

Etude sur les gisements de déchets combustibles au Cambodge et leurs voies de valorisation



Stage dans le cadre de la licence STER, du 6 Mars au 30 Juin 2006
- Rapport d'étude rendu le 30 Juin 2006 -

- Réalisé par **Aurélien HERAIL**,
aurelien.herail@laposte.net ;
aurelien.herail@online.com.kh
- Maître de stage : **Jean François ROZIS**

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier le GERES pour m'avoir permis d'effectuer ce stage dans la coopération technique énergétique et dans le transfert de savoir faire, domaines qui motive ma vie professionnelle.

J'adresse également un grand merci à Jean François ROZIS, personne sans laquelle ce stage n'aurait pas été possible, qui a fait preuve d'une grande disponibilité et s'est révélé être un soutien technique et méthodologique précieux.

Je remercie Salim RAOSSANALY, mon tuteur enseignant qui a toujours été attentif et disponible en cas de besoin manifeste.

Enfin je remercie particulièrement Iwan BASKORO, Minh Cuong LE QUAN et toute l'équipe du CFSP au Cambodge pour leur accueil chaleureux, pour leur confiance et pour m'avoir permis de travailler dans les meilleures conditions qui soit. Je tiens enfin à remercier Polin NOP, guide-interprète au sein du CFSP, qui m'a permis de mener à bien toutes mes investigations de terrain de façon efficace et culturellement enrichissante.

Note de synthèse

Objectifs :

Le travail mené au sein du GERES-CFSP avait pour but de rendre une étude technico économique sur les voies de valorisations possibles de déchets/résidus combustibles au Cambodge.

L'intérêt de cette étude de préfaisabilité est de donner au GERES une vision pragmatique des projets pertinents et potentiellement réalisables dans un futur proche. Cette démarche s'inscrit dans un projet global visant à arrêter la déforestation au Cambodge en développant une gestion rationnelle et durable des ressources énergétiques.

Points importants du cahier des charges :

- ✓ Etat des lieux des consommateurs en biomasse énergie en milieu rural et en milieu urbain.
- ✓ Etat des lieux de gisements de déchets/résidus disponibles en milieu rural et en milieu urbain.
- ✓ Synthèse sur les voies de valorisation de ces déchets/résidus répondant aux différents consommateurs et au contexte global.

Démarche :

Dans un premier temps un travail de recherches, d'interviews et d'enquêtes de terrain a été mené pour caractériser les différentes catégories de consommateurs énergétiques et de sonder leurs attentes. Dans le même temps, en milieu rural et en milieu urbain, ces investigations ont aussi permis d'établir un état des lieux de différents gisements de déchets combustibles.

Dans un second temps, le travail de terrain a laissé place à un travail d'analyse et de synthèse mené en parallèle de divers essais et autres compléments d'informations.

Conclusions :

En considérant les aspects sociaux, économiques et techniques du contexte Cambodgien, trois voies de valorisation peuvent être envisagées : la gazéification pour des applications thermique et électrique, la carbonisation pour la fabrication de briquettes de charbon et la densification pour la fabrication de briquettes densifiées.

Quatre projets semblent intéressants à mener dans un futur proche et deux autres plutôt d'ici quelques années. Globalement le contexte actuel au Cambodge favorise les activités de valorisation à petite échelle relevant plus de l'artisanat que de l'industrialisation.

SOMMAIRE

Avant propos	page 1
1- Introduction et contexte	page 2
1.1- Présentation de la structure d'accueil	page 2
1.2- Présentation du sujet et des objectifs.....	page 3
1.3- L'aspect gestion de projet	page 3
1.3.1- Organisation des tâches	page 3
1.3.2- Le planning	page 3
1.3.3- Le suivi de stage.....	page 4
1.3.4- Le volume horaire.....	page 4
2- Etat des lieux au Cambodge	page 5
2.1- Présentation géographique du pays.....	page 5
2.2- Constat socio énergétique.....	page 5
2.3- Présentation de différents types de consommateurs énergétiques	page 7
2.3.1- Usage domestique.....	page 7
2.3.2- Les petites activités de productions	page 8
2.3.3- Les industries	page 12
2.4- Les enjeux d'un combustible alternatif	page 13
2.5- Les déchets combustibles valorisables	page 14
2.5.1- Introduction	page 14
2.5.2- Evaluation des gisements en milieu rural, provinces de Battambang et de Kampong Chhnang.....	page 15
2.5.3- Evaluation des gisements en milieu urbain, Phnom Penh	page 19
3- Propositions de voies de valorisation des déchets combustibles.	page 23
3.1- Introduction	page 23
3.2- Les contraintes socio-économiques à considérer	page 23
3.3- Projets de valorisation par gazéification	page 23
3.3.1- Projet d'électrification rurale et de recharge de batteries.....	page 25
3.3.2- Projet de diffusion d'un petit équipement pour la cuisson domestique.....	page 29
3.3.4- Projet de diffusion d'un brûleur à gazéification	page 33

3.4- Projets de fabrication de briquettes de charbon	page 34
3.4.1- Caractérisation technico-économique d'une unité basée en milieu rural	page 34
3.4.2- Caractérisation technico-économique d'une unité basée à Phnom Penh.....	page 38
3.5- Projet de fabrication de briquettes densifiées.....	page 43
3.5.1- Caractérisation technico-économique d'une unité industrielle basée à Phnom Penh.....	page 43
3.5.2- Caractérisation technico-économique d'une unité artisanale...	page 48
3.6- Bilan global et perspectives.....	page 50
4- Application à l'élimination des déchets biomédicaux	page 52
4.1- Contexte.....	page 52
4.2- Préparation de lancement du projet sur Kampong Chhnang.....	page 52
5- Conclusions générales personnelles	page 53
<hr/>	
Bibliographie	page 54
Liste des sites Internet consultés	page 57
Quelques personnes rencontrées	page 59

Liste des figures

Fig.1.1 : Organigramme GERES-CFSP	page 2
Fig.1.2 : Histogramme des volumes horaires	page 4
Fig.2.1 : Cartes du Cambodge et de son découpage administratif	page 5
Fig.2.2 : Consommations énergétiques globales.....	page 6
Fig.2.3 : Répartition énergétique pour la cuisson domestique au Cambodge, 2004-05	page 6
Fig.2.4 : Sources énergétiques pour l'éclairage domestique, 2004-05	page 6
Fig.2.5 : Répartitions des sources énergétiques utilisées pour la cuisson domestique, en milieu rural et en milieu urbain	page 7
Fig.2.6 : Répartition et évolution des utilisations énergétiques pour la cuisson domestique à Phnom Penh	page 8
Fig.2.7 : Schéma de principe des fours à alimentation en escalier pour les combustibles à faible granulométrie	page 9
Fig.3.1 : Schéma descriptif du procès de gazéification et schéma de principe d'un gasifier à co-courant ou down-draught	page 24
Fig.3.2 : Schéma de principe d'une petite unité	page 27
Fig.3.3 : Comparatif économique électrification rurale / location batteries	page 28
Fig.3.4 : Schemas de principe de fonctionnement du Rice husk gas stove (A.T.Belonio), foyer de cuisson domestique à gazéification	page 30
Fig.3.5 : Résultats des tests menés en laboratoires pour établir les performances de ce <i>Rice Husk Gas Stove</i>	page 31
Fig.3.6 : Schéma de principe du <i>WoodGas CampStove</i> et du <i>Juntos B gasifier</i>	page 31
Fig.3.7 : Comparatif économique foyers cuisson domestique	page 32
Fig.3.8 : Schéma d'une filière de fabrication de briquettes de charbon à partir des deux sources de matières premières	page 36
Fig.3.9 : Comparatif économique pour la fabrication artisanale de briquettes de charbon	page 37
Fig. 4 : Schéma de principe d'une presse à rouleaux à alimentation par vis	page 41
Fig.4.1 : Principe de fonctionnement de l'agglomérateur BTG	page 41
Fig.4.2 : Simulation économique pour une production de briquettes de charbon, capacité minimum: 500kg/jour	page 42
Fig.4.3 : Schéma technique d'une presse hydraulique à piston	page 44

Fig.4.4 : Schématisation d'une unité de densification industrielle	page 45
Fig.4.5 : Schéma de principe d'une presse à inertie à piston.....	page 45
Fig.4.6 : Schéma de principe d'une presse à vis	page 46
Fig.4.7 : Simulation économique pour une production de briquettes densifiées, capacité: 400kg/jour	page 47
Fig.4.8 : Tableau récapitulatif et perspectives	page 50
Fig.4.9 : Tableau bilan	page 51

Liste des abréviations et acronymes

A

ASDD : Association Supporting Disability for Development

C

CFSP : Cambodia Fuelwood Saving Project

CEDAC : Centre d'Etudes et de Développement Agricole Cambodgien

CR : Compte Rendu

D

DATe : Development & Appropriate Technology

DBM : Déchets BioMédicaux

E

EnR : Energies Renouvelables

G

GES : Gaz à Effet de Serre

GERES : Groupe Energies Renouvelables, Environnement et Solidarité

M

MIME : Ministry of Industry Mines and Energy

N

NIS : National Institute of Statistics

NLS : New Lao Stove

O

ONG : Organisation Non Gouvernementale

ONU : Organisation des Nations Unies (UN)

P

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement (UNDP)

PIB : Produit Intérieur Brut

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

PED : Pays En Développement

PP : Phnom Penh

S

SME : Small and Medium Enterprises

T

TLS : Traditional Lao Stove

W

WENetCam : Wood Energy Network of Cambodia



Avant propos

De façon générale, le terme de « déchets » n'est pas tout à fait approprié au Cambodge dans le sens où la plupart des produits issus d'une transformation, que l'on qualifie en général de déchets, puisque ne servant à rien, sont éliminés sans en tirer de profits-, sont recyclés sous une autre forme ou réutilisés tels quels pour de nouvelles applications.

Les déchets de biomasse n'y font pas exception et sont, selon leur nature, présents localement ou de façon généralisée, plus ou moins réutilisés à des fins énergétiques (chaleur ou électricité) ou agricoles (engrais, compost, aliments pour animaux), donc profitables.

Ainsi dans une même localité il est possible de trouver certains déchets qui sont réutilisés par certaines personnes et pas par d'autres et ce, pour des applications qui peuvent être variées. La qualification de « déchet » devient alors difficile à attribuer. Cependant lorsque il est régulièrement constaté qu'un produit issu de transformation est regroupé pour être collecté par le service de ramassage d'ordure, le terme de « déchet » semble approprié.

Au contraire, certains déchets de biomasse sont très fréquemment, et en grande quantité, réutilisés pour être valorisés dans des applications profitables. La qualification de « résidu » devient alors plus appropriée que celle de « déchet ».

Par ailleurs, ce rapport faisant souvent allusion au charbon de bois, il est important de définir les deux types existants.

Le premier sera appelé **charbon de bois renouvelable** dans la mesure où pour chaque arbre abattu pour sa fabrication un nouveau est replanté. Ainsi les émissions de CO₂ de ce charbon renouvelable sont absorbées par les nouveaux arbres plantés, le bilan carbone est nul.

Le second sera appelé **charbon de bois non renouvelable** puisque il n'y a pas de gestion de la biomasse, aucun arbre ne vient remplacer ceux qui ont été coupés. Dans ce cas les émissions de CO₂ de ce charbon ne peuvent pas être réabsorbées par des nouveaux arbres, le cycle est rompu et le bilan devient positif. C'est dans ce cadre que le marché du carbone a instauré des compensations financières pour rétablir un bilan CO₂ nul.

Il sera considéré que la combustion de 1kg de ce charbon=2,74kg de CO₂*

**(source: Smith KR, Rasmussen RA, Manegdeg F, and Apte M. 1992 Greenhouse Gases from Small-Scale Combustion in Developing Countries: A Pilot Study in Manila Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency [EPA/600/R-92-005 (NTIS PB92-139369)])*

NB : Cette étude étant une caractérisation technico-économique, elle fait souvent référence à des coûts.

Voici les taux considérés en juin 2006:
1US\$ = 4000 Riels
1US\$ = 1,2 €

1- Introduction et contexte

1.1- Présentation de la structure d'accueil



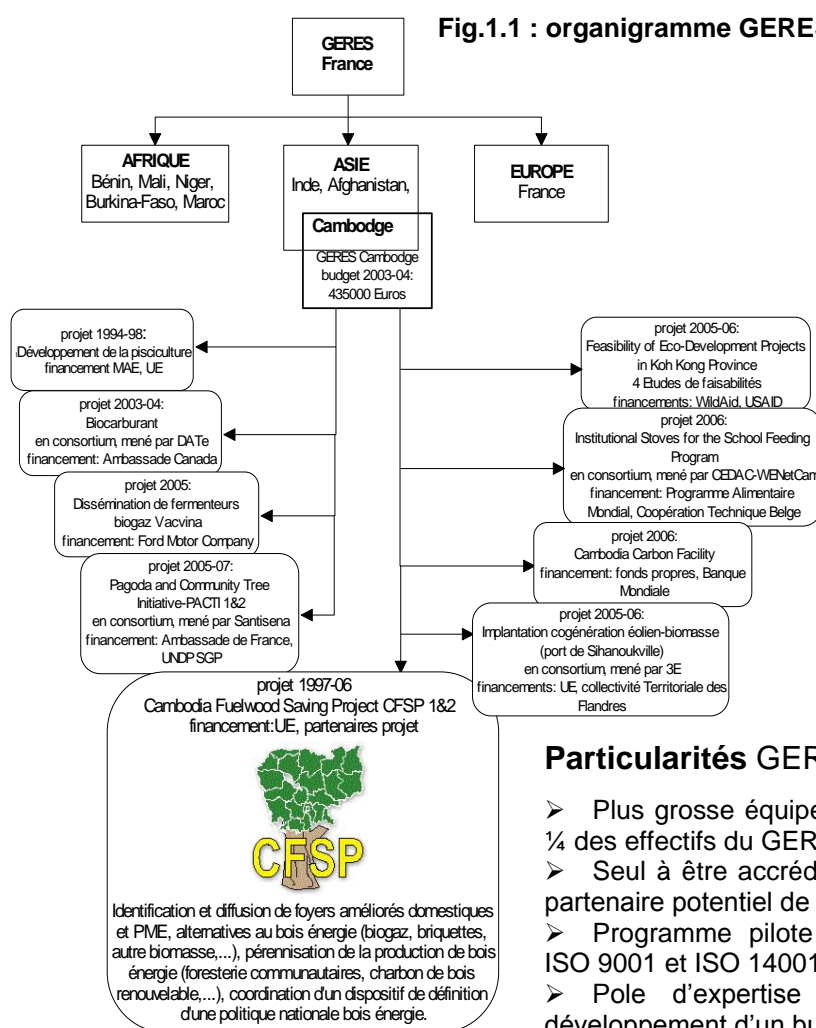
Le GERES est une organisation de solidarité internationale régie par la loi du 1er juillet 1901, créée en 1976 à Marseille. Depuis 25 ans, le GERES met ses compétences au service des acteurs du développement économique et local, pour mener à bien des actions dans le domaine de l'environnement, de l'énergie et de l'agro-alimentaire.

Il intervient en Méditerranée et dans les pays du sud où les projets qu'il développe reposent sur un PARTENARIAT LOCAL fort afin d'assurer la pérennisation des acquis.

Sa démarche est de s'engager vers un développement durable dans le long terme,

- au Nord, principalement en France, en favorisant l'émergence des énergies renouvelables comme alternative aux énergies fossiles et nucléaire.
- au Sud, dans 8 pays d'Afrique et d'Asie, en soutenant financièrement ou techniquement les initiatives locales de développement.

Fig.1.1 : organigramme GERES-CFSP



Financement GERES Cambodge

Le budget du GERES au Cambodge provient à 75% via GERES France (fonds Européens, vente de CO₂, fonds privés) et à 15% d'organismes travaillant avec le Cambodge (WildAid, PNUD, Banque Mondiale). Un supplément pour 2003-04 avec « Ashden Awards » qui récompense les projets apportant les EnR au service des pauvres (GERES Cambodge élu dans les 8 premiers sur 100).

Particularités GERES Cambodge

- Plus grosse équipe du GERES (5 expatriés, soit 1/4 des effectifs du GERES -France incluse-)
- Seul à être accrédité partenaire du PNUD, donc partenaire potentiel de l'ONU.
- Programme pilote en cours pour certifications ISO 9001 et ISO 14001.
- Pole d'expertise du marché CO₂ avec le développement d'un bureau spécialisé « Carbone ».

1.2- Présentation du sujet et des objectifs

Le travail mené au sein du GERES-CFSP avait pour but de rendre une étude sur les voies de valorisations possibles des déchets combustibles au Cambodge. Il est important de préciser que la majorité de ces déchets sont de la biomasse.

Cette étude était constituée de trois étapes réparties sur deux phases de travail :

Etablir un état des lieux :

- Recherches d'informations littéraires, informatiques et enquêtes de terrain pour caractériser les gisements de déchets/résidus potentiellement valorisables. Les recherches ont porté sur le milieu urbain ainsi que sur le milieu rural.
- Interviews et enquêtes de terrain pour caractériser des utilisateurs de biomasse énergie, leurs équipements et leurs attentes. Tout type d'utilisateur était visé : domestique et industriel, situé en milieu rural comme en milieu urbain.

Effectuer un travail d'analyse :

- Caractériser selon les technologies existantes, le contexte social et les déchets/résidus disponibles, les voies de valorisation énergétique possibles et pertinentes.

1.3- L'aspect gestion de projet

1.3.1- Organisation des tâches

Tout le travail à mener a été découpé en tâches élémentaires dès le départ. Ainsi chacune de ces tâches a été définie et organisée dans le temps afin de répondre le mieux possible à l'étude demandée dans le temps imparti.

Des « délivrables » ont été définis pour chaque tâche permettant ainsi de les valider.

Quatre groupes de tâches se sont détachés, correspondant au timing général :

- ✓ la phase préliminaire de préparation en France
- ✓ la phase recherches/enquêtes au Cambodge
- ✓ la phase d'analyse/rédaction au Cambodge
- ✓ la phase de finalisation en France par un rapport

Une autocritique s'est affirmée peu à peu quant à la définition des tâches, trop orientées sur le travail de préparation en France qui a essentiellement porté sur la densification. Ainsi certaines tâches ont été étendues ou réajustées au contexte du Cambodge. Toutefois qu'il s'agisse de caractériser une ou plusieurs voies de valorisation, l'organisation des tâches reste globalement identique.

Il est important de remarquer que l'adaptation au cadre de travail a nécessité de mener en permanence plusieurs tâches en parallèle et non les unes à la suite des autres comme établi dans le planning.

1.3.2- Le planning

La définition et l'organisation des tâches, notamment en fonction du calendrier Cambodgien, a permis d'élaborer un planning (*Cf. Annexe A : planning prévisionnel/réel*) en s'appuyant également sur des outils de gestion de projet (*Cf. Annexe A : diagramme PERT et GANTT*).

Cependant il a été difficile de suivre ce planning prévisionnel principalement dû au fait des changements d'organisation des personnes ressources suite aux différents visiteurs nationaux ou internationaux, aux aléas des projets de chacun, aux imprévus....La solution adoptée pour perdre le moins de temps possible a été de réajuster le planning hebdomadairement et de rester flexible en conduisant alternativement plusieurs tâches. Le planning prévisionnel initial a tout de même servi de fil conducteur lors de tous ces réajustements. Cette façon de procéder permet effectivement de conduire son travail sans perdre de temps mais un effet « pervers » de cette méthode est d'accumuler trop de tâches en cours sans les finaliser. Cette méthode devient alors contre-productive.

Les écarts entre planning prévisionnel et planning réel étaient principalement dus aux faits que l'état des lieux a pris plus de temps que prévu et que les voies de valorisation à considérer étaient également plus nombreuses. De plus je n'avais pas intégré l'étude annexe sur la gestion des DBM de l'hôpital de Kampong Chhnang.

1.3.3- Le suivi de stage

Etant donné les particularités du stage (localisation et travail en totale autonomie), les relations maître de stage/tuteurs-stagiaire ont été à 95% effectuées par internet via des rapports d'activités hebdomadaires (**Cf. Annexe B : Fiches de suivi hebdomadaire**).

Pour des raisons d'organisation, le superviseur local a été également inclus dans ce suivi informatique. De mon point de vue, il s'est plus avéré être une personne ressource qu'un superviseur. Les réunions avec lui ont, mis à part la première pour définir les objectifs et le planning général, plutôt servi pour la collecte d'informations ou de contacts que pour un réel suivi de stage. Je tiens à préciser qu'il a toujours été disponible pour ces deux rôles.

Jean François ROZIS, tuteur professionnel, est venu faire un point à mi-stage et cette réunion a été, me semble-t-il la plus importante puisqu'elle a permis de recadrer mon travail pour mieux coller aux attentes du GERES (**Cf. Annexe B : CR de réunion d'avancement**).

1.3.4- Le volume horaire

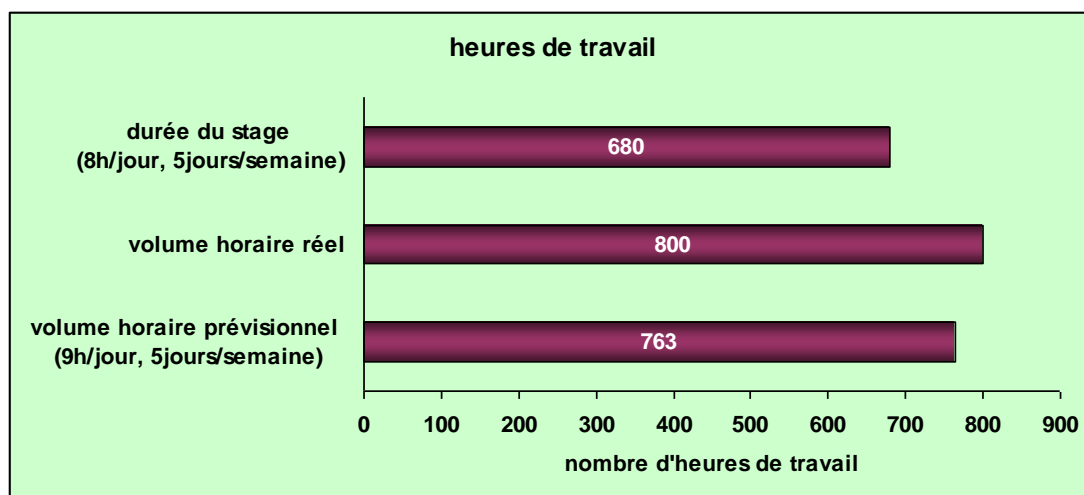


Fig.1.2 : Histogramme des volumes horaires

2- Etat des lieux au Cambodge

2.1- Présentation géographique du pays

Le royaume du Cambodge est un pays localisé dans la zone sud-est asiatique, dans la région basse de la rivière du Mékong. Il est entouré de 3 pays : la Thaïlande à l'ouest, le Laos au nord et le Vietnam à l'est, et possède un accès à la mer avec 440km de côtes. Sa superficie est de 181035 km², soit le tiers de la France, dont environ 49% sont couverts de forêts. Il y a environ 2,5 millions hectares de terres agricoles et 0,5 millions d'hectares de pâturages.

Fig.2.1 : cartes du Cambodge et son découpage administratif



Ci-dessus : le pays comporte 23 provinces, administrées en districts, en communes puis en villages.

Le climat au Cambodge est de type tropical et est soumis à une saison sèche, de Novembre à Avril, et à une saison humide, de Mai à Octobre.

2.2- Constat socio énergétique

La population du Cambodge atteint environ 13,8 millions de personnes dont la moitié est âgée de moins de 18 ans (NIS 2003). Le taux de croissance démographique annuel moyen sur la période 1998-2004 est de 1,81% (CIPS 2004, NIS). Environ 84% de cette population habite en milieu rural alors que la plupart des autres habitent dans Phnom Penh, la capitale, ou dans les autres centres urbains.

L'économie du pays repose sur l'agriculture qui contribue à 39,6% au PIB. L'industrie textile et le tourisme jouent cependant un rôle économique de plus en plus important. Toutefois le pays dépend toujours autant des aides étrangères qui contribuent à 14% au PIB (NIS, 2002).

Avec un PIB/habitant de seulement 290US\$ le Cambodge fait partie du groupe des 20 pays les plus pauvres (Council for Social Development 2002, World Bank 1999). Plus d'un tiers, voire 40% dans les campagnes, de la population vit sous le seuil de pauvreté avec un pouvoir d'achat de 0,50US\$/jour (World Bank, 2000).

Mis à part la ressource en biomasse, qui constitue la vraie richesse du Cambodge, ce pays n'a que peu de ressources énergétiques « conventionnelles » disponibles. Cependant, il dispose de potentiels énergétiques renouvelables intéressants, notamment hydrauliques, mais encore peu exploités. Ainsi il importe la totalité des énergies fossiles qu'il consomme, notamment le gaz et le pétrole pour la production d'électricité et les transports.

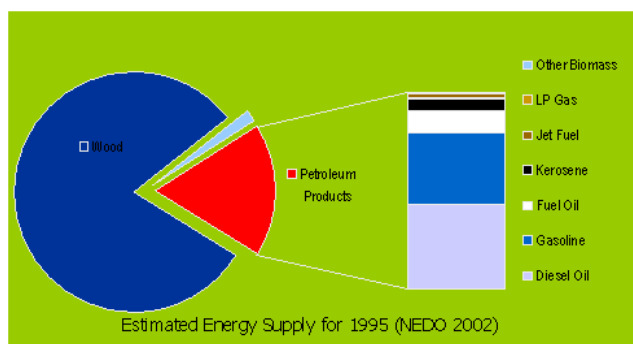
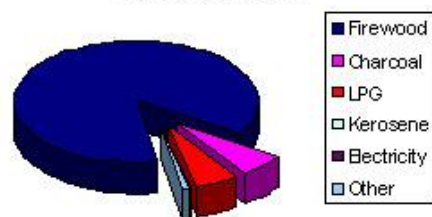


Fig.2.2 : consommations énergétiques globales

Le bois représente plus de 80% de l'énergie totale consommée.

Fig.2.3
 Répartition énergétique pour la cuisson domestique au Cambodge, 2004-05



Source : NIS, CSE 2004-05

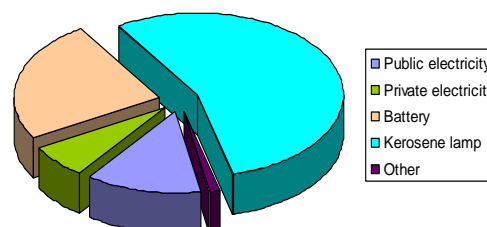
Le bois de feu et le charbon de bois sont donc les principales sources énergétiques pour la majorité des ménages et des petites industries au Cambodge. Ils couvrent ainsi 93,1% (NIS, CSE 2004-05) de cette demande énergétique pour la cuisson domestique. Il n'y a actuellement aucune gestion durable de la ressource bois, ainsi cette énorme ressource que constituent les forêts naturelles se voit gravement dégradée.

Le taux de déforestation au Cambodge est encore de -1,6%/an (*Independent forest sector, 2003*). Par ailleurs, la collecte du bois en milieu rural reste la principale cause d'accidents avec les mines anti-personnel (*Etude UNICEF*).

Pour les petites entreprises, le bois et la biomasse énergie sont les seules ressources traditionnelles abordables compte tenu des marges bénéficiaires réduites et de l'absence d'innovations technologiques et la méconnaissance des marchés solvables.

Fig.2.4

Sources énergétiques pour l'éclairage domestique, 2004-05



Source : NIS, CSE 2004-05

Actuellement, moins de 15% des ménages ont accès à l'électricité au travers des générateurs diesel/fioul lourd et des batteries (53,6% en milieu urbain contre 8,6% en milieu rural). La capacité totale du pays est d'environ 150MW, dont 100MW à Phnom Penh, et la consommation par habitant n'est que de 48kWh/an (*National Energy Policy Review, COGEN3, décembre 2003*). Par ailleurs, le nombre d'utilisateurs de batteries pour l'éclairage est environ trois fois plus élevé en milieu rural que dans les centres urbains, Phnom Penh y compris.

2.3- Présentation de différents types de consommateurs énergétiques

Le but du projet étant de réduire l'utilisation du bois de feu ou du charbon de bois, il était essentiel d'identifier les principaux consommateurs. Dès lors, il était important de bien définir des catégories d'utilisateurs. En effet les contraintes concernant la mise en place d'un combustible issu de déchets de biomasse ou d'un quelconque process de valorisation seront établis selon ces catégories.

Les catégories d'activités ont donc été établies selon le critère suivant :

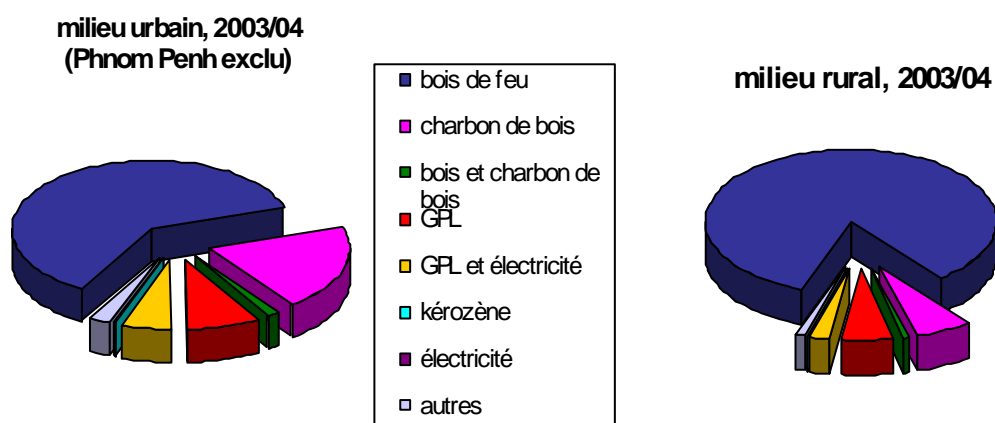
- **Usage domestique** : foyers avec $P_{\text{utile}} < 10\text{kW}$
- **Petites activités de productions** : foyers avec $10\text{kW} < P_{\text{utile}} < 100\text{kW}$
- **Activité industrielle** : foyers avec $P_{\text{utile}} > 100\text{kW}$

Il est important de préciser que les enquêtes menées n'avaient pas pour but d'établir une caractérisation globale et précise des activités mais plutôt d'avoir un exemple afin de connaître les besoins et de sonder l'intérêt que peut représenter un combustible alternatif. Une véritable enquête statistique aurait pris beaucoup trop de temps et n'était, bien sûr, pas le sujet principal de cette étude.

2.3.1- Usage domestique

De façon générale, que ce soit en milieu urbain ou en milieu rural, l'utilisation du bois est systématique et prédominante pour la cuisson domestique. De cette façon c'est le poste énergétique le plus consommateur de bois.

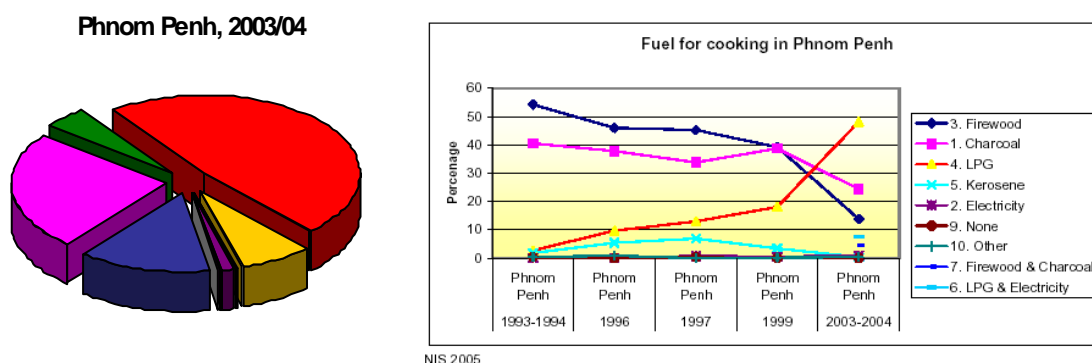
Fig.2.5 : Répartitions des sources énergétiques utilisées pour la cuisson domestique



Pour la ville de Phnom Penh, la répartition est différente et la population étant en forte progression (+17,8% en 5 ans) on note des changements majeurs.

Le nombre de familles utilisant le bois et le charbon de bois est en forte diminution (-50% entre 1998 et 2003/04) alors que le recours au gaz est au contraire en pleine progression (+60% sur la même période). La demande en charbon de bois pour un usage domestique à Phnom Penh était évaluée en 2003/4 à 26 000 tonnes/an pour le charbon de bois et à 100000 tonnes/an pour le bois de feu.

Fig.2.6 : Répartition et évolution des utilisations énergétiques pour la cuisson domestique à Phnom Penh



Si l'évolution actuelle se confirme, alors en 2009 la consommation en charbon de bois devrait être de 21000 tonnes et celle du bois deviendrait quasi nulle. Il semble que dans les années à venir la consommation en bois et en charbon de bois se réduise sur Phnom Penh tandis qu'elle augmente dans les autres centres urbains et en milieu rural (source : « Woodenergy Baseline Study for Clean Development Mechanism », GERES-CFSP 2006).

Tout l'enjeu ici est de proposer un combustible alternatif qui réponde non seulement à une problématique énergétique mais aussi à des contraintes sociales. Le critère majeur est d'abord le prix de ce combustible, s'il est plus cher que le bois de feu ou le charbon de bois il sera plus difficile de le diffuser, même à PCI supérieur. De plus, pour être apprécié, le combustible proposé doit être pratique et peu salissant, de bonne qualité (bonne cohésion), avoir un bon PCI et dégager peu de fumée.

Suite à une étude menée en 1998 et une enquête menée auprès de 50 familles (5,9 personnes/famille), les consommations en charbon de bois constatées sont de 2,1kg/jour pour un foyer de type TLS « Traditional Lao Stove » et de 1,2kg/jour pour un foyer de type NLS « New Lao Stove ».

La consommation en bois de feu est de 4,9kg/jour/TLS (source : « Woodenergy Baseline Study for Clean Development Mechanism », GERES-CFSP 2006).



A gauche : foyer TLS « Traditional Lao Stove »

A droite : foyer amélioré NLS « New Lao Stove » ayant un rendement de 37% et permettant d'économiser 20% de charbon de bois (projet initial lancé et supporté par le GERES-CFSP).



2.3.2- Les petites activités de productions

Elles sont généralement familiales et sont très répandues que ce soit en milieu urbain ou en milieu rural. La production est relativement modeste.

De nombreuses familles ayant des difficultés à s'approvisionner en bois, à l'acheter, ou souhaitant augmenter leurs profits, utilisent déjà des déchets/résidus de biomasse dans leurs fours. Ainsi, dans certains cas, il semble plus approprié d'augmenter les rendements des fours alors que, dans d'autres cas, un combustible de substitution répondrait à la problématique.

■ Production de noodles

Deux de ces productions ont été visitées, une à Phnom Penh¹ et l'autre en périphérie de Kampong Chhnang². Chacun ne dispose que d'un seul foyer.

ci-contre : photo d'un four pour la production de noodles. On peut notamment voir deux galettes sécher avant d'être ensuite découpés en noodles.



¹ : n°32 st.432 ; ² : Mr.Taing Keav. Chamkar Tamao village, Sre Thmey commune, Rolea Pha Bar district, Kampong Chhnang province

Les productions journalières de noodles étaient identiques (300kg/jour) mais le premier utilisait en moyenne 70kg de sciure de bois/jour et le second 100kg de balle de riz/jour. Le coût de la sciure est en moyenne de 0,15US\$/kg, la bale de riz était gratuite dans ce cas précis.

La technologie des fours est la même partout du fait de la faible granulométrie de ces types de combustibles. Elle consiste en un brûleur à alimentation en escalier avec arrivée d'air primaire entre les « marches » de cet escalier. Il n'y a pas d'arrivée d'air secondaire. La combustion est de type latérale sur sole.

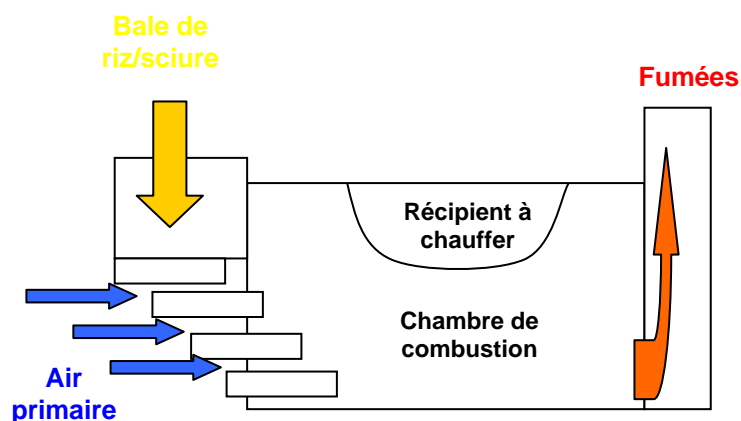


Fig.2.7 : schéma de principe des fours à alimentation en escalier pour les combustibles à faible granulométrie.

En haut, à gauche : photo du détail d'un brûleur à bale de riz. Ici les « marches » de l'escalier sont remplacées par des barres en fer, l'air primaire passant entre ces barres.

En bas, à gauche : photo du détail d'un brûleur en escalier pour la sciure de bois.

▪ Production de sucre de palme

Cette production est très répandue dans les provinces de Kampong Chhnang, Kandal, Kampong Speu. Ce sont, au total, près de 20000 familles du milieu rural qui en vivent au Cambodge. Cette activité est saisonnière, de Janvier à Mai/Juin.

A *Tropaing Sbov village, Sre Thmei commune* dans la province de Kampong Chhnang 80% des familles en produisent et utilisent du bois.

La famille interviewée produisait 22kg de sucre/jour, soit 2 cuissons de 1 wok, avec environ 0,5 stère de bois/jour. Ce bois est ramassé à 30/40 km de chez eux.

Les bûches font 2 mètres de long, sont ramenées en carriole et coûtent 1,25 US\$/carriole tout les 3 jours, soit un coût estimatif de 0,85US\$/stère.



Le foyer actuel est de type « *Ba-Phnom* », foyer ouvert à combustion montante sans conduit de fumée. Le rendement oscille entre 18 et 24% (test d'eau bouillie, source : WENetCam).

A *Trea village, Prey Pouch commune, Angsour district* dans la province de Kandal plusieurs familles produisant du sucre ont été interviewées. Entre 5 et 7 familles produisent du sucre dans ce village et 24 dans le village *O Kambot*. Ces producteurs ont autrefois utilisé du bois, de la sciure et de la bale de riz et utilisent maintenant des déchets textiles des entreprises de Phnom Penh et sa périphérie. Ce changement n'est pas un choix mais une nécessité économique et financière.

La consommation en combustible textile a été évaluée à 50 kg pour une production de 10kg de sucre en 3 heures, soit une consommation de 18 tonnes/saison/producteur à raison de 20 kg de sucre/jour en moyenne.

Le prix moyen constaté est de 0,02US\$/kg de déchets textiles.

Le foyer est de type « *four à sucre de palme amélioré* » à combustion latérale sur sole avec conduit de fumée et brûleur en « escalier ». Son rendement varie entre 18 et 24% (test d'eau bouillie, source : WENetCam).



▪ Production de vin de riz



Un producteur interviewé à *Khlaing Prak village, Pha'ei commune, Kampong Chhnang district* utilise toutes sortes de déchets/résidus de biomasse. Ainsi il utilise bagasse, feuilles, excréments de cochon séchés, sciure ; la bale de riz étant le combustible de base. Seul ce combustible est payant, 0,25US\$/sac de 130kg et 0,25US\$/sac pour le transport. Après avoir utilisé du bois pendant longtemps, au prix de 2,5US\$/stère et à raison d'un stère/jour, il a été décidé d'utiliser des résidus pour augmenter les profits.

ci-contre : photo de l'entrée d'alimentation en combustible du four.

La production est de 2*30 litres/jours pour une consommation de 2 sacs de bale de riz/jour ou d'un seul sac si elle est mélangée à de la bagasse. Ce producteur utilise 2 fours pour cette production. Les fours sont du même type que le « four à sucre de palme amélioré » avec le même type de brûleur à barres métalliques.

Dans la province de Kandal, à O Kambot village, une famille interviewée produisait également du vin de riz avec des déchets textiles comme combustible. Elle produisait 30 litres/jour avec un four et consommait environ 30/35 kg de tissus/jour. Le four est le même que celui cité précédemment.

ci-contre : photo d'ensemble du four (à droite) et de l'alambic (à gauche).



▪ Production de pain

Il y a environ 50 boulangeries à Phnom Penh. Pour 700 kg de farine la consommation est de 5 stères de bois au prix de 8,75US\$/stère. Il est intéressant de remarquer que 2 ans auparavant le prix était de 3,75US\$/stère, soit une inflation de 133% en 2 ans. La quantité de bois disponible en diminution explique cette hausse des prix et le boulanger interviewé* n'envisage pas les cinq prochaines années d'une façon sereine avec ce combustible.

Il possède 3 fours dont 2 en fonctionnement. La chambre de combustion et les chambres de cuisson sont séparées. La technologie vient du Vietnam, foyer ouvert à combustion latérale sur sole, et coûte 2100US\$/four.

Un paramètre crucial pour obtenir un bon produit est le contrôle en température.



Photos de gauche à droite : vue sur les entrées des chambres de cuisson et sur le système de régulation de la température, les 3 pots servant à introduire l'eau qui sera pulvérisée dans les 3 chambres de cuisson.

Vue sur l'arrière des fours et sur les entrées pour le chargement du combustible et l'arrivée d'air primaire.

Vue sur le combustible, ici les stères de bois sont coupés en 50 cm.

** n°1900 st.60, Psa Touch village, Toul Sanke commune à Phnom Penh*

▪ Restauration

Le nombre de restaurants en milieu urbain est très important et notamment à Phnom Penh. Une cantine Khmer, de taille modeste et servant en moyenne 100 repas/jour, utilisant 4 TLS et 1 NLS consomme 40 kg de charbon de bois/jour. Les TLS fonctionnent entre 4 et 5 heures/jour et le NLS entre 8 et 9 heures/jour. Ce NLS consomme ¼ de la quantité de charbon de bois journalière.

Cette cantine utilise également des foyers gaz et consomme environ 2*10kg de gaz toutes les 3 semaines à raison de 2 à 3 heures de fonctionnement/jour. Chaque bouteille de 10kg coûte 12,5US\$.

Remarque : il est intéressant de noter que la durée de vie d'un TLS est de 3 à 4 mois pour un prix d'achat de 1US\$ alors que celle du NLS est de 1 à 2 ans pour un prix de 3,75US\$.



Photo de TLS d'une cantine Khmer de rue

2.3.3- Les industries

Les plus importantes industries consommatrices de bois sont actuellement les fabriques de briques de construction.

Ces industries utilisent deux types de combustibles faisant chacun appel à une conception de four particulière : le bois et la bale de riz. Le bois est essentiellement utilisé par les fabriques dans la grande périphérie de Phnom Penh et la bale de riz est utilisée par les fabriques situées sur la route entre Pursat et Battambang.



En haut : photo d'une partie du stock de bois d'une briqueterie.

En bas : photo d'une ouvrière en charge de cuisson des briques

Les fours fonctionnant au bois pour cuire les briques consomment entre 150 et 170 stères, entre 1m et 1,2m de long, par four et par cycle. Ces fours mesurent 5m de large, 3m de haut et 40m de long. Un cycle de cuisson de 100000 briques dure 7 jours/four. La fabrique visitée possède 3 fours et arrive à mener 2,5 cycles/mois au total, soit une production mensuelle d'env. 250000 briques. La puissance absorbée est d'environ 2MW alors que la puissance utile a été évaluée à 600kW.

On peut noter que les plus grosses fabriques font 7/8 cycles/mois et possèdent jusqu'à 8 fours.

Le bois est livré par camion d'environ 45 stères tous les 3 jours et il est vendu 8US\$/stère. Suite à la raréfaction du bois, les prix explosent et ont doublés en 1an (de 4US\$ en 2005 à 8 US\$ en 2006).

Il y a environ 54 fabriques (opérant entre 2 et 8 cycles/mois) fonctionnant au bois sur 20km le long de la route RN6 en partant de Phnom Penh. On peut donc estimer en moyenne une consommation totale de 800 stères/mois/fabriques, soit 43200 stères/an pour la périphérie nord-est de Phnom Penh.

Il y a globalement 2 types de fours fonctionnant à la bale de riz, un de forme rectangulaire et un en forme de dôme. La technologie des brûleurs fonctionnant avec ce combustible est de type à « escalier » comme vu précédemment.

Le four de conception rectangulaire, de 7m de long sur 5m de large, possède un seul conduit de fumée et une alimentation en combustible par gravité sur une « grille en escalier ».

Un cycle de cuisson de 70000 briques dans un four rectangulaire nécessite 12-13 camions d'environ 10t/camion et 250 sacs/camion, soit env.120-130t/cycle cuisson/four. Il faut env.8-9 jours de cuisson par four, en saison sèche.



Le four de conception en dôme, de 5m de diamètre et d'env. 6m de haut au centre, possède un seul conduit de fumée et une alimentation en combustible par gravité sur une « grille en escalier ».

La forme intérieure du four en dôme réduit les hétérogénéités de cuisson.

Ce type de four peut produire 60000 briques/cycle de 10-15 jours de cuisson. Sa consommation est de 90 tonnes de bale de riz/cycle. La puissance absorbée est d'environ 1MW/four et en considérant un rendement de 40% la puissance utile est de 420kW/four.

Pour plus de détails sur ces industries, Cf. **Annexes C : CR de visites 3a et 3b.**

2.4- Les enjeux d'un combustible alternatif

La diminution du gisement de bois de feu au Cambodge a plusieurs conséquences interdépendantes.

L'importante inflation du prix du bois ces dernières années, a notamment incité certaines activités économiques, souvent localisées en milieu rural, à se réorienter vers des combustibles de substitution. Cependant beaucoup de petites productions ou même d'industries, souvent localisées en milieu urbain, ne sont pas en mesure de prendre cette voie. Par conséquent de nombreuses activités économiques sont menacées à court terme (dans les 5 prochaines années) avec ce contexte énergétique.

Cette situation n'a pas échappé à certains industriels et acteurs énergétiques qui voient dans le Cambodge un potentiel économique intéressant.

Ainsi certaines fabriques de briques et autres petites productions sur Phnom Penh se sont vues proposer, en 2005 par des commerciaux chinois, de changer de combustible pour opter pour du charbon minier.

Cet exemple est donné pour illustrer la nécessité et l'urgence de proposer une alternative énergétique à ces activités de productions si l'on souhaite éviter l'emploi massif d'énergies fossiles et l'épuisement du gisement bois déjà fragile.

Un autre enjeu consiste à trouver une alternative à l'utilisation du bois et surtout du charbon de bois pour la cuisson domestique.

En effet, environ 85000 tonnes de charbon de bois/an sont consommées à Phnom Penh (source : « *Woodenergy Baseline Study for Clean Development Mechanism* », GERES-CFSP 2006. Cependant il a été constaté un débit supplémentaire de Phnom Penh vers le Vietnam d'environ 5000 tonnes. Cette quantité soustraite des 89632t données dans ce rapport fait environ 85000t).

Ce sont environ 36000 familles qui utilisent un NLS, foyer amélioré et diffusé avec le soutien du CFSP, qui permet ainsi l'économie de 6379 tonnes de charbon de bois/an, soit environ 9% de la quantité totale.

Un autre programme lancé par le CFSP consiste à produire du charbon de bois renouvelable qui permettra, dans le meilleur cas, une économie de 10% du charbon de bois non renouvelable d'ici 2012.

Proposer un combustible pouvant se substituer au charbon de bois non renouvelable et continuer à réduire son utilisation serait donc une étape de plus dans cette démarche entreprise par le GERES-CFSP.

2.5- Les déchets combustibles valorisables

2.5.1- Introduction

Le but de l'état des lieux qui suit n'est pas de fournir des quantités précises et une vue globale de tous les déchets de biomasse combustibles disponibles au Cambodge (Cf. *Annexe D*).

L'objectif est plutôt de caractériser des gisements potentiels en vue d'être des sources d'approvisionnement locales pour une ou plusieurs petites unités de valorisation à proximité.

L'objectif étant de réduire globalement l'utilisation du bois.

Ainsi, cet état des lieux est établi, d'une part, pour la commune de Phnom Penh, représentative du milieu urbain et dans laquelle une unité pilote de valorisation pourrait être mise en place, et d'autre part, pour la province de Kampong Chhnang qui est plutôt représentative du milieu rural et dans laquelle une unité pilote de valorisation pourrait également être mise en place.

La province de Battambang a également été incluse pour l'état des lieux en milieu rural car il y a été constaté un potentiel et un réseau existant intéressant mais très peu interconnecté.

La plupart des quantités et des prix donnés sont issus d'investigations de terrain localisées et ne doivent pas être considérés comme une généralité dans les milieux urbains ou les milieux ruraux. Cependant les natures des déchets ou résidus disponibles sont parfois identiques dans les différentes provinces mais réparties de façon hétérogène sur le pays.

2.5.2- Evaluation des gisements en milieu rural, provinces de Battambang et de Kampong Chhnang.

Coque de cacahuète (résidu agronomique)

Gisement évalué auprès de producteurs **sur la route entre Battambang et Pailin.**



Gauche : Coque de cacahuète servant à niveler le jardin de certains producteurs

*Droite : échantillon de coques de cacahuète sur feuille petits carreaux (5mm*5mm)*



- **Quantité** de coques d'arachide « produite » en 2005 : entre 200 et 300 sacs/producteur de 20 à 30 kg/sac, soit une quantité minimale de **4 tonnes/an/producteur**. Il y a env.100 producteurs dans le district. Soit, par extrapolation, une quantité minimale de **400tonnes/an** dans le district de Battambang.
- **Disponibilité** :
L'arachide est récoltée pendant 3 périodes de l'année dans cette région,
 - de fin février à début mars, en quantité relativement faible
 - de juin à août, environ 100 tonnes
 - de novembre à janvier, entre 20 et 30 tonnes
- **Prix** :
Le sac de 20 kg de coques coûte env. entre 0,03 US\$ et 0,05 US\$.
Soit un prix moyen d'environ **2 US\$/tonne**.
Les graines coûtent environ 1,8 US\$/kg.
- **Utilisation actuelle** :
Ce résidu est utilisé en assez grande quantité comme combustible pour la production de sucre de palme locale. Il est également utilisé comme fertilisant dans les rizières, dans les orangeries et les pépinières.
- **Avantages** :
 - Ce résidu se valorise bien par la densification et la gazéification.
 - Ce résidu est abondant dans cette localité et n'est pas cher.
- **Inconvénient** :
 - La masse volumique est faible, donc il faudra de gros volumes de chargement lors de la collecte.

Coque de cacahuète carbonisée (résidu d'un process de transformation)

Gisement évalué sur une station de production électrique proche de **Battambang** qui fonctionne avec un gazogène de 75kW dual fuel qui utilise la coque d'arachide (**Cf. CR de visite, Annexe C**).



Gauche : Coque de cacahuète carbonisée issu du process de gazéification (au 2nd plan)

*Droite : échantillon de coque de cacahuète carbonisée sur feuille petits carreaux (5mm*5mm)*



▪ **Quantité :**

Difficulté d'établir la quantité produite de ce résidu, mais en considérant un rendement de gazéification entre 70% et 80% on peut estimer une quantité moyenne de **275 kg/jour** (sec) pour une station de gazéification (dual fuel, 70%gaz / 30%diesel) fonctionnant à 60kW pendant 11h.

▪ **Disponibilité :**

La coque d'arachide étant la matière première du process de gazéification, sa disponibilité est uniquement fonction de la production de cette centrale qui l'utilise alternativement avec la rafle de maïs et la *Leuceana* (bois à croissance rapide).

▪ **Prix :**

Environ **1 US\$/tonne** (comprend essentiellement le coût du transport).

▪ **Utilisation actuelle :** ce résidu n'est pas utilisé.

▪ **Avantages :**

- La production de ce résidu est centralisée
- Résidu pouvant entrer dans la fabrication de briquettes de charbon.
- Ce résidu est peu coûteux

▪ **Inconvénient :**

- la production est très localisée
- présence de coques imbrûlés, ce qui donne un combustible produisant beaucoup de fumée dans le cas d'une valorisation par fabrication de briquettes de charbon.
- Taux de cendres élevé : 39% et contenu en carbone fixe seulement de 47% (source : CIRAD, France, 2006).

Rafle de maïs (résidu agronomique)

Ce déchet est très abondant dans la **province de Battambang** et plus particulièrement dans les districts de Sampov et de Banan (Cf. **Annexe D : Productions de maïs au Cambodge entre 1980 et 2002**).



Gauche : stockage dans le jardin d'un producteur

*Droite : échantillon de rafle de maïs sur feuille petits carreaux (5mm*5mm)*



▪ **Quantité :**

Elle est d'environ **200 tonnes/producteur** sur la période de Décembre à Mars. De nombreux fermiers cultivent le maïs dans la province de Battambang. Leur nombre est difficile à définir.

▪ **Disponibilité :**

C'est une source importante, principalement de Janvier à fin Mars.

Il y a trois provenances majeures : Pailin, Samlot et Redik.

▪ **Prix :**

La rafle est vendue par sac de 25kg à 0,25 US\$/sac, soit **10 US\$/tonne**, mais peut être gratuite dans certaines campagnes, notamment dans le district de Banan près de Battambang.

▪ **Utilisation actuelle :**

Ce résidu est utilisé comme combustible dans des fours, des séchoirs agricoles à Pailin ou comme matière première pour le process de gazéification. Comme beaucoup de résidus il est aussi souvent jeté dans les champs par les fermiers.

▪ **Avantages :**

- Peut donner une brique de charbon de bonne qualité, appréciée pour sa combustion, dans le cas d'une telle voie de valorisation.
- Granulométrie régulière
- Déjà bien sec en période sèche

▪ **Inconvénient :**

- N'est pas disponible tout au long de l'année

Rafle de maïs carbonisée (résidu d'un process de valorisation)

La même station de production électrique proche de **Battambang** (*Phnom Sampov Koet village, Phnom Sam Pov commune, Banon district*) fonctionne également avec de la rafle de maïs (**Cf. CR de visite, Annexe C**).

Une autre station de faible puissance en produit également, avec l'avantage d'être sec et non mouillé du fait d'un système de décendrage différent.



Gauche : rafle de maïs carbonisé issu du processus de gazéification (au 1^{er} plan)

*Droite : échantillon de rafle de maïs carbonisée sur feuille petits carreaux (5mm*5mm)*



▪ **Quantité :**

On peut l'estimer de la même façon que pour la coque de cacahuète, soit une quantité moyenne estimée de 160kg/jour pour une station de gazéification (dual fuel, 70%gaz / 30%diesel) fonctionnant à 60kW pendant 11h. Cette quantité cumulée avec celle d'une autre centrale de 7kW fonctionnant 13h/jour (100%gaz) et produisant env.35 kg/jour, cela donne une quantité totale sur la périphérie de Battambang d'env.**200kg/jour**.

▪ **Disponibilité :**

La rafle de maïs étant la matière première du process de gazéification, sa disponibilité est uniquement fonction de la production des centrales qui l'utilisent alternativement avec la coque de cacahuète et la *Leuceana*.

▪ **Prix :**

Environ **1 US\$/tonne** (comprend essentiellement le coût du transport).

▪ **Utilisation actuelle :** ce résidu n'est pas utilisé.

▪ **Avantages :**

- La production de ce résidu est centralisée
- Ce résidu du procès constitue la matière première préconditionnée d'une fabrication de briquettes de charbon.
- Ce résidu est peu coûteux et peut éviter la construction d'un four à carbonisation pour la valoriser dans la fabrication de briquettes de charbon.
- Taux de cendres faible : 5,7% et un contenu en carbone fixe élevé :88%
(source : CIRAD, France, 2006).

▪ **Inconvénient :**

- la production est très localisée
- résidu charbon souvent mélangé avec de la coque de cacahuète.

Balle de riz (résidu agricole)

Ce résidu issu de la production de riz, très abondante au Cambodge, notamment dans les **provinces de Battambang et Kompong Chhnang** (Cf. *Annexe D : Productions de riz au Cambodge entre 1980 et 2002*).

Il est à noter que sur Kampong Chhnang la production est peu centralisée car il n'y a que 2 grosses usines à trier le riz et énormément de petites production familiales.



Gauche : stockage de la balle de riz derrière une rice mill et travailleurs qui la mettent dans des sacs pour la vendre

*Droite : échantillon de balle de riz sur feuille petits carreaux (5mm*5mm)*



▪ **Quantité :**

Il est difficile de donner avec précision la masse produite, mais elle est calculable à partir de la production de riz (**20% du poids du riz brut** -paddy rice- est de la balle de riz -rice husk-).

Une des deux plus importante rice mill de Kampong Chhnang produit environ 2.2 tonne/jour de bale de riz produite.

▪ **Disponibilité :**

Elle est disponible de façon **quasi-régulière** tout au long de l'année, en saison humide comme en saison sèche. Ceci s'explique par le fait que les rice mill ou les fermiers stockent du riz pour le revendre en saison sèche, période de l'année où il n'y pas de cultures de riz.

▪ **Prix :**

Dans la province de Battambang, en milieu rural, la bale de riz est gratuite. Cependant dans les zones à proximité des grands axes routiers les fabricants de briques de construction l'achètent **0,25 US\$/tonne**, livrée à la fabrique.

Dans la province de Kampong Chhnang 1 camion d'env.2t de bale de riz coûte env.**2.5US\$/tonne**.

▪ **Utilisation actuelle :**

Ce déchet est utilisé en grande quantité comme unique combustible pour la production de briques de construction. Elle est aussi utilisée comme combustible dans quelques foyers domestiques ou dans de petites industries mais également utilisée comme fertilisant dans les champs.

▪ **Avantages :**

- Abondante toute l'année
- Parfois gratuite en milieu rural, mais pas très chère globalement
- Granulométrie faible et régulière
- Déjà bien sec en période sèche

▪ **Inconvénient :**

- la masse volumique est faible (100kg/m^3)
- le taux de cendres est élevé (env. 20%)
- matière très siliceuse

2.5.3- Evaluation des gisements en milieu urbain, Phnom Penh

Ecorce de noix de coco (déchet de la consommation des noix)

Il y a deux types de producteurs sur Phnom Penh :

- D'une part des revendeurs que l'on pourrait qualifier de « grossistes », qui trient et revendent ou exporte la noix de coco débarrassée de sa fibre.

- D'autre part il y a une multitude de petits revendeurs qui viennent s'approvisionner chez ces grossistes en noix de coco entières (au total, 90/100 douzaines chaque jour, voire jusqu'à 200 douzaines chez les plus gros grossistes près de *Olympic market* -voir localisation sur carte de Phnom Penh-).

Ces petits revendeurs vendent en moyenne 10 douzaines de noix/jour.



Gauche : déchets de noix de coco chez un grossiste

Droite : déchets de noix de coco que l'on peut trouver dans un coin de rue en attente d'être collecté par CINTRI.



▪ **Quantité :**

C'est une source de déchets importante, estimée à environ **30 tonnes/jour*** dans Phnom Penh, et partiellement valorisable car beaucoup de petites quantités éparpillées dans de nombreux endroits en ville. Cependant certains endroits en comportent en plus grandes quantités.

*(cette donnée a été recueillie oralement et n'a pas pu être authentifiée)

▪ **Disponibilité :**

La noix de coco provient en majorité de la province de Kampot. Elle est disponible toute l'année plus ou moins régulièrement (la consommation est beaucoup plus importante en saison sèche qu'en saison humide).

▪ **Prix :**

Pour ce déchet le coût n'est pas directement fonction de la quantité mais est un coût mensuel du fait de la taxe de ramassage d'ordures (10 US\$/mois pour les grossistes et 5 US\$/mois pour les petits revendeurs).

Un grossiste (de 90/100 douzaines de noix par jour) produisant en moyenne 10 sacs de 10/15kg par jour, soit env.100/150kg par jour ou 3800 kg/mois en moyenne, cela fait un prix moyen d'achat de la matière première d'un peu moins de **2 US\$/tonne**.

▪ **Utilisation actuelle :**

Actuellement une société chinoise rachète la fibre, uniquement lorsqu'elle est sèche, directement chez les grossistes. La fibre sert de rembourrage dans les sièges de voitures ou dans les coussins.

▪ **Avantages :**

- Une grosse production de déchets est regroupée en 2 endroits (*voir localisation sur la carte de PP*)
- Les revendeurs/grossistes sont prêt à collaborer en regroupant chacun chez eux les déchets de coco uniquement.

▪ **Inconvénient :**

- le taux d'humidité est d'environ 85% quand elle est collectée fraîche.



A droite : déchets de noix de coco mis dans des sacs par les producteurs et destinés à être collectés par CINTRI.

A gauche : carte de Phnom Penh avec localisation de gisements de fibre de coco.



Bagasse (déchet de canne à sucre)

Selon les statistiques établies en 2000 (MAFF, « Ministry of Agriculture, Forestry and Fishery ») croisées avec les investigations menées, la canne à sucre sur Phnom Penh vient en grande partie des provinces de Kandal, Kampong Cham et de

Kampong Speu. Actuellement les marchands de jus de canne regroupent leurs



Gauche : bagasse rassemblée avec d'autres déchets et prête à être collectée pour être mise en décharge

Droite : bagasse issue d'un vendeur qui en extrait le jus pour le vendre au verre ou au sachet plastique.



déchets avant que CINTRI (entreprise de collecte d'ordure) ne les collecte.

▪ **Quantité :**

C'est également une source de déchets importante à Phnom Penh : env. **20 t/jour en saison humide et env.46 t/jour en saison sèche** (source : *study on the quantity of sugarcane residues in PP, CEDAC 2001*), partiellement valorisable. En volume, la quantité totale de ce déchet est estimée à 38700m³/an, soit 6,6% de la totalité des déchets. On peut estimer à 10/20 kg par jour et par vendeurs, collecté dans des panier.

▪ **Disponibilité :**

En 2000, il était estimé à 1820 vendeurs dans 33 endroits différents : sur les marchés, à côté des écoles, près des hôpitaux, des centres touristiques et des pagodes.

Ce déchet est quantitativement deux fois plus important en saison sèche qu'en saison humide (consommation est proportionnelle à la température extérieure). Ce déchet est disponible en plus ou moins grande quantité dans toutes les villes du Cambodge, dans les mêmes lieux.

▪ **Prix :**

Tout producteur de ce déchet doit l'amener dans une place commune, généralement un conteneur, pour qu'il soit collecté par camion. Le système financier à établir est le même que pour la noix de coco. Cependant dans la plupart des cas ce déchet peut être gratuit car pour beaucoup de vendeurs le fait de les débarrasser d'un volume de déchets représente déjà un gain.

▪ **Utilisation actuelle :**

Ce déchet n'est généralement pas utilisé et est mélangé aux autres déchets avant d'être jeté. Il serait partiellement utilisé pour la fabrication de papier (information non confirmée).

▪ **Avantages :**

- Ce déchet est abondant et disponible, dans une certaine quantité, toute l'année.
- Les vendeurs seraient d'accord pour trier ce déchet des autres.
- Le taux d'humidité de ce déchet descend en quelques jours seulement à 9%, en saison sèche et avec un séchage à l'air libre.

▪ **Inconvénient :**

- Le taux d'humidité est d'environ 50% quand elle est collectée fraîche.
- La production est localisée mais pas centralisée, difficulté de collecte.

Tissus (déchets d'industries textiles)

Les déchets textiles proviennent des entreprises périurbaines, la majorité (environ 270 usines) étant à proximité de Phnom Penh. Ces tissus se divisent en 2 catégories, les petites pièces et les grandes pièces. Globalement, trois filières sont en place : une grande partie de ces tissus étant des « grandes » pièces, elles sont recyclées en paillassons, petits vêtements, couvertures,...ou exportées vers la Thaïlande et le Vietnam. Les petites pièces, non recyclables, sont soit vendues comme combustible dans certaines zones localisées, soit mises en décharge et enterrées.

La filière de traitement de ces déchets est relativement complexe et tous les acteurs souhaitent rester le plus silencieux possible à ce sujet.



Exemple de stockage des déchets textiles servant de combustible pour les activités de production. On remarque la petite taille des pièces sur la photo de droite. La nature des tissus est généralement différente.



▪ **Quantité :**

La compagnie privée SAROM est officiellement chargée de la collecte et du traitement des déchets textiles « non valorisables ». Cette entreprise collecte environ 188 tonnes/jour de déchets mixtes (tissus+plastiques+papier), soit environ 58800 tonnes/an. Il a été estimé entre 30% et 70% la quantité de tissus, donc une quantité entre **20000 et 40000 tonnes/an** de déchets textiles. Une partie de ces déchets est toutefois valorisable pour fabriquer des paillassons par exemple et le reste est vendu en tant que combustible (pièces de tissus déclarées non valorisables). La quantité de ces déchets servant comme combustible pour des activités de production a, notamment, pu être estimée sur 12 communes dans la province de Kandal à 4380 tonnes/an (292 familles recensées).

▪ **Disponibilité :**

La disponibilité de ce résidu est **régulière toute l'année**.

▪ **Prix :**

Les petites pièces textiles sont revendues par des intermédiaires à environ **15US\$/tonne livrée**.

▪ **Utilisation actuelle :**

La partie des déchets qui est vendue comme combustible est utilisée principalement dans trois activités : la fabrication de sucre de palme, la distillation de vin de riz et la cuisson de riz pour les cochons.

▪ **Avantages :**

- Filière de revente déjà bien établie

▪ **Inconvénient :**

- La combustion du tissu émet des gaz toxiques et notamment des dioxines.
- Combustion hétérogène

3- Propositions de voies de valorisation des déchets combustibles

3.1- Introduction

Après avoir caractérisé certains gisements de déchets/résidus cette étude vise aussi à évaluer les voies de valorisations les mieux adaptées et de les caractériser techniquement et économiquement. Les voies proposées ici ne sont pas les seules mais elles ont été évaluées comme les plus pertinentes. Un point important à considérer est le fait que la filière de valorisation doit être la plus courte possible, donc que les gisements de matières premières soient proches des unités de valorisation.

3.2- Les contraintes socio-économiques à considérer

La nécessité de changer de combustible pour passer de l'utilisation massive du bois de feu à l'utilisation d'un combustible « alternatif », durable et économiquement intéressant est maintenant établie. L'existence de gisements de déchets de biomasse en milieu urbain et en milieu rural confirme la possibilité de créer des filières ou des process de valorisation, apportant ainsi une réponse durable et économiquement intéressante du point de vue de la gestion des déchets.

Cependant un tel combustible, pour être adopté par les utilisateurs visés, nécessite de répondre non seulement aux besoins énergétiques mais également aux critères sociaux, notamment dans le cas de la cuisson domestique. Le prix est évidemment le premier critère de sélection et la qualité visuelle du produit en est un autre. L'énergie dégagée est évidemment un critère majeur mais le fait qu'un charbon de biomasse ne salisse pas, que sa combustion dégage peu de fumée et qu'il y ait peu d'étincelles sont également des critères déterminants. Un paramètre également important est la forte densité de ce charbon de biomasse ; les utilisateurs le préfèrent ainsi car ils ont l'impression qu'il est fait avec de gros troncs d'arbres, âgés, et qu'il devrait dégager beaucoup d'énergie.

Dans le cas d'une utilisation industrielle à grande et petite échelle, donc notamment pour les usines de fabrication de briques de construction, un critère essentiel est le coût d'adaptation du four au nouveau combustible, qui doit être minimum, et la garantie de non détérioration du four.

3.3- Projets de valorisation par gazéification

La pyrolyse-gazéification est avant tout un process de valorisation énergétique de la biomasse.

Le but est de produire des gaz combustibles issus de la combustion de biomasse et ensuite de pouvoir valoriser ces gaz. Ainsi ils peuvent servir à produire soit de la chaleur avec un brûleur, soit de l'électricité avec une génératrice couplée à un moteur thermique.

Cette conversion physico-chimique s'opère dans un gasifier ou réacteur dont la conception dépend grandement de la puissance voulue.

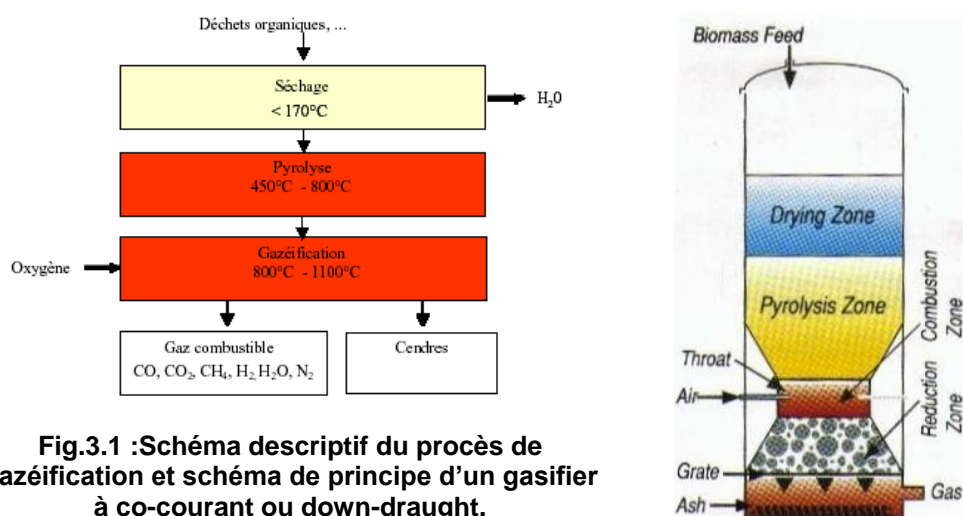


Fig.3.1 :Schéma descriptif du procès de gazéification et schéma de principe d'un gasifier à co-courant ou down-draught.

La pyrolyse consiste en un traitement thermique, à température modérée (450 à 800°C) et en absence d'air. La pyrolyse constitue une décomposition chimique sous l'action de la chaleur. La matière organique de la biomasse est décomposée en une phase solide (charbon) et une phase gaz.

La gazéification a pour objet la conversion totale de la charge organique en gaz combustible. Cette conversion est réalisée à haute température (800 à 1100°C) avec l'oxygène contenu dans l'air et les gaz générés lors du procès qui vont réagir et se recombinaient avec le carbone issu de la pyrolyse. Les gaz combustibles produits sont principalement du monoxyde de carbone (CO), de l'hydrogène (H₂) et du méthane (CH₄).

De façon générale, le choix se portera sur un gasifier en lit fixe à « co-courant ou down-draught » pour des puissances allant jusqu'à 1MW. Dans cette configuration, la biomasse et l'agent oxydant (l'air dans notre cas) se déplacent dans le même sens, de sorte que le gaz produit durant de la gazéification est évacué du réacteur près de la zone la plus chaude. Ce type de gasifier doit seulement être utilisé avec des combustibles solides relativement sec (typiquement 15% d'humidité) et de granulométrie bien précise (quelques cm³). Ce type de réacteur, généralement de faible puissance constitue une technologie attractive du fait de leur relative simplicité et du marché potentiel qu'ils représentent, notamment dans les PED.

L'étude qui suit vise à vérifier la pertinence technique et la viabilité économique de trois projets de gazéification :

- Un projet de petite électrification et/ou de recharge de batteries.
- Un projet de diffusion d'un petit équipement pour la cuisson domestique, en milieu urbain et/ou en milieu rural.
- Un projet de diffusion d'un brûleur à gazéification pour des fours industriels dans Phnom Penh et sa périphérie.

3.3.1- Projet d'électrification rurale et de recharge de batteries

Contexte global

La condition pré requise pour un projet de production d'électricité, en milieu rural au Cambodge, à partir de la gazéification de biomasse est la non couverture de la zone par le réseau national à moyen et long terme.

Il y a globalement trois types de fournisseurs d'électricité au Cambodge :

- ✓ Electricité du Cambodge (EdC), service public couvrant 85% de la fourniture en électricité au Cambodge.
- ✓ MIME, fournisseur de 10% de la fourniture en électricité au Cambodge.
- ✓ Opérateurs privés fournissant l'électricité dans de nombreuses zones rurales (5% de la fourniture en électricité au Cambodge).

(SME Cambodia, June 2003).

L'entreprise publique Electricité du Cambodge (EdC) propose actuellement une gamme de prix allant de 0.09US\$/kWh à 0.53US\$/kWh selon les utilisations et les localités ; alors que REE (Rural Electricity Enterprises), regroupant des entrepreneurs privés produisant de l'électricité en majorité avec des groupes diesel sur des petits réseaux locaux, la vend entre 0.3US\$ et 0.91US\$ (EDC, 2001), 0.53US\$ en moyenne (*sustainable energy in cambodia : status and assesment of the potential for clean development mechanism projects, 2004*).

Moins de 9% de la population rurale a un accès un réseau de qualité. Un nombre croissant d'utilisateurs n'a accès qu'à des minis réseaux locaux privés ou à des services de charge de batteries souvent très chers.

Localisation

La région pressentie pour mener ce projet est la région de Battambang puisque un potentiel de résidus d'agriculture valorisable dans une unité de gazéification a été détecté.

Ainsi il est possible de mettre en place une filière courte d'approvisionnement en rafle de maïs, en coque de cacahuète ou en *Leucaena* (bois à croissance rapide -2.5m/an- cultivé spécialement pour le process de gazéification et disponible toute l'année).

Le choix de la zone d'implantation de l'unité doit être établi selon les localisations des matières premières et l'étendue de la zone à connecter. Il sera aussi important de mener une étude préliminaire auprès de EdC pour établir avec précision l'extension prévue du réseau national afin de se focaliser sur des villages non connectés.

Une approche intéressante à considérer est celle d'une centrale à gazéification de 7kW gérée par une coopérative énergétique de village (**Cf. Annexe E**).

Elle présente un avantage en terme d'accès à l'énergie et de développement rural. Son fonctionnement est basé sur un mode plus social : cela a permis de créer des emplois pour la production d'une électricité bon marché (0.37US\$ contre 0.70US\$ pour la centrale privée de 75kW à Battambang, mentionnée dans la partie 2.5.2) et d'augmenter la qualité de vie du village avec des points lumineux dans les passages public, les routes et les aires commerciales.

Cette activité propose également un autre service qui est la recharge de batteries, permettant ainsi à ceux n'ayant pas accès au réseau de disposer malgré tout d'une source d'électricité.

Caractérisation technico-économique

Le dimensionnement d'une unité de gazéification sera basé sur la quantité journalière de matière première disponible et la puissance souhaitée sachant qu'un compromis devra être trouvé. En effet la demande en électricité augmentera dans les années qui suivent et le meilleur rendement de production, donc des coûts minimums, sera pour un point de fonctionnement à puissance nominale. De façon générale, la centrale ne doit pas fonctionner en dessous de 60% de sa puissance nominale pour conserver un bon rendement.

L'exemple de la centrale d'une puissance effective de 7kW du projet mené par SME (Small and Medium Enterprises), dans la province de Battambang, sera pris comme base d'étude. Deux cas d'utilisation de l'électricité sont intéressants à étudier et vont être simulés par la suite, la fourniture d'électricité au travers d'un micro réseau local associé à la recharge de batteries ou uniquement l'activité de recharge de batteries associé à une diffusion de lampes à diodes. (Ces lampes consomment peu d'électricité et ont un bon coefficient d'éclairage).

Dans ces 2 cas l'unité de gazéification/production d'électricité est la même, seul l'équipement en aval de l'unité change.

▪ **Matières premières**

Il a été précédemment établi la disponibilité de 3 résidus agricoles dans la province de Battambang :

- ✓ La bale de riz
- ✓ La coque de cacahuète
- ✓ La rafle de maïs

Il est important de spécifier que l'unité de 7kW prise en exemple ne peut fonctionner que pour des matières premières ayant une granulométrie de 2,5cm*2,5cm avec un taux d'humidité compris entre 5% et 20%.

▪ **Caractéristiques techniques**

Il semble beaucoup plus approprié d'introduire des unités de faibles puissances (jusqu'à 10 kW), fonctionnant uniquement au gaz, à l'échelle d'un petit village pour réduire l'investissement de départ, réduire les coûts de fonctionnement et surtout pour réduire l'importance du réseau. Le but est de proposer un prix au kWh aux usagés le plus faible possible en évitant de leur faire supporter des investissements trop lourds.

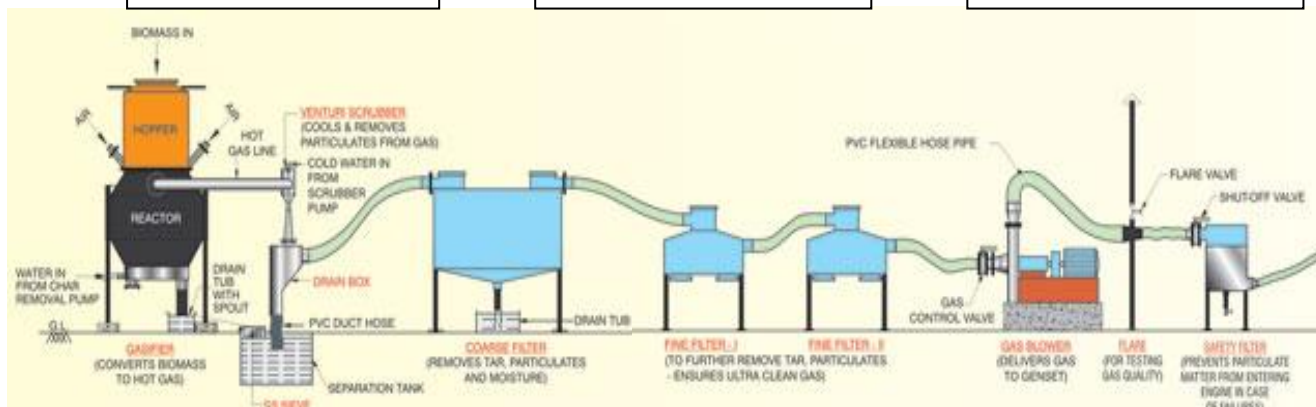
D'un point de vue technologique, les gaz combustibles issus du process de gazéification doivent être refroidis puis filtrés avant d'être envoyés dans le moteur à combustion interne qui entraîne la génératrice. Ceci est absolument nécessaire pour ne pas endommager irrémédiablement le moteur, notamment avec les oxydes de soufre ou avec de l'autoallumage.

Fig.3.2 : schéma de principe d'une petite unité

1^{ère} étape : production des gaz combustibles dans le gasifier ou réacteur

2^{ème} étape : refroidissement des gaz puis plusieurs étages de filtration

3^{ème} étape (non représentée) : admission des gaz refroidis et épurés dans le moteur.



Et son application réelle :



Photo de gauche : vue sur l'ensemble de l'unité de gazéification et production d'électricité de 7kW eff. (projet mis en place par SME, Battambang). On distingue aisément le gasifier en rouge, un filtre à sa droite et le moteur/générateur complètement à droite (Toutes les spécifications techniques sont accessibles en **Annexe E**).

Photo de droite : au premier plan on distingue des branches de *Leucaena* en attente d'être tronçonnées en rondins de 2.5cm. Au second plan on peut voir le stockage de rafle de maïs prête à être utilisée.

La matière première devant avoir un faible taux d'humidité avant d'être introduite dans le gasifier, il peut être nécessaire de construire un séchoir. Une solution consiste à utiliser la chaleur des gaz d'échappement et de l'eau de refroidissement du moteur comme source chaude. Ainsi, associer un système d'échangeurs air-eau avec un ventilateur insufflateur d'air peut permettre de sécher, au minimum, la quantité de matière première nécessaire pour le lendemain.

Le coût de la mise en place d'un réseau électrique local est très élevé (entre 8000 et 10000US\$/km). Une autre activité peut donc être envisagée pour éviter de faire supporter aux utilisateurs le coût d'un tel réseau, d'autant plus que la plupart n'ont un besoin en électricité que ponctuel (entre 17h et 22h) et de faible puissance (généralement une ou deux lampes fluo compactes de 10 ou 20W).

Une activité de prêt de batteries n'ayant besoin que de peu d'entretien, de type batteries sèches, peut donc être envisagée. Ainsi l'activité consisterait à recharger des batteries le matin et le début d'après midi et de louer aux utilisateurs une batterie correspondant à leur consommation électrique.

Deux principaux avantages :

- ✓ Le coût d'un système électrique de recharge de batteries est beaucoup moins élevé que celui d'un micro réseau.
- ✓ La production électrique de la génératrice serait beaucoup plus stable et maîtrisée.

De cette manière le prix de l'électricité-batterie serait moins cher et les usagers ne payeraient que ce qu'ils consomment réellement.

Sur 8000 entrepreneurs qui mènent une activité de recharge de batteries, le tarif constaté est bien souvent de plus de 1US\$/kWh. (*sustainable energy in cambodia : status and assesment of the potential for clean development mechanism projects, 2004*).

▪ **Caractéristiques et simulation économiques :**

Small scale gasifier unit (Ankur GAS-9, SME project) réseau + charge batteries		Small scale gasifier unit (Ankur GAS-9, evaluation) service location batteries	
DEPENSES	US\$	DEPENSES	US\$
Coûts d'investissement de départ		Coûts d'investissement de départ	
gasifier+système de filtration+moteur+générateur	15000	gasifier+système de filtration+moteur+générateur 7kVeff	15000
1km de réseau basse tension	10000	140 batteries 50Ah	2800
système de recharge de batteries (transformateur, cablage,...)	350	système de recharge de batteries (transformateur, cablage,...)	450
TOTAL INVESTISSEMENT	25350	TOTAL INVESTISSEMENT	18250
Coûts de fonctionnement annuel		Coûts de fonctionnement annuel	
maintenance semestrielle	140	maintenance semestrielle	140
transport	60	transport	60
communication	60	communication	60
bureautique	36	bureautique	36
cotisation	8	dépréciation du parc batteries (durée de vie=5ans)	560
dépréciation de tout le système	1692	dépréciation du système de gazéification (durée de vie)	1120
saalaire des 3 techniciens	1200	saalaire des 3 techniciens	1200
Coûts des matières premières annuel		Coûts des matières premières annuel	
leucaena (20US\$/tonne, 2,5tonnes/mois)	540	leucaena (20US\$/tonne, 2,5tonnes/mois)	540
il est important de noter que ce coût considéré est évalué sur 9 mois de fonctionnement au Leucaena et 3 mois à la rafle de maïs (considéré utilisée pendant sa saison sans prendre en compte son stockage)		il est important de noter que ce coût considéré est évalué sur 9 mois de fonctionnement au Leucaena et 3 mois à la rafle de maïs qui a été évaluée à 10US\$/tonne. Il a également été considéré que le système fonctionnait 8h/jour et 5jours/sem à pleine charg	
TOTAL annuel	3736	TOTAL annuel	3716
RECETTES	US\$	RECETTES	US\$
Prix de vente et de distribution		Prix de vente et de distribution	
réseau (0,375 US\$/kWh)	2700		
charge de batteries (0,24 US\$/kWh ou 0,19 US\$/batterie 50Ah)	1728	charge de batteries (0,3 US\$/kWh ou 0,24 US\$/batterie 50Ah)	4032
TOTAL annuel	4428	TOTAL annuel	4032
Bilan annuel [US\$]	692	Bilan annuel [US\$]	316

Fig.3.3 : Comparatif économique électrification rurale / location batteries

NB : les caractéristiques de gauches sont réelles tandis que celles de droites ont été simulées. Il est important d'avoir à l'esprit que ce type d'unité n'est pas destiné à dégager des profits. Elle doit être gérée dans le cadre d'une coopérative énergétique de village, les bénéfices générés ne servant qu'à pérenniser cette coopérative.

Impact socio environnemental

De façon globale, une unité pour l'électrification rurale est une des rares solutions pérennes pour garantir un accès à l'électricité à un prix compétitif en plus d'être un **moteur économique local**.

En effet, l'utilisation de résidus agricoles généralement non valorisés permet aux fermiers/producteurs de se débarrasser de quantités bien souvent encombrantes, voire dans certains cas de générer des revenus par la vente de ces résidus.

Dans le cas de la centrale de 7kW précédemment citée, 53 personnes plantent maintenant de la *Leucaena* pour la revendre et la conduite de cette centrale nécessite d'employer 3 techniciens qui y travaillent à plein temps et qui habitent le village. Enfin, le process de gazéification génère des résidus charbonneux pouvant servir de matière première pour la fabrication de briquettes de charbon. Ainsi il peut être envisagé de mettre en place une **activité économique supplémentaire** à partir de plusieurs petites unités de gazéification

Outre ces avantages socio économiques, une petite centrale de 7kW fonctionnant uniquement au gaz produit avec des résidus agricoles permet d'économiser 1 litre de diesel pour environ 4 kg de bois ou rafle de maïs ou 5kg de bale de riz (SME, dec.2005). Soit une économie d'environ 3 litres de diesel/heure ou **8kg de CO₂ /heure** de fonctionnement de la centrale précédemment citée (California Energy Commission, *Inventory of California Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1999*, December 2001)

Si l'on considère également l'utilisation du charbon résiduel, il a été évalué de pouvoir produire environ 40 kg de briquettes de charbon sèches pour 8h de fonctionnement. Ce combustible venant se substituer au charbon de bois il est donc possible d'éviter l'émission de **13,7kg de CO₂/h*** de fonctionnement en considérant que ces briquettes de charbon soient utilisées en même quantité (1kg de charbon = 1kg de briquette).

*Bases de calcul : 1kg de charbon de bois = 2,74 kg de CO₂

3.3.2- Projet de diffusion d'un petit équipement pour la cuisson domestique

Contexte global

La cuisson domestique est le premier poste de consommation de bois de feu et de charbon de bois non renouvelable. Les foyers à biomasse sont omniprésents. Proposer un autre type de foyer adapté aux déchets/résidus de biomasse devient alors un vrai challenge qui permettrait, associé à une bonne diffusion, de diminuer le recours systématique au bois.

Localisation

La diffusion d'un petit foyer à gazéification doit se faire aussi bien en milieu rural qu'en milieu urbain. Toutefois, les déchets/résidus de biomasse sont différents selon les zones géographiques. Ceci ne pose, a priori, pas de problème sinon celui de la faible granulométrie du combustible. Les zones d'implantation prédisposées sont donc celles où il est possible de se procurer de la bale de riz, des coques d'arachides, des copeaux de bois ou autre.

Caractérisation technico-économique

▪ Matière première

La technologie de ce type de cuiseur est adaptée à des matières combustibles de toute nature mais de faible granulométrie comme la balle de riz, la taille maximale du combustible devant être $0,5 \times 1 \times 2 \text{ cm}$ (+/- 50%). En effet pour que cela puisse fonctionner il faut qu'un flux d'air puisse traverser le lit de matière combustible. Cependant un combustible comme la sciure est inadapté car une fois introduite elle est trop compacte. Et si, au contraire, l'espace entre chaque « particules » combustibles est trop grand cela ne marchera pas non plus.

▪ Caractéristiques techniques

➤ Exemple du **Rice Husk Gas Stove (concepteur : A.T.Belonio)**

Ce foyer se compose d'un réacteur à gazéification, où est introduit la matière première, positionné au dessus d'une arrivée d'air forcée (par ventilateur) qui alimente la réaction thermo-chimique (en air primaire). La quantité d'air requise pour la gazéification de la balle de riz est de 0,3 à 0,4*quantité stoechiométrique (4,7kg d'air/kg de balle de riz). Au dessus du réacteur vient se positionner le brûleur qui va permettre la combustion totale des gaz grâce à une arrivée d'air supplémentaire (air secondaire). Le rapport entre ces deux arrivées d'air est déterminant et doit être établi de façon précise et rigoureuse. (Orifices calibrés).

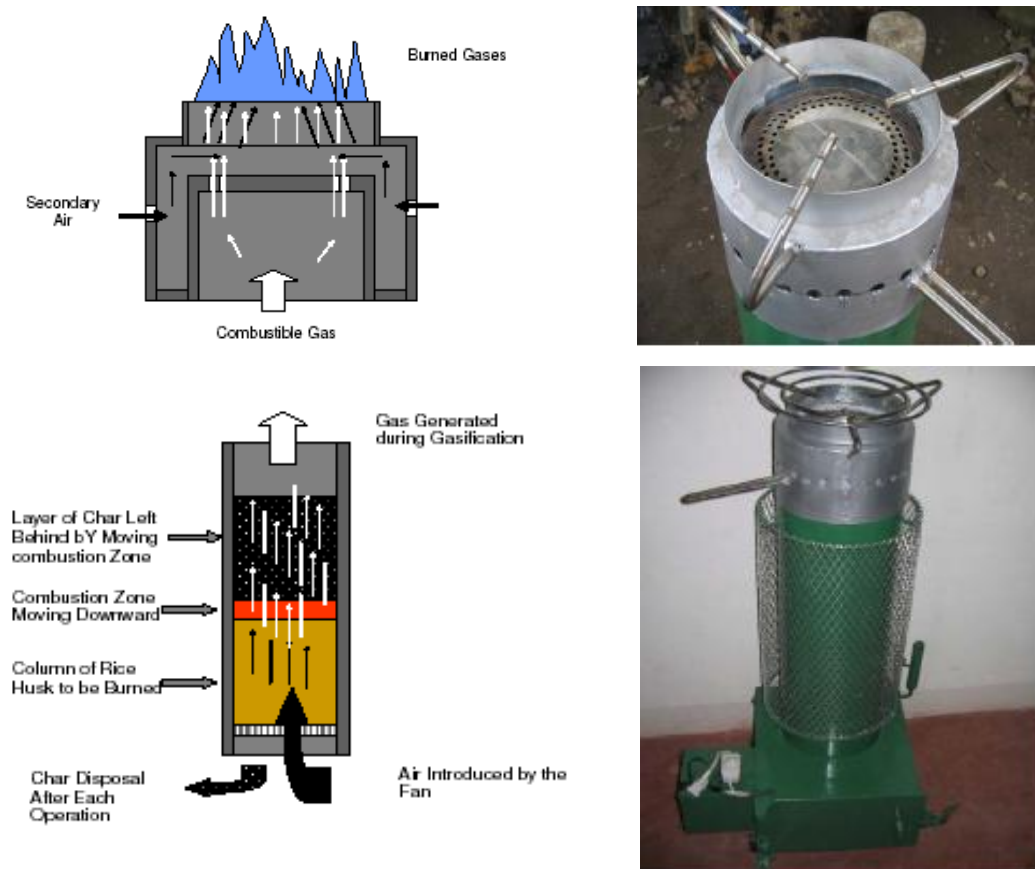


Fig.3.4 : Schemas de principe de fonctionnement du Rice husk gas stove (A.T.Belonio), foyer de cuisson domestique à gazéification.

En bas : photo du foyer avec son ventilateur d'arrivée d'air primaire en partie basse.

En haut : photo du brûleur avec détails de l'arrivée d'air secondaire.

Fig.3.5 : Résultats des tests menés en laboratoires pour établir les performances de ce Rice Husk Gas Stove :

Loading Capacity	Weight of Fuel (kg)	Fuel Start-Up Time (min)	Gas Ignition Time (sec)	Total Operating Time (min)
Full Load				
Trial 1	1.300	1.75	40	48.95
2	1.300	1.82	32	46.10
3	1.300	1.35	57	51.40
Average	1.300	1.64	43	48.82
¾ Load				
Trial 1	0.975	0.97	33	29.70
2	0.975	0.77	26	28.63
3	0.975	0.63	16	29.38
Average	0.975	0.79	25	29.23
½ load				
Trial 1	0.650	0.58	10	19.63
2	0.650	0.47	8	19.48
3	0.650	0.42	11	22.30
Average	0.650	0.49	9.66	20.47

Loading Capacity	Fuel Consumption Rate (kg/hr)	Char Produced (%)	Combustion Zone Velocity (cm/min)	Specific Gasification Rate (kg/hr-m ²)	Electric Consumption (W-hr)
Full Load	1.59	35.0	1.23	56.81	13.01
¾ Load	2.00	33.6	1.53	113.63	7.79
½ Load	1.90	16.9	1.46	107.95	5.45

Average of 3 runs

Le ventilateur d'arrivée d'air peut être de type 220V16W mais semble beaucoup plus approprié en 12V3W pour une alimentation batterie. Toutefois ce besoin d'électricité est l'inconvénient de ce foyer qui ne peut donc pas être autonome. Une solution pour y remédier consisterait à l'équiper d'une sonde thermoélectrique à « effet Seebeck » produisant un faible courant électrique, suffisant pour alimenter le ventilateur, quand elle est soumise à une source de chaleur.

➤ Exemple du **Juntos Gasifier Stove (concepteur : P.Anderson)**

Ce type de cuiseur est basé sur la même technologie que le *Rice Husk Gas Stove* et diffère uniquement dans son mode constructif, plus proche de l'auto construction. Les pièces qui le composent se trouvent très facilement à un coût très faible. Toutefois la partie réacteur/réservoir est la pièce délicate du fait du ratio très précis air primaire/air secondaire et des températures élevées (400°C pyrolyse, 900°C gazéification). Les contraintes du ventilateur/insufflateur sont les mêmes que celle du *Rice Husk Gas Stove*.

Le Dr. Reed, concepteur du *WoodGas CampStove*, a développé et commercialisé à petite échelle ce modèle au prix de 60US\$. Toutefois il semble possible de pouvoir baisser ce prix de vente à 20US\$ dans le cas d'une production à grande échelle (« *Biomass Gasification: Clean Residential Stoves, Commercial Power Generation, and Global Impacts* », Paul S. Anderson and Thomas B. Reed, 2004).

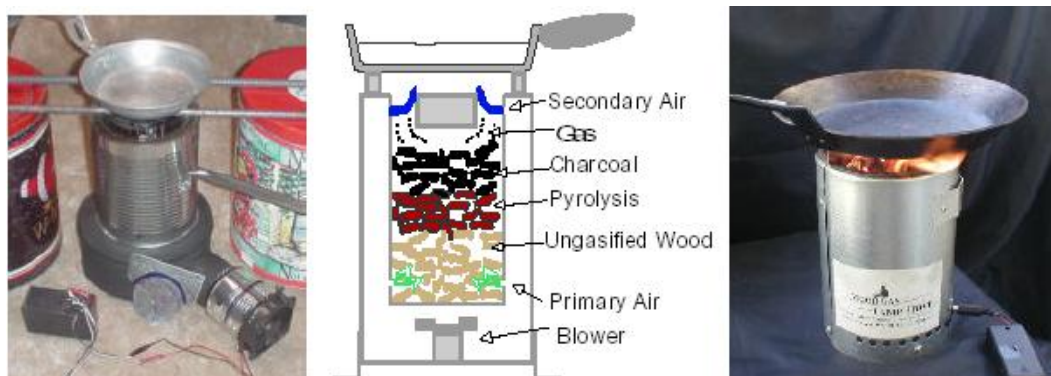


Fig.3.6 : Schéma de principe du WoodGas CampStove et du Juntos B gasifier

Photos du Juntos B gasifier (à gauche) et du WoodGas CampStove (à droite).
 On notera l'avantage de cette conception par rapport au *Rice Husk Gas Stove* vu précédemment qui réside dans le préchauffage de l'air secondaire, dans la double paroi, avant qu'il participe à la combustion.

▪ Caractérisations économiques

Ceci est une évaluation économique basée sur les données de son concepteur (*Alexis T. Belonio, Central Philippine University*) et consiste également à évaluer une éventuelle production de ce foyer. Les coûts donnés ci-dessous sont indicatifs et doivent être actualisés pour le Cambodge. Toutefois ils permettent de se faire une idée quant à cette technologie.




Rice Husk Gas Stove		LPG stove		New Lao stove	
					
DEPENSES	US\$	DEPENSES	US\$	DEPENSES	US\$
Coûts d'investissement		Coûts d'investissement		Coûts d'investissement	
matériaux de construction pour 6 stoves	255	prix minimum constaté d'un stove	8	prix d'un stove	2,5
coût de fabrication pour 6 stoves (main d'œuvre, consommables, énergie)	110	prix d'une bouteille	1		
surcoûts de production (20%)	73				
marge de profit (15%)	65				
taxe (10%)	47				
prix de vente pour 6 stoves	550				
TOTAL INVESTISSEMENT par stove	91	TOTAL INVESTISSEMENT	9	TOTAL INVESTISSEMENT	2,5
Coûts de fonctionnement annuel		Coûts de fonctionnement annuel		Coûts de fonctionnement annuel	
depreciation (durée de vie =3ans)	30	depreciation (durée de vie =2/3ans)	3,5	depreciation (durée de vie =2ans)	1,25
maintenance	9	maintenance	0	maintenance	0
electricité (si raccordé au réseau) sur une base de consommation de 13Wh et un prix de 0,14US\$/kWh	2	electricité	0	electricité	0
Coûts des matières premières		Coûts des matières premières		Coûts des matières premières	
Evaluation du coût annuel en matière première (n'importe déchets combustible de biomasse)	4,35	Evaluation du coût énergétique annuel (butane)	115	Evaluation du coût annuel en matière première (n'importe déchets combustible de biomasse)	82
il est difficile de déterminer un coût exact puisque il est essentiellement fonction du lieu. le coût considéré ici est basé sur le plus élevé constaté, soit 2,5US\$/tonne de bale de riz. la consommation du stove considérée est 1,59kg/heure et pendant 3 heures		1 bouteille de 220g de butane=1US\$, la recharge (250g)=0,175US\$. La consommation du réchaud =150g/heure. Base du calcul, utilisation 3heures/jour. Il est supposé qu'une seule bouteille est achetée, puis rechargée à chaque fois.		le coût considéré ici est basé sur la consommation domestique journalière de 1,8 kg de charbon/jour (CFSP,2005) à 0,125US\$/kg de charbon de bois.	
TOTAL annuel	45,35	TOTAL annuel	118,5	TOTAL annuel	83,25

Fig.3.7 : Comparatif économique foyers cuisson domestique

Cette simulation met en évidence qu'un petit cuiseur à gazéification reviendrait beaucoup moins cher annuellement que deux autres types de foyers très répandus au Cambodge. Cependant les usagers n'ont pas ce recul économique et minimisent en général le coût d'investissement. Par conséquent, ce type de cuiseur n'a que peu de chance d'être adopté.

Par contre s'il est possible de proposer le *Juntos Gasifier Stove* à un prix de 20US\$, incluant une sonde thermoélectrique pour l'alimentation du ventilateur, alors cette technologie deviendrait très concurrentielle. Il pourrait même se vendre un plus cher en considérant une durée de vie accrue.

Impact socio environnemental

Le réel inconvénient de ce type de foyer est l'investissement qu'il nécessite au départ. Cependant si on regarde le bilan financier par an on s'aperçoit qu'il pourrait revenir moins cher qu'un NLS suite aux **économies énergétiques réalisées**. Le challenge socio économique est donc de pouvoir le produire en nombre suffisant pour vendre ce foyer au plus bas prix possible pour réduire l'investissement de départ.

Ainsi de la même façon que le NLS (lancé par le CFSP) la production de ce type de foyer permettrait de **créer des emplois**. Les matériaux nécessaires n'étant pas spécifique à une certaine zone il semble possible de généraliser la production et l'usage de ce type de foyer. De façon très approximative on pourrait envisager qu'une équipe de 5 salariés pourrait produire 20 unités de type *Juntos B* par jour.

Ce type de foyer n'utilisant pas de charbon de bois il permettrait d'économiser 660 kg de charbon/an/foyer (CFSP,2005), soit **1808 kg de CO₂/an/foyer***, par rapport au NLS ou encore 835kg de charbon/an/foyer (CFSP,2005), soit 2288 kg de CO₂/an/foyer*, par rapport au TLS.

Il pourrait être possible de mener une action pilote avec les financements de la vente du carbone économisé pour tenter de faire tomber la barrière psychologique de l'investissement.

*Bases de calcul : 1kg de charbon de bois = 2,74 kg de CO₂

3.3.4- Projet de diffusion d'un brûleur à gazéification

Contexte global

Il a été précédemment établi l'importance des consommations énergétiques des industries, la plus flagrante étant celles des fabriques de briques de construction. Mais de la même façon ce projet peut s'adresser aux petites activités de production utilisant massivement la bale riz.

Il est donc important de s'interroger sur les moyens techniques qu'il est possible de mettre en place pour améliorer les fours actuels et ainsi diminuer leurs consommations. Un nouveau type de four en forme de dôme a fait son apparition dans les briqueteries ces dernières années et semble plus adapté pour accueillir un brûleur à gazéification car sa conception est meilleure que celle des fours plus traditionnels en forme rectangulaire.

Toutefois, cette proposition de projet ne se fonde pas sur un exemple précis et est difficile à caractériser du fait qu'il n'en existe pas au Cambodge. Par conséquent il est difficile d'estimer le coût des modifications du four et d'adaptation du brûleur. Il est également difficile d'évaluer la réduction de temps de cuisson que cela va générer. Une étude de faisabilité plus poussée devra être menée pour compléter la caractérisation technico-économique.

Localisation

Ces fours en dôme sont conçus pour utiliser de la bale de riz et se trouvent par conséquent en grand nombre sur la route entre Pursat et Battambang, région très rizicole. Les petites productions utilisant la bale de riz sont également dans les **provinces de Kampong Chhnang et de Battambang**.

Caractérisation technico-économique

Une application de gazéification pour utiliser les gaz combustibles directement dans un brûleur, plutôt que dans un moteur, présente un avantage technique : il n'est pas nécessaire de refroidir et de filtrer ces gaz avant le brûleur.

Cette technologie est identique à celle du foyer à gazéification pour la cuisson domestique présenté précédemment, seule son échelle change. Le principe est identique.



The Fuel Reactor Assembly

Le modèle ci-contre (25cmx1m) a été développé, par A.T.Belonio, pour alimenter deux fours d'une boulangerie aux Philippines, et est caractéristique de celui à mettre en place pour les petites productions au Cambodge.

Il se compose des mêmes organes que le petit foyer à la différence que le brûleur ne se situe pas sur le gasifier mais dans le four. Ce sont des tuyaux qui amènent les gaz jusqu'au brûleur. L'unité se compose de deux réacteurs fonctionnant alternativement par tranches de 30 à 40 minutes, permettant ainsi un fonctionnement en continu. Un interrupteur permet de régler la vitesse des insufflateurs d'air pour adapter la taille de la flamme.

L'investissement pour ce brûleur à gazéification est d'environ 600US\$ et son coût de fonctionnement est d'environ 0,5US\$/heure.

Ci-dessus : photo de l'unité composée de deux réacteurs. On peut voir les interrupteurs (en blanc entre les deux insufflateurs verts à la base de chaque réacteur) pour changer la vitesse des insufflateurs.

Impact socio environnemental

Avec l'installation d'un brûleur à gazéification performant il va être possible de **diminuer les consommations** de bale de riz, de diminuer la durée de cuisson et ainsi de pouvoir **augmenter la production**. Une **activité économique** de production de ce gasifier/brûleur doit également être mise en place.

3.4- Projets de fabrication de briquettes de charbon

Ces projets visent à produire un combustible pouvant venir se substituer au charbon de bois pour la cuisson domestique. Le but est de produire des briquettes de charbon issues de la carbonisation de déchets/résidus de biomasse. Tout le challenge est alors d'introduire ces briquettes à un prix inférieur ou égal à celui du charbon de bois.

3.4.1- Caractérisation technico-économique d'une unité basée en milieu rural :

Contexte global

La cuisson domestique ayant un impact majeur sur le problème de déforestation, le CFSP s'est déjà bien attaqué à ce problème avec le lancement de deux projets antérieurs:

- D'une part la diffusion du NLS, foyer au rendement amélioré, qui permet une économie de 20% de charbon de bois/NLS.
- D'autre part avec le lancement de la production de charbon de bois renouvelable qui permettra d'ici 2012 de réduire de 10% la consommation de charbon de bois non renouvelable.

Tout l'intérêt de ce projet est donc de continuer sur cette voie en proposant un charbon de substitution.

Localisation

Ce type de projet doit être mené à proximité des sources de déchets/résidus de biomasse et, à priori, **à proximité des villes** puisque ce sont les endroits où la consommation de charbon de bois est importante. Toutefois les villages situés dans la grande périphérie des villes en utilisent aussi beaucoup.

Il y a deux manières d'obtenir la matière première carbonisée :

- La première consiste à collecter des déchets de biomasse et de les carboniser dans un four spécifique.
- La seconde méthode de fabrication consiste à valoriser les résidus d'une unité de gazéification vue précédemment. Cette méthode évite la construction d'un four à pyrolyse et diminue le temps de fabrication. Cependant une telle unité doit être implantée à proximité d'une ou plusieurs unités de gazéification il faut un certain nombre de gasifieurs pour avoir une quantité de matière première suffisante.

Deux sources ont été localisées dans la **province de Battambang**.

Un comparatif va être établi sur la base de l'unité de fabrication de briquettes de charbon mené par l'association ASDD dans la province de Battambang.

▪ **Matières premières**

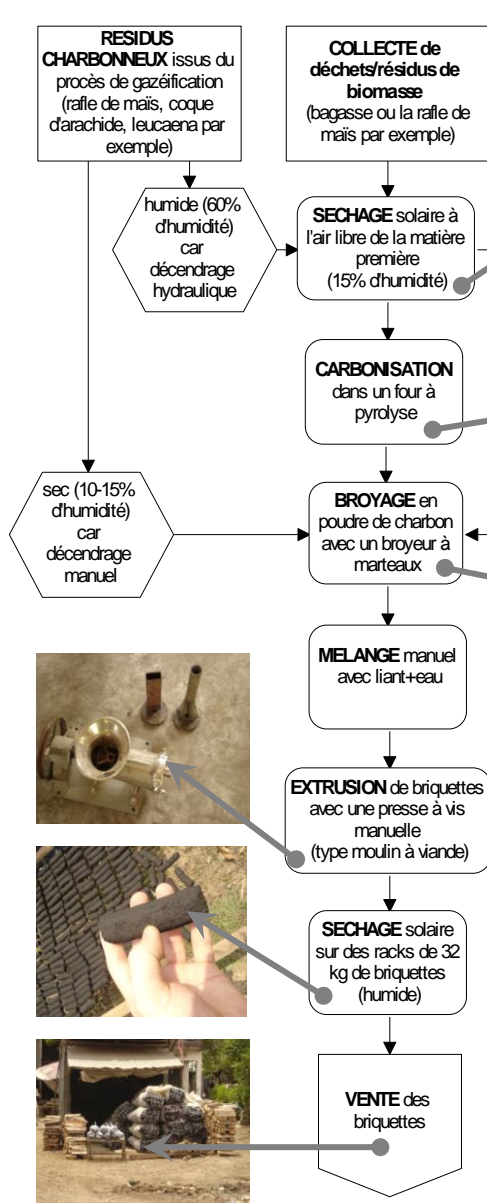
La transformation en charbon dans un four prend beaucoup de temps et les rendements de transformation (pour passer de l'état de biomasse à l'état de charbon) sont faibles (15% pour la bagasse, 20% pour la fibre de coco et 50% pour la rafle de maïs). Sachant qu'un cycle de combustion prend environ 1 heure dans un petit four à pyrolyse (capacité de 54 kg de bagasse sèche/cycle, temps de refroidissement inclus), c'est une entreprise qui demande plusieurs fours et beaucoup de main d'œuvre pour arriver à une production journalière raisonnable.

L'association ASDD (**Cf. CR de visite, Annexe C**) utilise depuis peu une partie des résidus humides d'une centrale à gazéification de 75kW (dual fuel) produisant environ 340kg de charbon /jour (charbon de rafle de maïs ou de coque d'arachide ou de *Leucaena*) à 60% d'humidité. Ce charbon est vendu 1US\$/tonne.

Une centrale comme celle de 7kW (*projet SME*) produit des résidus secs de très bonne qualité (6% d'humidité, 89,6% de carbone fixe -source : *Iuacob, IUT de Tarbes, France, 2006-*), gratuits, pouvant produire environ 4kg de briquettes (sèches)/heure de fonctionnement. Il est donc possible de produire 32kg de briquettes/jour (8h de fonctionnement) uniquement avec cette centrale. Cette quantité est toutefois très faible mais peut être combinée avec une production par four pyrolytique.

Caractérisation technique

Fig.3.8 : Schéma d'une filière de fabrication de briquettes de charbon à partir des deux sources de matières premières, carbonisée ou non



La production actuelle varie entre 500 et 700 kg/semaine selon la météo, en n'utilisant que des résidus charbonneux.

Problématiques d'une telle filière pour augmenter la production :

- Le transport prend beaucoup de temps et d'argent lorsque les sources d'approvisionnement ne sont pas centralisées. Il est nécessaire d'avoir un camion.
- Le mélange manuel poudre de casava+eau+poudre de charbon prend trop de temps (40min pour 15/20kg de mix).
- Le séchage des briquettes à l'air libre prend trop de temps (au moins 2 fois plus de temps en saison humide qu'en saison sèche où il faut 2jours).

Afin de pouvoir augmenter cette production à son maximum théorique (2500 kg/semaine), l'extrudeuse à vis doit être changée par le modèle supérieur, à entraînement mécanique ou électrique, et un séchoir doit être construit. Il est alors intéressant que ce séchoir fonctionne avec un petit brûleur à gazéification dont les résidus pourraient être intégrés dans la fabrication.

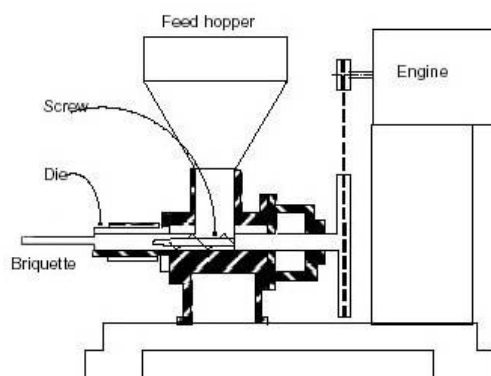


Schéma de principe d'une presse à vis à entraînement mécanique

▪ **Caractérisation et simulation économique**

Production de briquettes de charbon (Association ASDD), 700kg/semaine	
DEPENSES	US\$
Coûts d'investissement de départ	
moteur thermique 17kW+broyeur à marteaux+presse à vis	700
four à pyrolyse	300
	1000
TOTAL INVESTISSEMENT	
Coûts de fonctionnement annuel	
maintenance mensuelle	240
salaires de 4 travailleurs (80US\$/mois/salarié)	3840
fonctionnement mensuel: essence (5l), diesel (20l), liant (cassava et résine)	420
location d'un camion (10US\$/jour, 1 fois/semaine)	520
location du lieu	1080
dépréciation de tout le système	500
Coûts des matières premières annuel	
résidus charbonneux (1US\$/tonne, 4tonnes/mois)	48
TOTAL annuel	6648
RECETTES	US\$
Prix de vente et de distribution	
Briquette de charbon de rafle de maïs et de charbon de bagasse vendu 0,075US\$/kg	3120
TOTAL annuel	3120
Bilan annuel [US\$]	-3528
Si la briquette était vendue au prix du charbon de bois, soit 0,125US\$/kg, cela permettrait un revenu annuel de 5200US\$	

Simulation économique pour une augmentation de la production: 2500kg/semaine	
DEPENSES	US\$
Coûts d'investissement de départ	
moteur thermique 17kW+broyeur à marteaux+presse à vis	750
camion	3500
séchoir (bâtiment)	1000
brûleur à gazéification 4kW	1500
four à pyrolyse	300
	7050
TOTAL INVESTISSEMENT	
Coûts de fonctionnement annuel	
maintenance mensuelle	3000
salaires de 6 travailleurs (80US\$/mois/salarié)	5760
fonctionnement mensuel: diesel, liant (cassava et résine), rafle de maïs ()	1500
location du lieu	1080
dépréciation du camion (3 ans)	1200
dépréciation de tout le système	1525
Coûts des matières premières annuel	
résidus charbonneux (1US\$/tonne, 15tonnes/mois)	180
matière première gasifier (rafle de maïs) 4kg/h, 8h/jour	83
TOTAL annuel	14328
RECETTES	US\$
Prix de vente et de distribution	
Briquette de charbon de rafle de maïs et de charbon de bagasse vendu 0,125US\$/kg production = 500kg/jour, 260 jours/an	16250
TOTAL annuel	16250
Bilan annuel [US\$]	1922

Fig.3.9 : Comparatif économique pour la fabrication artisanale de briquettes de charbon

Il est important de préciser que l'association ASDD a perçu 35000US\$ de l'UNDP pour développer ce projet. N'ayant commencé que depuis peu de temps la production de briquettes, elle est dans une phase de développement, mise en œuvre, résolution de problèmes, ce qui explique que le bilan puisse être négatif alors que la production continue. De plus il s'agit là aussi d'une démarche commerciale : faire son réseau de clients et, petit à petit, monter les prix pour atteindre la rentabilité.

Impact socio environnemental

Une brique de charbon de qualité présente de nombreux avantages par rapport au charbon de bois : elle n'est pas salissante, elle peut avoir un PCI sensiblement identique, sa combustion dure plus longtemps, elle n'émet aucune projection, elle n'émet pas ou peu de fumée, son prix est équivalent, sa bonne cohésion et son aspect lui confèrent un signe de qualité. Néanmoins, d'un point de vue environnemental, son plus gros avantage reste son origine puisqu'elle est faite à partir de résidus/déchets non valorisés.

Une telle production est **créatrice d'emplois locaux**. En supposant que la production puisse atteindre 2500kg/semaine, en plus d'employer 6 personnes à plein temps, elle permettrait d'économiser 130 tonnes/an de charbon de bois, soit près de **356 tonnes de CO₂/an**. Elle permet également une réduction des déchets et participe à l'économie locale.

3.4.2- Caractérisation technico-économique d'une unité basée à Phnom Penh :

Contexte

Actuellement l'ONG Française PSE (Pour un Sourire d'Enfant) vient en aide aux enfants vivants sur la décharge de Phnom Penh en leur apportant de la nourriture, des soins et un rattrapage scolaire. Elle est actuellement basée à côté de la décharge où vivent notamment ces enfants. La ville de Phnom Penh a entrepris de changer de site pour sa décharge en 2007, laissant derrière elle toute une population qui vivait de cette décharge et qui ne peuvent pas se déplacer. L'idée de PSE est donc de trouver de nouvelles activités économiques proche de « l'ancienne décharge » pour ces personnes.

Localisation

Un projet de fabrication industrielle de briquettes de charbon pourrait peut-être être mis en place à côté de cette « ancienne » décharge.

Il semble que la compagnie de collecte d'ordure CINTRI soit maintenant d'accord pour collecter séparément la bagasse et la fibre de coco des ordures ménagères. Ainsi en assurant le transport et la collecte de matières premières, donc un débit permanent, il devient intéressant d'implanter une unité de fabrication de briquettes de charbon à Phnom Penh.

▪ Matières premières

Etant donné l'importance des gisements de bagasse et de fibre de coco sur Phnom Penh et la forte demande en charbon de bois pour la cuisson domestique sur cette ville, il semblait logique d'étudier la possibilité d'y localiser une unité industrielle. Toutefois, la collecte de ces déchets demeure un problème d'envergure et nécessite forcément la collaboration de l'entreprise de collecte d'ordures CINTRI avec un ou deux de ses camions attitrés.

Selon CINTRI, un camion de ramassage consomme 660 litres de diesel/mois, soit 455US\$/mois (0,69US\$/litre), le salaire du chauffeur est de 120US\$/mois et celui des 4 ramasseurs est de 50US\$/mois/ramasseur. Soit un coût de 775US\$/mois/camion.

En considérant la capacité de chargement d'un camion de 15m³ il est possible de charger 3,75 tonnes de bagasse (compactée)/trajet/jour. Le coût maximum de la bagasse est donc de 6,9US\$/tonne si l'on ne considère qu'un trajet par jour. Si l'on considère deux trajets journaliers (consommation de diesel x2) alors le coût tombe à 5,46US\$/tonne.

Il est rappelé que le gisement minimum de bagasse a été estimé à 20 tonnes/jour en saison humide et qu'il semble raisonnablement possible d'en collecter au moins la moitié.

Les premiers tests de combustion de brique de charbon de bagasse montre que son contenu énergétique est très proche de celui du charbon de bois.

Le gisement de fibre de coco est également très important mais aucun test n'a encore été mené sur une même brique fabriquée à partir de fibre de coco. Ceci dit ce déchet semble être aussi un bon produit pour faire des briques.

▪ Caractérisation technique

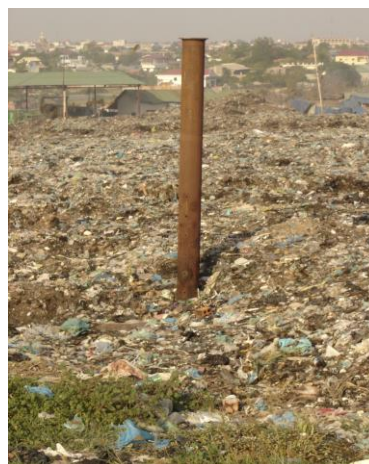
En se référant au rendement de carbonisation de la bagasse, 3,75 tonnes de matière fraîche donnent environ 500kg de charbon. La capacité minimale d'une unité industrielle est donc de 500kg/jour (les liants et additifs ne représentant que 10-15% de poids supplémentaire).

La ressource et le potentiel de ramassage étant beaucoup plus importants, il est intéressant de considérer une production plus importante. Ainsi, en considérant 2 camions (1 pour la bagasse et 1 pour la coco) faisant chacun 2 trajets/jour il est possible de collecter 7,5 tonnes de bagasse/jour et 8 tonnes de coco/jour.

Donc il paraît possible de produire 1,2 tonne de briques de bagasse/jour et 1,6 tonne de briques de coco/jour, soit une capacité de 3 tonnes de briques/jour.

Toutefois, cela représente un volume de stockage, une unité de séchage et des capacités de carbonisation très importantes avant de pouvoir obtenir la matière première conditionnée. Il faudra vraisemblablement trouver un compromis entre la capacité de production et les moyens techniques à mettre en œuvre.

Le procédé pour fabriquer la brique reste exactement le même que ce soit pour une production de 100kg/jour ou 3000kg/jour, seule l'échelle change. Une option particulièrement intéressante est le fait que le site de la décharge est équipé en tubes récupérateurs de gaz, non utilisés jusqu'alors, donc il est envisageable d'utiliser le méthane comme énergie.



Vue sur l'un des tubes destinés à évacuer les gaz de décharge produits par les déchets enfouis. Il n'y a actuellement aucune valorisation de ces gaz, notamment du méthane.

Toute la caractérisation qui suit concerne une unité de 500 kg/jour minimum.

Séchage (raw material preparation)

Ce sont 15m³/jour de bagasse à 60% d'humidité qu'il faut sécher et ramener à 18% d'humidité. Un séchoir hybride solaire/brûleur à gaz peut être mis en place. Il pourrait fonctionner soit au gaz de décharge, avec environ 30kg/jour de méthane, soit peut être avec les gaz issus des fours à carbonisation (des recherches sont en cours).



Vu sur un plateau de séchage des briquettes

Séchage-conditionnement des briquettes (briquette drying-packaging)

Les plateaux de séchage sont en grillage métallique sur un cadre bois et mesurent 50cm de large sur 70 cm de long. La capacité est d'environ 1,2kg de briquettes sèches/plateau. Les plateaux sont supportés par des racks de 1,1m de large x1,5m de long x1,8m de haut. Chaque rack comportant 80 plateaux, il faudra 8 racks. Un autre jeu de 8 racks est nécessaire pour assurer une production en continue. Le système de séchage est du même type que pour la matière première. La consommation de méthane est estimée entre 30 et 50kg/jour et l'électricité pour la ventilation à 3kWh/jour.

Les briquettes doivent ensuite être conditionnées par sac de 1kg scellé à chaud pour éviter que

Carbonisation (charring)

Le four est de type « Yoshimura », de dimensions 2,54m x2,54m x1,7, et peut opérer 3 cycles/jour de 180 min (chargement, combustion, refroidissement) pour produire 54kg de charbon/jour. Il faudra donc 10 unités. Ces fours sont fabriqués avec des briques et de la terre. Chaque four nécessite 140 paniers métalliques dans lesquels la matière première sera chargée. Pour opérer les fours en continu il faudra 5 palettes de 140 paniers en plus, soit un total de 2100 paniers. Le gaz de décharge peut également être utilisé pour opérer ces fours, 8kg/four/cycle soit 240-300kg de gaz/jour est nécessaire.



Panier de carbonisation à gauche et vue intérieure sur les marteaux du broyeur à droite.

Broyage (grinding)

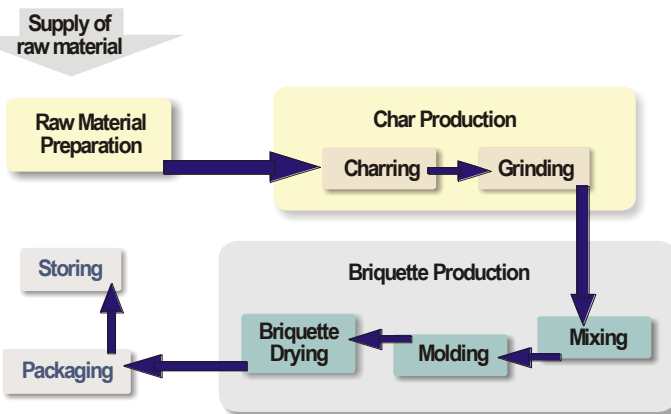
Le broyeur est de type « broyeur à café » (vu précédemment) à entraînement mécanique ou électrique (1kW) d'une capacité de 300kg/jour. Il faut donc 2 unités.

Mixage avec liant (mixing)

Le mixeur est électrique, composé de 2 paires de lames vrillées à un angle différent. Ses dimensions sont 1m x1m x2m de haut. La capacité de chaque unité est de 20kg/heure, soit 160 kg sur une journée de 8h. il faudra 3 unités de 2kW. Le liant est de la poudre de casava (50% du liant) mélangée à de l'argile (25%) et de la résine (25%) chauffée dans de l'eau. La quantité de méthane pour cette cuisson est estimée à 5kg/jour.



A gauche : Vu sur une presse à vis lors de la fabrication de briques de construction



Les consommations totales sont estimées à **350-400kg de méthane/jour** et à **30kWh d'électricité/jour**. Cette électricité peut soit être produite par un groupe électrogène fonctionnant au gaz, soit en se raccordant au réseau.

Extrusion des briquettes (molding)

La presse à vis est la même que pour la fabrication de briques de construction. La trémie doit être élargie et la tête d'extrusion doit être légèrement modifiée. La capacité d'une telle presse est de 15m³/jour (soit environ 1,5 tonne/jour) avec une pression de 10kg/cm². La puissance du moteur électrique est de 16kW.

▪ **Autres technologies de fabrication de briquettes**

Techniquement deux autres méthodes sont intéressantes à considérer pour une production de briquettes de charbon:

➤ **Presse à rouleaux**

Les presses à rouleaux sont de conception simple avec des coûts de fonctionnement faibles. Toutefois, la granulométrie du charbon (nécessité d'avoir une poudre régulière), le système d'alimentation (à vis ou à gravité), la vitesse de rotation des rouleaux et leur synchronisme sont autant de paramètres essentiels pour assurer un bon taux de compactage et une bonne homogénéité.

Pour une production de 900kg/h de berlingots (taille 35mm), une telle presse à rouleaux importée de Thaïlande coûterait 7200 US\$ l'unité avec 700 US\$ de frais de transport. Sa puissance électrique de fonctionnement est donnée pour 5,5kW.

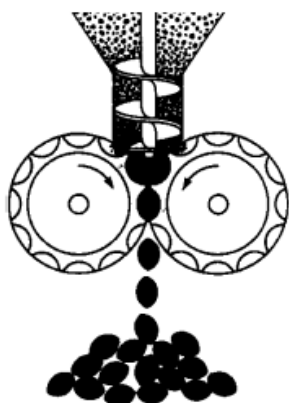


Fig.4 : Schéma de principe d'une presse à rouleaux à alimentation par vis.

Avantages :

- Process continu qui autorise une grande production
- Les coûts de compactage et de consommation électrique sont limités
- Pas besoin de sécher les berlingots après fabrication

Inconvénients :

- Les fuites de poudre peuvent être importante, il faut donc régulièrement la réinjecter dans le bac d'alimentation
- La forme et l'aspect des berlingots peuvent être irréguliers

➤ **Système d'agglomération**

La méthode de l'agglomération consiste à coller entre elles les particules de poudre de charbon avec l'aide d'un liant. L'équipement basique se compose d'un volume en rotation qui, avec les forces centrifuge, gravitationnelle et frictionnelle permet petit à petit la formation de boules de poussière agglomérée.

Actuellement le plus petit modèle techniquement faisable est pour un taux de production de 50kg(dry)/heure.

Avantages :

- Coûts d'investissement modéré
- Les coûts de production sont limités
- Il est facile d'augmenter la production en rajoutant des agglomérateurs

Inconvénients :

- Procédé difficile à bien maîtriser et à conserver stable
- Les boules doivent être séchées avant d'être utilisées

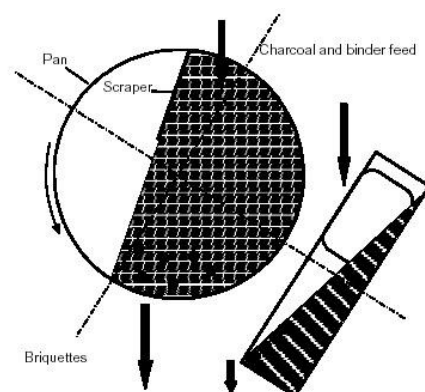


Fig.4.1 : principe de fonctionnement d'un agglomérateur à tambour

ci-contre : photo de boulets de charbon



Fig.4.2: Simulation économique pour une production de briquettes de charbon, capacité minimum: 500kg/jour

DEPENSES	US\$	DEPENSES	US\$
Coûts d'investissement de départ			
construction des bâtiments		Machines et équipements	
bâtiment "Raw material preparation" (zone de stockage, séchage, chargement des paniers)	15900	manutention et sécurité brûleur gaz (estimation) ventilateur	10000
Bâtiment "char production" (zone des fours et broyage, fours inclus)	63735	palettes, paniers manutention et sécurité containeurs broyeur électrique 1kW	12820
Bâtiment "brique production" (zone du mixage, extrusion, séchage)	21200	réchauds à gaz pots, spatules mixeur électrique 2kW presse à vis électrique 12kW convoyeur brûleur gaz (non inclus) manutention et sécurité rack et plateaux générateur 40 kVA+installation	35370
Bâtiment "packaging and storing"	18550	étagères, postes de travail, chaises	1885
Bâtiment administratif	5800	bureaux, chaises	340
TOTAL construction	125185	TOTAL équipement	60415
TOTAL INVESTISSEMENT	185600		

Plusieurs problèmes majeurs apparaissent au travers de cette simulation :

Coûts de fonctionnement première année	
électricité du réseau:900kWh/mois, résine:510kg/mois (0,3US\$/kg), casava:1020 kg/mois (0,2US\$/kg), argile:510kg/mois (0,125US\$/kg)	5050
salaires des 24 travailleurs (détails en ANNEXE)	29040
emballage, publicité, développement du produit	16406
amortissement de l'équipement sur 5 ans	12083
Coûts des matières premières annuel	
3,75 tonnes de bagasse/jour, collecté par CINTRI au coût de 6,9US\$/tonne	6728
TOTAL annuel	69307

RECETTES	US\$
Prix de vente et de distribution	
Brique de charbon de bagasse vendu 0,125US\$/kg (production=260jours/an)	16250
TOTAL annuel	16250

Bilan annuel [US\$]	-53057
RQ: une production de 3 tonnes/jour générerait 97500 US\$/an.	

- L'investissement financier pour la construction du centre est très élevé.
- Malgré le faible coût énergétique annuel, l'investissement financier pour les équipements est lourd. De plus l'exploitation du biogaz de décharge pourrait coûter plus cher et une étude spécifique doit être menée.
- Le problème majeur vient du fait que les ventes couvrent à peine l'amortissement du matériel et sont très loin de pouvoir couvrir les salaires. Pour avoir un bilan nul et ne générer aucune pertes (hors investissement des locaux) il faudrait que la brique soit vendue à environ 0,53US\$, ce qui est **4 fois plus cher que le charbon de bois**.

Même si la production était maximale (3tonnes/jour), l'investissement dans le matériel et dans une partie des locaux serait proportionnel, la production ne serait toujours pas rentable.

Impact socio environnemental

La production industrielle de briquettes de charbon nécessite beaucoup de main d'œuvre et serait un **moteur économique** pour cette communauté vivant autour de la décharge. Ce qui permettrait de répondre en partie à la problématique soulevée par PSE. Cependant cette activité semble économiquement non rentable avec les coûts considérés dans la simulation.

D'un point de vue environnemental la valorisation du méthane produit par la décharge éviterait, comme c'est le cas actuellement, de rejeter ce GES, 21 fois plus nocif que le CO₂ dans le réchauffement climatique, participant à 20% du réchauffement global estimé. (source :IEER, « Institute for Energy and Environmental Research »).

L'utilisation en grandes quantités des déchets de biomasse de Phnom Penh permettrait également de diminuer les volumes de déchets à traiter et ainsi de réduire les coûts de la gestion des ordures « ménagères ».

Comme précédemment, une telle briquette d'origine renouvelable permettrait d'économiser 130 tonnes/an de charbon de bois. Soit environ **356 tonnes de CO₂/an** pour une production de briquettes de 500kg/jour. En considérant une production de briquettes de 3tonnes/jour, alors c'est une économie de 2137 tonnes de CO₂/an.

3.5- Projet de fabrication de briquettes densifiées

Une autre voie de valorisation qui doit être considérée est la fabrication de briquettes de biomasse densifiées pouvant se substituer au bois de feu. Celle-ci peut être soit industrielle, soit artisanale.

3.5.1- Caractérisation technico-économique d'une unité industrielle basée à Phnom Penh :

Contexte global

Globalement, depuis l'interdiction gouvernementale en 1993 de couper du bois public, les quantités de bois de feu se raréfient, et ce, malgré des mécanismes de corruption qui ralentissent ce phénomène. Il devient difficile et coûteux de trouver du bois, laissant présager un avenir très incertain pour ses utilisateurs n'ayant pas trouvé d'alternative énergétique. Cette problématique trouve un parfait écho pour les PME et les industries situées dans les villes et leur périphérie.

Leurs fours de cuisson sont, pour beaucoup, adaptés à un combustible type bois bûche. Par conséquent un combustible type briquette densifiée serait énergétiquement intéressant et permettrait d'éviter dans un premier temps des changements majeurs dans la conception des fours.

Cet argument est important, pour des producteurs qui restent « frileux » à l'idée de changer de technologie sans visibilité.

Localisation

De la même façon que l'unité de production de briquettes de charbon, cette production de briquettes densifiées pourrait se situer proche de la décharge de Phnom Penh. Ainsi l'énergie nécessaire pourrait être le gaz de décharge (il a été précédemment vu l'intérêt que cela suscitait) et cette activité économique pourrait être une proposition supplémentaire pour l'ONG PSE.

Caractérisation technico-économique

▪ Matières premières

Il a été vu l'importance des gisements en bagasse ou fibre de coco à Phnom Penh. Outre le problème de gestion de collecte, il y a trois problèmes relatifs à ces matières premières :

- Le taux d'humidité est très élevé (entre 65% pour la bagasse et 85% pour la fibre de coco fraîche).
- La granulométrie est variable, notamment pour la fibre de coco (entre 200mm x200 x30 et 100mm x20 x3).
- Ces matières sont très fibreuses, donc difficiles à broyer.

▪ Caractéristiques techniques

Le principe de densification sans liant est un procédé industriel bien établi, maîtrisé et économiquement viable dans les pays développés.

Ceci est dû aux faits que l'approvisionnement est bien maîtrisé, que les technologies modernes sont disponibles, que les gros investissements sont possibles et que le prix de vente permet la rentabilité. Dès lors, adapter ce savoir faire industriel dans un pays comme le Cambodge, avec un contexte totalement différent, devient un véritable défi.

Que ce soit pour une production industrielle ou pour une production artisanale de briquettes densifiées, les étapes du procès restent les mêmes. Seuls les équipements, donc les débits de production et la qualité finale du produit varient. Les équipements pour des productions de plusieurs tonnes/jour coûtent plusieurs centaines de milliers de dollars, ce qui reste, à l'heure actuelle, irréalisable au Cambodge. Toutefois, il est intéressant d'étudier la possibilité d'implanter une petite unité industrielle dont les coûts sont modérés.

▪ Point sur les technologies de presses

- **Presse hydraulique à piston**
 - Débit: 50 à 350 kg/heure

Avantages:

- Faible coût d'investissement
- Installation aisée
- Accepte des granulométries plus élevées
- Accepte un taux d'humidité jusqu'à 18%

Inconvénients:

- Qualité du produit souvent aléatoire
- Problèmes de fiabilité
- Coûts d'utilisation élevés

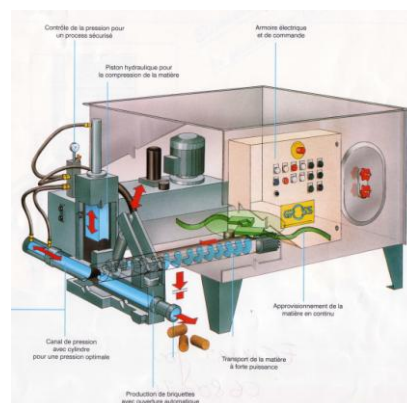


Fig.4.3 : schéma technique d'une presse hydraulique à piston

➤ **Presse à inertie à piston**

- Débit: 350 kg à 2 tonnes/h

Avantages:

- Régularité du produit fini
- Matériel fiable

Inconvénients:

- Utilisation pour de gros volumes
- Investissement important
- Encombrement

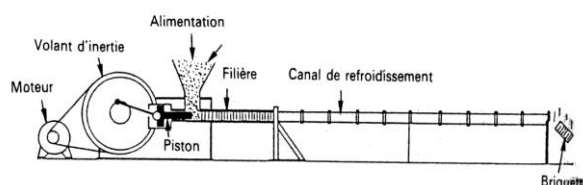
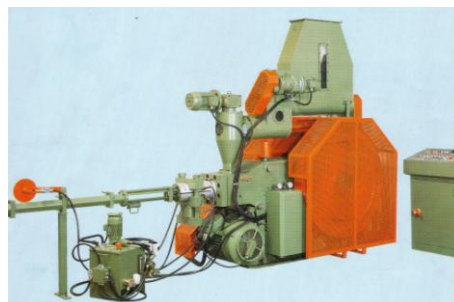


Fig.4.4 : schéma de principe d'une presse à inertie à piston

Ci-dessus : photo d'une presse à inertie à piston. Le canal de refroidissement (entre 5 et 10m) empêche le gonflement et la destruction des briquettes sous la pression interne de la vapeur d'eau produite lors de l'échauffement de la matière.

➤ **Presse à vis**

- Débit: jusqu'à 100kg/heure

Avantages:

- Coûts modérés
- Technologie adaptée aux PED existante

Inconvénients:

- Fonctionne essentiellement avec des granulométries faibles (bale de riz)

Remarque : les matières premières riches en matières minérales (bale de riz par exemple) engendrent généralement des problèmes de fiabilité des presses et notamment au niveau de la vis.

- Problèmes de fiabilité (vis)
- Taux d'humidité <14% (presse à manteau chauffant)

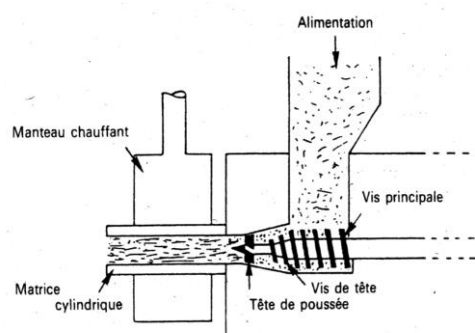


Fig.4.5 : schéma de principe d'une presse à vis

Ci-dessus : photo et schéma de principe d'une presse à vis à manteau chauffant. Ce manteau sert à contrôler la contre pression nécessaire à la fabrication de la briquette

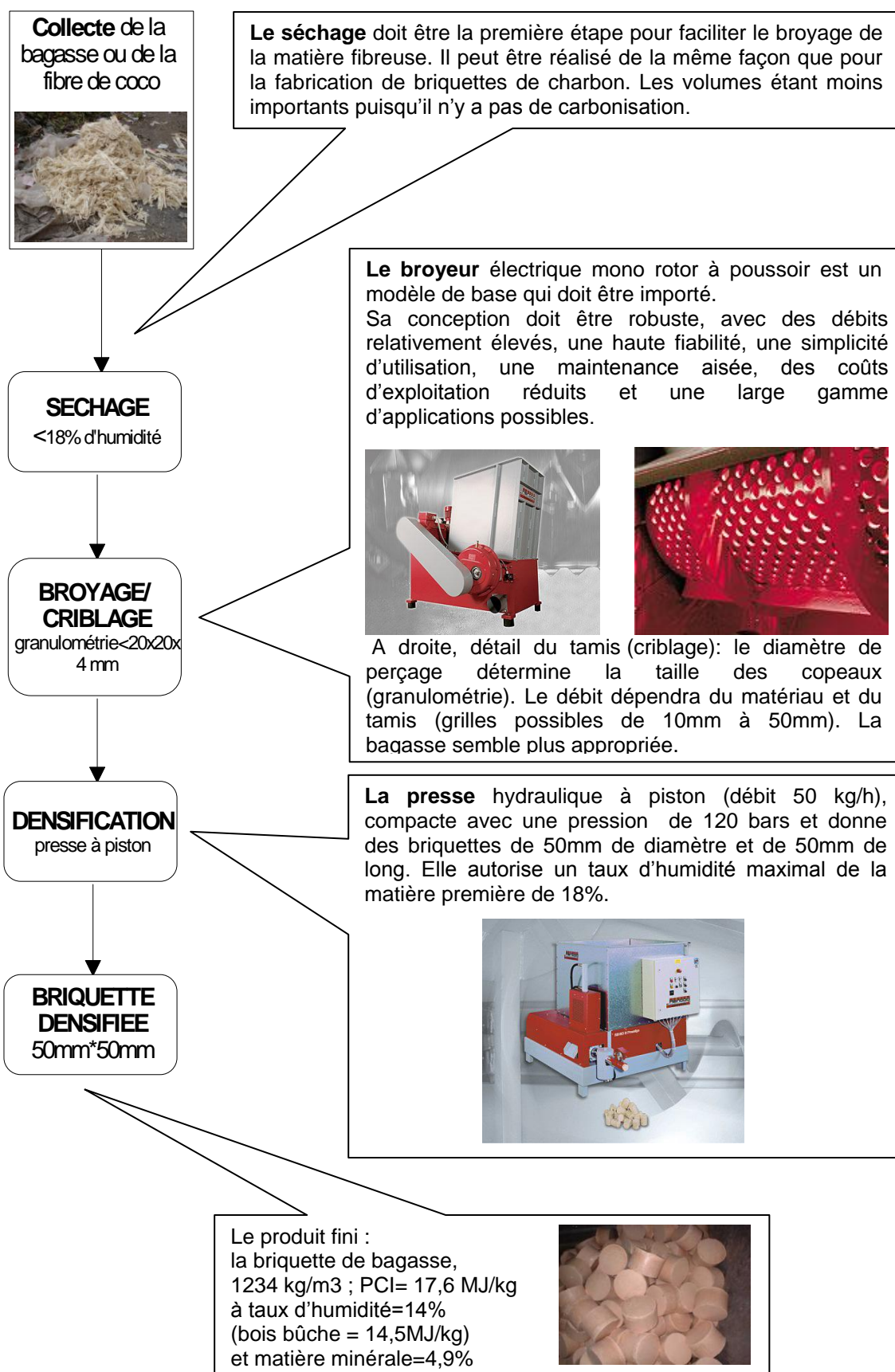


Fig.4.6 : schématisation d'une unité de densification industrielle

Fig.4.7: Simulation économique pour une production de briquettes densifiées, capacité: 400kg/jour					
DEPENSES		US\$	DEPENSES		US\$
Coûts d'investissement de départ					
construction des bâtiments			Machines et équipements		
bâtiment "Raw material preparation" (zone de stockage, séchage, chargement dans conteneurs)	15900		manutention et sécurité brûleur gaz (estimation) ventilateur		10000
Bâtiment "briquelette production " (zone du broyage, densification)	21200		broyeur monorotor à poussoir 11kW		18500
			presse hydraulique 7kW, capacité 50kg/heure		17800
			générateur 40 kVA+installation		15000
Bâtiment "packaging and storing"	18550		étagères, postes de travail, chaises		1885
Bâtiment administratif	5800		bureaux, chaises		340
TOTAL construction	61450		TOTAL équipement		63525
TOTAL INVESTISSEMENT		124975			
Coûts de fonctionnement première année					
électricité du réseau:3600kWh/mois		8640			
salaires de 13 travailleurs		26880			
emballage, publicité, développement du produit		16406			
amortissement de l'équipement sur 5 ans		8747			
Coûts des matières premières annuel					
500 kg de bagasse/jour, collecté par CINTRI au coût de 6,9US\$/tonne		897			
TOTAL annuel		61570			
RECETTES					
Prix de vente et de distribution		US\$			
Briquelette densifiées vendu 0,125US\$/kg (production=260jours/an)		13000			
TOTAL annuel		13000			
Bilan annuel [US\$]		-48570			
0,125US\$/kg est le prix du charbon de bois qui est plus cher que le bois. Cependant même à ce prix la briquelette densifié n'est pas rentable.					

Globalement, les mêmes problèmes apparaissent au travers de cette simulation que dans celle pour la fabrication de briquettes de charbon:

- L'investissement financier pour la construction du centre est très élevé.
- Le coût de l'électricité est lourd.
- Le problème majeur vient toujours du fait que les ventes couvrent à peine l'amortissement du matériel et sont très loin de pouvoir couvrir les salaires.

Pour avoir un bilan nul et ne générer aucune pertes (hors investissement des locaux) il faudrait que la briquelette soit vendue à environ 0,60US\$, ce qui est **4,8 fois plus cher que le charbon de bois et 8 fois plus cher que le bois.**

Toutefois le contenu énergétique de cette briquelette est supérieur (entre 15 et 20% de plus) au bois de feu. Ceci cumulé au fait que le prix du bois est en train d'exploser, certains utilisateurs seraient prêt à l'acheter plus chère. Cependant un tel combustible n'est pas encore économiquement intéressant.

Impact socio environnemental

Cette fabrication industrielle permettrait de proposer aux petites activités de production de Phnom Penh **une alternative au bois**. Ainsi leur permettre de pérenniser leur activité économique tout en créant une nouvelle activité autour de la décharge. De cette manière ce serait un **moteur économique local** qui permettrait par ailleurs **d'économiser 126 tonnes de bois/an** (par comparaison du contenu énergétique), soit une économie de **72 tonnesCO₂/an*** pour la production considérée.

(*calcul selon méthodologie SSC IIG du CDM : 0,57kgCO₂/kg bois non renouvelable)

Cependant la mise en place d'une unité industrielle n'est actuellement pas rentable mais le deviendra sûrement dans les années à venir. **Une fabrication artisanale semble plus approprié au contexte actuel** et permettrait d'amener petit à petit à l'utilisation de ce nouveau combustible.

3.5.2- Caractérisation technico-économique d'une unité artisanale :

Contexte global

Il semble donc intéressant de persévérer dans cette voie de valorisation en considérant une production plus artisanale. Le produit a déjà fait ses preuves, en termes techniques et économiques dans plusieurs pays en développement.

A l'heure actuelle, l'ONG Népalaise FoST (Foundation for Sustainable Technologies) travaille sur le développement artisanal de la densification en vue d'en faire une activité économique au Népal. Plusieurs contacts avec son directeur ont permis d'établir qu'ils avaient un prototype de presse manuelle, qu'ils souhaitaient développer un modèle mécanique en partenariat avec le GERES Cambodge pour un projet d'intérêt commun.

Localisation

Un projet pilote ne nécessite pas des gisements de biomasse très importants et très spécifiques et peut donc être implanté en milieu rural comme en milieu urbain.

Par ailleurs ce peut être également un projet à développer dans un cadre de sensibilisation pédagogique dans des écoles.

Caractéristiques technico économiques

▪ Matières premières

De telles briquettes densifiées peuvent être fabriquées avec différents déchets de biomasses dont, bien sûr, la bagasse. L'avantage de cette matière première est qu'elle se sèche facilement, est abondante en ville et en campagne.

En outre, elle possède des caractéristiques proches de celles du bois. Son broyage, une fois sèche, reste cependant à expérimenter.

Un broyage grossier et des pressions moins importantes avec des presses manuelles qu'avec des presses industrielles nécessitent dans la plupart des cas l'utilisation d'un liant. Ce liant peut être de la résine mais peut aussi être fait à partir de bagasse ou de papier broyé qu'on laisse tremper.

Un autre procédé d'agglomération utilise des résidus tels que la bale de riz broyée, mélangée à de l'eau et de l'argile.

▪ **Densification avec une presse**

Techniquement il est possible de faire des presses manuelles, de type presses à briques d'argiles, avec différents moules à des coûts faibles, de l'ordre de 120US\$/presse.

L'inconvénient majeur de ces presses est leur faible débit de production et un besoin de main d'oeuvre important.

Cependant dans un contexte comme celui du Cambodge, un fort besoin en main d'oeuvre se révèle être un moteur économique local et donc un avantage.



Ci-dessus : photo d'un exemple de presse manuelle de technologie appropriée (ECHO, 2001). Elle possède un grand bras de levier pour atteindre de fortes pressions et illustre bien le principe de fonctionnement.

A droite : exemple de briquette densifié, sans liant, composée de plusieurs déchets de biomasse et de plastique (Cf. CR d'essais Annexe C). L'aspect est caractéristique d'une briquette densifié avec une presse manuelle.

▪ **Densification par agglomération**

Il n'a pu être recueilli que peu d'informations sur ce procès de valorisation au moment de la rédaction de ce rapport. Il est tout de même intéressant de le considérer au travers du projet pilote mené, par des chercheurs de Gembloux, au Sénégal où la problématique du bois énergie est la même, sinon pire, qu'au Cambodge.

Le procès s'effectue en trois phases :

- Broyage de la bale de riz et mélange de celle-ci avec de l'eau et de l'argile qui sert de liant.
- Granulation par agglomération
- Séchage des boulets combustibles obtenus



L'agglomérateur permet de choisir la granulométrie du boulet combustible, ce qui permet de l'adapter à l'utilisation.

*A droite : photo du prototype de l'agglomérateur
A gauche : photo de boulets de bale de riz, combustible appelé « Bioterre ».*

Une unité de production a été implantée au Sénégal et ce combustible y est vendu 0,12US\$/kg (60FCFA/kg). Cela semble très intéressant dans la mesure où il est moins cher que le prix du charbon de bois au Cambodge (0,125US\$/kg).

En effet, selon une enquête menée auprès d'une trentaine de ménagères Sénégalaises, 90% d'entre elles accepteraient d'utiliser les boulets densifiés « Bioterre » à la place du charbon de bois.

Toutefois, il semble que les ménages doivent d'abord acquérir des fourneaux adaptés, au prix actuel de 13,2US\$ (7000 FCFA).

Un tel procédé semble donc être intéressant à tester au Cambodge pour valider le principe et essayer d'obtenir des coûts plus faibles en vue d'une large diffusion, s'attaquant ainsi au marché que représente la cuisson domestique.

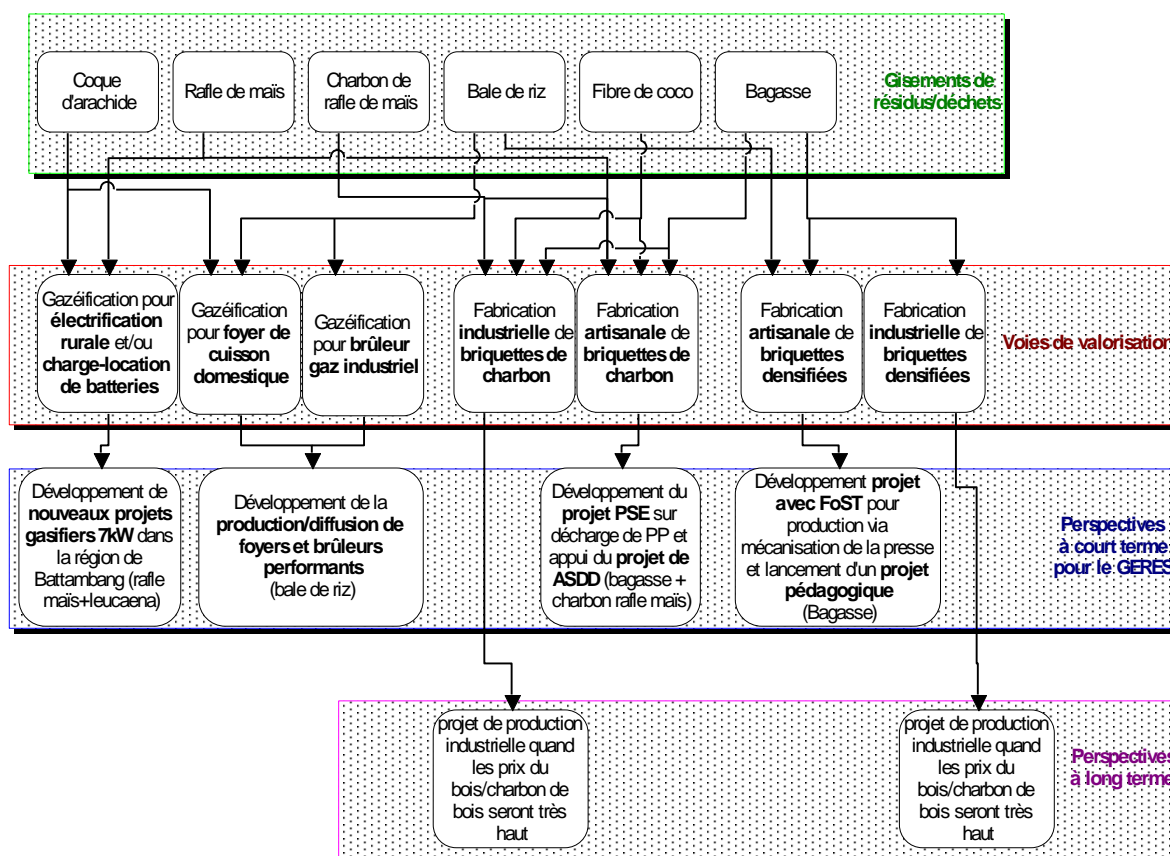
Impact socio environnemental

La densification artisanale est actuellement plus appropriée au contexte puisqu'elle nécessite de faibles investissements et de la main d'œuvre. Ainsi cela permettrait de **créer de l'emploi**, de lancer un nouveau combustible et préparer les utilisateurs à son utilisation avant un lancement éventuellement industriel.

De plus cela permettrait **d'économiser du bois tout en valorisant des déchets**. Par ailleurs, les responsables du projet « *Bioterre* » au Sénégal affirment que 1000 tonnes de balle de riz peuvent préserver jusqu'à 400 ha de forêt.

3.6- bilan global et perspectives

▪ Fig.4.8 : Tableau récapitulatif et perspectives



Principaux freins actuels pour le développement d'une activité industrielle :

- Investissements de départ élevés
- Prix des combustibles « concurrents » encore trop faibles
- Gestion des matières premières en quantités industrielles à confirmer

Dans le contexte actuel il est préférable de développer plutôt des productions artisanales et des services à but non lucratifs que des grosses productions industrielles.

▪ Fig.4.9 : Tableau bilan

		CRITERES D'EVALUATION					CO2 non émis
		Coût du combustible ou du service	Capital initial	Impact social	Impact environnemental	Impact économique	
VOIES DE VALORISATION	Electrification rurale et recharge de batteries	Réseau : 0,375US\$/kWh Batterie : 0,24US\$/kWh	25350 US\$	- création d'emplois - création d'une coopérative énergétique (sorte de service public local)	- valorisation de résidus - création d'un résidu pouvant se substituer au charbon de bois (via transformation) - réduction de l'utilisation du diesel	- possibilité de créer une filière d'approvisionnement en bois à croissance rapide donc des nouveaux revenus	8 kg/h de fonctionnement + 13,7 kg/h si utilisation des résidus charbonneux pour faire des briquettes
	Locations de batteries	0,3US\$/kWh	18250 US\$				
	Foyer performant à gazéification pour la cuisson domestique	4,35US\$/an (3h de fonctionnement/jour)	<i>Rice Husk Gas Stove</i> : 90US\$ <i>Juntos Gasifier Stove</i> : 20US\$	- création d'emploi pour sa fabrication - cuisson avec flamme et réduction des fumées dans l'habitat	- diminution de la consommation de charbon de bois donc diminution de la déforestation - diminution de la consommation d'énergies fossiles importées à 100%	- coût annuel divisé par 2 par rapport au NLS et par 3 par rapport au petit foyer LPG	1808 kg/an/stove par rapport au NLS et 2288 kg/an/stove par rapport au TLS
	Brûleur industriel à gazéification	-	600 US\$/brûleur Puissance estimée entre 50 et 100kW	- création d'emplois pour sa fabrication	- diminution des consommations	- diminution des coûts d'approvisionnement - éventuellement, diminution du temps de cuisson, augmentation de la production	-
	Fabrication industrielle de briquettes charbon Mini = 500kg/jour	Prix minimum actuel : 0,53US\$/kg (prix du charbon de bois=0,125US\$/kg)	185600 US\$ (bâtiment inclus)	- création d'emplois (23 personnes) autour de la décharge - mise en place d'une collecte urbaine	- diminution des consommations de charbon de bois donc diminution de la déforestation - valorisation de déchets et de biogaz donc diminution des émissions de CH4	But à terme : dégageement de profits	365 tonnes/an
	Fabrication artisanale de briquettes charbon maxi= 500kg/jour	0,125US\$/kg	7050 US\$	- création d'emplois - création d'une filière d'approvisionnement et bon complément de la gazéification	- diminution des consommations de charbon de bois donc diminution de la déforestation - valorisation de déchets	- dégageement de profits, 1922US\$/an mais possibilité d'augmenter le prix car briquette de qualité, notamment celle de rafle de maïs	365 tonnes/an
	Fabrication artisanale de briquettes densifiées Maxi=env100kg/j	Maxi au départ : 0,125US\$/kg Puis augmentation si bonne diffusion	Evaluation : <1000US\$ (2 presses, broyeur, séchoir)	- création d'emplois	- diminution des consommations de bois, voire de charbon de bois donc diminution de la déforestation - valorisation de déchets	- dégageement de profits	
	Fabrication industrielle de briquettes densifiées Prod=400kg/j	Prix minimum actuel : 0,60US\$/kg	124975 US\$	- création d'emplois	- économie de 126 tonnes de bois/an donc diminution de la déforestation	- but à terme : Dégageement de profits - alternative énergétique pour les petites activités de production à PP	72 tonnes/an (260 jours de production /an)

4- Application à l'élimination des déchets biomédicaux

4.1- Contexte

Un grave problème de santé publique a été soulevé concernant la gestion des déchets biomédicaux, et plus particulièrement leur élimination, dans les PED. Un projet lancé conjointement par les ONG « Planète Bois » et « GERES » vise à implanter un incinérateur de technologie appropriée, basé sur la postcombustion, permettant une bonne élimination. Le CFSP développant déjà un programme sur les foyers à postcombustion, le Cambodge est pressenti pour mener ce projet pilote.

De plus, un tel incinérateur pourrait être associé à un combustible issu de la valorisation de déchets comme des briquettes densifiées par exemple.

4.2- Préparation de lancement du projet sur Kampong Chhnang

Une étude de pré faisabilité a été menée par trois étudiants de la licence STER (Cf. *Rapport d'étude sur l'incinération des déchets biomédicaux dans les Pays En Développement, O.Enjolras-B.Crespo-A.Hérail, 2006*). C'est dans la continuité de cette étude et de ce projet qu'un état des lieux a été menée sur l'hôpital de Kampong Chhnang au Cambodge pour évaluer avec plus de précision ce site potentiellement pilote.

(Cf. *Rapport sur le management des déchets biomédicaux de l'hôpital de Kampong Chhnang, Annexe F*).

5- Conclusions générales personnelles

L'intégration dans un milieu professionnel différent de celui que j'ai pu connaître jusqu'à présent a été riche d'enseignements.

Le milieu « ONG » dans lequel j'ai pu évoluer durant ces trois mois au Cambodge m'a permis de réaliser que son fonctionnement est relativement identique à celui d'une entreprise de pays développé. Toutefois, il permet un degré de liberté dans l'organisation personnelle, les prises d'initiatives et l'autonomie beaucoup plus appréciable. Dans une certaine mesure, je pense que cela contribue grandement à une très bonne ambiance de travail.

Le fait d'avoir travaillé sur une étude et un sujet peu abordé jusqu'à présent a demandé beaucoup de travail et de persévérance qui, avec un peu de recul, sont très gratifiantes d'un point de vue professionnel. Ceci est d'autant plus vrai que cette étude est le fondement pour le développement futur des projets proposés.

J'ai, par ailleurs, beaucoup apprécié les aspects d'expertise technique et de communication de terrain qu'il a fallu mettre en œuvre lors de mon travail en alternance entre terrain et bureaux.

J'ai également pu me rendre compte combien un projet peut demander de temps et d'investissement personnel avant d'en voir les résultats concrets. C'est très intéressant de réaliser qu'un tel projet, aussi technique soit-il, nécessite impérativement d'intégrer des considérations sociales et culturelles pour espérer avoir des résultats positifs.

D'un point de vue relationnel, la maîtrise de l'anglais fut un point capital notamment dans le milieu professionnel international. La pratique journalière a mis en évidence certaines lacunes ou difficultés qui me motivent d'autant plus à persévérer dans un milieu anglophone, point incontournable de tous projets internationaux.

D'un point de vue humain, la coopération avec les Khmer et les autres expatriés fut très agréable, productive et enrichissante car basée sur un échange mutuel des méthodes de travail.

J'ai été content de les mettre à l'épreuve dans un cadre différent et pour un objectif que je considère d'intérêt général.

Je tiens encore à remercier le GERES et toute l'équipe locale du CFSP pour m'en avoir donné l'opportunité et les moyens.

BIBLIOGRAPHIE

- **Roll press design—influence of force feed systems on compaction**
P. Guigon, O. Simon
Université de Technologie de Compiègne, France
- **Energy from Biomass in Cambodia**
Freddie Verwoerd, *December 2001*
- **Survey of Cambodia Power Facilities, JICA 2003**
- **Energy Master Plan Study, NEDO**
- **Study of Electric Power Technical Standards and Guidelines in the Kingdom of Cambodia**
Takuya Takaoka, *JICA February 2003*
- **Technology Packages: Screw-press briquetting machines and briquette-fired stoves**
S. C. Bhattacharya, S. Kumar, *2005*
- **ENERGIE ET BIOMASSE – LA DENSIFICATION**
Pierre LEQUEUX, José Carré, Jacques Hebert, Ludovic Lacrosse et Yves Schenkel
Presses Agronomiques de Gembloux, *1990*
- **RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES IN ASIA**
A Regional Research and Dissemination Programm Development Cooperation Agency (Sida)
- **National Energy Policy Review Cambodia**
COGEN 3, *Decembre 2003*
- **Agro-residue-based renewable energy technologies for rural development**
M. Shyam, Central Institute of Agricultural Engineering, Bhopal, India
- **Using Modern Bioenergy to Reduce Poverty, SEI 2001**
- **Charcoal briquetting by agglomeration**
RV Siemons et P Visser, BTG Biomass Technology Group B.V.
- **Theoretical and practical aspects on the use of LCV-gas from biomass gasifiers in internal combustion engines**
Hubert E. Stassen, Harrie Knoef, BTG biomass technology group B.V.
- **Pyrolyse et gazéification de la biomasse pour la production d'électricité**
CIRAD, *Octobre 2001*

- **SMALL SCALE GASIFICATION SYSTEMS**
H.E.M. Stassen and H.A.M. Knoef, Biomass Technology Group B.V.
- **RICE HUSK GAS STOVE HANDBOOK**
Alexis T. Belonio with "Preface" by Paul S. Anderson, 2005
APPROPRIATE TECHNOLOGY CENTER
*Department of Agricultural Engineering and Environmental Management
Central Philippine University, Philippines*
- **RICE HUSK GAS BURNER FOR BAKERY OVEN**
Alexis Belonio
Central Philippine University
- **T-LUD Handbook**
Paul S. Anderson, and Thomas B. Reed, 2006
- **Biomass Gasification:
Clean Residential Stoves, Commercial Power Generation, and Global
Impacts**
Paul S. Anderson and Thomas B. Reed
Biomass Energy Foundation, USA.
*Prepared for the LAMNET Project International Workshop on
"Bioenergy for a Sustainable Development," 8-10 Nov 2004, Viña del Mar, Chile*
- **Sustainable Energy in Cambodia: Status and Assessment of the Potential
for Clean Development Mechanism Projects**
The Cambodian Research Centre for Development (CRCDD), 2004
- **Sustainability of Improved Cookstoves Production and its impacts in
Cambodia, CFSP**
- **Potentiel bioenergie au Cambodge, Dec2003**
- **An overview of the energy systems, renewable energy options, initiatives,
actors and opportunities in Cambodia,**
Australian Business Council for Sustainable Energy , August 2005
- **Study On Quantity of Sugarcane Residue in Phnom Penh**
Suon Sany, 2001
- **Modification of commercial briquetting machine to produce 35mm
diameter briquettes suitable for gasification and combustion**
R.N. Singh_, P.R. Bhoi, S.R. Patel
Thermo chemical Conversion Division, Sardar Patel Renewable Energy
Research Institute (SPRERI), India

- **COMMUNITY BASED RENEWABLE ENERGY PILOT-PROJECT,**
SME Cambodia
- **SME Newsletter, issue 1 volume 1,**
Décembre 2005
- **Feasibility Study for Community-Based Eco-Businesses from Renewable Energy Generation Systems (bio-fuel, bio-gas, hydropower, biomass, wind, solar)**
Draft Report, GERES *April 2006*
- **Draft Cambodian Energy Sector Strategy,**
SPM- IB, CFSP
- **Char Briquette Project Proposal**
Ywan BOSKORO, CFSP
- **Woodenergy Baseline Study for Clean Development Mechanism,**
GERES *2006*
- **Statistical Yearbook 2003 Cambodia, NIS**
- **Statistical Yearbook 2005 Cambodia, NIS**
- **Cambodia Socio-economic Survey 2004, NIS**
- **A Report of Household Fuel Consumption Test (HFCT) in Cambodia**
Kayeswar M. Sulpya and Chen Cheth
GERES-CFSP, *May 2005*
- **Potential of Char Briomass Briquettes Production in Phnom Penh**
Kayeswar M. Sulpya, CFSP
- **Revue cambodgienne “Green fire”, n°10, Mars 2005**
Asia Regional Cookstove Program (ARECOP), Cambodia Fuelwood Saving Project (CFSP), Centre d’Etude et de Developpement Agricole Cambodgien (CEDAC)
- **“Biomass Briquetting: Technology and practices”**
P.D.Grover et S.K.Mishra
FAO, Bangkok, *avril 1996*

Liste des sites Internet consultés

- COGEN 3 : <http://www.cogen3.net/aboutcogen.html>
- Asean Centre for Energy : <http://www.aseanenergy.org>
- BTG Biomass Technology Group B.V.: <http://www.btgworld.com>
- Cambodia renewable energy & rural electrification:
<http://www.recambodia.org>
- CDRI (Cambodia Development Ressource Institute: <http://www.cdri.org.kh>
- Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique:
<http://www.cnr.ac.ma>
- CIRAD – La recherche agronomique au service des pays du Sud :
<http://www.cirad.fr>
- GasNet – Réseau Européen de la gazéification : <http://www.gasnet.uk.net>
- GRET – Association de solidarité et de coopération internationale :
<http://www.gret.org>
- Ministry of Industry, Mines and Energy, Cambodia :
<http://www.mime.gov.kh>
- Pyrolyse Institute: <http://www.pyne.co.uk>
- Asian Institute of Technology : <http://www.retsasia.ait.ac.th>
- Reseach Projects4 – ARRPEEC I (AIT Bangkok):
<http://www.arrpeec.ait.ac.th>
- Solarch-Suisse: <http://www.solarenergy-thermal.ch>
- Wood Energy Network of Cambodia: <http://www.wenetcam.net/>
- Genentech – Environmental Programs, Data : <http://www.gene.com>
- CIAE – Central Institute of Agricultural Engineering, Bhopal :
<http://www.ciae.nic.in>
- FoST - Foundation for Sustainable Technologies, Nepal :
<http://www.cityinside.com/fost/index.htm>

- Hazardous Waste Clean-Up Information : <http://www.clu-in.org/>
- NEDO – New Energy and Industrial Technology Development Organization : <http://www.nedo.go.jp/>
- SME Cambodia : www.smerenewables.com
- Ministry of Environment, Climate Change Office, Cambodia : www.camclimate.org.kh
- Ministry of agriculture, forestry and fisheries : www.maff.gov.kh
- National Institute of Statistics : www.nis.gov.kh

Fabricants de briquettes de charbon:

- Thailand Charcoal – Manufacturers, Suppliers : <http://www.alibaba.com/countrysearch/TH-suppliers/Charcoal/2.html>

Fabricants gasifiers:



- Netpro Renewable Energy Pvt. Ltd : <http://www.netprorenewable.com/NETPRO>
- Ankur Scientific Technologies Pvt.Ltd : <http://www.ankurscientific.com/>
- DESI power India : <http://www.desipower.com/>
- Radhe Renewable Energy Development Associate : <http://www.radhegroup.com>
- TNAU – Technologies : <http://www.tnau.ac.in/tech/index.html>


Fabricants de presses – broyeurs :

- AD Trading : <http://www.adtrading.fr/>
- C F Nielsen : <http://www.cfnielsen.com/>
- Reinbold : <http://www.reinbold-gmbh.com>
- Rictec : <http://www.rictec.com.sg/>
- Environmental Expert.com. Waste Management & Recycling Equipment : <http://www.environmental-expert.com>
- Leading manufacturers of fuel briquetting machines : <http://www.wealthfromwaste.com/>
- Machinery to produce coco charcoal briquettes from dust charcoal : <http://www.thaisumi.com/en/charcoalextruder.php>

Quelques personnes extérieures rencontrées

 <p>United Nations Industrial Development Organization Promotion of Cleaner Industrial Production in the Kingdom of Cambodia</p> <p>Va Chanmakaravuth Project Assistant</p>  <p>Ministry of Industry, Mines and Energy H/P: 855-16-824 615 #45 Preah Norodom Blvd., Tel/Fax: 855-23-222 076 Khan Daun Penh, makaravuth@online.com.kh Phnom Penh, Cambodia. makaravuth@nodproject.com</p> 	 <p>United Nations Industrial Development Organization Promotion of Cleaner Industrial Production in the Kingdom of Cambodia</p> <p>Nguon Narin M.Sc National Project Coordinator</p>  <p>Ministry of Industry, Mines and Energy H/P: 855-12-918 878 #45 Preah Norodom Blvd., Tel/Fax: 855-23-222 076 Khan Daun Penh, nguon_narin@online.com.kh Phnom Penh, Cambodia. narin@nodproject.com</p> 
<p>MINISTRY OF INDUSTRY, MINES AND ENERGY DEPARTMENT OF ENERGY DEVELOPMENT</p> <p>VICTOR JONA Director</p> <p>#45. Norodom Blvd. Ph./Fax : 855 23 214304 Phnom Penh, CAMBODIA Mobile Ph. : 855 12 918 401 E-mail: j.victor@mobitel.com.kh</p>	 <p>MINISTRY OF ENVIRONMENT</p> <p>Thy SUM Chief of Climate Change Office</p> <p>Ministry of Environment, Tel/Fax: 855-23- 218 370 # 48, Samedoch Preah Sihanouk Blvd. H/P: 855-16-907 764 Chamkarmon, Phnom Penh, E-mail: cceap@online.com.kh Kingdom of CAMBODIA Website: www.climatechange.org.kh</p>
 <p>Municipality of Phnom Penh Phnom Penh Waste Management (PPWM)</p> <p>SAO KUNCHHON Governor of PPWM</p> <p>Office : No. 22. St. 163, Sangkat Veal Vong, Khan 7 Makara, Phnom Penh Tel : 023 991 077, H/P : 016 850 030 Email : kunchhon@hello016-gsm.com : ppwm@camintel.com</p>	 <p>តូច សុវណ្ណា TOCH SOVANNA MBA & M.Sc. Renewables អគ្គនាយកដ្ឋានថាមពល Deputy Director</p> <p>Department of Energy Technique MINISTRY OF INDUSTRY MINES AND ENERGY (MIME) #45, Preah Norodom Blvd, Phnom Penh, CAMBODIA. Mobile:+855-11 959 699 E-mail: tochsovanna@yahoo.com Fax: +855-23 990 602 tsovananna@hotmail.com</p>
<p>INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF CAMBODIA បណ្ឌិត ថាវារិ្តង - ថាវិរិ្តង Dr. Thavarith CHUNHIENG Ph.D., M.E., Ch.E. <i>Food Engineering and Bioprocess Technology</i> DEPUTY DIRECTOR Academic Affairs</p> <p>Bldv. Pochentong, BP 86 - Phnom Penh, Cambodia. Tel : (855) 023 880 370/982 445 Fax : (855) 023 880 369/362 110 H/P: (855) 012 484 910 E - mail : thavarit@itc.edu.kh</p>	<p>INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF CAMBODIA</p> <p>Dr. PHOEURNG Sackona Director</p> <p>Bldv. Pochentong Tel : (855) 23 338 071 BP 86 - Phnom Penh (855) 23 880 370 Cambodia Mob : (855) 11 878 207 E-mail : sackonap@itc.edu.kh sackonap@online.com.kh</p>
<p>Institute of Technology of Cambodia</p> <p>Dr. Davin UY Director of Research and Development</p> <p>BP 86, Pochentong Blvd. Tel: (855) 12 213982 Phnom Penh, Cambodia Fax: (855) 23 880369 www.itc.edu.kh E-mail: Davinuy@itc.edu.kh</p>	<p>INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF CAMBODIA</p> <p>CHREA Rada Head Department of Civil Engineering</p> <p>Bldv Pochentong Tel : (855) 023 880 370 BP 86 - Phnom Penh Mob: (855) 011 816 169 CAMBODIA Fax : (855) 023 880 369 E-mail: rada @itc.edu.kh</p>
 <p>DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE</p> <p>Va Dany Head</p> <p>Area of studies: Environmental health and sanitation, water quality and supply, air pollution and climate change, environmental education, environmental monitoring.</p> <p>Room 112, RUPP Main Building, Russian Confederation Blvd. Phnom Penh, CAMBODIA Tel : 855-11-876-037 Email: vadany@hotmail.com ✕environment.rupp@everyday.com.kh</p>	

 <p>Cambodian Education and Waste Management Organization COMPED</p> <p>Mr. CHAU Kim Heng Director</p> <p>Address : Phoum Rolous, S/K.Choeung Eck, Khan Dong Kor, Phnom Penh P.O Box : 955 Phone : 012 842 387 E-mail : comped@forum.org.kh : kimheng@forum.org.kh</p>	 <p>Community Sanitation and Recycling Organization</p> <p>Bo Sokhann SWM Program Officer</p> <p>Office: No.39, Street 358 Sangkat Toul Svay Prey I Khan Chamcarmom Phnom Penh, CAMBODIA Tel : (855-23) 211 152 H/P : 012 217 745</p> <p>Mailing Address: P.O Box 2015 Phnom Penh 3 CAMBODIA E-mail : csaro@online.com.kh : k_vannith@yahoo.com Visit: www.online.com.kh/users/csaro</p>
 <p>Small and Medium Enterprise Cambodia</p> <p>Leuk Dana BDS (Rural Electricity Specialist)</p> <p>#593, National Road No 5 Gr 12, Phum Rom Chek 4, Khum Rattanak Battambang Province P.O. Box : 614 Tel : (855-53) 730 244 Fax : (855-23) 218 652 H/P : (855-12) 862 400 E-mail : danaieuk@yahoo.com</p>	 <p>SME Renewable Energy Ltd.</p> <p>#92K, St. Russian Blvd, Toul Kork Phnom Penh, Cambodia P.O.Box: 614 Tel : (855-23) 882 354 Fax : (855-23) 882 354 H/P : (855-12) 304 334 E-mail : erik@smerenewables.com Website : www.smerenewables.com SKYPE ID : erikenbo</p> <p>Erik Middellink Project Manager</p>
 <p>Association Supporting Disability for Development</p> <p>Choeurng Choeurn Executive Director</p> <p>Tel: (855) 12 581 932 E-mail: asdpcambodia@yahoo.com</p> <p>Center Address: Thmey Village, Tameun Commune, Thmor Kol District, Battambang Province, Cambodia</p>	 <p>Centre d'Etude et de Développement Agricole Cambodgien</p> <p>Tong Chantheang General Secretary</p> <p>No. 39, Street 528 Sangkat Beung Kok I Khan Tuol Kork B.P. 1118 Phnom Penh CAMBODIA</p> <p>H/P : 855-12 588-884 Tel : 855-23 880 916 Fax : 855-23 885 146 E-mail: chantheang@wenetcam.net Website : www.wenetcam.net</p>
 <p>grad. eng. Jürgen Stäudel freelance graduate engineer</p> <p>constructional engineering & project management sustainable solutions for waste recycling & sewage treatment P.O. Box 955 COMPED, Phoum Rolous, Choeung Eck phone 012 87 52 82 mail to: yu-len@web.de www.wastepicker.de</p>	<p>Bridget McIntosh CDM & Carbon Finance Consultant East Asia</p> <p>Cambodia +855(0)12 452 795 Laos +856(0)207773891 camclimate@online.com.kh</p>



Christophe ZAMBLERA
Directeur

295, route de Launaguet - 31200 Toulouse
Tél. 05.34.40.86.68 - Fax : 05.34.40.69.50
Portable -06.17.27.48.71
e.mail : zamblera@cimaj.com - Internet : www.cimaj.com