

La bioraffinerie de canne à l'horizon 2020

L. Corcodel et W.Hoareau.

CERF, Service Process Sucrier, 40 Route Gabriel Maçé, BP315 La Bretagne, 97490 Ste Clotilde, La Réunion.(corcodel@cerf.re)

RESUME

La pétrochimie a été à la base du développement de la plus grande partie des innovations techniques du XX^{ème} siècle. De nombreuses voies de synthèses ont été découvertes, développées et industrialisées.

Le début du XXI^{ème} siècle est marqué par une prise de conscience mondiale sur la nécessité de remplacer l'utilisation du carbone fossile par du carbone renouvelable. La valorisation des plantes cultivées ou agroressource en chimie verte apparaît comme une alternative à pétrochimie. Les raffineries pétrolières seront remplacées par des bioraffineries pour une valorisation des plantes entières. Le végétal sera craqué comme le pétrole et les différents produits obtenus seront tous utilisés comme élément de base de différentes synthèses chimiques.

La canne à sucre est, parmi les plantes annuelles cultivées, l'une des plus productives en biomasse. L'industrie sucrière a toujours été innovante en vue de l'amélioration de ses procédés visant une optimisation des coûts. Les sites industriels sucriers sont depuis longtemps intégrés notamment avec la mise en place des premières centrales de cogénération dans les années 1980 à La Réunion.

Actuellement les coproduits (bagasse, écumes, mélasse et cendres) ont une valorisation intéressante : énergie, matériaux, fertilisant, papier, levure, éthanol... Cependant, de nouvelles voies de valorisation peuvent être mises en place afin d'augmenter le nombre de débouchés et de ne plus considérer ces composés comme des sous-produits, mais des coproduits d'intérêt. La mise en place de ces nouvelles voies de valorisation pourrait permettre de considérer les industries cannières comme des bioraffineries.

Mots clés : bioraffinerie, chimie verte, canne, agroressource, plante entière

INTRODUCTION

Le début du XXI^{ème} siècle est marqué par une forte augmentation du prix des ressources énergétiques également associé à une raréfaction de celle-ci et à de probables impacts environnementaux.

La pétrochimie ou craquage du pétrole permet de séparer cette matière première fossile en une multitude d'éléments : carburant, monomère, polymère utilisable dans toute la chimie industrielle moderne... La pétrochimie a été l'objet d'énormes recherches dans de nombreux domaines pour développer ces nouvelles voies de synthèses (polymère, catalyse...) et aboutir aux biens de consommation actuels.

Avant la pétrochimie, les agroressources étaient traditionnellement utilisées pour fabriquer les aliments et les biens de consommation courants. La mise en place de voies alternatives de production apparaît comme une nécessité avec la possibilité d'utiliser les productions agricoles comme matière première. La raffinerie du végétal ou bioraffinerie permet d'utiliser la biomasse comme matière de base pour isoler et synthétiser des « briques élémentaires ou « synthons » entrant dans les procédés chimiques classiques. Les voies de synthèses chimiques classiques peuvent aussi être améliorées pour réduire leur impact environnemental et énergétique : c'est la chimie verte.

Par comparaison à d'autres plantes annuelles, la canne à sucre produit une biomasse très importante et demande peu d'intrants, c'est donc une plante idéale pour servir de base à une bioraffinerie. Les sites industriels existants, la mentalité « industrielle » et l'optimisation permanente de l'outil de production font que l'industrie sucrière est probablement l'une des plus avancées pour mettre en place une bioraffinerie opérationnelle dans les années à venir. Il en résultera une production de plusieurs nouveaux produits valorisés dans des applications variées (solvant, tensioactif...).

1. CHIMIE VERTE ET BIORAFFINERIE

1.1. Chimie verte

Le développement de sources alternatives à base de carbone renouvelable apparaît comme une issue pour un développement durable avec les aspects sociétal, environnemental et économique qui lui sont associés. La valorisation non alimentaire des plantes en molécules de base de la chimie constitue ce que l'on appelle la chimie verte. Les grands principes de base de cette chimie durable ont été publiés par Anastas et Warner en 1998 (Figure 1).

La chimie verte est une vision large des procédés chimiques, car toutes les étapes doivent être optimisées et le bilan global (énergie, déchets...) du procédé doit être plus faible que les voies traditionnelles. Des analyses de cycle de vie (ACV) sont nécessaires pour prendre en compte les différents aspects des réactions. La chimie verte est plus propre que la chimie classique, mais le passage au stade industriel implique qu'elle doit rester compétitive.

L'un des points clés de cette chimie est l'utilisation de molécules de base issues des plantes et non plus fossiles (principe 7). Pour cela, la plante doit être fractionnée en synthons qui rentrent ensuite dans les voies classiques de la chimie.

1. Prévention : limiter la pollution à la source plutôt que devoir éliminer les déchets.
2. Économie d'atomes : optimiser l'incorporation des réactifs dans le produit final.
3. Conception de synthèses chimiques moins dangereuses qui utilisent et conduisent à des produits peu ou pas toxiques.
4. Conception de produits chimiques plus sûrs : efficaces et moins toxiques.
5. Réduction de l'utilisation de solvants et d'auxiliaires.
6. Réduction de la dépense énergétique.
7. Utilisation de matières premières renouvelables au lieu de matières fossiles.
8. Réduction des produits dérivés qui peuvent notamment générer des déchets.
9. Utilisation de la catalyse.
10. Conception des substances en intégrant leur mode de dégradation finale.
11. Mise au point de méthodes d'analyse en temps réel pour prévenir la pollution.
12. Développement d'une chimie sécuritaire pour prévenir les accidents, les explosions, les incendies et les rejets.

Figure 1 : Les 12 principes de la chimie verte (Anastas et Warner, 1998)

1.2. Bioraffinerie

Actuellement, les plantes sont cultivées avec un débouché principal, parfois des coproduits, le reste constituant un déchet généralement peu valorisé. La valorisation de la plante entière est un concept permettant d'éliminer les déchets. L'usine qui va fractionner le végétal est appelée une bioraffinerie. Les étapes principales sont une extraction et une purification de la biomasse suivies d'une modification chimique et enzymatique des molécules pour aboutir à différents synthons (Figure 2).

La valorisation alimentaire des produits agricoles est conservée, mais avec l'ajout de nouvelles valorisations non alimentaires qui sont très variées : agrocarburant (éthanol et diester), résines, panneaux de fibres, cosmétique, pharmaceutique...

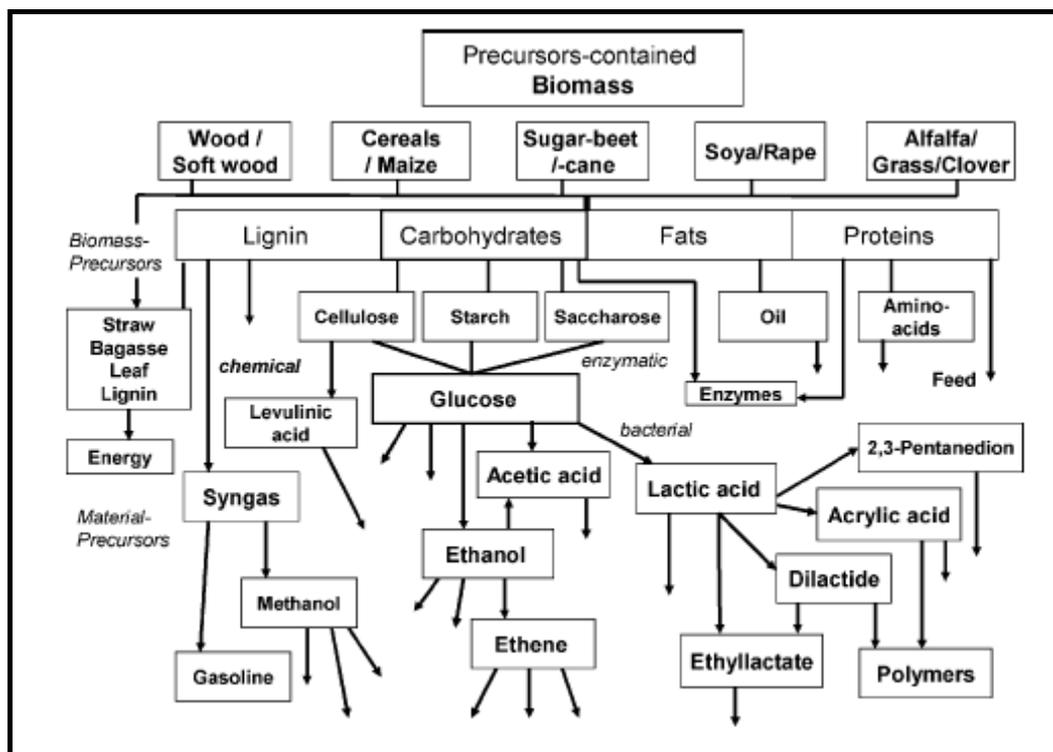


Figure 2 : Schéma de bioraffinerie à base d'hydrate de carbone (Kamm et Kamm, 2004)

Cette chimie à base de plante présente une voie alternative de substitution des produits d'origine fossile dans un respect de l'environnement pour un développement durable et raisonné.

Actuellement les sites sucriers les plus optimisés produisent du sucre et tous les coproduits sont valorisés : bagasse en énergie (vapeur et électricité), mélasse en alcool, écume – cendres – vinasses en fertilisation, mâchefer en remblais de route... La vinasse peut aussi être méthanisée pour produire du biogaz. Les seuls déchets étant les eaux usées et les fumées des centrales thermiques. Ces unités peuvent dès à présent être considérées comme des bioraffineries. Cependant, de nombreuses pistes restent encore à explorer pour continuer à optimiser la valorisation de ces coproduits notamment en chimie industrielle.

2. APPLICATION A LA FILIÈRE CANNE

2.1. Composition de la canne

2.1.1. La canne à sucre

La composition de la canne à sucre est généralement décrite comme la somme de l'eau, de la fibre, du sucre (saccharose) et des non-sucre.

Le non-sucre est constitué de nombreux éléments (Rein, 2007) : monosaccharides, (glucose et fructose), minéraux (potassium, silice, calcium, magnésium, sodium, chlorure, soufre et phosphore...), polysaccharides (amidon, cellulose ; gommés, dextranes), protéines, corps gras (cires), polyphénols, acides organiques (aconitique, citrique, malique...).

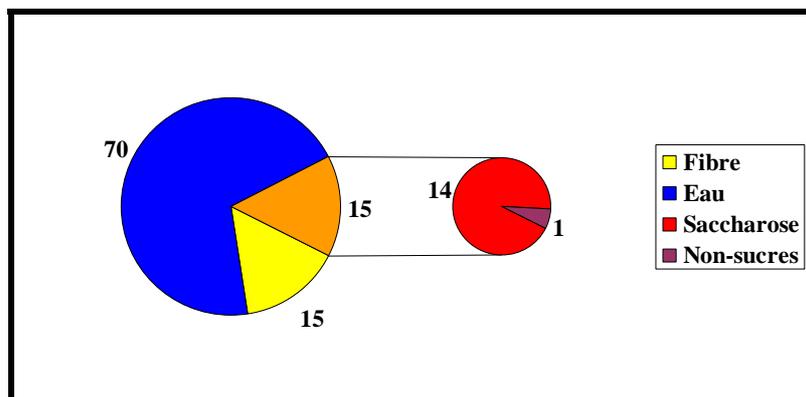


Figure 3 : répartition des constituants de la canne à sucre usinable

2.1.2. Nouvelles valorisations de la canne à sucre

Tous les non-sucre sont potentiellement valorisables avec la mise en place d'une technique de purification et d'un débouché viable. L'identification des propriétés de ces molécules est indispensable dans la recherche de nouveaux débouchés ou pour remplacer des molécules issues de la pétrochimie ayant les mêmes propriétés.

En cas de débouchés économiques, les variétés pourront être sélectionnées pour ces nouveaux composés afin d'augmenter cette nouvelle ressource.

Dans les années à venir la canne biomasse ou canne énergie pourra aussi avoir un fort développement avec la possibilité de la récolter sans valorisation du sucre (Albert et al., 2004). Pour la canne énergie, les rendements par hectare seront en forte augmentation, probablement au détriment de la richesse. Cependant, la recherche variétale en canne a toujours ciblé une augmentation du tonnage et donc de la fibre.

La canne sera essentiellement récoltée « en vert » ce qui aura pour conséquence d'augmenter la fibre en entrée usine et donc la production d'énergie.

2.1.3. Des nouvelles molécules à partir de la canne

Une autre approche est envisagée via le génie génétique et la réalisation de plantes transgéniques produisant des molécules d'intérêts connus. De nombreuses équipes travaillent sur ce domaine avec notamment des australiens pour la production d'isomaltulose (Luguang and Birch, 2007), de sorbitol (Chong et al., 2007), ou de bioplastique (Lars et al., 2007 ; McQualter et al., 2005) ...

2.2. Extraction du sucre

La valorisation de la canne « plante entière » implique que les feuilles et les bouts blancs (extrémité apicale de la canne) seront également livrés à l'usine. Ce « non canne » sera transporté à l'usine en botte pressée (Briceno et Torres, 2001), ou séparé de la canne soit lors de la coupe mécanique soit par des procédés de soufflerie sur les tables à canne de l'usine (Schembri et al., 2002). La transformation et la valorisation des feuilles et des bouts blancs sont abordées dans la partie 3.

À l'horizon 2020, les procédés d'extraction du sucre auront peu changé. Comme l'objectif final ne sera plus uniquement la production de sucre, la course à l'extraction maximale sera arrêtée et les usines simplifiées. Cette simplification a déjà débuté (au Brésil, au Guatemala, à Maurice...) avec la possibilité de circuit séparé pour le jus 1^{er} moulin et le jus 2^{ème} moulin, une cristallisation en 2 jets, l'égout B alimentant directement la distillerie.

Le sucre roux de canne devrait continuer à être produit pour la consommation de bouche avec une augmentation du nombre et de la qualité des sucres spéciaux. Cependant, le sucre produit dans les usines sera majoritairement du sucre blanc. Pour les grosses entreprises, il pourra y avoir une mutualisation des ateliers de raffinage avec comme source d'énergie la bagasse. Comme l'énergie sera une part importante des revenus industriels, il en résultera une diminution accrue de la consommation énergétique des usines.

2.3. Consommation énergétique

La vapeur et l'électricité seront produites dans des centrales thermiques de cogénération bagasse / charbon avec la possibilité de brûler d'autres agroressources lors de l'intercampagne. Ces centrales thermiques auront une efficacité optimisée pour vendre de l'électricité au réseau et fournir l'énergie nécessaire à la bioraffinerie.

La diminution de la consommation énergétique se fera à tous les niveaux des sucreries qui sera en dessous de 350 kg / t canne. Des paramètres de suivi des consommations par atelier seront probablement mis en place. Le rapport énergie dépensée / sucre extrait prendra de l'importance.

Pour l'extraction des moulins, certaines usines auront simplement des batteries de 3 moulins avec des moteurs électriques. Le sucre restant dans la bagasse pouvant être fermenté après l'hydrolyse de la bagasse.

Les évaporateurs seront en 6 effets avec l'utilisation de flot tombant à tube comme cela a été expérimenté à La Réunion lors de la campagne 2007 avec de fortes économies d'énergie.

Les circuits d'eau condensés seront tous réutilisés pour récupérer les calories pour les réchauffeurs. Les pompes auront toutes des variateurs de vitesse.

Une approche applicable aux gros complexes sucriers a débuté au Brésil depuis 2004 avec la notion d' « intégration bioéthanol – biodiesel » Oliviero et al. (2007) en complément de la cogénération. En effet, l'usine de Barralcool a commencé une production de soja et d'arachide en rotation avec la canne à sucre ce qui améliore la qualité des sols. L'huile extraite des oléagineux permet d'alimenter les moteurs diesel de la plantation (tracteurs, camions...) ce qui permet de réduire significativement le bilan financier et environnemental du complexe.

3. VALORISATION DES COPRODUITS DE LA CANNE

3.1. La bagasse

3.1.1. États des lieux en 2007

3.1.1.1. Valorisation énergétique : électricité

À La Réunion, une stratégie de « canne-énergie » a été développée depuis 1982. Après l'extraction du sucre, la bagasse est transportée vers les centrales thermiques pour produire de l'énergie, vapeur pour la sucrerie et électricité vendue sur le réseau EDF. Les centrales de Bois-Rouge (2x32 + 44 MW) et du Gol (2x40 + 51 MW) produisent environ 1256 GW/an (INSEE Réunion, 2006) dont plus de 273 GW/an avec la bagasse. Cette stratégie de cogénération a depuis été reprise dans de nombreux pays sucriers (Brésil, Thaïlande, Guatemala, Ile Maurice, Guadeloupe...).

3.1.1.2. Valorisation en molécules organiques

La bagasse est également à la base de production du furfural et d'hydroxyméthyl furfural comme c'est le cas en Afrique du Sud. Une grande proportion du furfural est réduite en alcool furfurylique, qui est une matière première pour diverses résines furaniques, caractérisées entre autres par une très bonne résistance à la température et aux agents chimiques agressifs

(Gandini et Belgacem, 2002). Ces résines sont ensuite utilisées pour la fabrication de plastique.

3.1.1.3. Valorisation agronomique

La bagasse sert de support à la culture de champignon comme c'est le cas à La Réunion, en Guadeloupe et en Indonésie.

Les pailles qui restent aux champs sont une source non négligeable de minéraux et de matière organique pour le sol. La bagasse, la paille et les bouts blancs peuvent aussi être utilisés comme aliment pour le bétail seul ou en mélange avec de la mélasse.

3.1.1.4. Valorisation en matériaux

Parmi les sources de fibres autres que le bois, la bagasse est la plus utilisée (20 %) pour la fabrication des pâtes à papier, devant le roseau (17,5 %) et les pailles de céréales (17 %) (Fao, 2005). Des papeteries à base de bagasse sont implantées en Inde, Afrique du Sud, Mexique, ... La pâte à papier est obtenue par délignification selon 2 procédés classiques : cuisson « kraft » (soude et sulfure de sodium) ou cuisson alcaline (soude-anthraquinone).

Des innovations récentes permettent la fabrication de contenant alimentaire (assiettes, gobelets, barquettes...), avec un fabricant en Chine.

Au Brésil, la société EDRA réalise un composite de différents plastiques recyclés avec de la bagasse comme renfort pour réaliser différents objets (chaises, boîtes...).

La transformation de bagasse en panneaux existe au stage industriel dans différents pays (Thaïlande...). À La Réunion, l'usine de La Mare a produit du « bagapan » dans les années 1970 (Hugot et Langreny, 1968).

L'aspect environnemental de ces dernières techniques doit être pris en compte notamment avec des ACV.

3.1.2. Innovations à venir

La livraison de canne plante entière (cannes, feuilles et bouts blancs) aura des répercussions sur l'extraction du sucre, mais augmentera le gisement de fibre et pourra donner lieu à de nouvelles valorisations.

3.1.2.1. Valorisation énergétique

Les agrocarburants de seconde génération sont issus de l'hydrolyse des fibres végétales (bois, paille, bagasse...). Le bilan énergétique des agrocarburants de seconde génération est 2 à 3 fois supérieur à celui de ceux de première génération.

De nombreux projets de recherche sont en cours avec deux types de procédés : hydrolyse acide ou hydrolyse enzymatique. Dans les deux cas, la lignocellulose est dégradée en lignine, cellulose et hémicellulose. La lignine peut avoir différentes applications (énergie, colle...), la cellulose et les hémicelluloses sont ensuite dégradées en sucres simples (monosaccharides) fermentescibles pour la production de bioéthanol.

La compagnie Dedini SA (Piracicaba, São Paulo) au Brésil a breveté un procédé de saccharification de la bagasse par hydrolyse acide. Le procédé n'est pas encore industrialisable et un pilote de 500 L/jour est en test (Oliverio, 2005).

L'hydrolyse de la cellulose et des hémicelluloses des fibres de bagasse conduit à des sucres simples en C6 et en C5 (Figure 4). L'éthanol est obtenu par la fermentation de ces sucres avec des résultats satisfaisants (Ballesteros et al., 2004). Les recherches sont en cours afin d'améliorer les rendements de fermentation notamment pour les sucres en C5.

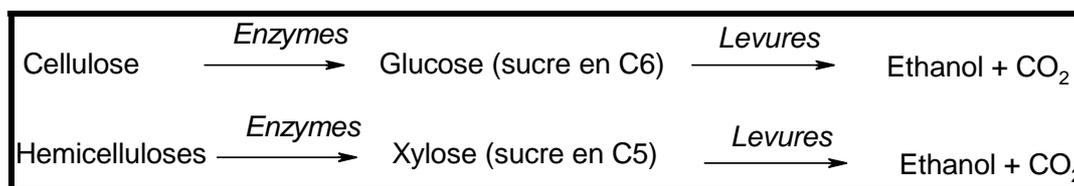


Figure 4 : Obtention d'éthanol à partir de cellulose et d'hémicelluloses

Les voies de conversion les plus prometteuses pour produire les biocarburants de seconde génération sont celles qui utilisent les procédés thermochimiques de pyrolyse et de gazéification. La plante entière est ainsi convertie en gaz de synthèse ou syngaz (CO et H₂). Ils peuvent être valorisés par deux voies. La première en utilisant des réactions catalytiques de conversion de gaz à l'eau qui permet d'optimiser la production d'hydrogène pour les piles à combustibles. La deuxième en utilisant le procédé connu Fisher-Tropsch pour produire des hydrocarbures de synthèse pouvant substituer le gasoil ou l'essence.

Le CO₂ des centrales thermiques pourrait aussi être considéré comme un coproduit notamment avec le développement des réacteurs microalgues qui vont fixer le CO₂ grâce à la photosynthèse (Chaumont, 1995). Ces microalgues sont ensuite valorisées pour des synthons (lipides...) ou en énergie (éthanol ou thermique).

3.1.2.2. Valorisation en molécules organiques

La bagasse est aussi une source de xylose obtenu par hydrolyse des hémicelluloses. Le xylose peut être converti par réduction en xylitol qui est très utilisé dans de nombreux médicaments, ainsi que dans l'industrie alimentaire, comme édulcorant naturel (Carvalho et al., 2005).

Par rapport aux tiges, les bouts blancs ont de plus fortes teneurs en molécules organiques. La mise en place de procédés de valorisation est en cours notamment en Louisiane avec des pistes par voie fermentaire (Rein, 2007).

3.1.2.3. Valorisation en matériaux

Les panneaux en bagasse actuels ont une faible résistance à l'humidité et aux champignons. Des travaux ont permis de modifier chimiquement les fibres de bagasse pour améliorer leur propriété technologique : Hoareau (2005) a modifié la lignine ; Paiva et Frollini (2002) ont modifié la cellulose et les hémicelluloses.

3.2. L'écume

3.2.1. État des lieux en 2007

L'écume est généralement valorisée comme amendement organique des sols pour sa teneur en phosphate et en chaux.

Les cires contenues dans les écumes étaient récupérées au début du siècle dernier jusqu'en 1960, notamment avec une production de 6000 tonnes exportées par l'Afrique du Sud (Paturau, 1969). Elles étaient valorisées dans la préparation de peinture et de vernis et cette production a été arrêtée pour des raisons économiques.

3.2.2. Innovations à venir

La récupération et l'identification des cires des écumes ont fait l'objet de recherches récentes (Georges, 2005). Il existe de nombreuses voies de valorisations possibles pour ces cires, notamment en cosmétiques et en pharmaceutiques. La séparation sur résines ou sur

membranes permet le recyclage des effluents et une récupération des molécules prêtes à être valorisées.

3.3. La mélasse

3.3.1. État des lieux en 2007

La mélasse est généralement valorisée en fermentation alcoolique (rhum, bioéthanol...), en nourriture animale, en fermentation pour la production de levures de boulangerie et dans diverses fermentations... (Paturau, 1969).

3.3.2. Innovations à venir

De nombreuses molécules organiques sont présentes dans la mélasse. Certaines de ces molécules ont une activité anti-oxydante et peuvent, après extraction, être valorisées comme anti-oxydants dans l'industrie pharmaceutique (Payet, 2005).

La mélasse peut subir différentes fermentations par des champignons, levures ou bactéries pour la production de molécules organiques comme l'acide citrique ou l'acide itaconique pour de nombreuses applications agroalimentaires ou dans les matériaux (Blackburn, 1984).

3.4. La vinasse

3.4.1. État des lieux en 2007

Les vinasses de distilleries sont généralement valorisées comme fertilisant (apport en potassium) pour les cultures cannières. Des systèmes de fertiirrigation existent au Brésil. Dans certains pays, comme la France, la réglementation interdit l'épandage de vinasse. Elle est encore un déchet non valorisé. Le statut de la vinasse est sur le point de changer et pourrait passer d'effluent industriel à co-produit de l'industrie sucrière.

La méthanisation permet d'éliminer la pollution organique en générant du méthane qui peut ensuite être valorisé énergétiquement. Cette technique de valorisation existe à l'échelle industrielle depuis plus de 20 ans en Guadeloupe.

3.4.2. Innovations à venir

3.4.2.1. Valorisation en énergie

L'optimisation des techniques de méthanisation permettra la généralisation de la valorisation énergétique des vinasses avec un couplage efficient à des chaudières alimentant la distillerie.

La pyrolyse de vinasse de betterave est en cours d'essais en Champagne Ardenne. Cette technique permet de transformer la charge organique des vinasses en énergie.

3.4.2.2. Valorisation en molécules organiques

La vinasse est une importante source de molécules avec notamment des acides organiques (Godshall, 2006). La valorisation de ces différents composés nécessite de trouver un débouché économique ainsi que la technique d'extraction adaptée.

3.5. Les eaux usées

Les nouvelles normes environnementales seront probablement de plus en plus strictes. Les eaux usées issues du process (lavage de la canne, eaux de process, lavage usine...) pourraient aussi être traitées par méthanisation pour récupérer de l'énergie qui pourrait compenser les coûts de traitement.

CONCLUSIONS

La mise en place de bioraffineries de canne à sucre a démarré. Différents projets de recherche vont permettre la mise en place d'une bioraffinerie dont le sucre ne sera plus le produit principal.

L'esprit d'innovation de la filière canne est un bon moteur pour promouvoir le développement de ces unités. Il est donc essentiel que la recherche fondamentale et la recherche opérationnelle travaillent en étroite collaboration pour choisir des débouchés économiques. Cette recherche doit débiter dès maintenant pour permettre une industrialisation économique à l'horizon 2020.

La multifonctionnalité de la canne est déjà un point fort de cette culture : couvert végétal, faible demande en intrant, rusticité... La mise en place de nouveaux débouchés sera un point favorable de plus et la valorisation de la plante entière sera un argument de poids pour la transition de la récolte en brûlé vers la récolte en « vert ».

REMERCIEMENT

Ce papier est issu de nombreuses rencontres et discussions avec notamment Jean-Claude Pony, Olivier Maçé, Raymond Rivalland, Jean-Paul Dijoux...

BIBLIOGRAPHIE

Albert-Thenet, J. R., Simpson, C. O., Rao, P. S., Martin Gardner, M., (2004). The BAMC fuel cane project. West Indies Sugar Technologist (WIST), National Agricultural Research Conference.

Anastas, P.T., Warner, J.C. (1998). Green chemistry : Theory and Practice, Oxford University Press, New York, 30pp.

Ballesteros, M., Olivia, J.M., Negro, M.J., Manzanare P. et I. Ballesteros. (2004). Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875. Process Biochemistry 39:1843-1848pp.

Blackburn, F. (1984). Sugar cane. Ed. Longman, London and New York.

Briceno, C.O. et Torres, J.S. (2001). Changes in green cane harvest residue during storage. Proc. Int. Soc. Sugar Cane technol., Vol. 24, 197-202pp.

Carvalho, W., Santos, J.C., Canilha, L., Silva, S.S., Perego, P. et Converti, A. (2005). Xylitol production from sugarcane bagasse hydrolysate metabolic behaviour of *Candida guilliermondii* cells entrapped in Ca-alginate. Biochemical Engineering Journal 25:25-31pp.

Chaumont, D., (1995). Bases physiologiques et technologiques de la conception de photobioréacteurs pour la culture contrôlée de microalgues. Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille 3.

Chong, B. F., Bonnett, G.D., Glassop D., O'Shea, M.G. et Brumbley, S.M. (2007). Growth and metabolism in sugarcane are altered by the creation of a new hexose-phosphate sink, Plant Biotechnology Journal 5, 240–253pp.

FAO (2005): www.fao.org <<http://www.fao.org>>

Gandini, A. et Belgacem, N.M. (2002). Le furfural et les polymères furaniques. *L'Actualité Chimique*: 56-61pp.

Georges, P. (2005). Contribution à la connaissance chimique des cires de canne à sucre de Guadeloupe. Thèse de doctorat. Université des Antilles-Guyane.

Godshall, M.A. (2006). The potential of cane vinasse-Composition, uses and disposal. *Proce. SPRI*, 257-267pp.

Hoareau, W. (2005). Valorisation de la bagasse de canne à sucre. Chimie, photochimie et élaboration de panneaux et composites. Thèse de Doctorat, Université de La Réunion.

Hugo, E. et Langrenay, F. (1968). The bagasse particle board. *Proc. ISSCT*, XIII, 1891-1899pp.

INSEE (2007): www.insee.fr <<http://www.insee.fr>> Région Réunion TER 2007

Kamm, B. et Kamm, M. (2004). Biorefinery – Systems, *Chem. Biochem. Eng. Q.* 18 (1) 1–6.
Lars A. Petrasovits L.A., Purnell M.P., Nielsen L.K., Brumbley S.M. (2007). Production of polyhydroxybutyrate in sugarcane, *Plant Biotechnology Journal*, 5, 162–172pp.

Luguang, W. et Birch, R.G. (2007). Doubled sugar content in sugarcane plants modified to produce a sucrose isomer, *Plant Biotechnology Journal* 5, 109–117pp.

McQualter R. B., Chong B.F., Meyer K., Van Dyk D.E., O’Shea M.G., Walton N.J., Viitanen P.V., Brumbley S.M. (2005). Initial evaluation of sugarcane as a production platform for p-hydroxybenzoic acid, *Plant Biotechnology Journal*, 3, 29–41pp.

Oliverio, J.L. et Hislt, A.P. (2005). DHR-Dedini Hidrolise Rapida (Dedini Rapid Hydrolysis). Revolutionary process for producing alcohol from sugarcane bagasse. *Proc. ISSCT*, 25, 320-327pp.

Oliverio, J.L., Barreira, S.T. et Rangel, S.C.P. (2007). Intergrated biodiesel production in Barralcool sugar and alcohol mill. *Proc. Int. Soc. Sugar Cane technol.*, Vol. 26, 1228-1245pp.

Paturau, J.M., 1969. *By-products of the cane sugar industry*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam.

Paiva, J.M.F. et Frollini, E. (2002). Sugarcane bagasse reinforced phenolic and lignophenolic composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 83:880-888pp.

Payet, B. Shum Cheong Sing, A., Smadja, J. (2005). Assessment of antioxydant activity of cane brown sugars by ABTS and DPPH radical scaven ging assays : Determination of their polyphenolic and volatile constituents. *J. Agric. Food Chem.* 53, 6 pp.

Rein, P. (2007). *Cane sugar Engineering*. Bartens 526pp.

Schembri, M. G., Hobson, P.A. et Paddock, R (2002). The development of a prototype factory-based trash separation plant, *Proc. Aust. Soc. Sugar Cane Technol.*, Vol. 24, 2002.