



Cap sur la bagasse

Um sous-produit important de l'industrie de la canne à sucre offre un avantage compétitif au Brésil pour la recherche sur l'éthanol de deuxième génération



FABRÍCIO MARQUES

Publié en septembre 2009

La recherche brésilienne sur l'éthanol de deuxième génération s'est articulée d'une manière inédite. Les études en matière d'éthanol extrait de la cellulose, jusqu'à présent limitées aux expériences isolées d'entreprises et de groupes de recherche, mobilisent actuellement un nombre croissant de chercheurs encouragés par des politiques visant à augmenter la production d'éthanol de canne à sucre brésilien. L'objectif est d'exploiter la bagasse et la paille de canne à sucre, sources de cellulose et qui représentent les deux tiers de l'énergie de la plante non convertis en biocarburants. « Il y a une course mondiale pour le développement de l'éthanol de deuxième génération », déclare Rubens Maciel Filho, professeur de la Faculté d'Ingénierie Chimique de l'Université Publique de Campinas (Unicamp) et l'un des coordonnateurs du Programme FAPESP de Recherche en Bioénergie (Bioen), à l'origine du rapprochement de la communauté scientifique de São Paulo. « Bien qu'ayant peu d'expériences dans ce domaine, le Brésil possède de grands avantages comparatifs, comme l'énorme quantité de matière première disponible et peu onéreuse de la bagasse pré-cueillie ainsi qu'une infrastructure déjà opérationnelle en matière de production d'éthanol », déclare-t-il.

Les copeaux de bois, la bagasse de canne à sucre ou les épis de maïs sont des déchets formés de cellulose qui peuvent se transformer en biocarburant quand ils sont soumis à des réactions d'hydrolyse, procédé chimique qui rompt les molécules. Un des grands avantages de cette approche est qu'elle réduit la compétition entre biocarburants et aliments et, dans le cas de la bagasse, produit davantage d'éthanol par superficie plantée. Il ne faut pas se méprendre sur les bas prix de la production d'éthanol de maïs aux États-Unis qui est fortement subventionnée, contrairement à l'éthanol brésilien. D'un point de vue technologique, il y a plusieurs procédés d'hydrolyse testés mais les rendements et les investissements ne sont pas économiquement viables.

Cette articulation scientifique comprend de nouvelles initiatives comme la construction de différentes usines

pilote pour développer de nouveaux procédés technologiques en matière d'éthanol cellulosique. L'entreprise Dedini Industries de Base est en train de construire une nouvelle usine d'hydrolyse acide, procédé qui rompt les molécules de cellulose en utilisant un acide comme catalyseur. L'usine innovera en matière de matériaux et de procédés, profitant des connaissances acquises par une autre usine de l'entreprise qui a fonctionné entre 2003 et 2007, l'usine São Luiz, à Pirassununga (SP). « L'expérience nous a montré qu'il nous faut résoudre certaines conditions critiques de fonctionnement de l'usine », déclare le vice-président de Dedini, José Luiz Olivério. « Nous sommes en train de tester des matériaux plus résistants car les conditions abrasives du processus provoquaient une usure qui finissait par compromettre le fonctionnement continu de l'usine », dit-il. Selon Olivério, l'entreprise Dedini croit en la viabilité commerciale de sa technologie étudiée depuis les années 80, grâce à un processus innovateur appelé Dedini Hydrolyse Rapide (DHR). L'entreprise maintient un accord de coopération scientifique avec la FAPESP en matière de procédés industriels destinés à la production d'éthanol.

L'une des plus grandes entreprises brésiennes du secteur chimique, Oxiteno, s'intéresse au processus d'hydrolyse de la bagasse et de la paille pour la fabrication de produits qui seront utilisés dans l'industrie chimique et pharmaceutique et qui sont actuellement obtenus au moyen d'un procédé pétrochimique. L'entreprise a également lancé en novembre 2006, en partenariat avec la FAPESP, un appel à proposition public dans 16 domaines thématiques de recherche et sélectionné des projets technologiques pour la production de sucres, d'alcools et de dérivés.

La majorité des 7 procédés retenus et liés à l'éthanol de cellulose sont actuellement développés en partenariat avec des chercheurs de l'Université de São Paulo, de l'Institut de Recherches Technologiques et du Laboratoire

Bagasse dans une usine de l'état de São Paulo: matière première prometteuse pour l'éthanol de cellulose



PHOTOS EDUARDO CESAR

National Luz Síncrotron. Les partenariats établis entre la Fondation et les entreprises Dedini et Oxiteno font partie du programme Bioen.

Petrobras investit dans l'hydrolyse enzymatique en utilisant des enzymes produites par des microorganismes à la place des acides. Ces enzymes sont capables de rompre le sucre de la cellulose et sont ensuite transformées en éthanol après fermentation. Une usine pilote installée au Cenpes, Centre de Recherche de l'entreprise situé dans l'île du Fundão, à Rio de Janeiro, a commencé à fonctionner en 2007. L'objectif de l'entreprise est de maîtriser la technologie et de parvenir à exporter l'éthanol de cellulose au cours de cette prochaine décennie.

Une usine pilote sera construite d'ici 2010 à Campinas, état de São Paulo, et sera utilisée par les chercheurs de tous les états. Elle est le symbole de cette union d'efforts et sera construite dans le tout nouveau Centre de Sciences et de Technologie du Bioéthanol (CTBE), lié au Ministère des Sciences et de la Technologie. Elle sera structurée en six modules, allant du traitement physique du matériau lignocellulosique à la fermentation, à la production de microorganismes et à l'hydrolyse. Les chercheurs pourront ainsi réaliser diverses expériences en utilisant des parties spécifiques d'une même plateforme. « Le but est de favoriser des avancées simultanées qui vont nous aider à surmonter les différentes barrières technologiques liées à l'éthanol de deuxième génération », explique Carlos Eduardo Vaz Rossell, coordonnateur de l'usine pilote du CTBE.

La recherche de base sur l'éthanol de deuxième génération est en train

de gagner de l'élan. Des chercheurs d'Embrapa Agroénergie, par exemple, sont en train de mener des études pour caractériser la paroi cellulaire de la canne à sucre. Les études sont menées au Laboratoire de Génétique Moléculaire d'Embrapa Ressources Génétiques et Biotechnologie en partenariat avec l'Institut de Botanique de l'USP. L'objectif est de mieux comprendre la composition et la structure de la paroi cellulaire de la canne à sucre pour la manipuler de manière spécifique dans le but d'augmenter la production d'éthanol de deuxième génération.

Des pays comme les États-Unis, le Canada et la Suède ont une production scientifique plus avancée que le Brésil en ce qui concerne le développement de l'éthanol de deuxième génération. Les États-Unis, premier producteur mondial d'éthanol, essuient de nombreuses critiques pour avoir misé sur le maïs, source d'alimentation humaine et pour les énormes subventions accordées qui ont un impact sur les prix de vente. La recherche sur l'éthanol de cellulose exploité à partir des déchets agricoles ou de plantes qui ne sont pas destinés à l'alimentation vise à garantir un approvisionnement renouvelable en carburant sans porter préjudice à la sécurité alimentaire du pays.

L'intérêt brésilien pour l'éthanol issu de la cellulose a une toile de fond bien différente. Le pays veut rendre l'éthanol de canne à sucre encore plus compétitif en augmentant sa production sans pour autant être obligé d'augmenter les zones plantées. Des études menées dans le cadre du projet Bioéthanol, réseau de recherche financé par le gouvernement

fédéral, indiquent qu'une distillerie de canne à sucre qui produit aujourd'hui 1 million de litres d'éthanol par jour, pourrait dans un premier temps, grâce à la technologie de l'hydrolyse, produire 150 mille litres d'éthanol supplémentaire issu de la bagasse. Cette production pourrait, en 2025, atteindre 400 mille litres supplémentaire grâce à des procédés plus performants utilisant la bagasse. La paille de canne à sucre est une autre source potentielle pour la production d'éthanol. L'abandon des brûlis dans les champs de canne à sucre pourrait également être utilisé comme une source de cellulose.

Il faudra que ce procédé devienne bon marché pour compenser le changement d'utilisation de la bagasse, déjà efficace au Brésil, mais basé sur le brûlis pour produire de l'électricité dans les usines de sucre et d'éthanol. Rubens Maciel Filho, de l'Unicamp, rappelle qu'il ne suffit pas uniquement de trouver des solutions technologiquement viables car il est essentiel qu'elles soient également moins chères. « Il n'est pas facile de justifier de grands investissements pour améliorer l'éthanol de première génération car ce procédé a déjà une productivité très élevée, il faut donc que la production d'éthanol de deuxième génération soit financièrement compétitive », déclare-t-il. Il est important de souligner que la technologie de première génération possède encore une marge de perfectionnement. L'entreprise Dedini investit dans le développement de l'hydrolyse mais continue de miser sur d'autres technologies comme des usines d'éthanol autosuffisantes en eau et la production d'un engrais-bio utilisant différents déchets comme la suie et la vinasse de canne. « La canne à sucre possède d'énormes atouts en matière de stockage d'énergie », déclare José Luiz Olivério, de l'entreprise Dedini.

Il est difficile de prévoir quand l'éthanol de cellulose sera économiquement viable, en raison du peu d'informations disponibles sur les avancées de certaines entreprises qui sont gardées secrètes. « Mais s'il y avait réellement un processus compétitif pour transformer la bagasse de canne à sucre en éthanol, ce produit serait déjà disponible sur le marché et les usines seraient en train de l'exploiter », affirme Rubens Maciel, de l'Unicamp. Le chercheur estime que



le Brésil a cinq ans devant lui pour surmonter les défis technologiques. « Dans le cas contraire nous dépendrions de procédés et d'intrants importés. Mais il nous faut poursuivre nos efforts car nous avons l'avantage d'avoir la bagasse à notre disposition dans les usines de production d'éthanol », déclare-t-il, se référant au prix de la tonne de bagasse de canne à sucre sec, d'environ 15 dollars US et qui pour la même quantité coûte 35 dollars US aux États-Unis. Il y a même des avantages en ce qui concerne les coûts de transport car il n'est pas nécessaire de transporter la bagasse jusqu'à l'usine, elle est présente sur place.

La bagasse et la paille sont constituées de cellulose, un polymère du glucose formé de six atomes de carbone (les hexoses), d'hémicellulose, composée par des sucres possédant cinq atomes de carbone appelés pentoses mais qui ne sont pas encore utilisés pour la production de sucre. Elles sont aussi composées de lignine, un matériau structural de la plante associé à la paroi végétale cellulaire qui lui confère sa rigidité, son imperméabilité et une résistance aux attaques contre le tissu végétal. Pour que les biomasses puissent être utilisées comme matières premières dans des processus chimiques et biologiques, elles doivent être soumises à un prétraitement capable de désorganiser le composé lignocellulosique récalcitrant. La lignine est un grand obstacle dans ce processus car sa rupture libère des substances qui inhibent la fermentation.

Différentes barrières doivent donc être surmontées pour parvenir à un processus économiquement viable. Le premier obstacle concerne le prétraitement de la bagasse et de la paille. « Les matières premières se décomposent lentement. L'enjeu est d'arriver à prétraiter cette structure pour la rendre plus labile. Les premiers procédés étaient très destructifs et entraînaient une grande perte en sucre », déclare Carlos Eduardo Vaz Rossell, du CTBE. « Nous ne maîtrisons pas complètement les propriétés chimiques, physiques et mécaniques de la bagasse, de la

La tonne de bagasse sèche coûte 15 dollars US au Brésil, soit moins de la moitié du prix pratiqué aux États-Unis

paille et de leurs fractions. Il nous faut connaître davantage la matière première pour développer dans l'avenir des procédés efficaces », affirme-t-il.

Un second obstacle concerne les catalyseurs utilisés pour décomposer la cellulose. Dans le cas de l'hydrolyse acide, il faut améliorer l'efficacité du procédé qui actuellement ne permet pas un contrôle précis de la rupture des liaisons chimiques. « Alors que l'acide sulfurique détruit une partie du sucre formé, l'acide chlorhydrique qui est plus efficace, est plus corrosif, d'où le besoin d'alliages métalliques onéreux », affirme Carlos Eduardo Vaz Rossell. Dans le cas du processus d'hydrolyse enzymatique, le problème réside dans le coût des enzymes et l'énorme quantité nécessaire

pour provoquer la transformation de la cellulose en glucose. L'un des défis de la recherche sera de découvrir des microorganismes capables de créer des enzymes plus productives.

Les États-Unis ont misé sur un procédé appelé bio-traitement consolidé, dans lequel les quatre transformations biologiques nécessaires à la production de bioéthanol (production d'enzymes, saccharification, fermentation d'hexoses, fermentation de pentoses) se déroulent en une seule phase. Des microorganismes génétiquement modifiés produisent dans un processus anaérobie des enzymes plus actives que celles utilisées dans les autres procédés. Ces types de microorganisme doivent être testés parfaitement, car même lorsqu'ils se



comportent bien en laboratoire, ils peuvent être attaqués par d'autres microorganismes qui s'adaptent mieux à l'environnement. Nous ne devons pas ignorer le développement de microorganismes sophistiqués car ils peuvent nous aider à mieux comprendre les processus en cours et agir en notre faveur», déclare Rubens Maciel.

Il y a encore d'autres obstacles à surmonter comme l'utilisation adéquate des sucres de cinq atomes de carbone appelés pentoses. « Il n'y a pas de procédés efficaces pour transformer ces sucres en éthanol. La plupart des levures n'en ont pas la possibilité où sont si faibles qu'elles n'ont aucun impact. La création de nouvelles levures ou de nouveaux microorganismes est nécessaire pour la transformation des pentoses en éthanol. Aujourd'hui nous ne pourrions commercialiser que de l'éthanol d'hexoses », déclare Carlos Eduardo Vaz Rossell. Il y a encore d'autres aspects à résoudre, comme les besoins encore élevés en eau, nécessaire au processus de prétraitement et l'utilisation de la vinasse de canne, déchet de la distillation, pour la transformer en éthanol. Quand la production d'éthanol est issue de l'hydrolyse, le déchet ne contient ni potassium, ni phosphore et ne peut donc plus être utilisé comme engrais. Comme ce déchet est un polluant, il faudra lui réserver une destination plus sûre.

Carlos Eduardo Vaz Rossell voit l'avenir avec optimisme. « Le nombre de chercheurs et de techniciens impliqués dans la recherche augmente de manière exponentielle », dit-il. Selon le professeur Maciel, de l'Unicamp, des efforts articulés sont fondamentaux pour faire valoir les avantages compétitifs de notre pays. « Dans toutes les lignes de recherche, il est bon qu'il y ait une certaine dose de redondance pour comparer les différentes manières d'aborder le problème. Dans le cas de l'éthanol de cellulose, nous aurons peut-être besoin de davantage d'usines pilote. Grâce à ces usines et une mobilisation organisée de nombreux chercheurs, nous obtiendrons de meilleurs résultats », conclut-il. ■

MIGUEL BOYAVAN



Union pour la durabilité

Un *workshop* réunissant des nord-américains, des brésiliens et des argentins, aborde l'impact des biocarburants sur l'utilisation de l'eau et de la terre

Il y a un vaste espace de concertation possible où les chercheurs brésiliens, argentins et étatsuniens peuvent réunir leurs efforts pour comprendre et réduire l'impact des technologies de production de biocarburants sur l'utilisation de l'eau et de la terre. Toutefois, pour viabiliser ces collaborations, il faudra surmonter des obstacles comme le manque de données standard favorisant des études comparatives et la construction de modèles capables d'expliquer les effets de phénomènes complexes ou, trouver des manières d'analyser scientifiquement les rapports existantes entre l'augmentation des zones de maïs cultivées aux États-Unis et la déforestation en Amazonie brésilienne. Cette conclusion est apparue suite aux discussions finales d'un *workshop* qui a mobilisé des scientifiques des trois pays, intéressés par la production de biocarburants. Alors que le Brésil et les États-Unis sont les principaux producteurs de bioéthanol, l'un dérivé de la canne à sucre et l'autre du maïs, l'Argentine possède aussi un énorme potentiel, tant pour la production d'éthanol que de biodiésel.

« Ces pays du continent américain veulent définir collectivement des stratégies alliées à une science de qualité, afin d'utiliser les ressources naturelles de manière durable », déclare Marcos Buckeridge, professeur à l'Institut de Biosciences de l'Université de São Paulo et coordonnateur du *workshop*. Cet événement, réalisé dans le cadre du programme FAPESP de Recherche en Bioénergie (Bioen), est sponsorisé par des agences de financement comme la FAPESP, le Conseil National de Développement Scientifique et Technologique (CNPq), la Fondation Nationale des Sciences étasunienne et des institutions comme l'Université de São Paulo, l'Université de Buenos Aires et l'Université d'Iowa. « L'utilisation de l'eau et de la terre associée à la production de biocarburants a des conséquences sociales, économiques et environnementales importantes, outre la complexité des procédés technologiques. De nouveaux modèles et des équipes multidisciplinaires internationales seront nécessaires pour étudier ce thème », déclare Robert Anex, professeur à l'Université d'Iowa.