandeur et de préciser la forme d'énergie mise en œuvre afin de définir la nature des besoins technologiques.

1.1 Les besoins énergétiques de l'agriculture

Ils sont de plusieurs ordres et en premier lieu concernent le plus souvent l'accessibilité à l'eau. Même si la disponibilité en eau ne constitue pas le facteur limitant, proximité de cours d'eau, nappe phréatique peu profonde, etc..., l'absence d'énergie pour le pompage et l'irrigation, limite le rendement des cultures et le nombre de rotations. Moussa SECK (SECK, 1999) démontre assez clairement que la disponibilité en eau peut permettre une activité agricole intensive sur des sols pourtant très dégradés.

Selon les conditions édaphiques et la nature des productions agricoles, les besoins énergétiques pour le pompage (hors grandes exploitations agricoles) sont de l'ordre de quelques kW (5 à 10 kWe). Ce niveau de puissance permet en outre de faire fonctionner un poste à souder pour l'entretien du matériel agricole et l'accès à l'éclairage ainsi qu'à

de nombreux besoins fondamentaux des communautés villageoises (mouture, pesage,....).

1.2 La transformation/conservation des produits agricoles

L'intensification agricole n'a de sens que si la production a accès aux marchés. Afin de pallier aux fluctuations de ces marchés et au problème d'accessibilité (transport) mais aussi pour accroître la valeur ajoutée en milieu rural, ce qui constitue une nécessité absolue (BAIROCH), la production devra être conditionnée, voire transformée. Il s'agit de la mouture du grain ou de l'extraction d'huile ou de substances actives, voire de la cuisson ou de la stérilisation qui permet d'envisager la conservation des produits dans la durée. Le séchage des produits agricoles, oignons, tomates, mais aussi de fruits a tendance à se développer sur le continent et les pays occidentaux sont de gros importateurs. La maîtrise d'une source d'énergie fiable qui permette l'obtention de produits de qualité constante constitue bien souvent le frein à l'accès des produits africains aux marchés du nord alors que paradoxalement ces mêmes denrées sont produites selon des critères "biologiques" répondant parfaitement aux attentes des consommateurs de ces pays.

De même la mise en place d'une chaîne de froid, voire la production de glace par de petites unités, permettrait la conservation des produits agricoles pendant le transport des zones de production vers le consommateur ou pour l'exportation et cela dans des secteurs importants, comme celui de la pêche, qui représente par exemple 60 milliards de francs CFA de chiffre d'affaire au Sénégal, ou du maraîchage .

La disponibilité en électricité permettrait le développement de ces activités et l'essor de petites et moyennes entreprises de type coopérative ou privée fortement créatrice de valeur ajoutée, d'emplois et permettant de sédentariser les populations.

Les besoins électriques pour ces activités de transformation restent là encore faibles, ils sont de l'ordre de 5 à 20 kWe et selon les spéculations agricoles et les situations pourraient s'envisager avec la cogénération (séchage, stérilisation,...) à des niveaux de puissance de l'ordre de 100 à 1 000 kWth permettant ainsi des rendements de conversion très satisfaisants (proche de 60%) sur ces systèmes de petite puissance.

Les besoins électriques de l'agriculture et de la petite transformation/conservation des produits agricoles associés à l'électrification rurale décentralisée varient donc dans une plage de 5 à 50 kWe éventuellement associé à des besoins thermiques variant de 100 à 1 000 kWth. La grande majorité de ces besoins restants pour l'Afrique dans la fourchette basse de cette plage.

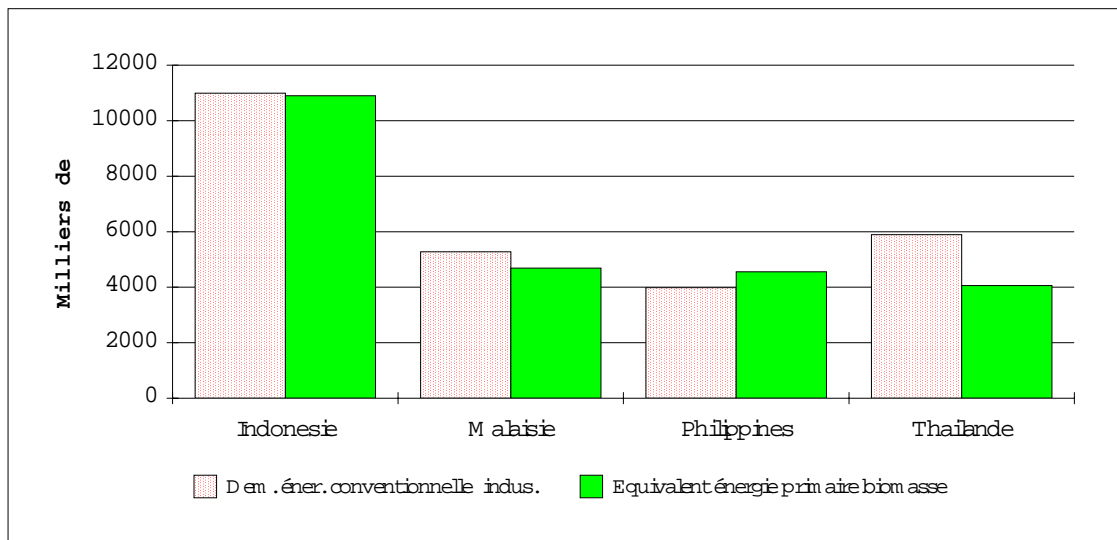
1.3 Les besoins des agroindustries

La plupart des agro-industries se trouvent en zone rurale ou péri-urbaines (sucrieries, huileries de palme). La nature et l'importance de leurs besoins énergétiques, électricité et chaleur process a souvent conduit les industries disposant d'un volume très important de déchets fermentescibles et polluants (sucrierie avec la bagasse, huilerie de palme avec les fibres) à mettre en place des systèmes de cogénération chaudière/turbine alimentés à partir de ces déchets à des fins d'autonomie énergétique mais aussi de gestion de ces déchets. La contrainte majeure étant bien souvent l'élimination de ces déchets, et compte tenu de leur abondance, le dimensionnement et la conception des systèmes énergétiques (production et consommation) sont peu performants. Ainsi une sucrierie moderne peut générer 4 à 5 fois plus d'électricité qu'elle n'en consomme alors que dans de nombreux pays on trouve des sucrieries non autonomes et consommant une quantité non

négligeable de bois. Nombre d'agro-industries déjà équipées disposent ainsi d'un potentiel de génération occulté très important qui pourrait profiter à l'ERD (Le système réglementaire constitue souvent le frein principal à son développement).

En outre il existe de nombreuses situations où ces agro-industries ne valorisent pas ces déchets. C'est en particulier le cas des industries du bois, des rizeries, ... alors que le volume de déchets est important, comme le montre le graphe ci-après qui donne un ordre de grandeur des capacités de génération potentielles dans quelques agro-industries en ASEAN (GIRARD, 1996).

Les besoins énergétiques sont souvent de deux ordres, électricité et chaleur, et les capacités installées ou "installables" sont importantes de 1 à 20 MWe voire plus pour certaines sucrieries ou usines de panneaux.



Demande énergétique du secteur industriel des principaux pays de l'ASEAN vis à vis du potentiel énergétique contenu dans les déchets des principales agro-industries.

2 L'OFFRE TECHNOLOGIQUE EXISTANTE

Le paragraphe précédent a mis en évidence la spécificité des besoins énergétiques susceptibles d'être satisfaits à partir de la biomasse en milieu rural et péri-urbain tropical.

2.1 Les agro-industries et les industries du bois

Elles sont caractérisées par une demande énergétique importante favorable à la mise en oeuvre de technologies performantes en terme de rendement parce que associant des besoins thermiques et électriques. Elles ont souvent accès à une grande quantité de matières premières très concentrée et homogène.

L'offre technologique pour satisfaire ce type de besoins existe et les solutions sont matures. Il s'agit des cycles chaudières vapeur avec ou sans couplage pour la production d'électricité par turbine ou moteur à vapeur permettant en usage cogénération des rendements de l'ordre de 15% pour l'électricité et de 55% pour la chaleur. Si l'efficacité énergétique notamment pour l'électricité les cycles vapeur restent faibles, la technologie est largement éprouvée et de très nombreux constructeurs existent de par le monde susceptibles de répondre à tout type de demande (ou presque). Des exemples multiples existent dans pratiquement tous les pays y compris les pays tropicaux avec des références en huilerie, rizerie, sucrierie,...

Le problème majeur auquel sont confrontés les industriels des pays tropicaux est plutôt lié au manque d'information sur la disponibilité et la faisabilité réelle de ces options, même si ces entreprises sont souvent entre les mains de

multinationales. L'Afrique n'échappe pas à cette règle et le besoin fondamental pour le développement de l'utilisation énergétique de la biomasse dans ce secteur repose sur la promotion et la vulgarisation de ces technologies.

Les besoins en R&D sont faibles, ils concernent essentiellement les systèmes d'alimentation et l'amélioration de la combustion. Deux aspects qui sont assez largement étudiés en Europe et aux Etats Unis. Des progrès importants ont été réalisés sur les 10 dernières années même si ces innovations n'ont pas nécessairement été mis en œuvre en Afrique. Le frein est plus d'ordre économique et réglementaire (développement de la production privée d'électricité) que technique.

2.2 L'agriculture

Les besoins énergétiques pour le développement, on l'a signalé, doivent générer un surplus d'activités économiques dans le secteur agricole. A ce niveau, les caractéristiques physiques et techniques des différentes sources de déchets lignocellulosiques sont **extrêmement variables**. Cette hétérogénéité complique singulièrement le problème de leur utilisation. Deux options ont été retenues pour le développement et la conception de procédés :

- conditionner la biomasse pour la ramener à un produit standard de caractéristiques physiques (granulométrie, densité, humidité,...), permettant de disposer d'une technologie de conversion "polycombustibles",
- adapter la technologie aux caractéristiques de la matière première, la rendant ainsi peu à même d'accepter une autre matière première sans grande modification ou sans grande diminution de capacité nominale.

Ces deux options qui ont été diversement suivies, présentent toutes deux des avantages et des inconvénients. La dernière option semble avoir mieux réussi du point de vue des pratiques économiques. En effet, même si la spécialisation du procédé entraîne un surcoût significatif de l'installation du fait d'une production manufacturière réduite, elle reste cependant moins coûteuse que la première démarche. Celle-ci conduit bien souvent à développer un itinéraire technique complexe par la succession des matériels mis en œuvre. Ces itinéraires peuvent par ailleurs être de nature à remettre en question le rendement de la transformation. En effet, les technologies de pré-conditionnement ou de conditionnement de la biomasse, séchage, broyage, densification, etc, sont fortement consommatrices d'énergie électrique ou de chaleur².

²La densification par exemple, dont l'intérêt économique est souvent mis en avant par suite de la diminution des coûts de transport et de manutention des produits densifiés, vis à vis d'un approvisionnement diffus constitué de produits peu pondéreux (sciures, fines de ponçages,...) n'a pas permis d'atteindre au niveau économique, voire technique (déitement à la chaleur lors de l'utilisation) les performances escomptées.

On le voit déjà, l'ensemble des procédés qui ont été développés ou qui font l'objet de travaux de recherche, pour satisfaire la demande énergétique et s'adapter aux exigences spécifiques d'une matière première hétérogène et contraignante, ainsi que l'ensemble des itinéraires techniques qui ont pu être mis en place, conduisent à une **situation d'hyperchoix** pour l'utilisateur final. Ce dernier se trouve confronté à un éventail de solutions sans disposer de l'expertise nécessaire ou de véritables outils d'aide à la décision au niveau :

- **technique**, quand la solution biomasse est envisagée, elle concerne généralement une technique particulière, et les solutions alternatives utilisant la biomasse ne sont pas analysées faute de compétences et de moyens de comparaison adaptés. De même, l'utilisateur manque de recul pour apprécier de la maturité de la technologie et de sa viabilité dans son contexte.
- **économique**, la prise en compte de l'ensemble des données relatives aux diverses solutions envisageables, dans un environnement particulièrement changeant (coût de l'énergie de référence entre autre), peut rebuter les meilleures volontés.

Si l'efficacité énergétique peut encore être considérée comme accessoire dans certaines conditions de surabondance de ressources, les coûts inhérents à la mobilisation ou à la collecte de cette ressource, rendent les solutions biomasse très sensibles à leur performance énergétique quelle que soit la technologie retenue.

Cette situation pose la question de l'efficacité comparée des techniques et des technologies, de leur viabilité économique ensuite et des conditions d'accessibilité à ces techniques enfin.

Si l'on considère le niveau de besoins du secteur agricole versus les solutions techniques, force est de constater que la réponse en énergies renouvelables matures n'est pas très abondante et cela est tout aussi vrai pour la biomasse. Les situations d'hyper choix que laissent paraître les différents travaux entrepris au niveau des pays occidentaux ne concernent que peu ou pas les niveaux de besoins de l'agriculture en PED. Seules quelques solutions biomasse sont envisageables. Les besoins en R&D à ce niveau sont importants afin d'élargir l'offre technologique susceptible d'être utilisée en milieu tropical (moteur Spilling). Les technologies mises au point en Europe ne pouvant que difficilement être transférées dans la mesure où les besoins de ces pays et notamment des pays d'Afrique présente des spécificités non prises en compte au moment de la conception.

3 SPECIFICITE DE LA BIOENERGIE ET DU TRANSFERT DE TECHNOLOGIES EN AFRIQUE

Elle traduit un réel besoin en R&D plus que de transfert de technologies.

3.1 Spécificité de la situation africaine

Nous l'avons signalé la réponse en technologie mature à la demande en énergie pour le développement est faible. Elle résulte en effet de capacité thermique et électrique beaucoup plus faible que celle manifestée en Europe pour des installations autonomes. Ce type de demande est en effet satisfaite en Europe par un réseau électrique très développé et à un coût faible pour le consommateur. Cette situation rend les solutions biomasse non compétitives et de fait limite la taille du marché et l'intérêt des industriels.

Une contrainte supplémentaire pèse sur le développement d'un marché en Afrique lié à son extrême dispersion et à son accessibilité qui complique significativement le travail des industriels à la fois en terme de démarche commerciale mais surtout de maintenance. Ce dernier point constituant du reste une des caractéristiques souvent reprise au niveau de plusieurs études. Quelque soit le produit manufacturier, la faible capacité de maintenance des pays africains constitue un frein réel au transfert de technologie notamment en milieu rural. Cependant la faiblesse du tissu industriel manufacturier de nombreux pays africains constitue bien évidemment un premier point de blocage puisqu'elle se traduit par l'importation directe des équipements alors qu'une joint venture aurait pu permettre une fabrication locale et donc une élimination des coûts et un accroissement de valeur ajoutée pour le pays.

Si l'on ajoute à cela des éléments macroéconomiques caractérisant plusieurs pays africains, faible croissance économique, instabilité politique, inflation, protection industrielle, ... il est clair que le marché africain s'avère peu attractif et risqué pour des industriels occidentaux souvent peu enclin à prendre des risques et qui ont pour nombre d'entre eux qu'une vague idée des réalités du continent.

Enfin, la capacité d'investissement des utilisateurs ruraux est faible. Pour résoudre ce problème, des concepteurs d'équipement ont été conduits de manière assez réductrice à adapter en les simplifiant les procédés occidentaux plutôt qu'à repartir d'une méthode de conception classique intégrant une analyse fonctionnelle et une analyse de la valeur. Les résultats ont plutôt été décevants au regard du nombre assez important d'échec de transfert de technologie observé en Afrique.

De même un transfert dit SUD/SUD devra impérativement être réalisé avec circonspection. Les conditions d'utilisation des équipements peuvent en effet être très différentes d'un continent à l'autre et les sauts technologiques du même ordre qu'avec les pays occidentaux.

Il nous semble donc que la demande technologique en Afrique présente des spécificités qui n'ont pas suffisamment été prises en considération au niveau de la conception, notamment du fait d'un marché limité.

3.2 Spécificité de l'offre manufacturier occidentale

A quelques exception près, (quelques chaudiéristes), les équipementiers occidentaux sont plutôt constitués de PME/PMI. Leur nombre reste assez restreint sur certains secteurs, c'est le cas des fournisseurs de turbines à vapeur de capacité inférieure à 1MW, ou des moteurs à vapeur ou il n'existe qu'un seul fournisseur européen. Cette situation se traduit par une grande faiblesse de ces entreprises vis à vis du marché africain par manque de capacité à financer des investissements nécessités par des actions à l'export et a fortiori par la création de joint venture.

Ensuite, l'offre technologique occidentale répond à certains critères bien spécifiques qui sont : forte automatisation, capacité importante, respect de normes environnementales très strictes, efficacité énergétique maximum, qui ne sont pas nécessairement des critères prioritaires pour les PED. Enfin, même si cette remarque peut paraître de moindre portée, la nature des combustibles disponibles en milieu tropical est sensiblement voire radicalement différente. La spécificité des technologies vis à vis de leur matière première ne rend pas nécessairement opérationnelle les technologies occidentales en PED.

La non prise en compte de cette spécificité a même conduit à des échecs et contre performance, nuisibles à l'image de marque des solutions biomasse dans leur ensemble. A cet égard l'exemple des gazogènes est significatif. La grande disponibilité en balles de riz ou en bourre de coco a conduit plusieurs constructeurs à proposer leurs technologies (déjà opérationnelles sur des combustibles bien maîtrisés) pour la production d'électricité, à partir de ces matières premières difficiles avec les échecs cuisants que nous connaissons.

D'importants programmes de recherches sont menées en Europe et notamment dans les pays scandinaves pour la mise au point et le développement de technologie utilisant la biomasse. Ces programmes sont naturellement conduits avec le même souci que précédemment à savoir une automatisation maximale et une meilleure efficacité énergétique. En effet, en Europe le coût de la biomasse et de la main d'œuvre constitue les principaux freins à l'essor de ces technologies. Les pays tropicaux malheureusement sont peu ou pas associés à ces travaux et il n'existe que peu de financement favorisant la recherche en coopération avec des PED (seul le programme INCO est spécifiquement dévolue à la recherche en PED). Dans ces conditions les particularités, avantages comme inconvénients, ne sont pas prises en compte lors de la conception et peu d'entreprises occidentales développent spécifiquement des procédés pour ces pays.

Un plus grand recours aux solutions biomasse en PED devrait donc impérativement passer par le soutien à la recherche dans les pays du Nord en association avec les industries des PED.

3.3 L'offre technologique des pays du Sud

De même que pour les pays industrialisés il existe de nombreux constructeurs de chaudières à biomasse dans les pays d'Asie (Malaisie, Inde, Thaïlande, Chine,...) et d'Amérique latine (Brésil) dont les performances sont comparables aux technologies occidentales. Ces matériels sont souvent très compétitifs en terme de prix. Il convient cependant d'analyser avec prudence le contenu et la nature des fournitures, quelques manufacturiers n'offrent en effet, pas toutes les garanties en matière de robustesse.

En ce qui concerne les turbines à vapeur, pour les besoins des agro-industries, seuls les pays industrialisés offrent une gamme de matériels satisfaisante et susceptible de répondre à la demande.

La grande spécificité de l'offre des pays du sud en matière de technologie de production d'électricité concerne les moteurs à vapeur. En effet, il existe plusieurs constructeurs (Brésil/Thaïlande) capables de proposer des matériels dans une gamme de puissances allant de 60 à 500 kWe parfaitement adaptés à nombre de besoins du milieu rural. La faible performance énergétique mise en évidence au travers de publications de la FAO, sur les moteurs thaïlandais notamment, tient au fait que les chaudières utilisées sont extrêmement rudimentaires. Le couplage de ces moteurs à vapeur avec des chaudières performantes devrait permettre de garantir des rendements électriques de l'ordre de 12 à 15% sur une technologie très robuste et ne nécessitant qu'un faible entretien. Ces technologies sont largement mises en oeuvre en milieu rural thaïlandais et dans les petites agro-industries du sud du Brésil.

Le transfert de la technologie moteur à vapeur, devrait être envisagé avec beaucoup de sérieux vers les pays africains et des opérations de démonstration en milieu rural devraient être soutenues par les bailleurs de fonds internationaux.

RECOMMANDATIONS

Il est particulièrement urgent d'accroître les revenus en milieu rural en favorisant un réel développement économique durable. Ce développement ne pourra intervenir sans recours à l'énergie. La plupart des pays africains n'auront malheureusement pas la capacité de réaliser les investissements nécessaires en terme de réseau et de capacité de génération pour satisfaire cette demande.

En Afrique, la démarche retenue à ce jour va dans le sens de la privatisation et la responsabilité de la fourniture électrique est en train de passer entre les mains de grands groupes internationaux au risque de pénaliser fortement l'électrification rurale. Ainsi, seul le secteur privé ou associatif, car il y a peu de chance que l'électrification rurale dégage les marges attendues par le secteur privé, sera en

mesure de réaliser les investissements nécessaires.

Dans ce domaine, les solutions conventionnelles : moteur essence ou diesel, sont les solutions les mieux à même de répondre aux besoins du court terme du milieu agricole à ceci près que le coût des combustibles (incluant nettement le transport) limite leur possibilité d'utilisation. Sur le moyen et long terme, le recours aux hydrocarbures ne constitue pas une solution viable pour les pays africains compte tenu de leur grande dépendance vis à vis des importations et de la nécessité de "mieux" utiliser les ressources disponibles, vers le transport par exemple.

Dans ce contexte les solutions ENR peuvent offrir de réelles alternatives compte tenu du fait que les pays africains sont plutôt bien pourvus dans ce domaine ou présentent des caractéristiques climatiques favorables à de fortes productions de cultures énergétiques. La biomasse constitue donc une alternative sérieuse en terme de source d'énergie pour le milieu rural en s'inscrivant clairement dans les objectifs des grandes conventions internationales que sont la convention climat et la convention lutte contre la désertification et en faveur de la lutte contre la pauvreté.

Cette démarche ne pourra être effective sans l'existence de règles claires et incitatives en matière de production et de vente de l'électricité. Elle devra également s'envisager dans une approche plus globale d'aménagement du territoire notamment s'il s'agit d'encourager une meilleure utilisation des ressources naturelles quelles soient d'origine biomasse ou autre.

C'est bien par une volonté délibérée d'encourager l'électrification de zone en développement ou disposant d'un fort potentiel d'essor d'activité agricole ou artisanale que le concept d'électrification rurale jouera à plein son rôle de développement socio-économique et trouvera un équilibre financier minimum permettant son financement.

Un appui des bailleurs de fond internationaux sera nécessaire mais il ne pourra intervenir que sous certaines conditions :

- Les priorités nationales doivent être bien définies avec prise en compte du secteur de l'énergie. Plus particulièrement la biomasse parmi les ENR doit être identifiée clairement dans les priorités. Il n'est pas certain en effet, que la place de l'énergie comme vecteur indissociable du développement soit reconnu comme tel en dehors du cercle des techniciens. Le rôle de ces derniers est ici déterminant et ils doivent disposer des arguments suffisants pour convaincre des autres ministères , finance, santé, environnement du bien fondé de leur approche, qui peut paraître trop partisane.
- Plutôt que de parler électrification rurale il conviendrait de parler d'énergie pour le développement. S'il est clair en effet pour beaucoup que l'électricité est en mesure d'améliorer le confort des populations rurales il

n'est pas admis de tous que l'électricité est un outil de développement permettant la mise a disposition d'eau potable, le fonctionnement de moteur, de réfrigérateur, ... autant d'éléments indispensables à la lutte contre la pauvreté.

Le transfert Sud Sud doit être renforcée. Il ne doit pas cependant être aveuglé sous peine de tomber dans les mêmes travers que lors du transfert Nord Sud. Il nous paraît essentiel de bien intégrer les besoins des populations et de privilégier dans nos démarches une analyse par la demande, plutôt que par l'offre. Il ne s'agit pas de chercher à adapter une technologie aux besoins mais plutôt de choisir la technologie adaptée à ces besoins.

Nous pensons également qu'il est nécessaire d'impliquer les pays du Sud et notamment les pays africains dans la mise au point conjointe des technologies biomasse en émergence. Il est clair que les pays tropicaux dispose vis à vis des pays du Nord d'un avantage comparatif important en terme de prix de la matière première, qui peut permettre, à des solutions biomasse, d'atteindre plus facilement les niveaux de compétitivité minimum souhaités par les investisseurs. Cette situation est en mesure d'offrir un marché important aux manufacturiers du Nord, pour autant que ces derniers :

- Intègrent les spécificités des pays tropicaux dès la conception
- Trouvent dans les entreprises du Sud les compétences locales indispensables au transfert de technologie.

Force est de constater que les programmes internationaux soutenant l'innovation ou la recherche entre pays du Sud et pays du Nord sont peu nombreux. Si l'on souhaite réunir les conditions favorables au transfert de technologies en Afrique il conviendrait de :

- Favoriser l'implication des chercheurs africains dans des programmes de recherches internationaux
- Encourager les universités et grandes écoles africaines à créer des filières énergétiques afin de former les futurs cadres de ces pays
- Aider les PME/PMI principales dépositaires du savoir faire dans le domaine de la biomasse énergie à coopérer avec des PME/PMI africaines.

Ces conditions sont assez bien réunies dans certains pays d'Asie du sud Est ou d'Amérique latine. Elles sont assez rares en Afrique.

REFERENCES

1. DESSUS Benjamin - Atlas des énergies pour un monde viable - Editions SYROS, 1994.
2. SECK Moussa - Le développement rural en Afrique. De quelques mythes paralysants et de quelques issues possibles - 1999.
3. BAIROCH Paul : Le tiers monde dans l'impasse - Poche Gallimard n°26 3ème édition 1992.
4. P.GIRARD - Utilisation énergétique par voies thermochimiques des déchets lignocellulosiques - Outils méthodologiques d'aide à la décision - Cas des pays d'Asie du Sud-Est - 1995, Thèse de doctorat - Université de technologie de Compiègne.