

Auprès de mon arbre, je roulais heureux

Par Martin Primeau

Émeutes à Port-au-Prince, pillages au Pakistan, soulèvements en Égypte. Aux quatre coins du monde, des millions d'individus subissent les contrecoups de la hausse soudaine de la valeur des denrées alimentaires. Au banc des accusés: la production de biocarburants comme l'éthanol à partir de ces mêmes produits. C'est que depuis un peu plus d'un an, Américains et Brésiliens utilisent leurs surplus de maïs et de canne à sucre non plus pour remplir la panse des habitants de la planète, mais celle de leurs voitures! Ce problème, une communauté de spécialistes l'attendait de pied ferme. Ils mènent depuis quelques années une chasse autour du monde pour repérer les outils qui permettront aux voitures de demain de rouler à partir de branchages, de feuilles et même de nos restants de table! Enfin, tout ce qui se rassemble sous le vocable de biomasse. Que Dionysos se le tienne pour dit: l'alcool de demain sera fait de nos débris!

Une solution au fond de la jungle du Costa Rica

Par un chaud matin de mai 2005, Jared Leadbetter ouvre l'œil sur une journée qu'il sait à l'avance palpitante. Le microbiologiste californien s'enfonce aujourd'hui dans la dense forêt de Bosque Lluvioso, au coeur du Costa-Rica, à la rencontre d'une centrale énergétique hors du commun. Machette à la main, sous les cris stridents des singes écureuil, il ne met qu'une heure à trouver son butin. Devant lui, attachée à un arbre, une termitière de la taille d'un ballon de basket-ball attend le joug de sa lame.

Une termitière pour rassasier les besoins en énergie de la planète? «Peut-être», s'il faut en croire le Dr. Leadbetter. «Fabriquer de l'éthanol n'est pas difficile, mais le faire à partir du bois, voilà une toute autre histoire! Les termites décomposent le bois depuis 200 millions d'années, alors pourquoi ne pas mettre leur expérience à notre profit?»

Comme pour l'humain et les animaux, les termites vivent en symbiose avec les microorganismes qui logent dans leur tube digestif. En bon rentier, l'animal promet un logis chaud et douillet; la bactérie paie le loyer en transformant la nourriture en énergie.

La flore gastrique de la termite a toutefois ceci d'extraordinaire qu'elle dégrade la cellulose (figure 1), le sucre complexe de la paroi des cellules végétales. Grand bien lui en fasse: la cellulose est la molécule organique naturelle la plus répandue sur terre! Mais comment arracher aux termites leur secret pour l'utiliser dans la transformation de la biomasse en sucre?

Jusqu'à tard dans la nuit, Jarred Leadbetter et ses collègues dissèquent le tube digestif de l'abdomen de 165 termites ouvrières pour en extraire une minuscule goutte d'à peine un microlitre. Il la congèle aussitôt. Il faut travailler vite et bien, car après la mort de l'insecte, le matériel biologique peut se dégrader rapidement.

À son retour en Californie, l'équipe tire parti d'un outillage moderne où se mêlent séquenceurs d'ADN, spectromètres de masse et microscopes pour identifier le contenu microbien et protéique des gouttelettes rapportées du Costa Rica. Ce qu'elle cherche, ce sont les enzymes [voir l'encadré] que sécrètent les bactéries des termites. Deux ans plus tard, Leadbetter n'en revient toujours pas. «Nous avons discerné dans cette infime gouttelette plus de 250 espèces différentes de bactéries, et environ 700 enzymes susceptibles de participer à la dégradation du bois!» Mais avant tout, ce microbiologiste vient de planter un jalon pour tous ceux qui cherchent à rendre la production d'éthanol cellulosique profitable.

Une affaire de gros sous

On sait depuis des années comment obtenir de l'éthanol à partir de la cellulose confinée dans le bois. Triturer les feuilles et branchages pour en extraire la cellulose, y ajouter une mixture d'enzymes pour la transformer en sucre, laisser quelques levures fermenter le tout en éthanol, puis distiller l'alcool pour en faire du carburant. Une, deux, trois, quatre étapes seulement. Le problème, c'est que c'est encore une de plus que la production des biocarburants à partir du sucre contenu dans la canne ou le maïs. La production d'éthanol cellulosique est donc trop coûteuse.

«La conversion de la biomasse en sucre est l'étape qui limite la production d'éthanol cellulosique», explique Charles Wyman, ingénieur en chimie de l'Université de Californie à Riverside, sommité mondiale en la matière et fondateur de Mascoma, une compagnie américaine souhaitant produire de l'éthanol cellulosique. «Il faut trouver de nouvelles solutions biotechnologiques pour rendre la production plus intéressante aux yeux des investisseurs»

Et le temps presse. Par soucis de réduction des émissions de carbone et d'indépendance énergétique, les gouvernements du Canada, des États-Unis et de plusieurs pays industrialisés se tournent aujourd'hui vers l'éthanol comme combustible. Le maïs, principale source d'éthanol au sud de la frontière, s'envole maintenant à des prix tels que des fermiers américains y consacrent 100% de leurs terres. Certains envisagent même d'abandonner l'élevage des bovins tellement la vente du maïs sur les marchés est plus rentable que l'engraissement des animaux. Et on ne parle pas encore du prix de la boîte de Corn Flakes!

Des enzymes de chez nous

«L'avantage des résidus du bois et de l'agriculture, c'est qu'ils nous sont inutiles, ont une valeur négligeable et libèrent de toute manière du CO₂ en se dégradant dans la nature», explique Adrian Tsang, chercheur à l'Université Concordia, qui s'emporte devant la lenteur des institutions à valoriser cette industrie. «La combustion du pétrole projette dans l'atmosphère le carbone enfoui dans le sol depuis des millions d'années. À l'opposé, le carbone de l'éthanol vient de l'atmosphère, est capturé par la plante et y retourne une fois l'éthanol brûlé. Si le cycle se poursuit, on a là une solution durable et non dommageable pour l'environnement.»

Des termites, il n'y en a pas une dans les laboratoires du Dr. Tsang. En fait, il se le souhaite. Depuis plus de 30 ans, les champignons sont ses chevaux de course. Vous êtes dégoûtés à la découverte au fond du frigo d'un restant de table couvert de mousse? Eh bien comptez-vous chanceux de ne pas travailler ici! Les pétris et erlenmeyers qui jonchent les paillasses de ses étudiants en contiennent tous!

Par des techniques de pointe en génomique et protéomique, son équipe identifie chacune des enzymes sécrétées par ces cultures fongiques et qui dégradent la biomasse. Les candidats sélectionnés passent ensuite une batterie de tests. Tolérance à la chaleur, à l'acidité, au taux d'oxygène: tout y passe. Et si la nature ne les a pas déjà rendus assez résistantes à ces traitements, l'équipe du Dr. Tsang en prend soin et les modifie ici et là. À terme, ces super-enzymes profiteront à des dizaines d'entreprises impliquées dans la génération d'éthanol cellulosique.

Les entreprises privées attendent enzymes et capitaux

Chez Iogen, une entreprise privée d'Ottawa, on collabore depuis des années avec le chercheur de l'Université Concordia. Ici, on transforme de la paille en éthanol cellulosique. De grandes cuves remplies de champignons sécrètent déjà les milligrammes d'enzymes nécessaires à la digestion de la cellulose. Mais engranger des enzymes, ça coûte cher: le quart des coûts de production. On trépigne d'impatience à l'idée d'utiliser des enzymes encore plus performantes et moins coûteuses à produire. Dans le monde, un peu plus de 20 entreprises se retrouvent, comme Iogen, à attendre.

L'une d'entre elles, Verenium Corporation de San Diego, mène sa barque à sa manière en ayant l'exclusivité des centaines d'enzymes ramenées du Costa Rica par l'expédition de Jarred Leadbetter. «La plupart de ces enzymes ont des activités qui se recourent, alors on ne sélectionne que les meilleurs candidats. Au bout du compte ce sont une douzaine d'enzymes qui sont nécessaires à transformer le bois en sucre», explique Justin Stege, jeune chercheur de cette dynamique entreprise californienne. Les enzymes que sa compagnie souhaite améliorer ne viennent pas que du ventre de termites, mais aussi des excréments d'herbivores comme ceux des rhinocéros ou des vaches! Mais ici encore, le bât blesse quant aux coûts de production. Et si la solution venait de super-bactéries?

C'est l'idée que met de l'avant l'entreprise Mascoma, au Massachusetts. Leur solution : *Thermoanaerobacterium saccharolyticum*, ou bactérie thermophile (i.e. qui aime la chaleur). Il fait chaud dans les cuves où sont mêlées biomasse et enzymes. À un tel point que l'activité et la stabilité des enzymes s'en trouvent affectées. «Si au lieu de purifier

chaque enzyme on laisse ces superbactéries le faire eux-mêmes, on sauve temps, et argent», explique le co-fondateur de Mascoma, Charles Wyman. Enzymes de termites ou de champignons? Toutes pourraient un jour être produites par cette bactérie après quelques manipulations génétiques, à la condition qu'elles tolèrent la chaleur. À terme, Mascoma prévoit même jumeler les étapes de dégradation et de fermentation des sucres en une seule étape grâce à cette centrale énergétique microscopique!

Les États-Unis souhaitent produire d'ici 2022 environ 136 milliards de litres d'éthanol. Beaucoup de bière vous dites? Ce chiffre est astronomique lorsqu'on apprend que des entreprises comme Mascoma envisagent un jour la production d'au mieux 200 millions de litres par année par usine. À ce compte, il faudrait construire près de 700 centres de production au coût unitaire de 300 millions de dollars. Le total de la facture: 3 fois le budget annuel du Québec, plus de 200 milliards de dollars! Un scénario impossible qui laisse la porte grande ouverte à l'utilisation du maïs dans la production de l'alcool.

Une planche de salut pour les papetières québécoises

Au Québec, pas question de produire de l'éthanol à partir du maïs. Le gouvernement espère pouvoir faire d'une pierre deux coups, et relancer, grâce à la production d'éthanol cellulosique, l'industrie du bois et des pâtes et papiers au Québec. Une industrie qui représente 10% des emplois de la province.

Sitôt coupé, sitôt émondé, sitôt chargé. On ne perd pas de temps en forêt: un arbre bien enraciné dans le sol est déjà chargé la minute suivante sur le dos d'une remorque. Cette façon de faire laisse sur le sol près du tiers du poids de l'arbre coupé. Avec le bois mort provenant des feux de forêts ou des infestations d'insectes, on parle d'une quantité loin d'être négligeable de biomasse non exploitée.

Mais il y a un problème. «Il n'existe pas actuellement de procédés économiquement viables pour produire de l'éthanol à partir de biomasse forestière», affirme Tom Browne, chercheur chez Paprican, un institut de recherche privé sur les pâtes et papiers de la région de Montréal. «Un obstacle majeur constitue les coûts de transport de la matière première.»

Pour palier à la situation, on compte construire les usines de transformation là où la matière première se trouve. On développe d'ailleurs deux usines de démonstration en Estrie. À Bromptonville, on utilisera les résidus forestiers et agricoles pour générer de l'éthanol; à Westbury, on fera de l'éthanol à partir de vos déchets.

Des répercussions sur l'environnement?

Est-ce que nos lunettes sont vertes ou archi-vertes? La production d'éthanol cellulosique à partir des résidus du bois ne fait pas que des enthousiastes, mais aussi des inquiets. Mélissa Fillion de Greenpeace garde l'œil ouvert sur les manœuvres futures des compagnies forestières. «Il ne faut pas considérer branches, tiges et feuilles comme de vulgaires déchets. Leur prélèvement massif pour la production d'éthanol cellulosique pourrait diminuer la productivité des sols et nuire à leur régénération.»

Esteban Chornet, titulaire de la chaire de recherche industrielle sur l'éthanol cellulosique du gouvernement du Québec, se fait rassurant. «Il est hors de question d'enlever tous les résidus de la forêt! Ce que l'on retire, ce sont les surplus de résidus, soit ceux qui ne contribueront pas à la fertilisation.» D'un ton pédagogue, il dresse une analogie entre embonpoint et capacité forestière. «Nous n'avons pas besoin de garder l'excédant, mais juste ce qu'il faut pour être bien en santé.» Ainsi, on ne touche pas aux résidus se trouvant dans les zones plus arides comme sur le sommet des collines, mais on peut en prendre jusqu'à 75% dans les zones déjà riches en matières organiques et en minéraux.

Des cultures alternatives pour augmenter l'offre de biomasse

Et si les résidus de bois venaient à prendre trop de valeur? Selon la firme de recherche Forest2market, le prix du copeau de bois devrait croître de 5 à 7% annuellement si on en fait de l'éthanol cellulosique. Cette inflation anticipée amène des chercheurs québécois à augmenter l'offre de biomasse.

Une alternative réside dans la culture de plantes à croissance rapide, mais qui ne servent pas directement à l'alimentation humaine, comme le panic érigé ou le millet perlé sucré. «Contrairement au maïs où on utilise seulement le grain, la plante entière du millet pourra être utilisée. Le jus extrait, riche en sucres, servira à la production d'éthanol alors que le résidu de l'extraction, riche en fibres, pourrait servir à l'alimentation du bétail», explique Gilles Bélanger, agronome et écophysiologiste chez Agriculture et Agroalimentaire Canada.

À l'autre bout du monde, l'éthanol cellulosique pourrait être la réponse à un problème épineux en Afghanistan. On jongle en effet avec l'idée de transformer les plantations de pavot en une industrie légale en utilisant ces plantes dans la génération d'éthanol cellulosique!

De la pitoune dans le réservoir

Il y a un peu plus de cent ans, Henry Ford développait sa première voiture. Que trouvait-on dans son réservoir? De l'éthanol! Mais bien vite il se rendit compte que le pétrole raffiné augmentait de beaucoup les performances de sa voiture. «L'éthanol est un carburant médiocre, vous lancerait d'ailleurs le Dr. Adrian Tsang, mais au combien moins polluant!»

La route est encore longue avant que la biomasse soit la source d'énergie première de nos sociétés. Les émeutes, pillages et soulèvements causés par les prix des denrées alimentaires risquent de devenir une habitude avant que ne se développe l'industrie de l'éthanol cellulosique. Mais ne soyez pas inquiets, on y travaille.

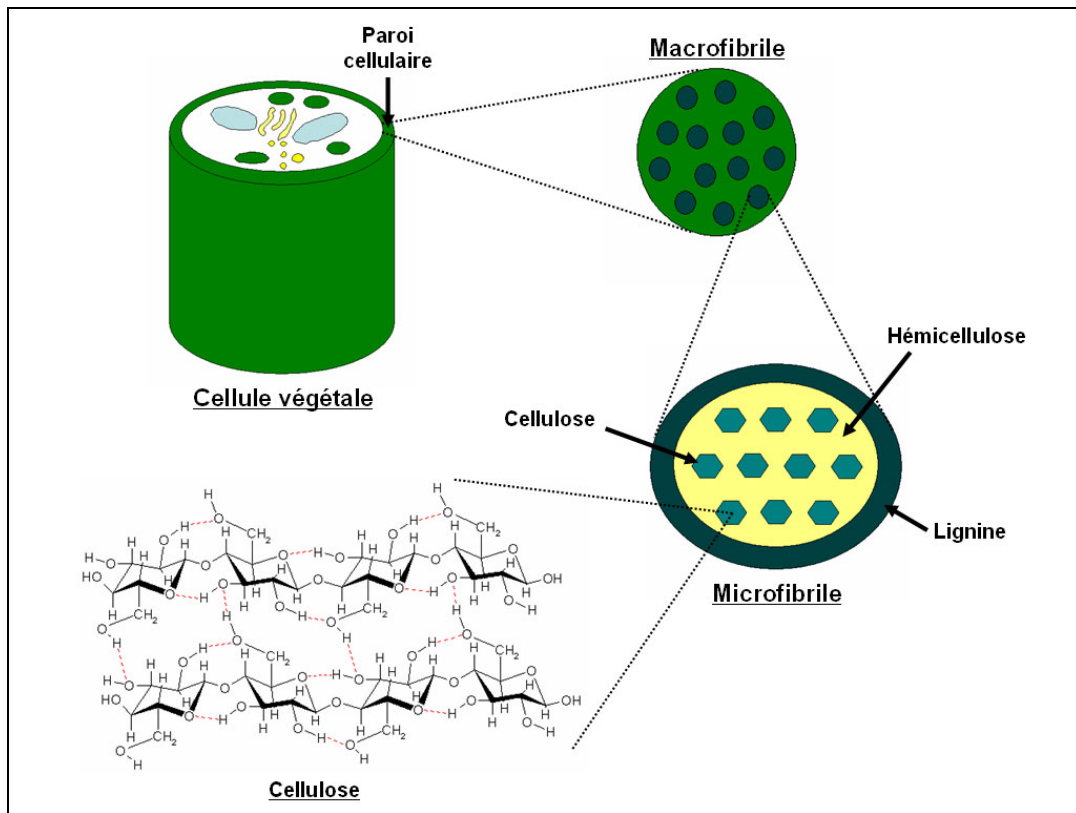


Figure 1 - La paroi des cellules végétales et ses composants.

(Adapté de Y.H. Percival Zhang, J of Ind Microbiol Biotech, 2008)

Encadré – Enzyme

L'enzyme est une protéine qui accélère une réaction chimique qui lui est spécifique. Elle est le produit d'un ou de plusieurs gènes et règle l'équilibre chimique d'une cellule ou de son environnement.