DK531222 CD-RP15402

EVALUATION DES PRODUCTIONS MONDIALES DE BAGASSE ET DE RESIDUS DE RECOLTE

DISPONIBILITES POUR LE FUTUR

PROJET ULCOS

Myriam KESSARI
Pierre LANGELLIER
CIRAD-CA

02

Novembre 2005

EVALUATION des PRODUCTIONS MONDIALES de BAGASSE et de RESIDUS de RECOLTE.

Disponibilités pour le futur

6 - MARS 2006

Projet ULCOS

CIRAD-DIST
Unité bibliothèque
Lavalette

Novembre 2005

M.E. KESSARI,
P. LANGELLIER
CIRAD-CA

CIRAD
000079162

Bagasse and Cane Crop Residues Production Assessment

Availability for Future

EXECUTIVE SUMMARY

This report address to one of the ULCOS project aims which was to assess the quantity of residues biomass from sugar cane (bagasse and trashes) available for steel making. Three major data bases were used to do this work : FO LICHT for the world sugar production, FAO for the rough production by countries and UNDP for the production forecasting in 2030.

The first step of this study was to gather the most relevant data related to the aim of ULCOS project and to keep specifically these data within the target of the project. The world production of cane sugar by countries are shown in annex 1. The assessment of the expected production in 2030 is given by continent in the table 6 annex 2.

The assessment of the bagasse tonnage produced is based on the usual ratio of 270 kilos of wet bagasse for one tonne of cane (its variation ranks from 250 to 330 kilos/tonne). The results can be seen on the table 7 annex 3. In this table it appears that 70 countries produced in 2003, 1300 millions tonnes of cane. Taking into account the previous cane/bagasse ratio this leads to a world bagasse production of 365 million tonnes. But 75 % of this volume is required for the factories running energy.

In the frame of the ULCOS project this remaining 25 % would have been expected to be available. Nevertheless, they come into competition with several other industrial uses. This explain why the topic was further to set up the true quantities of bagasse potentially available for the European steel making process.

After sorting the sugar producing countries related to their crushing daily capacities three groups of countries were created (see the table 7 annex 3):

- Group A, the most important producers (20 countries, leaving 77 Mt of non used fresh bagasse).
- Group B, the mid producing countries (31 countries, leaving 6 Mt of non used fresh bagasse).
- Group C, the few producing countries (17 countries, leaving 686 000 tonnes of non used fresh bagasse).

In the group A, in which Brazil as a leader, every countries uses all their available bagasse or at least they have serious projects for the production of electricity or ethanol or even paper for the most frequent demand of biomass utilisation. For these reasons those countries weren't seen as eligible countries in the ULCOS project.

The productions in the group C are too small in very dispersed areas to be retained ; the transportation conditions would be off interest for ULCOS project. Unless to take biomass as a marketed product which price could be negociated, no availabilities can be expected for ULCOS project from these countries.

Finally, in the group C it doesn't exist at this time any recovering project for current non used bagasse. Therefore, these countries might be seen as eligible for the ULCOS project despite their small productions related to the requirements of European steel making (6 million tonnes of bagasse and 1.3 million tonnes of charcoal). However, the lying of these countries on a world map (annex 4) shows clearly the range of their dispersion. Four main production clusters are underlined, Central America, South East Asia, South of Africa and Sudan. Only the both first with respective productions of 2.5 Mt and 1Mt of bagasse would be able to meet ULCOS project with the condition of solving the cost of transport in so long distances.

The trashes collecting was also considered ; most of the producing countries are used to burn the field prior any harvest to deliver clean cane (free of dry tops and leaves) to the factory. Today this process is very criticised for environmental concerns. In the most advanced and productive countries and in the strong urbanised areas this methods is moving more and more toward green harvesting. The mecanisation has made this easier. Therefore, a quick look was made around this concern. At harvest the green and dries trashes may weight around 10 % to 15 % of dry matter versus the fresh harvest of millable cane stalks. The bagasse humidity lies around 50 % ; dry trashes production may roughly be considered as similar as dry bagasse production. Removing from the field this whole dry matter comes in competition of agronomics issues of sustainability.

In fact, by keeping the whole mulch in the field would allow to store in the 0-20 cm soil layer a quantity of organic matter as much as 0.7 tC/ha/year to 1.6 tC/ha/year. The same range of results was found in Brazil, South Africa and Australia. Moreover, the green harvest would avoid rejecting around 35 kg of CH_4 and 0.5 kg of N_2O in the atmosphere at harvest burning.

For information a chapter gives a short outline of the specific orientations of some big sugar producer countries related to various utilisations of waste bagasse. For instance, Brazil which presents a very high production potential of available biomass (around 70 Mt) has ethanol and electricity production projects. China and India have also a big bagasse production but almost totally used in the paper industry or to produce electricity or for animal feeding.

In conclusion, the expected quantities of bagasse and charcoal (6 million tonnes of bagasse and 1.3 million tonnes of charcoal) expected from the sugar cane cropping would appear too small to meet ULCOS purposes unless to solve some transport issues

Liste des tableaux et figures

Figures 1,2, ,3 et 4 : Production de canne à sucre par pays en 2003 (d'après S. Volper, 2004)

Figure 5 : Productions mondiales de cannes 1979-2030.

Tableau 1 : Production africaine de canne à sucre en 2003

Tableau 2 : Production asiatique de canne à sucre en 2003capacité jour par pays en 2003

Tableau 3 : production américaine de canne à sucre en 2003

Tableau 4 : Production de canne à sucre en Océanie, 2003

Tableau 5 : Productions par continents

Tableau 6 : Les productions de canne à sucre dans les pays en développement 1979 à 2030 (d'après les chiffres de la FAO : Perspectives sur l'agriculture, 2015-2030)

Tableau 7 : Les capacités de broyage jour par pays

Tableau 8 : Evaluation de la quantité de bagasse disponible pour le groupe B

Tableau 9 : Estimation des productions de charbon dans les pays du groupe B

Tableau 10 : Bilan annuel moyen en kg de Ceq/ha/an

Tableau 11 : Prévision des potentiels de production d'électricité.

SOMMAIRE -

INTRODUCTION 1

1. METHODE 2

2. LA PRODUCTION DE CANNE A SUCRE DANS LE MONDE 2

2.1 La production actuelle de canne à sucre 2
211. La production mondiale 2
212. La production actuelle de canne à sucre par pays 2
213. Synthèse des productions par continents 4

2.2 La production de canne pour 2015 – 2030 5

3. EVALUATION DE LA BAGASSE DISPONIBLE 5

3.1 Ce qui reste après la transformation en sucre 5

3.2 Evaluation de la performance des usines d'un pays 6
321. Les coûts d'investissements possibles 6
322. Lien capacités-jour et niveau de modernité des pays producteurs 6

3.3 Les estimations par pays du groupe B de la quantité de bagasse disponible 8

4. LES SECTEURS POUVANT CONCURRENCER LE PROJET ULCOS 9

4.1 Les co-produits de la bagasse 9

4.2 Les possibilités de réalisation de ces co-produits 10

5. CARACTERISTIQUES ENERGETIQUES DE LA BIOMASSE RECUPERABLE 10

5.1 Composition de la bagasse 10

5.2 Pouvoir calorifique de la bagasse 11

5.3 Caractéristique énergétique de la biomasse aérienne récupérable 12

6. BILAN CARBONE ET DURABILITE 13

7. QUELQUES EXEMPLES D'UTILISATION DES SURPLUS DE BAGASSE ET DE RESIDUS DE RECOLTE 14

CONCLUSION 18

ANNEXES

INTRODUCTION

Le projet de Recherche ULCOS monté par les sidérurgistes européens est financé dans le cadre d'un projet intégré de la DG /Recherche de l'Union Européenne du VI PCRDT de la priorité 3. Dans ce cadre un consortium de 48 entreprises, Instituts de Recherches (privés ou publics) et bureau d'études a été constitué pour mener à bien une initiative conjointe de Recherche et Développement visant à trouver de nouveaux processus de production d'acier réduisant les émissions de CO2 et d'autres gaz à effet de serre. Le consortium s'appelle ULCOS, une abréviation de "**U**ltra **L**ow **CO2** **S**teelmaking".

Mené par un noyau de sidérurgistes dont Arcelor, le consortium comprend en outre des fournisseurs de la sidérurgie, des producteurs d'électricité et d'énergie tel EDF ou Air Liquide ainsi que des instituts de recherche dont le CIRAD et des universités européennes. Arcelor est le coordinateur du consortium.

ULCOS a pour mission de sélectionner les scénarios techniques les plus pertinents afin de permettre une diminuer d'au moins 50 % des émissions de gaz à effet de serre lors du processus de production de l'acier. Parmi les scénarios techniques il y a ceux qui relèvent de la substitution du coke par de la biomasse renouvelable et notamment à partir des résidus agricoles et/ou de l'agro-industrie. Différents process technologiques sont étudiés afin d'y parvenir et entre autres l'utilisation de la biomasse.

C'est dans ce cadre de l'utilisation de la biomasse que l'intérêt de la canne à sucre apparaît. Les sucriers sont intéressés par ce type de projet puisque depuis quelques années des recherches sont entreprises pour trouver d'autres produits de valorisation que le sucre. En effet, la chute du prix du sucre qui pourrait être dans les années à venir une des conséquences de l'évolution des cours mondiaux incite les producteurs les plus dynamiques à rechercher dès à présent d'autres alternatives à la seule production de sucre.

D'ores et déjà certains co-produits permettent une amélioration de la rentabilité de la canne : éthanol au Brésil, pulpe en Inde et en Chine, production d'électricité dans beaucoup d'autres régions. Ces co-produits viennent en complément de la production de sucre et selon l'évolution des cours mondiaux pourraient même permettre dans certains pays la survie de leur industrie sucrière. En outre, l'utilisation de la biomasse de la canne comme source énergétique est dans le cadre des discussions sur les nouvelles dispositions de l'OCM sucre de plus en plus évoquée. Or, de ce point de vue de la production de biomasse, la canne à sucre, plante en C4, est la culture qui présente vis-à-vis de l'activité photosynthétique les plus forts potentiels de productivité à l'hectare.

Il convient donc d'évaluer les possibilités d'utilisation de la bagasse comme combustible dans les hauts fourneaux sous forme de charbon. Ce matériau étant déjà utilisé à 80% pour la fourniture d'énergie des usines, on s'attachera dans le cadre de ce travail à inventorier les productions mondiales et partant à estimer les volumes de bagasse potentiellement disponibles.

1 METHODE

Après une revue chiffres de la production de canne à sucre pour l'année 2004 (source FO Lichts) nous nous sommes ensuite intéressés aux chiffres des productions à venir c'est-à-dire pour les années 2015 et 2030 (source FAO) par région du monde.

Il apparaît que la production de canne est en hausse pour toutes ces régions. Sachant que la bagasse qui reste après transformation d'une tonne de canne est d'environ 270 kg on peut connaître la production de bagasse par région et même par pays.

Cependant, la bagasse est utilisée par les sucreries pour son propre fonctionnement et l'alimentation électrique des zones d'habitations relevant de l'exploitation. Il nous faut donc savoir quelle est la quantité de bagasse réellement non-utilisée dans ces processus.

L'essentiel de ce travail, a consisté en une recherche bibliographique (surtout FO Lichts et FAO pour les chiffres et internet pour la recherche d'informations nouvelles sur les innovations des pays dans le cadre de notre projet).

2 LA PRODUCTION DE CANNE A SUCRE DANS LE MONDE

2.1 LA PRODUCTION ACTUELLE DE CANNE A SUCRE

2.1.1 La production mondiale

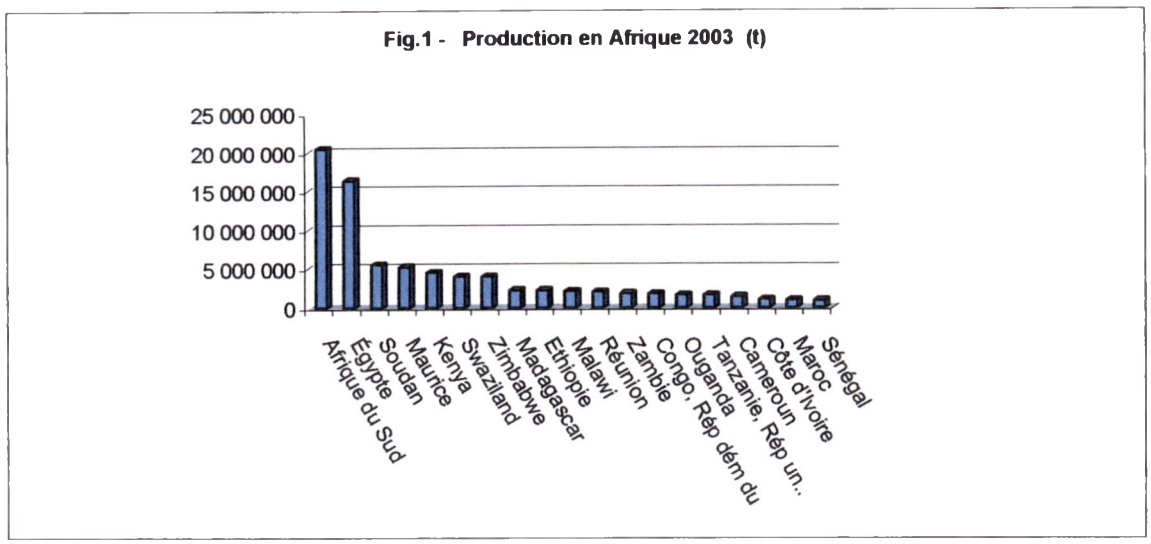
La production mondiale s'élève à **1 318 millions de tonnes en 2004** (FAO). Elle s'élevait à **1 350 millions de tonnes en 2003** (FAO), c'est l'année qui nous servira de référence.

2.1.2 La production actuelle de canne à sucre par pays

Les chiffres des productions détaillées par pays ont été recueillis par S. Volper, (CIRAD, 2004) d'après les données de la FAO. Il s'agit bien des productions de canne à sucre comme matière première à l'origine de produits tels que le sucre ou l'éthanol.

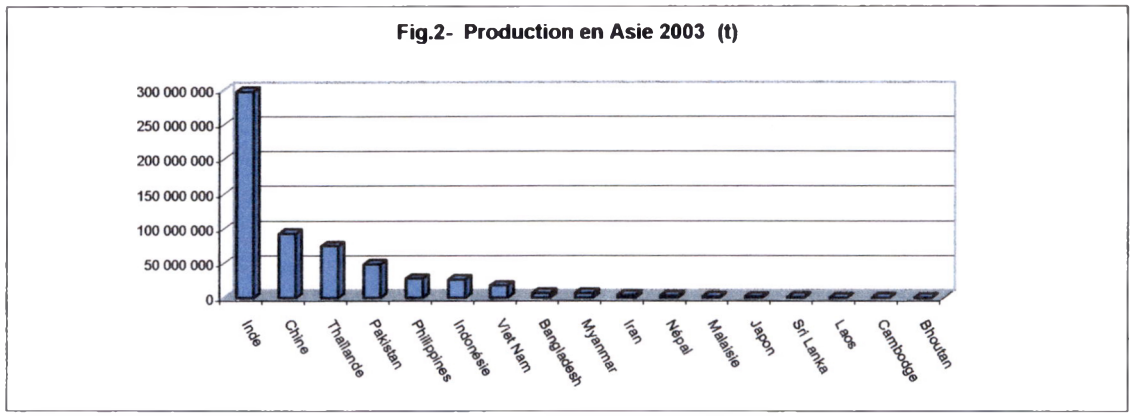
- **La production en Afrique**

Les principaux producteurs sont l'Afrique du Sud, l'Egypte, le Soudan, Maurice et le Kenya (cf. tableau 1. Annexe 1).



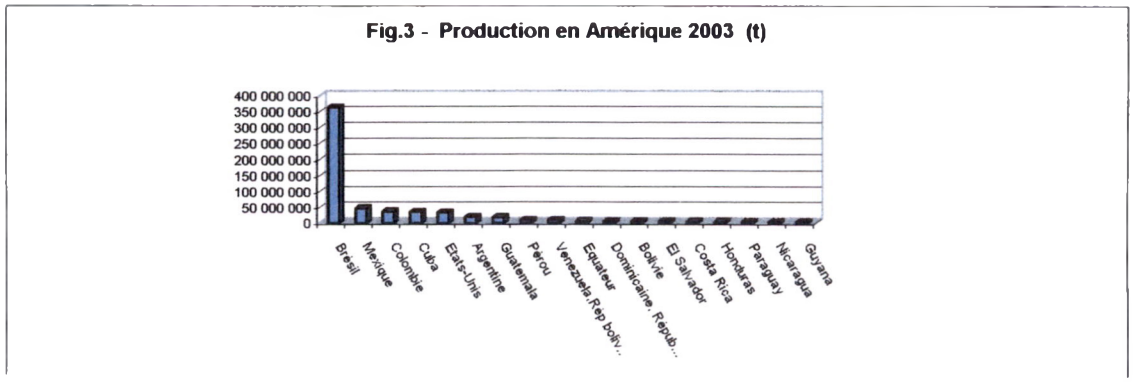
- **La production en Asie** (cf. tableau 2. Annexe1)

L'Inde devance largement ces voisins asiatiques ; c'est le 2ème producteur mondial de canne à sucre après le Brésil. Elle est suivie par la Chine (qui a aussi une bonne production de betteraves sucrières) et la Thaïlande.



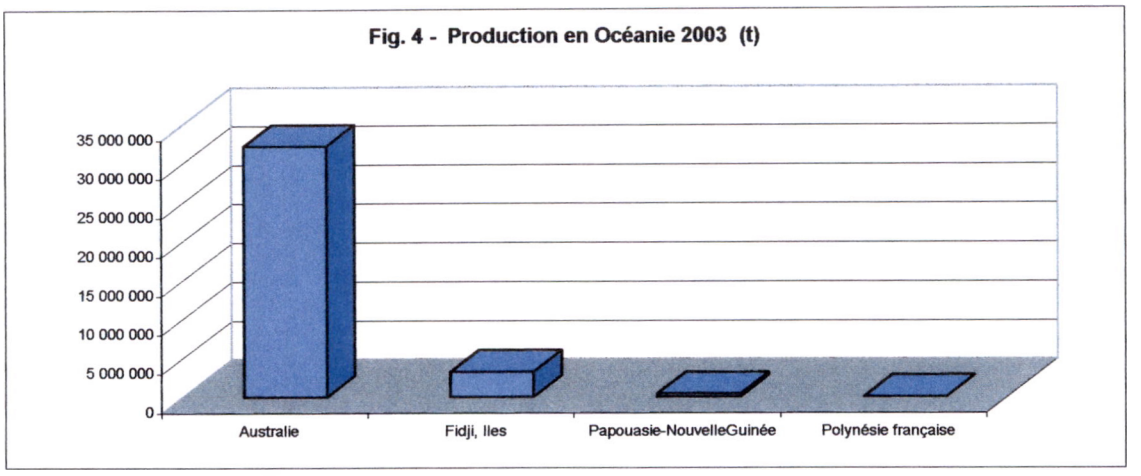
- **La production en Amérique** (cf. tableau 3. Annexe1).

Le Brésil est le premier producteur mondial, il a une production telle que seule l'Inde a une production à peu près équivalente. Le Mexique est lui aussi un important producteur au niveau mondial ainsi que la Colombie.



- **La production en Océanie** (tableau 4. A 1).

Seuls les Australiens ont ici une production significative, mais qui reste inférieure à beaucoup d'autres pays. L'Australie est cependant importante dans le monde de la canne par sa recherche et la modernité de ses installations.



- **La production en Europe**

La production en Europe est anecdotique : il n'y a que l'Espagne qui est productrice de canne à sucre mais à un très faible niveau.

2.1.3 Synthèse des productions par continents.

L'Asie apparaît incontestablement comme le plus gros producteur. Avec une production de 109 millions de tonnes la canne représente 75 % de la production mondiale de sucre ; le reste (25 %) étant assuré essentiellement par la betterave.

Tableau 5 - Productions par continents (FO Licht, 2003)

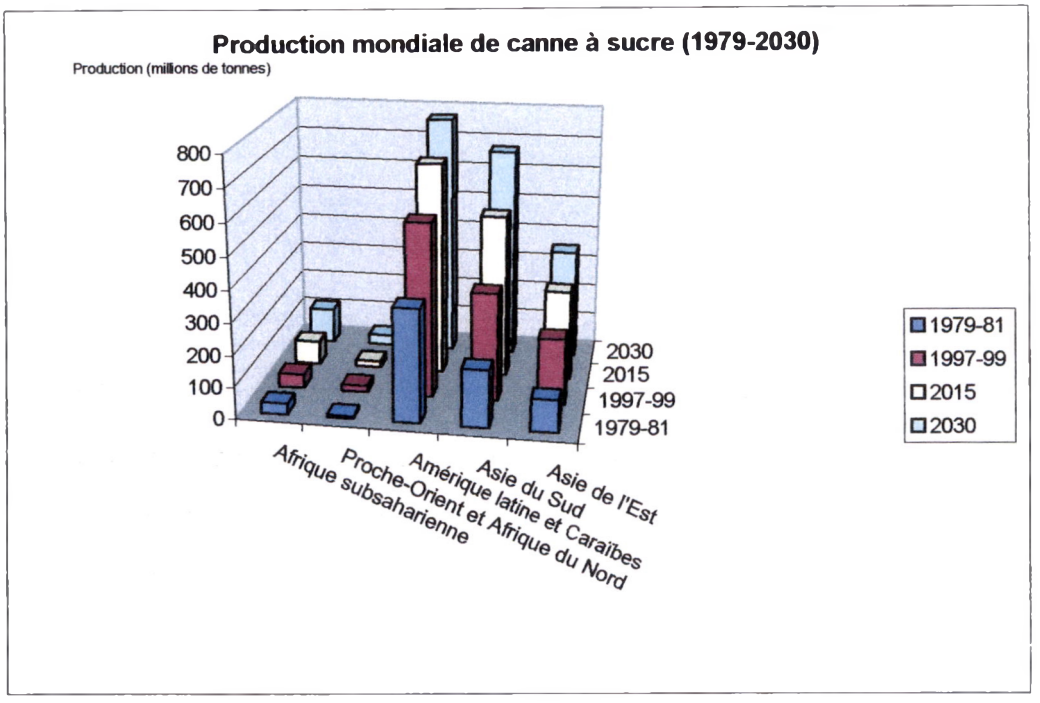
	Sucre (10^6 * tonnes)	Cannes (10^6 * tonnes)	Nbre d'usines
Afrique	**9**	**84**	**114**
Amérique du Sud	**34**	**482**	**300**
Amérique Nord et Centre	**16**	**147**	**311**
Asie	**44**	**597**	**1040**
Océanie	**5.7**	**41**	**35**
MONDE	**109**	**1351**	**1800**

CIRAD-DIST
Unité bibliothèque
Lavalette

2.2 LA PRODUCTION DE CANNE POUR 2015-2030 :

D' après le rapport de la FAO sur les productions agricoles futures nous pouvons présenter ici la future production de canne à sucre. Il s'avère qu'elle est en hausse quelles que soient les régions du monde (tableau 6. Annexe2 , et figure 5).

Figure 5 : Les productions de canne à sucre dans le monde de 1979 à 2030 (d'après les chiffres de la FAO : Perspectives sur l'agriculture, 2015-2030)



3 EVALUATION DE LA BAGASSE DISPONIBLE

Il convient maintenant de déterminer la bagasse potentiellement en surplus dans ces pays et l'utilisation qui en est faite.

3.1. CE QUI RESTE APRES LA TRANSFORMATION EN SUCRE

Le surplus de bagasse dépendra de la modernité de l'usine de transformation de la canne à sucre. En effet, une usine très moderne aura besoin de moins de vapeur pour fonctionner et aura besoin de moins de bagasse pour produire la même quantité de vapeur, qui lui sera utile pour la transformation du sucre. (FAO, 2005)

Une usine traditionnelle aura besoin de 35 kWh et de 450 kg de vapeur utile par tonne de canne à broyer alors que des usines plus performantes n'auront besoin que de 30 kWh et de 300 kg de vapeur. Or, 1T canne peut produit 20 kWh pour les moins efficaces et 100 kWh pour les plus modernes. Soit pour une usine « moyenne », 1 tonne de canne peut produire (100+20)/2 =60 kWh.

D'après E. HUGOT, une usine « moyenne» (28 bars à 380°) laisse sur le tas environ 24 % de la bagasse produite (ces chiffres ne prennent pas en compte les besoins en énergie pour l'irrigation et les villages).

Soit pour 1 tonne de canne broyée, 65 kg de bagasse NON utilisée dans le process industriel d'une usine moyenne. Les usines les plus performantes sont susceptibles de laisser de 80 à 100 kilo de bagasse non utilisée par tonne de canne.

Le taux de bagasse produite par tonne de canne est assez variable. C'est un caractère variétal mais qui par la suite dépend aussi des performances de l'usine. Globalement, on trouve des valeurs qui s'étagent de 250 à 330 kilos par tonne de canne broyée. Dans le cadre de ce travail, on a retenu la valeur de 270 kg/tonne de canne. C'est une valeur assez courante (bien qu'actuellement bien améliorée dans des usines modernes) et sécuritaire pour les estimations ultérieures.

3.2. EVALUATION DE LA PERFORMANCE DES USINES D'UN PAYS

3.2.1. Les coûts d'investissements possibles

Des installations modernes et efficaces demandent des coûts d'investissements importants, les usines capables d'investir de telles sommes sont souvent des usines :

- de pays « développés », par exemple l'Australie ou les Etats-Unis,
- de pays dont la canne est un atout sur le marché mondial, par exemple le Brésil ou l'Inde.

Ces usines sont souvent aidées par l'Etat ou bien ont des infrastructures propices au développement du secteur cannier ; par exemple l'Ile Maurice, la Réunion, pour qui la recherche publique fait beaucoup.

3.2.2. Lien capacités-jour et niveau de modernité des pays producteurs

Afin d'en proposer un classement, le dynamisme de production et les capacités d'évolution des pays producteurs seront estimés en fonction de leurs capacités de broyage quotidien. On considérera que les usines ont un niveau d'équipement équivalent au sein d'un pays.

Nous avons distingué 3 groupes de pays:

- le groupe A dans lequel on va trouver des usines à forte capacité-jour,
- e groupe B dont les usines présentent des capacités-jour moyennes
- et le groupe C qui présente des usines à faible capacité-jour.

Les limites du groupe B ont été arbitrairement fixées en fonction d'expériences modèles de pays « charnières », qui font l'objet de projets de développement sur l'utilisation de la bagasse. Maurice d'un côté qui a déjà mis en place de nombreux plans pour la co-génération ; ce type de pays a donc été intégré au groupe A. l'Ouganda, pour la limite inférieure, qui met en place des projets de co-génération.

On a donc créé une classe de pays dont les capacités de broyage se situent entre 7500 et 50000 tonnes jours, susceptibles de disposer de stocks de bagasse non utilisés à ce jour et disponibles.

Le tableau 7 (annexe 3) présente ces groupes et les capacités jour des pays.

- **Les pays à forte capacité journalière- groupe A**

On a posé comme hypothèse de travail que les usines à plus fortes capacités journalières sont les plus modernes et que donc ce sont celles qui ont le plus de surplus de bagasse. On a pris comme modèle des pays gros producteurs tels que le Brésil, l'Inde, la Chine ou d'autres plus petits mais présentant un dynamisme certain de la production (Maurice, Réunion). On note que ces pays valorisent déjà intégralement toute leur bagasse, ou ont de sérieux projets de valorisation. Ainsi, on a considéré que ces pays n'ont plus de stock de bagasse librement disponible.

- **Les pays à moyenne capacité journalière- groupe B**

Les usines du groupe B ont une capacité journalière moyenne et ont donc une technologie moyenne. On considérera que ces usines ont un léger surplus de bagasse.

Ce surplus de bagasse est trop peu important et les investissements à injecter dans l'usine pour transformer cette bagasse sont souvent considérés comme excessifs. De plus, il n'a pas été noté, pour ces pays, de projet de modernisation des usines ou de valorisation de la bagasse.

L'hypothèse serait que ce sont les usines moyennement bien équipées et donc moyennement productives qui auraient le plus de bagasse disponible et qui seraient donc le plus susceptibles de nous intéresser.

- **Les pays à faible capacité journalière- groupe C**

On a jugé que les usines ayant une faible capacité de production sont du type traditionnel et brûlent la totalité de leur bagasse pour leurs propres besoins. Cependant, certaines usines peuvent présenter des stocks de bagasse non utilisés, mais en quantité non significative, dans des localisations dispersées et avec des difficultés de transport.

Il s'avère en fait que certains pays comme le Kenya, la Tanzanie ou l'Ouganda (LP. BINGH,2004, D.YUKO, 2005), font l'objet de projets de modernisation et plus particulièrement d'adaptation de leurs usines à la co-génération. Notre hypothèse sur la bagasse en surplus peut donc être vérifiée, puisque ces pays ont des capacités jour moyennes. Ces pays africains ont bien de la bagasse en surplus.

Grâce à cet exemple, on peut se permettre de dire que les pays ayant des capacités de production similaires à ces 3 pays sont en surplus de bagasse mais n'ont pas encore mis au point la valorisation de cette bagasse. (Scee et Chini, 2005).

3.3 LES ESTIMATIONS PAR PAYS DU GROUPE B DE LA QUANTITE DE BAGASSE DISPONIBLE

D'après E. Hugot (voir § 3.1), on peut estimer la quantité de bagasse pour les pays du groupe B (les pays pouvant intéresser le projet ULCOS).

Tableau 8 : Evaluation de la quantité de bagasse disponible pour le groupe B, en 2003

	Canne (t)	Bagasse (t)	Bagasse disponible (t)
Pérou	9 100 000	2 457 000	589 680
Bangladesh	6 502 000	1 755 540	421 330
Myanmar	6 431 750	1 736 573	416 777
Equateur	5 670 000	1 530 900	367 416
Soudan	5 500 000	1 485 000	356 400
Bolivie	4 735 000	1 278 450	306 828
El Salvador	4 528 000	1 222 560	293 414
Swaziland	4 000 000	1 080 000	259 200
Zimbabwe	4 000 000	1 080 000	259 200
Iran	3 712 000	1 002 240	240 538
Costa Rica	3 462 000	934 740	224 338
Honduras	3 450 000	931 500	223 560
Iles Fidji	3 216 000	868 320	208 397
Paraguay	3 210 000	866 700	208 008
Nicaragua	3 120 000	842 400	202 176
Guyana	3 000 000	810 000	194 400
Népal	2 448 000	660 960	158 630
Madagascar	2 236 000	603 720	144 893
Malawi	2 100 000	567 000	136 080
Jamaïque	1 966 000	530 820	127 397
Malaisie	1 500 000	405 000	97 200
Panama	1 440 000	388 800	93 312
Trin.-et-Tob.	1 340 000	361 800	86 832
Japon	1 328 000	358 560	86 054
Côte d'Ivoire	1 045 000	282 150	67 716
Haïti	1 010 000	272 700	65 448
Maroc	947 000	255 690	61 366
Guadeloupe	820 000	221 400	53 136
Nigéria	548 000	147 960	35 510
Barbade	418 000	112 860	27 086
Mozambique	400 000	108 000	25 920
TOTAL		**25 159 343**	**6 038 242**

Si les productions individuelles de chacun de ces pays apparaissent relativement faibles au regard des besoins des aciéries, on note QUATRE grands ensembles de pays dont les productions groupées seraient susceptibles de devenir significatives, sous condition évidente que soient résolus les aspects de transport et de centres de transformations (carte Annexe 4).

1] En ***Amérique du sud et du centre***, un premier groupe constitué de NEUF pays, Bolivie, Costa Rica, Equateur, Salvador, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Peru et Panama laisse **NON utilisé plus de 2.5 millions de tonnes de bagasse.**

2] En ***Asie***, un deuxième groupe constitué de QUATRE pays, Bangladesh, Myanmar, Malaisie et Népal, laisse **NON utilisé 1093937 tonnes de bagasse**.

3] En ***Afrique***, un troisième groupe, constitué de CINQ pays, Madagascar, Malawi, Mozambique, Swaziland et Zimbabwe, laisse **NON utilisé 356400 tonnes de bagasse**.

4] Le **Soudan** qui laisse **NON utilisé 356400 tonnes de bagasse** mérite d'être simplement signalé.

L'ensemble de ces quatre groupes arrive à un total de **4 784 362 tonnes de bagasse**, susceptibles de pouvoir être récupérés. A ceci on doit rajouter que beaucoup de ces pays se débarrassent de cette bagasse en trop par brûlage à l'air libre contribuant ainsi à l'émanation de gaz à effet de serre.

Si on applique à ce résultat le même taux d'augmentation de la production de 2% proposé par la FAO et le PNUD pour la production de sucre et en supposant la proportionnalité pour la production de bagasse, on obtient des quantités de bagasse récupérable assez impressionnantes pour les années à venir :

années	2003	2015	2030	2050
Bagasse (t)	4784362	6067727	8166363	12134785

Il apparaît cependant abusif de projeter linéairement dans un avenir aussi lointain ce type de production. En effet, il est difficile de prévoir avec un minimum de sécurité l'évolution socio-politique de ce type de pays et son impact sur la production d'une matière première telle que le sucre. D'autre part, on a basé notre raisonnement sur le fait que ces pays n'avaient pas actuellement de projet pour une valorisation industrielle de cette bagasse ; mais rien ne nous permet de certifier que de tels projets ne pourraient pas voir le jour d'ici quelques années.

4 LES SECTEURS POUVANT CONCURRENCER LE PROJET ULCOS

4.1. LES CO-PRODUITS DE LA BAGASSE

Voici la liste générale des produits qui peuvent être réalisés à partir de la bagasse :

Electricité	Briquettes
Gaz	Pulpe
Panneaux en fibre	Furfural
Cellulose	Alcools
Plastique	Alimentation animale.

De nombreux produits peuvent donc *théoriquement* être générés à partir de la bagasse ; mais *pratiquement* peu sont réellement fabriqués. La fabrication des co-produits de la bagasse peut être assez coûteuse et cela limite le développement de la plupart des co-produits potentiels. (praj, 2005)

4.2. LES POSSIBILITES DE REALISATION DE CES CO-PRODUITS

L'utilisation de la bagasse est envisagée depuis longtemps dans les pays gros producteurs : Brésil (éthanol, cogénération...) et la Chine (pulpe :30% de la bagasse). Mais peu de concurrence est à prévoir en ce qui concerne les pays moyennement producteurs présentant un surplus.

Par exemple, la fabrication de papier est coûteuse du fait du blanchiment de la pâte que l'on obtient. Les produits chimiques, tels que le méthane ou le furfural demandent aussi une technologie avancée à la quelle tous les pays n'ont pas accès. Il y a encore la fabrication de sièges automobiles à partir de fibre de bagasse, par Chrysler, au Brésil, mais ce genre de projets restent accessoires (bien que performants) puisqu'ils demandent un partenariat privé avec un gros investisseur.(M-E KESSARI,2003)

Les produits pouvant être le plus facile d'accès pour des pays à capacité moyenne de production, comme ceux qui nous intéressent, seraient la co-génération, les briquettes et l'alimentation animale (à condition qu'il n'y ait pas d'investisseurs privés déjà sur le terrain).

L'alimentation animale est assez anecdotique, avec une assez faible valeur ajoutée et représente donc qu'une faible concurrence si un meilleur prix pour la bagasse est proposé. Ce sont plutôt les pailles qui sont destinées à la filière animale (Réunion).
Cependant, les briquettes sont une valorisation intéressante, à faible valeur ajoutée, certes, mais à faible coût de production. C'est en générale pour les populations vivant à proximité des usines de transformation, un bon produit pour le chauffage ou la cuisine.(M-E. KESSARI,2003)

La co-génération demande certains investissements, mais les pays en développement sont encouragés vers cette voie car la génération d'électricité constitue un progrès social. Une aide de l'Etat ou d'organisations internationales pourrait donc permettre à ces pays d'accéder à la co-génération très facilement.

5 CARACTERISTIQUES ENERGETIQUES DE LA BIOMASSE RECUPERABLE

5.1. COMPOSITION DE LA BAGASSE.

On pose d'abord en préalable à tout ce qui suit que :

UNE tonne de canne produit environ 270 Kg de bagasse, à environ 50 % d'humidité.

CIRAD-DIST
Unité bibliothèque
Lavalette

Composition de la matière sèche :

Cendres	:	7 / 10 %
Sulfures	:	0.21 %
C fixé	:	47.62 %
H_2	:	3.86 %
O	:	44 %
Lignine	:	20 %
Sucres	:	2 / 3 %

5.2. POUVOIR CALORIFIQUE DE LA BAGASSE.

	Kcal/Kg	Kj/Kg	KWh/Kg
Bagasse sèche	4250	17800	4.9
Bagasse humide (50 %)	1900	7400	2

Equivalents énergétiques.

Il faut 4.5 tonnes de bagasse humide pour produire UNE tonne de charbon transformé en briquettes dont le pouvoir calorifique est 5500 Kcal/Kg (Afrique du Sud). Sur la base de ce rapport, on évalue les quantités de charbon qui pourraient être produite par les pays du groupe B (tableau 9. Annexe 5). L'ensemble de ces pays est susceptible de pouvoir ainsi produire plus **1,3 millions** de tonnes de charbon, mais en des zones très éclatées.

Et les quatre groupes de pays définis au paragraphe 3.3 produiraient alors :

Groupe 1 :	557 496	tonnes
Groupe 2 :	243 097	tonnes
Groupe 3 :	183 398	tonnes
Groupe 4 :	79 200	tonnes

Soit un total récupérable de 1 063 191 tonnes de charbon (année 2003).

Une étude conduite en OUGANDA (LP.BINGH, 2004) tend à démontrer que la production d'énergie pour la cuisson des aliments à partir de la bagasse est plus efficace lorsqu'on fabrique d'abord du charbon plutôt que de l'électricité.

En effet :

100 Kg bagasse ==➔ 38 Kg de charbon =➔ 48 Kw/h
100 Kg bagasse ==========➔ 25 Kw/h

Autre équivalence : 10 tonnes bagasse ==========➔ 2 tonnes de fuel lourd

5.3. CARACTERISTIQUE ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE AERIENNE RECUPERABLE.

Une expérimentation intéressante a été conduite à Maurice sur l'intégration des pailles à la bagasse lorsque la récolte est faite en vert (pas de brûlis). Deux types de résidus sont considérés, (i) les feuilles et bouts blancs récupérés en frais au moment de la récolte, (ii) les pailles sèches tombées au sol durant le cycle de culture. Les résultats de ces mesures montrent que :

- Les résidus frais (feuilles et bouts blancs) représentent environ 30% du poids frais des tiges récoltées, soit 10 % de matière sèche par rapport au poids frais des tiges récoltées. A la Réunion on a mesuré dans une récente expérimentation, 12/15 % de matière sèche par rapport aux tiges récoltables (D.POUZET & alii, 2002, V.JAGLALE, 2003).

- Les pailles représentent environ 10 % du poids frais des tiges récoltées, soit 7% de matière sèche par rapport au poids frais de tiges récoltées.

Voyons comment se répartit la production d'énergie potentielle à partir des trois types de biomasse récupérables. Prenons à titre d'exemple une production de 100 tonnes/hectare de canne :

- Production de bagasse : 27 tonnes de bagasse soit environ 13 tonnes de matière sèche pouvant générer **231 GJ/ha**

- Production de résidus frais : 10 tonnes de matière sèche soit environ **170 Gj/ha**

- Production de pailles sèches : 7 tonnes de matière sèche soit environ **119 Gj/ha**

Ces données peuvent être transformées en termes de production d'électricité avec un coefficient d'efficacité de 25 % :

*	A partir de la bagasse	====➔	**160 kWh/tc**
*	A partir des résidus frais	====➔	**118 kWh/tc**
*	A partir des pailles	====➔	**83 kWh/tc**

En conclusion, on considère que si la récolte n'est pas brûlée, l'intégration à la bagasse des résidus frais de récolte augmente la production de bagasse d'un facteur 1,7, et l'intégration en plus des pailles sèches d'un facteur de 2,25.

On prendra garde à la variabilité et la représentativité de ces résultats obtenus pour une variété et pour les conditions climatiques de MAURICE. La production de pailles est en effet un caractère variétal et les conditions de culture sont également responsables d'une importante variabilité. Mais ils peuvent être retenus comme de bons indicateurs face au peu de résultats disponibles. Citons par exemple le cas du Mexique où des mesures similaires ont été faites. On considère qu'UNE tonne de paille à 30% d'humidité présente le même potentiel que 1.3 tonne de bagasse à 50 % d'humidité. On peut considérer globalement que si la récolte n'est pas brûlée les pailles récupérables peuvent représenter jusqu'à **15 % de la récolte**.

L'ensemble de ces résultats prêche donc pour la récolte en vert, qui conduit à une plus grande quantité de bagasse et évite, lors du brûlis, l'émission de gaz à effet de serre.

6 BILAN CARBONE ET DURABILITE

Au Brésil, des essais comparatifs de cannes brûlées ou non brûlées avant récolte ont été conduits pour estimer les valeurs de carbone piégé dans le sol. Ces résultats qui cependant ne concernent pas directement la problématique d'ULCOS, présentent l'intérêt d'apporter des compléments d'éléments à la pratique du non brûlage.

Sur la base d'une production d'environ 13/14 tonnes/hectare de résidus aériens une culture non brûlée laisse en trois ans dans la paille au sol environ **2.5 tonnes de C /ha**. Sur un cycle de quatre ans de culture le système en canne non brûlée permet de stocker dans l'horizon 0-20 cm 1,6 tC/ha/an en plus par rapport au système avec brûlis.

En champ commerciaux, FELLER (Cerri *et al.*,2004) a mesuré des variations moyennes de 0.7 tC/ha/an sur l'horizon 0-20 cm. En Australie, des résultats tout à fait comparables ont été obtenus mais pour l'horizon 0-10 cm (Graham *et al.*, 2002).

Globalement, on peut considérer aujourd'hui qu'une culture de canne à sucre *non brûlée* avant récolte peut stocker dans le sol sur une profondeur de 20 cm entre 0.7 et 1.6 tC/ha/an. D'autres auteurs indiquent une augmentation d'environ 40 % de la matière organique après 60 ans de culture (Robertson *et al.,* 2000), ainsi qu'un stockage de 86 % de l'azote qui aurait été perdu par brûlis (Thorburn et *al.*, 2001).

La comparaison entre les deux systèmes a également porté sur l'émission d'autres gaz à effet de serre tels que CH4 et N2O ; mais peu de résultats sont disponibles.

En fait les conclusions qui en ressortent montrent que c'est au moment du brûlis que se fait l'essentiel de la différentiation. En effet, le brûlage libère dans l'atmosphère 6 tC/ha et 43 KgN/ha, soit l'équivalent de 35 kgCH4/ha et de 0.5 KgN2O/ha. La comparaison affiche donc un bilan carbone nettement à l'avantage du non brûlé. Et si on représente les gaz à effet de serre par leur équivalent carbone (Ceq) le système sans brûlis présente un puit de carbone de -1.8 tCeq/ha/an (Cerri *et ali.*, 2004) par rapport au système avec brûlis sur l'ensemble du cycle de culture (tableau 10).

Tableau 10. Bilan annuel moyen en kg Ceq/ha/an (la valeur négative indique un puit de Ceq)

Origine	Brûlis (1)	NON brûlis (2)	Δ (2-1)
Stockage dans le sol			- 1625
Flux annuel de CH4	- 39	- 18	21
Flux annuel de N2O	323	460	137
Flux CH4 lors du brûlis	230	-	- 230
Flux N2O lors du brûlis	140	-	- 140
BILAN	654	442	**- 1837**

(Cerri *et ali.*, 2004).

Cependant, dans ce bilan n'a pas été pris en compte la dynamique du C au moment du retournement des champs (tous les 5 à 7 ans) durant lequel est généralement observée une diminution du statut organique du sol.

En résumé, on pourrait dire que l'utilisation de la biomasse foliaire pour la production de charbon constitue un double intérêt pour la protection de la biosphère en permettant de stoker du C dans le sol, puisque la récolte est faite en vert, et en proposant une alternative à l'utilisation de combustible fossile.

Au Brésil, on considère que la production d'électricité à partir de la bagasse au lieu du charbon permettrait d'économiser en termes de rejet dans l'atmosphère :

- 52 Kg CO_2 / Tonne de canne
- 1.2 Kg CH_4 / Tonne de canne.

Remarquons qu'en système de non brûlis de la récolte si les pailles sont ramassées et jointes à la bagasse pour la production d'électricité, les diminutions d'émissions de GES sont alors deux fois éligibles :

1) non émission de Ges par brûlage des pailles au champ.
2) substitution de la biomasse à une énergie fossile.

Cependant, le ramassage intégral des pailles n'est pas souhaitable sur un plan agronomique. Cette litière laissée au champ (environ 20 % du volume humide de paille produite) constitue en effet une protection des sols contre l'érosion et l'évaporation ; elle constitue, également un apport non négligeable de matière organique comme nous venons de le voir ci-dessus.

7 QUELQUES EXEMPLES D'UTILISATION DES SURPLUS DE BAGASSE ET DE RESIDUS DE RECOLTE.

L'expérience de ces pays est citée pour illustrer l'utilisation qui peut être faite des surplus de bagasse et éventuellement prendre ces types de pays comme modèles pour envisager diverses possibilités de valorisation dans le futur.

Les *Philippines* qui produisent 5300000 tonnes de bagasse /an, ont mis en place un programme de fabrication de charbon en briquettes avec un taux de transformation de 35/40 %.

Le *Mexique* visant à la limitation de sa dépendance énergétique a mis en place une expérience conduite sur CINQ usines pour justifier de l'intérêt de la cogénération. Actuellement, la récolte est faite après brûlis des feuilles. Après récolte, les pailles sont également normalement brûlées.

Des mesures effectuées sur ces pailles ont permis d'observer que :

- UNE tonne de paille à 30% d'humidité équivaut à 1.3 tonne de bagasse à 50% d'humidité.
- UN poids de paille équivalent à 33% de la récolte peut être récupéré

SOIT un potentiel de production d'énergie de 126 MW.

CIRAD-DIST
Unité bibliothèque
Lavalette

Le *Brésil* est très en avance sur la valorisation des sous produits de la canne, et en particulier pour la production d'éthanol (il envisage maintenant l'exportation d'éthanol, puisqu'il vient de signer un contrat pour la vente de 500 000 litres au Japon). Premier producteur mondial de sucre, le Brésil dispose de plus de 40 millions de tonnes de bagasse sèche et de 20 millions de tonnes de résidus de récolte secs. Mais le brûlis à la récolte est encore largement pratiqué; lorsque la récolte sera faite totalement en vert, le pays pourrait alors disposer de 55 millions de tonnes de résidus secs. On estime que la mécanisation totale des opérations de récolte permettrait de récupérer encore10 à 15 millions de tonnes.

Prenons comme exemple l'état de Rio de Janeiro qui laisse sur le tas, actuellement non utilisé, environ 9 % de sa bagasse, tout le reste ayant été consommé pour le fonctionnement des raffineries, la production d'éthanol et de l'électricité. Si on extrapole ce résultat à l'ensemble du pays, le Brésil disposerait d'un capital mobilisable de matière de sèche (bagasse + résidus de récolte) de ***69 / 74 millions de tonnes,*** à condition bien sûr que la totalité des résidus (non brûlés) soit ramassée (en fait on n'en ramasserait qu'environ 80 %).

Or le Brésil envisage d'augmenter sa production d'électricité à partir de la biomasse. Il resterait un potentiel d'exportation d'électricité vers le réseau national de 160 KWh/tonne de canne qui pourrait être porté à 290 KWh/tonne de canne, ou en termes de production d'énergie de 20 / 25.10^6 TOE.

Le *Kénya* avec SIX sucreries dispose d'une puissance installée de 36 MW totalement dédiée à la production de sucre. Actuellement, **l'excédent de bagasse est détruit** mais des projets de production d'électricité existent. En effet, si cet excédent était utilisé des études ont montré que le potentiel d'exportation d'électricité pourrait atteindre 360/600 GWh/an, soit environ 10 % de la demande nationale.

L'*Ouganda* dispose de TROIS sucreries et produit au total **452 000 tonnes** de bagasse NON utilisées qui sont détruites par brûlage à l'air libre (on ne dispose à ce jour d'aucune données sur les émissions de gaz de ce type de brûlage). Une des solutions envisagées pour la valorisation de cette bagasse a été sa transformation en charbon qui se substituerait au charbon de bois et qui pourrait alors représenter **30% de la production du pays**.

Cette démarche présenterait un intérêt multiple sur les plans socio-économique et environnemental ; en effet, on estime que 93% de la demande énergétique provient de la biomasse et que de ce fait il n'y aurait plus de bois de chauffage en Ouganda dès 2014. Des projets existent, même si, fait surprenant, *l'une de ces trois usines s'apprête à investir dans un four pour détruire la bagasse en trop !!!*

Le ***Zimbabwe*** réalise actuellement de gros efforts d'investissements sur la cogénération. Le gouvernement envisage en effet d'investir 35 M$ et vise à produire 1520 GWh dont 815 à partir de la bagasse.

L'île *Maurice*, déjà citée précédemment pour l'estimation de la production de biomasse récupérable, produisait en 2001, 14 % de son électricité par cogénération. L'objectif était alors d'atteindre les 40 % en 2005. La capacité énergétique d'une usine à partir de la bagasse seule est d'environ 170 kWh/tc. Si une usine nécessite environ 30 kwh/tonnes de cannes pour son fonctionnement propre, le surplus qui peut être exporté vers le réseau national est d'environ 76/143 kWh/tonnes de canne.

L'***Inde***, consacre une grande partie de sa production de bagasse à la fabrication de pâte à papier. L'objectif est de réserver en 2015, 5 millions de tonnes de bagasse à l'industrie papetière. La fabrication de panneaux de particules constitue également une valorisation importante de la bagasse avec une demande de plus de 5 millions de tonnes pour 2015. Il apparaît donc que sur une production estimée de 85 millions de tonnes de bagasse environ 20 millions sont récupérables après prélèvement pour le fonctionnement des usines.
Après prélèvements pour les fabrications de papier et de panneau de particules il resterait 10 millions de tonnes de disponibles mais on n'a pas d'autres informations sur les autres utilisations potentielles (cogénération) qu'il faudrait pourtant envisager. Il est donc difficile à ce jour de pouvoir estimer rigoureusement les quantités de bagasse restant non utilisées, mais on peut de facto prévoir qu'elles risquent de ne pas être significatives et les lieux de production très dispersés. L'Inde pratiquant largement le brûlis à la récolte, le potentiel de récupération des pailles est nul.

La Chine, consacre l'essentiel de sa bagasse disponible à l'industrie papetière. On considère qu'il resterait environ 6% de bagasse disponible soit un potentiel de 750 000 tonnes de bagasse sèche.

La *Réunion*, produit annuellement 64 000 tonnes de bagasse totalement utilisées pour l'élaboration de l'énergie nécessaire au fonctionnement des deux raffineries ainsi que pour la cogénération d'électricité vendue au réseau national.
Depuis quelques années, les brûlis ayant été interdit, la récolte se fait totalement en vert. Il reste donc une importante quantité de paille pouvant être diversement valorisée. A la Réunion, la filière bovine constitue un intéressant débouché. C'est ainsi que la filière absorbe 4 à 5000 tonnes de pailles annuellement destinées à l'élaboration des litières et du fourrage pour les bovins. Son objectif est d'en récupérer dans un futur proche 15 000. Les pailles entrent également dans la fabrication des composts et peuvent être utilisés comme couverture du sol pour d'autres cultures (géranium, maraîchage).

D'une façon générale, la plus importante valorisation de la bagasse dans la plupart des grands pays producteurs est de loin la production d'électricité par cogénération, et la production de pâte à papier.

Dans son rapport de l'année 2000 , « Bioernergy Primer », le PNUD signale en particulier que la transformation des raffineries des pays en développement par un équipement plus efficace pourrait contribuer de façon significative à la production d'électricité des réseaux nationaux.

Dans le tableau 11 ci-dessous, figurent les projections de production d'électricité par la voie plus efficace de la gazéification.

Tableau.11 : Prévisions des potentiels de production d'électricité pour des pays gros producteurs ayant un programme futur d'équipement performant à partir de la gazéification (en supposant un taux annuel de croissance de la demande de 3%).

	Production de canne - 1995 (million tonnes)	Production de canne. – **2025** @ 2%/an (million tonnes)	Electricité exportée - **2025** - (Twh/an)	Productions nationales - **2025.** (Twh)*	**2025** – Canne Elec./ natio. Elec.
Brésil	304	550	165	623	0.27
Inde	260	470	141	883	0.16
Chine	70	127	38	2085	0.02
Indonesie	31	57	17	141	0.12

(Sources: Pnud et Cirad)

CONCLUSION

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la feuille de route que s'est tracée ULCOS pour trouver des réponses à la limitation des émanations de CO2 par les hauts fourneaux lors de la fabrication d'acier. L'utilisation de la biomasse en remplacement des énergies fossiles a évidemment été envisagée aussi bien par les aciéristes que par d'autres secteurs industriels. En ce qui concerne la partie de biomasse récupérable issue de la culture de la canne à sucre (bagasse et feuilles sèches) il s'agissait de déterminer les potentiels mondiaux de productions, de transformation et partant d'en dégager l'intérêt potentiel pour ULCOS.

C'est ainsi qu'il est bien apparu que malgré une production très importante les quantités éventuellement mobilisables de bagasse (6 millions de tonnes) et de transformation en charbon (1.3 millions de tonnes) restent faibles et surtout dans des zones de production très dispersées susceptibles d'entraîner des coûts de transport assez élevés.

Beaucoup de pays sucriers utilisent en effet déjà la totalité de cette biomasse récupérable dans des projets de cogénération, de synthèse d'éthanol, de pulpe, ou de tout autre produit de valorisation. Ce sont donc les pays n'utilisant pas cette biomasse et n'ayant pas de projets affichés qui ont été sélectionnés comme candidats potentiels.

Cependant, on a remarqué que les pays du groupe A constituaient un gisement potentiel de biomasse très important (70 Mt au Brésil) mais déjà capté par des secteurs concurrentiels (éthanol, électricité) ; la récupération d'une partie de celle-ci peut sans doute être envisagée mais devra alors faire l'objet de négociations financières, et de choix politiques.

Enfin, il conviendrait de remarquer que la transformation en briquettes de cette biomasse représente pour les pays les moins avancés un intérêt notable tant du point de vue de la protection de l'environnement (limitation des émanations de CO2, réduction de la destruction de la forêt) qu'économique (production de briquettes sur place) suffisamment important pour justifier des aides internationales à la mise en place de ce type de transformation.

CIRAD-DIST
Unité bibliothèque
Lavalette

A N N E X E S

Productions de canne à sucre par pays en 2003

Source : FAO

Tableau 1 : **Afrique**

Pays	Tonnes * 10^3
Afrique du Sud	20 420
Égypte	16 335
Soudan	5 500
Maurice	5 200
Kenya	4 500
Swaziland	4 000
Zimbabwe	4 000
Madagascar	2 236
Ethiopie	2 235
Malawi	2 100
Réunion	2 000
Zambie	1 800
Congo, Rép dém du	1 786
Ouganda	1 600
Tanzanie, Rép unie de	1 600
Cameroun	1 400
Côte d'Ivoire	1 045
Maroc	947
Sénégal	890
Nigéria	548
Congo, République du	460
Burkina Faso	420
Mozambique	400
Mali	370
Angola	360
Tchad	355
Guinée	277
Libéria	255
Gabon	235
Niger	220
Burundi	200
Ghana	140
Centrafricaine, Rép	90
Bénin	75
Rwanda	40
Sierra Leone	24
Cap-Vert	14
Guinée-Bissau	5,5

Tableau 2 : **Asie**

Pays	Tonnes * 10^3
Inde	297 208
Chine	92 203
Thaïlande	74 258
Pakistan	48 042
Philippines	27 203
Indonésie	25 530
Viet Nam	17 120
Bangladesh	6 502
Myanmar	6 432
Iran	3 712
Népal	2 448
Malaisie	1 500
Japon	1 328
Sri Lanka	963
Laos	222
Cambodge	209
Bhoutan	13

Tableau 3 : **Amérique**

Pays	Tonnes * 10^3
Brésil	363 721
Mexique	45 635
Colombie	35 800
Cuba	34 700
Etats-Unis	32 253
Argentine	19 250
Guatemala	17 500
Pérou	9 100
Venezuela	8 526
Equateur	5 670
Rép.Dominicaine	5 154
Bolivie	4 735
El Salvador	4 528
Costa Rica	3 462
Honduras	3 450
Paraguay	3 210
Nicaragua	3 120
Guyana	3 000
Jamaïque	1 966
Panama	1 440
Trinité-et-Tobago	1 340
Belize	1 151
Haïti	1 010
Guadeloupe	820
Barbade	418
Porto Rico	320
Martinique	207
Saint-Kitts-et-Nevis	193
Uruguay	188
Suriname	120
Bahamas	55
Saint-Vincent/Grenadines	20
Grenade	7,2
Guyane française	5,4
Dominique	4,4

Tableau 4 : **Océanie**

Pays	Tonnes * 10^3
Australie	32 260
Fidji, Iles	3 216
Papouasie-NelleGuinée	370
Polynésie française	3,2

Tableau 6 : Les productions de canne à sucre dans les pays en développement de 1979 à 2030
(d'après la FAO : Perspectives de l'agriculture mondiale pour 2015-2030)

	Rendements (tonnes/ha)				Superficies récoltées (10^6 ha)				Productions (10^6 tonnes)			
	1979-81	1997-99	2015	2030	1979-81	1997-99	2015	2030	1979-81	1997-99	2015	2030
Afrique subsaharienne	56,8	49,5	62,8	75	0,6	0,9	1,2	1,5	34,08	44,55	75,36	112,5
Proche-Orient et Afrique du Nord	79,1	103,9	105,1	108,4	0,1	0,2	0,2	0,3	7,91	20,78	21,02	32,52
Amérique latine et Caraïbes	57,3	64,7	76	82,8	6,2	8,5	8,9	9,3	355,26	549,95	676,4	770,04
Asie du Sud	48,6	63	84,8	100,2	3,7	5,4	6,1	6,7	179,82	340,2	517,28	671,34
Asie de l'Est	56,9	54,7	71,5	83,6	1,8	3,8	4	4,2	102,42	207,86	286	351,12
TOTAL	54,9	61,8	77,4	88,1	12,4	18,7	20,5	22	680,76	1155,66	1586,7	1938,2

CIRAD-DIST
Unité bibliothèque
Lavalette

ANNEXE 2

ANNEXE 3

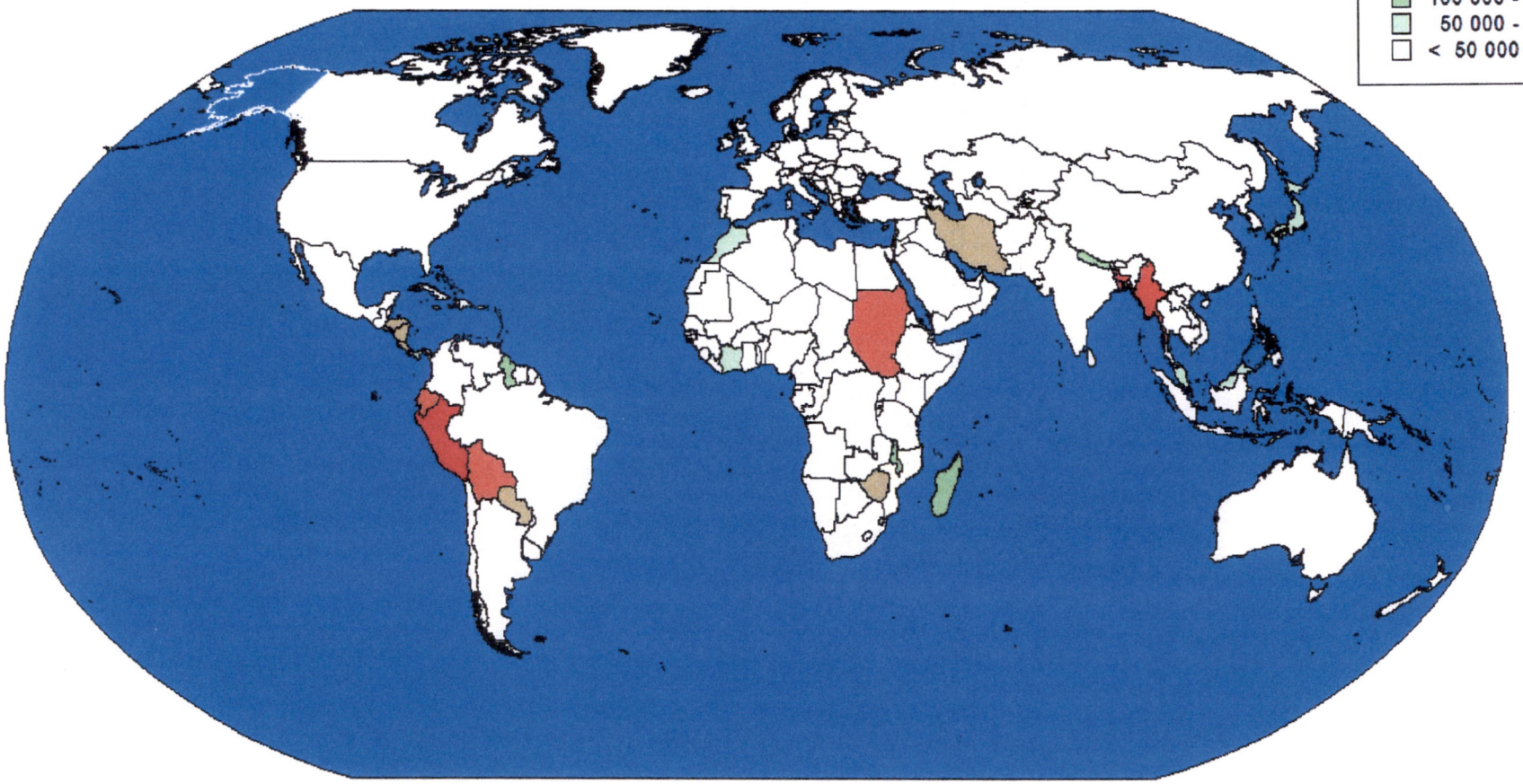
Tableau 7 : ***Capacités jour par pays en 2003***

	PAYS	Production de canne (t)	Bagasse (t)	Nbre usines	Capacité broyage du pays (t/j)
Groupe A	Brésil	363 721 000	98204670	209	1754250
	Inde	297 208 000	80246160	480	1 178 450
	Cuba	34 700 000	9369000	156	658 000
	Thaïlande	74 258 000	20049660	45	586550
	Chine	92 203 000	24894810	215	434 350
	Mexique	45 635 000	12321450	59	316 600
	Pakistan	48 041 600	12971232	69	313300
	Australie	32 260 000	8710200	30	287400
	Indonésie	25 530 000	6893100	67	195600
	Philippines	27 203 000	7344810	36	181100
	Argentine	19 250 000	5197500	22	133800
	Afrique du Sud	20 420 000	5513400	16	109000
	Guatemala	17 500 000	4725000	17	100000
	Vénézuela	8 526 000	2302020	16	77250
	Viet Nam	17 120 000	4622400	45	77250
	Égypte	16 335 000	4410450	9	71500
	Colombie	35 800 000	9666000	15	66000
	Réunion	2 000 000	540000	2	14200
	Rép.Dominicaine	5 154 000	1391580	14	60750
	Maurice	5 200 000	1404000	17	51700
TOTAL A		**1 188 064 600**	**320 777 442**	**1539**	
Groupe B	El Salvador	4 528 000	1222560	9	46450
	Soudan	5 500 000	1485000	5	39500
	Pérou	9 100 000	2457000	12	36400
	Iran	3 712 000	1002240	2	32000
	Honduras	3 450 000	931500	8	28000
	Nicaragua	3 120 000	842400	6	27800
	Costa Rica	3 462 000	934740	16	27550
	Equateur	5 670 000	1530900	6	27000
	Panama	1 440 000	388800	4	26100
	Myanmar	6 431 750	1736572,5	17	26100
	Bolivie	4 735 000	1278450	5	25000
	Fidji, Iles	3 216 000	868320	4	24800
	Jamaïque	1 966 000	530820	9	24000
	Kenya	4 500 000	1215000	7	22900
	Swaziland	4 000 000	1080000	3	22400
	Bangladesh	6 502 000	1755540	17	22200
	Guyana	3 000 000	810000	8	22000
	Mozambique	400 000	108000	6	21950
	Zimbabwe	4 000 000	1080000	2	19000

	Japon	1 328 000	358560	19	17500
	Népal	2 448 000	660960	11	16200
	Trin.-et-Tob.	1 340 000	361800	2	15700
	Côte d'Ivoire	1 045 000	282150	4	15500
	Tanzanie	1 600 000	432000	5	11550
	Malawi	2 100 000	567000	2	10500
	Maroc	947 000	255690	4	10500
	Nigéria	548 000	147960	4	10000
	Paraguay	3 210 000	866700	7	9350
	Madagascar	2 236 000	603720	5	9000
	Haïti	1 010 000	272700	3	8900
	Malaisie	1 500 000	405000	2	8000
	Barbade	418 000	112860	3	7900
	Ouganda	1 600 000	432000	3	7500
	Guadeloupe	820 000	221400	2	7500
TOTAL B		**100 882 755**	**27 238 343**	**222**	
Groupe C	Sri Lanka	963 000	260010	4	7450
	Zambie	1 800 000	486000	1	7200
	Belize	1 151 000	310770	1	6100
	Cameroun	1 400 000	378000	2	6000
	Rép dém du Congo	1 786 000	482220	1	5000
	Sénégal	890 000	240300	1	5000
	Saint-Kitts-et-Nevis	193 000	52110	1	3000
	Uruguay	188 000	50760	1	3000
	Pap. -NelleGuinée	370 000	99900	1	2800
	Burkina Faso	420 000	113400	1	2400
	Gabon	235 000	63450	1	2200
	Mali	370 000	99900	2	2000
	Tchad	355 000	95850	1	2000
	Martinique	207 000	55890	1	1500
	Burundi	200 000	54000	1	1000
	Sierra Leone	24 000	6480	1	400
	Rwanda	40 000	10800	1	150
TOTAL C		10 592 000	2 859 840	22	

Pays du groupe A : En vert : pays où l'utilisation de la bagasse est déjà bien organisée
Pays du groupe B : En jaune : pays pouvant avoir un surplus de bagasse pas forcément encore bien exploité ?
En bleu : pays dans lesquels se montent des projets pour l'utilisation de bagasse (LP. BINGH,2004, D.YUKO, 2005), ce qui suppose un surplus
Pays du groupe C : Pays n'ayant pas de surplus de bagasse , ou en ayant trop peu

ASSESSMENT OF THE WORLD POTENTIALITY OF THE RECOVERABLE BAGASSE PRODUCTION



ANNEXE 4

ANNEXE 5

Tableau 9 : Estimation des potentialités de production de charbon dans les pays du groupe B.

	Bagasse disponible (t)	Production de charbon (t)
El Salvador	293414	65203
Soudan	356400	79200
Pérou	589680	131040
Iran	240538	53453
Honduras	223560	49680
Nicaragua	202176	44928
Costa Rica	224338	49853
Equateur	367416	81648
Panama	93312	20736
Myanmar	416777	92617
Bolivie	306828	68184
Iles Fidji	208397	46310
Jamaïque	127397	28310
Swaziland	259200	57600
Bangladesh	421330	93629
Guyana	194400	43200
Mozambique	25920	5760
Zimbabwe	259200	57600
Japon	86054	19123
Népal	158630	35251
Trin.-et-Tob.	86832	19296
Côte d'Ivoire	67716	15048
Malawi	136080	30240
Maroc	61366	13637
Nigéria	35510	7891
Paraguay	208008	46224
Madagascar	144893	32198
Haïti	65448	14544
Malaisie	97200	21600
Barbade	27086	6019
Guadeloupe	53136	11808
TOTAL	**6038243**	**1341832**

CIRAD-DIST
Unité biblioth.
Lavalette

Bibliographie

- (http://www.fao.org/docrep/003/s8850e/S8850E03.htm)
- http://www.praj.net/article4.htm).
- http://www.scee.co.zw/projects.htm
- http://www.chini.com/bcml.ppt
- APOLINARIO MA., et alii, Study on the production of briquettes from bagasse, In-House Review, june 4-5, 1997, LAREC, SRA.
- BEEHARY RP., Strategies for augmenting sugarcane biomass availability for power production in Mauritius, Biomass and Bioenergy, 20 (2001) 421-429.
- BELL j., Sweetening the power sector: Current experience and future potential for bagasse CHP around the world, International Sugar Journal 2005, vol.107, N°1279.
- BERNOUX M., et alii, CO2 emission from mineral soils following land-cover change in Brazil, Global Change Biology (2001) 7, 779-787.
- BINGH LP., Opportunities for utilizing waste biomass for energy in Uganda, Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, thesis, 97 p.Trondheim, 2004.
- BLAIR N., Impact of cultivation and sugarcane green trash management on carbon fractions and aggregate stability for a chromic luvisol in Queensland, Australia, Soil and Tillage Research 55 (2000) 183-191.
- CERRI CC., et alii, Canne à sucre et séquestration du carbone, Académie d'Agriculture de France, séance du 17 mars 2004.
- FIGUEROA IBARRA LR., Energy saving and cogeneration potential in Mexican sugar mills, International Sugar Journal 2004 vol. 106, N°1264.
- FO Lichts, World sugar statistics 2005
- GODSHALL M.A., Enhancing the agro-industrial value of the cellulosic residues of sugarcane, International Sugar Journal 2005, vol. 107, N°1273.
- GRAHAM M.H., et alii, Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa, Soil and Biochemistry 34 (2002) 93-102.
- HUGOT E., La Sucrerie de Canne, Tec & Doc, Lavoisier, 3eme ed., 1987, 1018 p.
- JAGLALE V., Estimation des résidus de récolte de la canne à sucre à la Réunion, rapport de stage ingénieur, CIRAD-CA/ ISA, 2003.
- KESSARI ME., Etat des lieux sur les co-produits de la canne à sucre, 2003. Rapport 1ère année Ecole, stage CIRAD.
- LAU A.F., et alii, An integral approach to evaluate the performance of bagasse co-generation plant, International Sugar Journal 2005, vol. 107, N°1279.
- MBOHWA C., FUKUDA S., Electricity from bagasse in Zimbabwe, Biomass and Energy, 25 (2003) 197-207.

- MOREIRA DOS SANTOS C.Y., et alii, Selected organic compounds from biomass burning found in the atmospheric particulate matter over sugarcane plantation areas, Atmospheric Environment 36 (2002) 3009-3019.

- MORGENROTH B., BATSTONE D., Development and prospects for drying bagasse by steam, International Sugar Journal 2005 vol. 107, N°1279.

- MORRIS M., et alii, Increased power generation from sugar cane biomass – the results of a technical and economic evaluation of the benefits of using advanced gasification technology in a typical Brazilian sugar mill, Project BRA/96/G31, Biomass Power Generation: sugarcane bagasse and trash.

- NATU S.C., Bagasse based cogeneration, India marching ahead, International Sugar Journal 2005, vol. 107, N°1279.

- POUZET D., VELLE A., RASSABY A. Estimation des résidus de récolte de la canne à sucre. Bilan des études menées au cours des campagnes 2000 et 2001 sur l'île de La Réunion. CIRAD-CA Programme CAS – Pôle Canne à Sucre. Février 2002, Saint Denis, 14 p.

- SCARAMUCCI J.A., et alii, Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model, IMECC/ Unicamp, Campinas.

- SUBRAMANIAN A.K., High pressure multi-fuel cogeneration travelling grate boilers for the sugar industry, International Sugar Journal 2005 vol. 107, N°1279.

- VOLPER S., CIRAD, Communication personnelle.

- WRIGHT P.G., et alii, Improving the process steam economy in a cane sugar factory : a case history of a successful cogeneration project, International Sugar Journal 2005 vol. 107, N°1279.

- YUKO D., Potential for electricity generation from bagasse in Kenya, International Sugar Journal 2005 vol. 107, N°1273.

AD-DIST
té bibliothèque
avalette