



NOTIONS ÉLÉMENTAIRES SUR LES BIOPRODUITS





Source : www.comstock.com/ca

POLLUTION PROBE EST UN ORGANISME DE BIENFAISANCE SANS BUT LUCRATIF

qui travaille en partenariat avec tous les secteurs de la société dans le but de protéger la santé en faisant la promotion de l'air pur et de l'eau propre. Pollution Probe a été créé en 1969 à la suite d'un rassemblement de 240 étudiants et professeurs, réunis sur le campus de l'Université de Toronto pour discuter d'une série de reportages préoccupants diffusés par les médias concernant les pesticides. Pollution Probe s'est d'abord consacré à faire pression sur le gouvernement du Canada pour qu'il interdise presque toutes les utilisations du DDT et à faire campagne en faveur de la dépollution de la rivière Don, à Toronto. Nous avons encouragé la récupération à la source dans 140 collectivités de l'Ontario et appuyé l'élaboration du Programme des boîtes bleues. Pollution Probe a publié plusieurs livres, dont *Profit from Pollution Prevention*, *The Green Consumer Guide* (dont plus de 225 000 exemplaires ont été vendus partout au Canada) et *Additive Alert*.

Depuis les années 1990, Pollution Probe a orienté ses programmes vers des questions liées à la pollution de l'air et de l'eau, au changement climatique et à la santé humaine, y compris un important programme visant à éliminer les sources anthropiques de mercure dans l'environnement. Pollution Probe a récemment élargi son champ d'intérêts pour englober d'autres préoccupations, dont les risques tout particuliers que font courir aux enfants les contaminants de l'environnement, les risques pour la santé liés à des expositions dans des environnements intérieurs et la conception d'outils innovateurs pour promouvoir un comportement responsable envers l'environnement.

Depuis 1993, dans le cadre de son engagement permanent envers l'amélioration de la qualité de l'air, Pollution Probe a mené une campagne annuelle pour l'air pur, durant le mois de juin, la Clean Air Campaign, afin d'augmenter la sensibilisation aux liens entre les émissions des véhicules, le smog, le changement climatique et les problèmes respiratoires chez les humains. La Clean Air Campaign a aidé le ministère de l'Environnement de l'Ontario à concevoir un programme de vérification obligatoire des émissions des véhicules (Drive Clean).

Pollution Probe présente des solutions innovatrices et pratiques aux problèmes environnementaux causés par la pollution de l'air et de l'eau. En définissant les problèmes de l'environnement et en préconisant des solutions pratiques, nous nous appuyons sur de solides connaissances scientifiques et technologiques, nous mobilisons les scientifiques et autres experts, et nous établissons des partenariats avec l'industrie, les gouvernements et les collectivités.



LA FONDATION BIOCAP CANADA EST UNE ORGANISATION SANS BUT

lucrative qui travaille avec l'industrie et les groupes de producteurs, les organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, ainsi qu'avec le milieu national de la recherche et les organismes de financement universitaire pour promouvoir et encourager la recherche universitaire dans le but de :

- réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) (notamment le N_2O et le CH_4) provenant des sources biologiques, notamment l'agriculture, les décharges et les zones humides;
- réduire le carbone atmosphérique par l'augmentation des puits de carbone dans la biosphère en agriculture, en foresterie et dans les zones humides;
- remplacer en tout ou en partie les sources énergétiques fossiles actuelles par la biomasse pour fournir une source durable et renouvelable d'énergie, de substances chimiques et de matériaux.

Le mandat de BIOCAP est de veiller à ce que le milieu canadien de la recherche universitaire apporte une contribution optimale à l'effort de recherche national, lequel est centré sur l'utilisation durable de la biosphère de façon à réduire les gaz à effet de serre et à fournir une source d'énergie, de substances chimiques et de matériaux.

BIOCAP a créé un réseau de 10 centres de recherche nationaux dans quatre grands domaines d'étude — la foresterie et les écosystèmes naturels, l'agriculture, les bioproduits et les dimensions humaines. Depuis janvier 2002, BIOCAP a investi ou s'est engagé à investir 5,7 millions \$ pour amorcer des travaux de recherche de haute qualité évalués par les pairs valant plus de 20 millions \$, auxquels participent plus de 130 chercheurs et 180 étudiants dans 20 universités réparties dans huit provinces canadiennes. Ces travaux aident les gouvernements, l'industrie et les propriétaires fonciers du Canada à mieux comprendre comment la vaste biosphère du pays peut servir à « mettre le Canada vert à l'honneur » dans le combat contre le changement climatique.



NOVEMBRE 2004

Notions élémentaires sur les bioproduits est une introduction aux bioproduits et bioprocédés industriels, soit les technologies et les procédés qui font appel à des végétaux, à des microorganismes et à leurs produits pour remplacer en tout ou en partie les combustibles fossiles et les produits pétrochimiques utilisés dans les automobiles, les usines et les biens de consommation. Dans le présent document, le terme bioproduit est réservé aux produits commerciaux, industriels et environnementaux, et non aux aliments pour l'alimentation humaine et animale et aux fibres que l'on tire habituellement des microorganismes et des végétaux.

Notions élémentaires sur les bioproduits est destiné au profane qui a une connaissance limitée de la biologie et du génie industriel. Il donne une description générale de la science et de la technologie en évolution utilisées pour fabriquer des bioproduits au Canada. Pour plus de détails, le lecteur est invité à communiquer avec les organismes cités au chapitre 7 et à examiner les références données à la fin du document.

Le document a pour but de renseigner le lecteur sur les bioproduits et de souligner les questions importantes soulevées par la technologie servant à les produire. Ces questions concernent autant les risques éventuels que les avantages des bioproduits. Bon nombre de ces questions n'ont pas encore été pleinement circonscrites et étudiées par les chercheurs ou les décideurs. Le document ne traite pas de ces questions en profondeur et ne privilégie pas de solutions particulières. On encourage le lecteur qui voudrait s'impliquer activement dans le débat public entourant les bioproduits industriels au Canada à communiquer avec les agences et organismes pertinents.

On peut télécharger gratuitement *Notions élémentaires sur les bioproduits* sur les sites web de Pollution Probe (www.pollutionprobe.org/Publications/Primers.htm) et de la Fondation BIOCAP Canada (www.biocap.ca). On peut se procurer des exemplaires imprimés à un coût minime. On peut lire le présent document parallèlement à d'autres documents complémentaires du même genre de Pollution Probe, notamment ceux sur les technologies de l'énergie renouvelable et sur le changement climatique. Le site web de BIOCAP contient également des rapports sur la bioéconomie et la biomasse au Canada qui peuvent être téléchargés gratuitement.



K.B. Ogilvie
Directeur exécutif
Pollution Probe



David Layzell
PDG et directeur de la recherche
Fondation BIOCAP Canada

REMERCIEMENTS

Pollution Probe et la Fondation BIOCAP Canada remercient chaleureusement les organismes suivants pour leur soutien financier et leur révision technique de *Notions élémentaires sur les bioproduits*.

ENVIRONNEMENT CANADA
SANTÉ CANADA
INDUSTRIE CANADA
CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES DU CANADA



Nous remercions aussi les personnes suivantes, qui nous ont communiqué des renseignements techniques et/ou des commentaires sur le document : Pierre Charest, David DeYoe, Sheila Forsyth, Randy Goodfellow, Irene Hay, Ed Hogan, Anna Ilnyckyj, John Jaworski, Terry McIntyre, Anne Mitchell, Ashley O'Sullivan, Christine Paquette, Matthew Schacker, Art Stirling, Gord Surgeoner, Maria Wellisch et Suzanne Wetzel.

Pollution Probe et la Fondation BIOCAP Canada sont les seuls responsables du contenu de la présente publication.

Peter Christie et Holly Mitchell ont effectué les recherches pour cette publication et l'ont rédigée; Randee Holmes l'a révisée. Nous tenons aussi à exprimer notre reconnaissance aux membres suivants de notre personnel pour leur travail : David Layzell, David Pollock, Ken Ogilvie, Elizabeth Everhardus, Krista Friesen et Sarah Cummings.

Un merci particulier à Shauna Rae pour la conception et la mise en page du document.

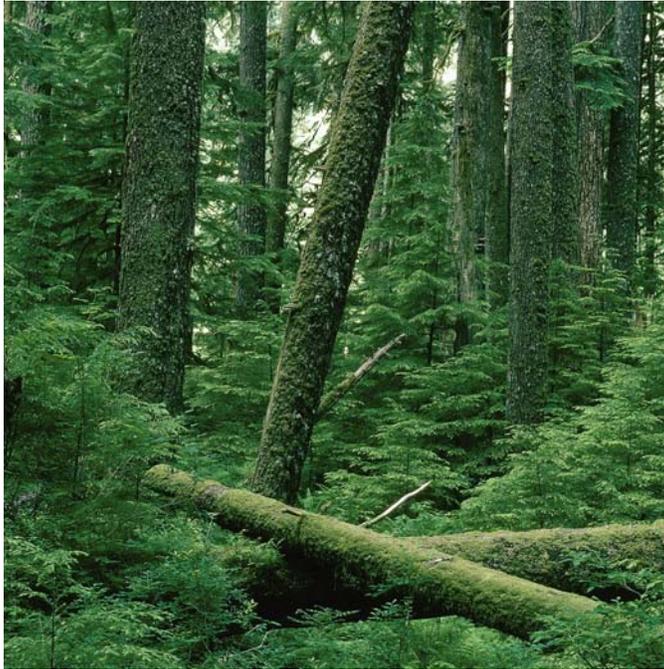
ISBN 0-919764-57-6



Notions élémentaires sur les bioproduits est imprimé sur le Sandpiper, qui est un papier écologiquement responsable de Domtar. Sandpiper est recyclé de 100 % de papier de poste-consommateur de pour cent. C'est chlore-libère primordial, acide-libère et traité avec les teintures ne nuisants pas à l'environnement.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction	3	Chapitre 5 – Les bioproduits et les bioprocédés	41
Chapitre 1 – Définition des bioproduits	7	La réduction du bois en pâte à l'aide de champignons	42
Pourquoi avoir recours aux bioproduits maintenant?	9	Le forage de puits à l'aide d'amidon	42
Où trouve-t-on des bioproduits?	10	Des capteurs biologiques pour les aliments et la sécurité	43
Fabrication des bioproduits	12	La biorestauration	44
Quels sont les problèmes?	13	Les bioproduits spécialisés	45
Chapitre 2 – Les bioproduits de nos jours	19	Chapitre 6 – Comprendre les enjeux	47
Les bioproduits au Canada	21	Les cultures vivrières et industrielles	48
Les bioproduits dans d'autres produits	22	Le changement climatique	49
Chapitre 3 – Les biocombustibles et la bioénergie	25	Le développement durable et la surconsommation	50
La biomasse comme source de chaleur et d'électricité	26	L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés	51
La biomasse pour alimenter les véhicules	28	Les autres considérations environnementales	53
Les gaz émis par les déchets urbains et agricoles	30	Les considérations économiques	54
La biomasse comme source d'hydrogène pour les piles à combustible	31	Les considérations sociales et politiques	56
Chapitre 4 – Les produits biochimiques et les biomatériaux	33	Les considérations éthiques	57
La chimie verte	34	Les considérations techniques	58
Des produits industriels à partir de la biomasse	35	Chapitre 7 – Incidences des bioproduits sur notre vie	61
Les enzymes comme agents industriels	36	Pour de plus amples renseignements	63
Les voies métaboliques comme agents industriels	37	Références	65
Des bioprocédés pour le blanchiment et la lixiviation	37	Glossaire	69
L'écologie industrielle	38		



Introduction

Introduction

Le Canada compte sept pour cent des terres émergées de la planète, dix pour cent de ses forêts et quinze pour cent de ses eaux douces. De grandes étendues de son territoire sont cultivées. Il possède le plus long littoral du monde et il est aussi bordé par les eaux des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent.

Les vastes étendues du Canada et ses abondantes ressources biologiques pourraient devenir des sources renouvelables et fiables d'énergie, de substances chimiques et de matières premières dans la production des **bioproduits**. Les bioproduits pourraient également présenter une occasion pour l'industrie canadienne et les collectivités de s'affranchir dans une certaine mesure des combustibles fossiles non renouvelables, lesquels s'accompagnent de problèmes environnementaux bien connus.

Les gouvernements fédéral, provinciaux et municipaux, certaines universités, l'industrie et les organismes à vocation environnementale évaluent présentement les possibilités des bioproduits. De nombreux experts estiment que les bioproduits pourraient contribuer à réduire le smog, à améliorer l'économie des collectivités rurales et des membres des Premières nations et à réduire la dépendance du Canada envers le pétrole importé. Par ailleurs, certains s'inquiètent de la possibilité que le développement de bioproduits mène à une surexploitation des ressources naturelles, à la décimation des forêts et à la dégradation des terres cultivées.

Notions élémentaires sur les bioproduits est une introduction aux bioproduits commerciaux, industriels et environnementaux au Canada (les aliments pour les humains et les animaux et les fibres produits habituellement à partir des cultures et des arbres sont exclus). Le document souligne les principales technologies liées aux bioproduits en cours d'élaboration et les problèmes qui pourraient être soulevés par le développement de ce secteur industriel en croissance au Canada.

Le document comporte sept chapitres. Le chapitre 1 introduit les bioproduits. Il décrit quelques produits familiers que l'on peut fabriquer à partir de la **biomasse** (c.-à-d. les végétaux, les animaux et d'autres organismes) pour remplacer en tout ou en partie ceux fabriqués au moyen des méthodes courantes qui font appel aux combustibles fossiles et aux produits pétrochimiques. Ce chapitre donne également un aperçu de la façon dont les bioproduits sont fabriqués et souligne certains problèmes que les technologies associées aux bioproduits pourraient soulever au Canada.

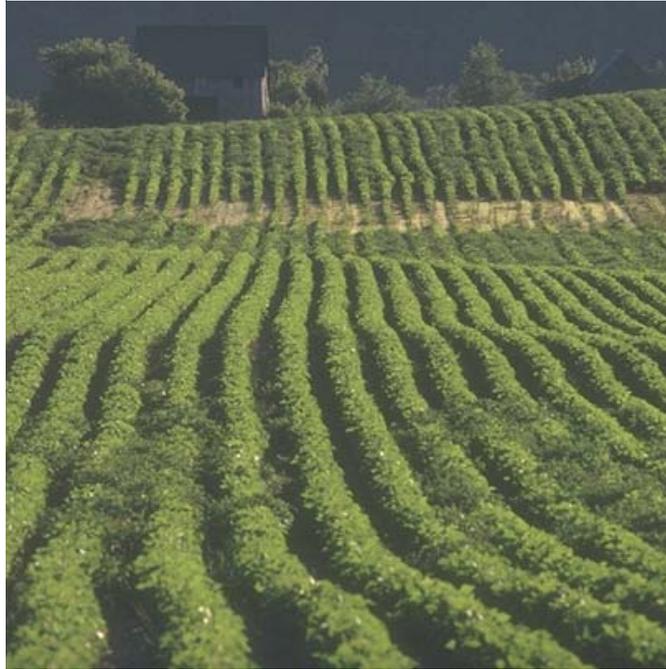
Le chapitre 2 met les bioproduits en perspective. Les produits forestiers, par exemple, font partie des bioproduits qui représentent déjà une partie significative de l'économie canadienne. Ce chapitre discute des bioproduits qui ont déjà été élaborés, de ceux qui diffèrent des produits biologiques « traditionnels » et des nouveaux produits qui pourraient voir le jour. Il décrit ces produits dans le contexte industriel canadien et il souligne également les progrès réalisés par d'autres pays dans ce domaine.

Les chapitres 3, 4 et 5 introduisent le lecteur aux principaux bioproduits et technologies de biotransformation et examinent comment ils pourraient modifier notre façon de vivre et de faire des affaires au Canada. Ces chapitres décrivent comment les végétaux et d'autres organismes peuvent être utilisés pour produire de l'énergie et fabriquer des produits chimiques, des plastiques et d'autres matériaux.

Le chapitre 6 présente au lecteur certains problèmes importants et pressants que soulève l'élaboration des bioproduits au Canada. Il examine les questions environnementales, sociales et économiques que la population canadienne doit commencer à se poser dès maintenant.

Enfin, le chapitre 7 indique comment se renseigner davantage sur les bioproduits et comment participer davantage à leur élaboration.

Un glossaire définit les termes et expressions techniques utilisés dans ce document. Un terme ou une expression figurant dans ce glossaire qui est utilisé pour la première fois dans le document est mis en **caractères gras**.



Chapitre 1

Définition des bioproduits

La biomasse est toute matière **organique** disponible de manière renouvelable ou récurrente. Cela comprend les plantes cultivées et les arbres, le bois et les déchets du bois, les végétaux aquatiques et les graminées. Les bioproduits sont les produits fabriqués à partir de la biomasse.

Jusqu'à il y a 200 ans, la plupart de la demande mondiale en énergie et en matériaux était comblée par la biomasse. Par exemple, les gens brûlaient du bois et de la tourbe pour cuire leurs aliments et se chauffer, et ils utilisaient des matières tirées des végétaux et des animaux pour fabriquer leurs outils, leurs vêtements et leurs colorants.

Omniprésence du pétrole

Les combustibles fossiles se retrouvent partout. Par exemple, selon le centre américain d'information sur l'énergie (Energy Information Administration), ils représentent plus de 85 pour 100 de l'approvisionnement énergétique mondial. Au Canada, les produits pétroliers sont utilisés dans les automobiles, les maisons et les usines. Ils sont également utilisés comme matières premières par de nombreuses industries commerciales et manufacturières. Selon l'Association canadienne de l'électricité, les centrales thermiques sont à l'origine d'environ 28 pour 100 de l'électricité utilisée au Canada.

Le pétrole joue également un rôle très important comme ingrédient essentiel dans de nombreux produits. Au début du XX^e siècle, des produits chimiques tirés du pétrole ont servi à fabriquer la rayonne, la première fibre de fabrication humaine. Ces produits chimiques sont maintenant présents dans de nombreux tissus comme le nylon, le polyester et l'élastique. Les plastiques utilisés dans les ordinateurs, les matériaux médicaux, les ustensiles de cuisine et les tissus d'ameublement sont également produits à partir de substances dérivées du pétrole et d'autres combustibles fossiles.

Au contraire, les bioproduits font appel à la biomasse pour remplacer en tout ou en partie les matières premières non renouvelables tirées du pétrole. Grâce aux bioproduits, il est possible de réduire notre dépendance envers les combustibles fossiles comme matières premières dans la fabrication et la transformation de nombreux produits industriels.

Cette dépendance envers la biomasse a souvent causé des problèmes environnementaux graves. Les forêts de nombreux pays ont été décimées, la **biodiversité** végétale et animale s'en est trouvée réduite, et la fumée résultant de la combustion du bois a causé une pollution atmosphérique importante. Ces mêmes phénomènes s'observent aujourd'hui dans les pays en développement qui tirent leur énergie et leurs matériaux de la biomasse. L'industrie qui utilise la biomasse de nos jours doit faire en sorte d'éviter ces problèmes et veiller à ce que l'utilisation industrielle des matières biologiques soit propre et durable.

Les bioproduits de nos jours sont très divers. Ce peut être de l'énergie électrique ou des combustibles liquides et toutes sortes de produits comme des shampoings, des plastiques, des tissus et des solvants. Ces produits sont fabriqués à partir d'énergie, de substances chimiques ou de procédés dérivés de matières biologiques (organismes vivants ou morts).

Dans une large mesure, les bioproduits proviennent de sources forestières, agricoles et aquatiques. Ils peuvent parfois faire appel à des technologies avancées, comme le **génie génétique**. Dans le présent document, les bioproduits désignent des produits domestiques, commerciaux et industriels, et non les aliments pour les humains et les animaux et les fibres que l'on obtient habituellement des cultures et des arbres.

Le terme « bioproduit » s'applique à une foule de produits industriels et commerciaux qui présentent diverses propriétés et compositions, sont tirés de divers procédés et comportent divers avantages et risques. Ce terme est pratique, mais pour bien comprendre ce que sont les bioproduits, il faut étudier les caractéristiques et les problèmes que comporte chacun d'entre eux.

Les bioproduits sont précieux, car la biomasse dont on se sert pour les fabriquer nous permet de remplacer en tout ou en partie le pétrole et les **produits pétrochimiques**. Contrairement aux combustibles fossiles, la biomasse est renouvelable et peut se régénérer rapidement au moyen de l'énergie solaire.

Pourquoi avoir recours aux bioproduits maintenant?

Au cours des 50 dernières années, notre compréhension du monde et de ses diverses formes de vie a changé profondément. La science et la technologie évoluent rapidement et nous permettent de mieux comprendre la biologie à l'échelle moléculaire. Les progrès en biologie et dans les sciences de la vie, ainsi qu'en **thermochimie**, ont mené à la découverte de nouvelles façons de dégrader et d'utiliser les matières biologiques. La recherche a permis l'utilisation de nouveaux produits et procédés industriels qui font appel à la biomasse plutôt qu'aux combustibles fossiles.

Ces nouvelles méthodes et ces nouveaux matériaux ont donné naissance à des **biocombustibles**, à des bioplastiques et à des bioproduits médicaux. Ces bioproduits pourraient annoncer le début d'une tendance vers la **bioéconomie**, une économie basée sur les matières biologiques renouvelables pour fournir l'énergie, les substances chimiques et les autres produits dont nous avons besoin.

Parallèlement à cette tendance, on observe un intérêt croissant de la part des milieux universitaires, industriels et gouvernementaux pour cette bioéconomie qui pourrait permettre au Canada de tirer parti de ses atouts en matière de ressources et de ses industries actuelles tout en réduisant la pollution et en favorisant le développement économique dans les régions rurales.

Partout dans le monde, les scientifiques et les gouvernements sont préoccupés par les gaz générés par l'utilisation des combustibles fossiles. Ces gaz (dont des milliards de tonnes de **dioxyde de carbone**, ou CO₂) empêchent la chaleur de quitter l'atmosphère terrestre et sont à l'origine d'un changement climatique à l'échelle planétaire dont les effets comprennent l'élévation des températures et l'augmentation de la fréquence des phénomènes météorologiques violents. Les scientifiques reconnaissent maintenant le rôle important que jouent les végétaux dans l'absorption des **gaz à effet de serre** et leur régulation à l'échelle planétaire.

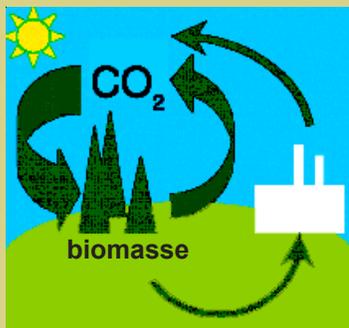
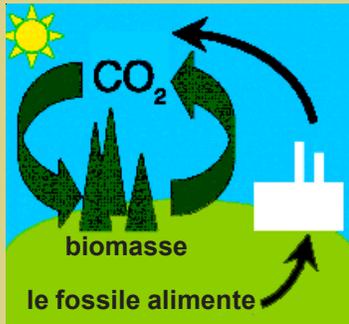
La biomasse

Selon le biologiste Peter Vitousek et ses collègues de la Stanford University, les végétaux photosynthétiques produisent environ 224 milliards de tonnes (poids sec) de nouvelle biomasse chaque année dans le monde. La biomasse fournit actuellement environ 15 pour 100 de l'énergie utilisée dans le monde et comble 35 pour 100 des besoins énergétiques des pays en développement. Au Canada, on récolte des millions de tonnes de biomasse chaque année sous forme d'arbres forestiers et de cultures agricoles. La biomasse ne fournit actuellement que 6 pour 100 de l'énergie primaire au Canada, mais la Fondation BIOCAP Canada estime que si l'on pouvait récolter et transformer toute la biomasse inutilisée laissée dans les champs et les forêts après les récoltes, on pourrait fournir 27 pour 100 de l'énergie que l'on tire actuellement des combustibles fossiles.

Les bioproduits et le cycle du carbone

L'une des différences les plus importantes entre l'industrie fondée sur les bioproduits et celle fondée sur les combustibles fossiles est la relation qui existe entre chacune d'elles et le **cycle du carbone** et, tout particulièrement, l'absorption de l'énergie solaire grâce à la **photosynthèse**.

Par « cycle du carbone », on entend le flux incessant du **carbone** (élément chimique très répandu dont la présence est capitale pour les organismes vivants) d'un état inorganique à un état organique (biomasse). Le dioxyde de



Utilisation de la biomasse riche en énergie pour « boucler » le cycle du carbone.

L'industrie et les gouvernements cherchent à savoir si une bioéconomie canadienne – c.-à-d. une économie visant à réduire les répercussions environnementales et sociales néfastes des bioproduits – pourrait contribuer à réduire l'ensemble de nos **émissions** de gaz à effet de serre. Ainsi, l'utilisation de bioproduits dans les industries de l'énergie et du transport au Canada (c.-à-d. l'électricité produite à partir de combustibles tirés de la biomasse ou les carburants automobiles provenant de végétaux) pourrait contribuer à lutter contre le changement climatique.

Où trouve-t-on des bioproduits?

De nombreux consommateurs ne le réalisent peut-être pas, mais on retrouve des bioproduits dans la plupart des foyers canadiens.

Ainsi, le bois est un bioproduit courant que l'on utilise pour se chauffer et cuire les aliments depuis des milliers d'années. De nos jours, de nombreuses entreprises forestières utilisent des résidus du bois pour produire une partie de la chaleur et de l'électricité dont elles ont besoin.

D'autres produits et matériaux biologiques moins courants sont disponibles maintenant ou en voie d'élaboration : certains types de bardeau, matériaux isolants, plastiques, tapis, linoléum, cartons-fibres, papiers spéciaux, tissus, matériaux d'emballage, produits nettoyants, solvants, peintures, shampoings, cosmétiques, savons, lubrifiants, détergents et **biocombustibles** tels le bioéthanol et le biodiésel.

L'éthanol-carburant tiré de l'amidon de maïs est un bioproduit de plus en plus disponible à la pompe dans nos stations-service. En effet, plus de 600 stations-service au Canada offrent maintenant un carburant contenant de l'éthanol-carburant à titre d'additif. La technologie permettant d'améliorer l'obtention d'éthanol-carburant à partir de maïs et d'autres matériaux **cellulosiques** progresse rapidement. Cela permettra d'utiliser les déchets de biomasse agricole et forestière sans nuire à la production alimentaire.



Source : Bioproduits Canada Inc.

Le maïs et d'autres végétaux, comme le blé, qui sont riches en amidon, pourraient également servir à fabriquer des cires pour l'entretien des automobiles, ou encore constituer un ingrédient de la colle utilisée dans certains projets de rénovation domiciliaire. Le chanvre, une plante longtemps mise à l'index à cause de son étroite relation avec la marijuana, est utilisée comme ingrédient dans des vêtements, des cosmétiques, des hydratants et des lotions. On pourrait aussi le mélanger au plastique qui entre dans la fabrication des portières et des tableaux de bord des automobiles pour les rendre plus résistants et plus durables.

Les bioproduits et le cycle du carbone (suite)

carbone (CO_2) est la forme inorganique du carbone qui est incorporée dans les organismes vivants grâce à la photosynthèse, un processus qui stocke l'énergie solaire dans des molécules à base de carbone dans la biomasse des végétaux et d'autres organismes. Nous obtenons, pour notre organisme, le carbone et l'énergie qu'il contient en mangeant des végétaux et des animaux qui eux-même mangent des végétaux.

De nos jours, la plupart des sociétés tirent l'énergie et les substances chimiques dont elles ont besoin des combustibles fossiles, soit le pétrole, le charbon et le gaz naturel. Ces combustibles fossiles proviennent d'anciens végétaux et autres matières organiques emprisonnés dans le sol et isolés du cycle du carbone pendant plusieurs millions d'années — un phénomène appelé **séquestration**.

L'utilisation de combustibles fossiles introduit une source additionnelle de carbone (par les émissions de CO_2) dans le cycle du carbone, ce qui entraîne un déséquilibre. L'augmentation de la concentration du CO_2 dans l'atmosphère qui en résulte est liée au changement climatique.

La biomasse, si elle est adéquatement utilisée, peut au contraire se révéler une source d'énergie et de substances chimiques « neutre » sur le plan du CO_2 , parce qu'elle permet essentiellement de « boucler » le cycle du carbone. Le CO_2 absorbé par cette biomasse et qui s'incorpore en elle pourrait suffire à neutraliser le CO_2 produit par les procédés industriels fondés sur la biomasse.

La pyrolyse

La pyrolyse est un procédé qui fait appel à la chaleur pour décomposer la biomasse en l'absence d'oxygène. La biomasse broyée est exposée à des températures avoisinant les 500 °C, ce qui la transforme en produits de carbonisation et en gaz. Les gaz sont alors refroidis rapidement, et certains se condensent en huile pyrolytique. L'huile pyrolytique est un mélange d'eau et de nombreux composés organiques. On peut l'utiliser telle quelle comme combustible, ou la raffiner pour obtenir des produits chimiques industriels utiles et un combustible de meilleure qualité. On peut brûler les gaz produits durant la pyrolyse pour créer de la chaleur qui entretient le procédé.

On retrouve déjà des bioproduits dans les trousse cosmétiques et les accessoires de salle de bain. On utilise souvent des produits d'oléagineux et de végétaux dans la fabrication des savons et des shampoings. Les algues servent à produire des colorants naturels dans les cosmétiques.

Une substance chimique appelée chlorure de polyvinyle (PVC) sert souvent de revêtement de sol. Ce produit à base de pétrole pourrait être remplacé par du linoléum produit à partir de fibres et de résines végétales. Les artistes qui utilisaient jadis des pigments azo dérivés du pétrole peuvent maintenant utiliser des colorants végétaux.

Fabrication des bioproduits

La biomasse est la matière première utilisée pour fabriquer les bioproduits. Dans l'industrie, on peut également utiliser comme matière première la biomasse résiduelle des activités agricoles, forestières et marines, ou encore celle des travaux municipaux et des procédés industriels. La biomasse peut avoir une faible valeur économique et ce peut être des déchets qu'il serait autrement coûteux de détruire, comme le fumier et les déchets jetés dans les **décharges**. Ces matières deviennent toutefois précieuses comme source de biomasse. Comme elles produisent du méthane par l'activité microbienne, on peut les utiliser pour produire de l'électricité.

On peut également faire croître la biomasse à des fins industrielles. Dans certains cas, on peut sélectionner ou modifier génétiquement des cultures et des arbres pour qu'ils fournissent une biomasse d'une qualité ou d'une composition particulière afin d'en rendre la transformation technologiquement et économiquement possible.

La fabrication de bioproduits à partir de la biomasse fait appel à diverses techniques industrielles. Par exemple, on utilise de nouvelles **voies thermochimiques** pour transformer la biomasse (la **pyrolyse** par exemple) et produire des biohuiles et des **biogaz**.

On peut alors utiliser ces combustibles pour alimenter des centrales électriques et des moteurs. On a également recours à la **fermentation** pour fabriquer des bioproduits et des biocombustibles.

Certains bioproduits n'exigent pas de biomasse comme matière première, mais plutôt des matières premières inorganiques et reposent sur des techniques industrielles qui font appel à des **enzymes** ou à une transformation microbienne durant leur fabrication.

Quels sont les problèmes?

L'arrivée de nouveaux bioproduits pourrait passer inaperçue pour la plupart des Canadiens. Par exemple, les personnes qui ajoutent une biocrème à leur trousse cosmétique ou un biodétergent à leurs produits d'entretien ménager ne savent pas nécessairement que ces produits ont été obtenus dans le cadre de la volonté de l'industrie d'utiliser de nouvelles matières premières et de nouveaux procédés.

Pour nombre d'entre nous, l'indication la plus forte que l'industrie et l'économie canadiennes subissent des changements fondamentaux proviendra des débats publics dans les médias concernant les répercussions environnementales, sanitaires, sociales et éthiques de l'utilisation industrielle accrue de la biomasse et des technologies connexes par les industries des bioproduits. À cet égard, il est probable que les répercussions négatives de l'utilisation de la biomasse seront également débattues par rapport à l'utilisation continue des combustibles fossiles et à la pollution et au changement climatique qui y sont associés.

L'utilisation appropriée de la terre et de l'eau est un enjeu qui a été soulevé suite au développement des bioproduits industriels. Comme la quantité de bonne terre arable est limitée, on peut se demander si la culture de végétaux à des fins industrielles laissera suffisamment de terre pour les cultures vivrières. Les mêmes questions se posent dans le secteur forestier. Modifier la façon

La fermentation

La fermentation est un processus qui fait appel à des **microorganismes** pour effectuer une série de réactions biochimiques qui transforment les sucres en d'autres produits, tels des alcools et des acides organiques. Avant que les sources amylicées de biomasse (p. ex. le maïs) puissent être fermentées, il faut d'abord dégrader ces amidons en sucres simples. On procède habituellement en exposant la biomasse à des températures élevées après l'ajout d'une enzyme qui agit comme catalyseur. Une fois les amidons dégradés, on ajoute un microorganisme, une levure par exemple. Le microorganisme digère les sucres et produit du dioxyde de carbone et d'autres composés. L'espèce de microorganisme utilisée durant la fermentation varie en fonction du produit final désiré. Par exemple, une levure appelée *Saccharomyces cerevisiae* est utilisée pour fermenter le maïs et la canne à sucre en éthanol-carburant. Il s'agit de la même espèce que l'on utilise depuis des siècles pour fabriquer la bière et le pain.

dont la terre et l'eau sont actuellement utilisées peut avoir des conséquences environnementales et créer des conflits chez les utilisateurs.

D'autres préoccupations ont trait aux conflits relatifs à la juste répartition des risques et des avantages du développement des bioproduits. Certains organismes, notamment ETC Group de Winnipeg (autrefois la Fondation internationale pour l'essor rural), craignent que l'imperfection des lois sur les brevets et des autres textes qui réglementent la **biotechnologie** entraîne un contrôle disproportionné des technologies des bioproduits par les multinationales et leur assure beaucoup plus d'avantages qu'aux collectivités rurales et aux pays en développement qui participent à la production de la biomasse utilisée comme matière première.

Des formes controversées de la biotechnologie, comme le génie génétique, sont utilisées dans la fabrication de certains bioproduits. Dans l'industrie des bioproduits, on peut se servir du transfert de **gènes** entre organismes pour isoler et améliorer le rendement des microorganismes et de leurs enzymes et pour accroître la capacité de production des arbres et des cultures. Cela préoccupe certaines personnes, mais pas autant que l'utilisation des organismes génétiquement modifiés dans les cultures vivrières.

Si des forêts anciennes et d'autres **écosystèmes** qui stockent de grandes quantités de carbone étaient utilisés pour faire croître des cultures pour leur biomasse et des arbres à croissance rapide dont la densité en carbone est plus faible, l'industrie des bioproduits — qui s'affiche souvent comme un moyen de combattre le

changement climatique — pourrait contribuer à l'effet de serre. Les grandes superficies consacrées à des monocultures pour la production de biomasse à des fins industrielles pourraient également menacer la biodiversité (les monocultures vivrières présentent le même risque). Toutefois, les plantations énergétiques pour la production de biomasse forestière pourraient être situées sur des terres agricoles abandonnées, ce qui pourrait réduire la pression sur les forêts naturelles.

La croissance intensive de cultures et d'arbres pourrait entraîner des pressions inhabituellement élevées sur l'approvisionnement en eau des collectivités. Les plantations d'arbres, toutefois, sont beaucoup moins susceptibles de nuire à l'approvisionnement en eau que les cultures agricoles ou même de nombreuses graminées et herbes. Ces plantations pourraient représenter une bonne façon de rendre les terres marginales productives. Les grandes quantités de pesticides ou d'engrais requises pour cultiver certaines plantes pourraient avoir un impact négatif sur l'environnement. Cet impact pourrait être considérablement réduit par la culture d'arbres à croissance rapide, par exemple, puisque c'est habituellement au cours de la première ou de la deuxième année seulement d'une rotation que des produits chimiques sont utilisés. Dans le cas de **taillis**, il se peut même qu'aucun pesticide ou engrais ne soit utilisé.

Les avantages de l'utilisation de la biomasse par l'industrie pourraient l'emporter sur les inconvénients. Dans les débats publics, les inconvénients des technologies des bioproduits, ou de la production de biomasse, pourraient

être pondérés par les avantages escomptés pour le **développement durable**, notamment l'utilisation de ressources renouvelables comme matières premières industrielles, une meilleure conservation et les divers avantages environnementaux, sociaux et économiques.

Il ne s'agit là que d'un aperçu des problèmes liés au développement et à l'utilisation des bioproduits au Canada. On les décrit plus en détails ailleurs dans le présent document, notamment au chapitre 6. *Notions élémentaires sur les bioproduits* ne tente pas de résoudre ces

controverses et n'en débat pas en profondeur. Le lecteur intéressé à en apprendre davantage et à participer au débat public devrait communiquer avec les agences et organismes mentionnés au chapitre 7.

Compte tenu des avantages, des risques et des problèmes liés aux bioproduits, il est essentiel que la population canadienne soit davantage informée et puisse participer aux discussions sur les orientations et politiques futures. Le présent document est destiné à éclairer le débat.

Avantages et risques potentiels des bioproduits

Pour bien connaître les bioproduits, il faut comprendre les possibilités, les attentes et les écueils associés à ces produits et aux technologies utilisées pour les produire. Le terme « bioproduit » est un terme commode qui englobe une foule de produits et procédés. Il est difficile de faire des généralisations valables en présence d'une telle diversité. Une analyse adéquate du pour et du contre des bioproduits serait plus efficace si elle était effectuée au cas par cas. La liste suivante des avantages et des risques potentiels souligne certaines des attentes et des préoccupations liées aux bioproduits.

AVANTAGES POTENTIELS

Protection de l'environnement

- Moins grande dépendance envers les combustibles fossiles et les produits pétrochimiques.
- Moins d'émission de gaz à effet de serre.
- Réduction du smog et des polluants qui y sont associés et des émissions chimiques toxiques.

Diversification des sources d'énergie

- Utilisation des abondantes ressources canadiennes de la biomasse comme matière première renouvelable.
- Utilisation des déchets urbains comme source d'énergie réduisant les problèmes associés à l'élimination de ces déchets.

Utilisation de sous-produits et de déchets organiques

- Réduction de la quantité d'effluents et de déchets solides.
- Réduction de la contamination de l'air, de l'eau et du sol.

Revigoration des collectivités rurales

- Demande accrue de produits forestiers, agricoles et aquatiques valorisant les atouts des régions.
- Production localisée et création d'emplois dans le Canada rural.

Source d'énergie pour les économies en développement

- Accès plus large à l'énergie, notamment pour de nombreuses économies en développement disposant de grandes réserves de biomasse.
- Les technologies de transformation de la biomasse pourraient constituer une possibilité d'exportation pour le Canada.

RISQUES POTENTIELS

Menaces environnementales

- Appauvrissement des réserves de carbone de la biomasse, augmentation des concentrations de CO₂ atmosphérique et contribution au changement climatique.
- Réduction de la biodiversité.
- Demande accrue en engrais, en herbicides et en pesticides, augmentant par le fait même la pollution et les émissions de gaz à effet de serre.
- Certaines cultures et microorganismes sont modifiés génétiquement pour produire des bioproduits. Il faut qu'ils fassent l'objet d'une analyse réglementaire complète pour éviter les effets négatifs sur les écosystèmes.
- Les plantations d'arbres en monoculture à croissance rapide pourraient être plus sensibles aux maladies ou pourraient épuiser les réserves d'eau à l'échelle locale.
- La culture industrielle de certaines espèces pourrait menacer la biodiversité.
- Augmentation des émissions de carbone particulaire (suie) de la combustion du bois.

Conflits dans l'utilisation des terres et l'utilisation de l'eau

- Utilisation des terres nécessaires pour les cultures vivrières.
- Utilisation des terres et de l'eau pour la production de biomasse, lesquelles devraient être protégées ou réservées à d'autres usages, par exemple pour l'habitat de la faune.

Exemples de bioproduits

Produit	Matière première biologique	Matière première à base de pétrole remplacée
Électricité	Bois, fibres végétales	Charbon, pétrole, gaz naturel
Carburant diesel	Huiles végétales, graisses animales	Carburant diesel tiré du pétrole
Carburant d'automobile	Éthanol tiré de l'amidon ou de la cellulose	Essence tirée du pétrole
Chauffage au gaz	Méthane de déchets animaux ou urbains	Gaz naturel (principalement du méthane)
Acier	Charbon de bois ou huile tirée du bois pour réduire le minerai de fer	Coke tiré du charbon pour réduire le minerai de fer
Plastiques	Acide polylactique tiré de l'amidon	Polyéthylène
Revêtement de plancher	Liège, jute, lin	Chlorure de polyvinyle
Textiles, tissus	Chanvre, lin, autres fibres végétales	Polyesters
Matériau isolant	Paille, colle de protéines	Polystyrène
Produits hydrauliques, huile de graissage	Huiles végétales	Huiles minérales
Vernis	Résines et huiles végétales	Polyacrylates, glycols
Matériaux renforcés par des fibres	Chanvre, résine de laque	Fibre de carbone, polyamide
Peintures pour artistes	Colorants végétaux	Pigments azo



Chapitre 2

Les bioproduits de nos jours

Avant les années 1920, la plupart des industries canadiennes utilisaient des ressources biologiques renouvelables, comme les arbres, les cultures et d'autres formes de biomasse, pour fabriquer des produits. Ces premières industries de bioproduits ont été en grande partie remplacées quand les nouvelles technologies industrielles ont permis d'obtenir de l'énergie, des plastiques et d'autres substances tirées des combustibles fossiles plus efficacement et plus économiquement. La croissance industrielle alimentée par les combustibles fossiles a suivi la croissance de la population et de l'économie au cours du siècle dernier. On a également observé des progrès importants dans les domaines de la technologie, de la médecine et de la production alimentaire, et la qualité de vie s'est améliorée pour plusieurs.

Les produits forestiers canadiens

L'industrie forestière canadienne est une industrie importante qui a toujours utilisé la biomasse. Le Canada exporte plus de produits forestiers que tout autre pays au monde. Selon les chiffres recueillis par le Service canadien des forêts, l'industrie forestière canadienne a exporté des produits forestiers pour une valeur de près de 43 milliards \$ en 2002, et elle était le plus gros employeur industriel au pays. L'industrie, dont dépendent plus de 300 collectivités rurales, est également considérée comme celle qui est la plus largement répartie au Canada.

Le présent document ne traite pas des produits forestiers traditionnels (p. ex. le bois d'œuvre, la pulpe et le papier); il traite plutôt des bioproduits qui ont le potentiel de remplacer plus ou moins complètement les produits tirés actuellement des produits pétrochimiques et des combustibles fossiles. Cela ne veut pas dire que l'industrie forestière canadienne n'a aucun rôle à jouer dans le développement d'une industrie des bioproduits. Au contraire, les arbres sont essentiels comme source de biomasse, autant pour les bioproduits traditionnels que pour les nouveaux. Plusieurs entreprises forestières utilisent déjà des branches, de l'écorce et d'autres déchets de bois pour produire l'électricité dont ils se servent comme source d'énergie. Par exemple, Pacifica Papers, en Colombie-Britannique, qui produit chaque jour 1 300 tonnes de papier journal et d'autres produits, utilise l'écorce de son usine de pâte mécanique et d'autres résidus de bois pour faire fonctionner une génératrice de 40 mégawatts qui alimente ses installations.

La dépendance du Canada envers les ressources biologiques renouvelables, comme les arbres et les cultures, était loin d'être écologique à l'époque. Une grande partie des forêts ont été décimées et la biodiversité a souffert. La combustion de biomasse a répandu des cendres, de la fumée et d'autres polluants sur le territoire.

L'abandon de la biomasse au profit du charbon, du pétrole et des autres combustibles fossiles n'a pas résolu les problèmes environnementaux. L'utilisation industrielle accrue de ces produits pétroliers a eu un effet négatif sur la qualité de l'air, des terres et de l'eau, et la population croissante a généré une demande de plus en plus forte pour ces produits industriels. L'importance des émissions industrielles et autres a fait en sorte que des gaz atmosphériques normalement utiles, comme le CO₂, ont causé des problèmes environnementaux à l'échelle planétaire.

Les progrès scientifiques dans le domaine de la transformation chimique et des biotechnologies font de l'utilisation de la biomasse une solution plus propre que celle des combustibles fossiles dans la fabrication de nombreux combustibles, produits chimiques et matériaux. Par exemple, l'utilisation industrielle d'enzymes pour transformer économiquement la cellulose contenue dans les parties fibreuses dures des plantes en éthanol-carburant est assez récente. Par ailleurs, les progrès intervenus en thermochimie ont amélioré notre capacité de transformer la biomasse en gaz et huiles et de produire du carburant diesel à partir d'huiles végétales et de graisses animales.

Les bioproduits au Canada

À partir de données recueillies en 2001, une étude préliminaire de Statistique Canada nous renseigne quelque peu sur l'industrie canadienne des bioproduits. Le Canada compte 81 entreprises qui se consacrent exclusivement aux bioproduits. On a estimé que ces entreprises génèrent des revenus d'au moins 400 à 500 millions \$ par année, emploient de 1 200 à 1 500 personnes et exploitent des fonds de recherche et de développement de l'ordre de 60 à 80 millions \$. En outre, 52 autres entreprises canadiennes évoluent dans le milieu des bioproduits, mais sur une plus petite échelle.

Plus de 80 pour 100 des entreprises de bioproduits au Canada sont de petites et moyennes entreprises. Le nombre d'entreprises continue de croître (mais le nombre signalé peut ne pas être complètement représentatif, puisque certains bioproduits sont également fabriqués par des entreprises qui ne sont pas reconnues comme des entreprises de biotechnologie dans l'enquête de Statistique Canada). En 2004, 223 entreprises de bioproduits canadiennes figuraient dans un guide et un répertoire pour l'industrie publié par Contact Canada (<http://contactcanada.com>).

Certaines entreprises de bioproduits canadiennes sont des filiales de grandes sociétés. Un exemple : Dow Bioproducts, à Elie (Manitoba), est une filiale à 100 pour 100 de Dow Chemical Canada, qui fabrique des matériaux de construction à partir de paille et de résine.



Source : Corel Corporation

D'autres grandes sociétés, comme DuPont, BASF, CASCO et Cargill Dow, investissent dans les bioproduits. La plupart des entreprises de bioproduits canadiennes, toutefois, sont de petites sociétés, comme Canolio Inc., au Québec. Canolio fabrique des crèmes corporelles et des huiles à massage à partir du chanvre. Voici une liste d'autres entreprises de bioproduits canadiennes : Iogen, Natunola, Wellington Polymers, Ensyn, Tembec, Nstarch, BioTerre Système, Hempline, BioX Corporation, Dynamotive Energy Systems, Linnaeus Plant Sciences et Robustion.

Selon Statistique Canada, l'industrie canadienne a investi 60 à 80 millions \$ en recherche et développement sur les bioproduits en 2001 – une somme importante, mais de

beaucoup inférieure à celles qu'investissent les États-Unis, le Japon et l'Allemagne. Le gouvernement canadien porte également un intérêt croissant envers les bioproduits et la production de bioénergie. En 2001, un «Groupe de travail interministériel sur les bioproduits » a été créé pour coordonner les efforts et les initiatives de différents ministères du gouvernement, y compris la *promotion* de la biotechnologie par Industrie Canada, Environnement Canada, Ressources naturelles Canada et Agriculture et Agroalimentaire Canada, ainsi que la *réglementation* de la biotechnologie par Santé Canada. De même, Industrie Canada, ainsi que divers intervenants industriels et groupes d'intérêt, a mis au point une carte routière technologique sur les bioproduits et les bioprocédés qui recommande plus d'investissement de la part du gouvernement fédéral afin de faire progresser la biomasse comme solution de rechange aux ressources pétrolières.

Entretemps, des associations qui font la promotion des bioproduits, comme BioProduits Canada Inc. et ses homologues régionaux et provinciaux, s'activent à l'échelle nationale pour encourager les gouvernements et l'industrie à mettre davantage l'accent sur les bioproduits et à y investir davantage. D'autres groupes non gouvernementaux nationaux, comme la Fondation BIOCAP Canada, encouragent la recherche, le développement et la commercialisation dans ce domaine.

Les bioproduits dans d'autres pays

Selon le US Department of Energy, l'intérêt porté aux bioproduits s'accroît sans cesse dans le monde. Les ventes de bioproduits aux États-Unis ont plus que doublé entre 1983 et 1995, passant de 5,4 milliards \$ à 11 milliards \$. En 1999, un décret de la Maison-Blanche a engagé le gouvernement des États-Unis à utiliser et à produire trois fois plus de bioproduits et de biocombustibles à partir de la biomasse d'ici à 2010. En 2002, le US Department of Energy a publié son document *Vision for Bioenergy & Biobased Products in the United States*, qui recommandait que le gouvernement et l'industrie travaillent de concert pour porter, d'ici à 2030, la proportion d'énergie tirée de la biomasse à 5 pour 100 cent, celle des carburants de transport à 20 pour 100 et celle des bioproduits à 25 pour 100, dans leurs marchés respectifs.

Le Japon encourage également la croissance de la recherche sur les bioproduits et le développement industriel dans ce domaine. Récemment, les bioproduits ont été désignés comme l'une des trois activités de biotechnologie importantes visant à transformer l'industrie conventionnelle en industrie basée sur des procédés biologiques et des produits plus propres et produisant moins de gaz à effet de serre.

L'Allemagne est un chef de file dans l'élaboration d'une série de programmes, de normes de produit et de cadres réglementaires conçus pour promouvoir l'utilisation des combustibles, des substances chimiques et des matériaux renouvelables, et la mise au point de procédés industriels écologiques.

Le Brésil exige que les véhicules utilisent de l'essence renfermant au moins 20 à 24 pour 100 d'éthanol, lequel est produit localement à partir de canne à sucre. Cette réglementation visant à réduire la dépendance envers le

pétrole étranger a fait en sorte qu'au Brésil, jusqu'à 40 pour 100 des véhicules fonctionnent à l'éthanol pur. Le gouvernement encourage également le pays – qui est devenu le plus grand producteur d'éthanol au monde – à rechercher les occasions d'exportation.

Les pays scandinaves, par ailleurs, encouragent activement la plantation de peupliers et de saules à croissance rapide pour fabriquer des produits de papier et des matériaux de construction composites.



Chapitre 3

Les biocombustibles et la bioénergie

Le potentiel du Canada dans la production de combustibles et d'énergie à partir de la biomasse est très important et sous-utilisé. Toutefois, l'utilisation de la biomasse comme source de carburant pour les automobiles, les usines et la production d'électricité nécessite des technologies appropriées et repose sur la récolte de ressources de biomasse parfois éloignées. À l'heure actuelle, le Canada comble environ 6 pour 100 de ses besoins énergétiques totaux à partir de la biomasse, comparativement à 3 pour 100 pour l'Union européenne et les États-Unis.

Les technologies permettant de transformer la biomasse en combustibles et en énergie sont la **fermentation**, la **combustion**, la **digestion anaérobie**, la **pyrolyse**, la **dépolymérisation thermique** et la **gazéification**. Certaines de ces technologies et procédés connexes seront décrits ci-après pour expliquer leur fonctionnement.

Le Canada a-t-il un « avantage vert »?

Le Canada compte 7 pour 100 des terres émergées du globe et 10 pour 100 de ses forêts. La plupart de la production de biomasse du pays a lieu dans de grandes forêts.

La Fondation BIOCAP Canada estime que, si la récolte et la transformation de cette source d'énergie largement répandue pouvait se faire de façon rentable, on pourrait obtenir suffisamment de biomasse inutilisée des activités forestières et agricoles au Canada (résidus de récoltes, branches d'arbres inutilisées, déchets d'usines de pâtes et papier, etc.) pour combler près de 27 pour 100 des besoins énergétiques actuels du pays. L'organisme de recherche universitaire calcule également qu'une augmentation de 25 pour 100 de la production actuelle d'arbres et de cultures pourrait permettre de satisfaire un autre 15 pour 100 de la demande d'énergie qui est actuellement comblée par les combustibles fossiles.

Ces chiffres reflètent la capacité totale des vastes forêts et terres agricoles du Canada en matière de biomasse. Ils ne tiennent pas compte des problèmes associés à la récolte de ces matières, des failles de la technologie, des facteurs économiques liés à leur transformation, des problèmes de pollution et des autres problèmes environnementaux et économiques associés à l'utilisation de la biomasse comme source d'énergie.

La biomasse comme source de chaleur et d'électricité

La combustion directe de la biomasse est utilisée dans les poêles à bois et les foyers pour chauffer les habitations. Les poêles et foyers traditionnels sont sans doute les moyens les plus anciens et les plus élémentaires de transformer la biomasse en chaleur, mais les nouvelles technologies ont donné naissance à des poêles qui brûlent le bois et la biomasse de façon très efficace. Ces poêles acceptent une foule de matériaux : bois, copeaux de bois, particules de biomasse, agglomérés et bûches fabriqués à partir de déchets de mouture de café. Bien que les quantités de gaz (incluant le CO₂) et de particules émises par ces poêles à bois varient énormément d'un modèle à l'autre, de nombreux Canadiens les utilisent pour remplacer en tout ou en partie les appareils de chauffage au mazout et au gaz ou les centrales à combustible fossile comme source d'électricité.

La combustion directe de la biomasse est également utilisée pour produire de la vapeur (chaleur) et de l'électricité. Ainsi, on brûle de la matière organique sèche pour faire bouillir de l'eau, et la vapeur produite entraîne une **turbine** dont la rotation produit de l'électricité. Aux États-Unis, la combustion directe de biomasse produit actuellement plus de 7 500 mégawatts d'électricité – assez pour alimenter plusieurs millions de foyers.

Au Canada, on utilise la combustion directe pour produire de la chaleur et de l'électricité dans certaines collectivités au pays. Par exemple, à Charlottetown (Île-du-Prince-Édouard), un système de chauffage au bois centralisé chauffe 15 immeubles depuis 1986, y compris des immeubles du gouvernement provincial, l'hôtel de ville, deux églises, trois hôtels et une caserne de pompiers.

Une centrale d'Hydro-Québec alimentée au bois, à Chapais (Québec), produit 28 mégawatts d'électricité. La centrale de Williams Lake (Colombie-Britannique) brûle des déchets de bois provenant des activités forestières de la région et produit ainsi 60

mégawatts d'électricité. Dans la ville d'Ajax, un système centralisé qui brûle de la biomasse fournit de l'énergie à un centre communautaire, à l'hôpital Ajax-Pickering, au service des travaux publics d'Ajax et à plus d'une douzaine de clients industriels.

La plupart des sources de biomasse peuvent produire de l'énergie par combustion directe, mais on en évite certaines qui produisent de grandes quantités de cendres pouvant encrasser les chaudières, réduire l'efficacité et augmenter les coûts. De même, la biomasse humide peut entraîner un gaspillage d'énergie, car l'humidité résiduelle doit être éliminée par ébullition avant que la biomasse ne soit brûlée.

La biomasse peut également être transformée en combustibles propres et efficaces que l'on peut utiliser indirectement pour alimenter des génératrices, des **piles à combustible**, des moteurs et d'autres appareils de conversion énergétique et pour produire de l'électricité. La pyrolyse et les technologies avancées de gazéification transforment les matières organiques en huile brute (biohuile) et en **gaz de synthèse**, respectivement. La dépolymérisation thermique produit des hydrocarbures véritables qui se comparent à un mazout de chauffage de bonne qualité. Ces technologies présentent en général un rendement de conversion plus élevé et utilisent une plus grande variété de sources de biomasse que les technologies de combustion.

La pyrolyse transforme la biomasse en combustible par chauffage dans un réservoir exempt d'oxygène. Le gaz produit est alors refroidi rapidement en un liquide et en un



Source : Corel Corporation

solide (produit de carbonisation). On peut brûler le liquide pour obtenir de l'énergie ou l'utiliser pour produire des substances pouvant remplacer les produits pétrochimiques. Les combustibles renouvelables obtenus par pyrolyse se stockent, se transportent et brûlent plus facilement que la biomasse solide.

La gazéification est un procédé semblable à la pyrolyse, mais on introduit de l'oxygène au moment où la biomasse est chauffée. Il en résulte un combustible plus propre appelé gaz de synthèse. Le gaz de synthèse renferme de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, ainsi que de l'azote, mais sa combustion donne moins d'émissions que les combustibles fossiles. On peut utiliser le gaz de synthèse au lieu du gaz naturel pour produire de l'électricité, ou s'en servir comme matière première pour produire des substances chimiques (p. ex. de l'ammoniac) et des combustibles liquides (p. ex. du méthanol).

La **cocombustion** est une autre méthode qui peut réduire les émissions de gaz et les impacts environnementaux des génératrices alimentées aux combustibles fossiles. Plutôt que de brûler seulement du charbon dans les chaudières des centrales électriques, on mélange de la biomasse déshydratée au combustible. La cocombustion contribue à réduire la quantité de charbon nécessaire pour produire l'électricité.

Les procédés de production d'électricité à partir de la biomasse renouvelable (et à partir d'autres sources d'énergie renouvelables) sont décrits dans le document de Pollution Probe *L'ABC des technologies de l'énergie renouvelable* (voir www.pollutionprobe.org/Publications/Primers.htm).

La biomasse pour alimenter les véhicules

Les tout premiers textes historiques révèlent que l'homme faisait déjà fermenter les sucres en éthanol. Les nouvelles biotechnologies ont permis d'accélérer ce processus. Aujourd'hui, de nouvelles enzymes permettent de produire de l'alcool à partir des végétaux plusieurs milliers de fois plus efficacement que les premiers brasseurs et distillateurs. Comme l'éthanol brûle rapidement et proprement, on peut s'en servir comme combustible renouvelable pour le transport et d'autres usages. La plupart de l'éthanol disponible au Canada actuellement provient du maïs. L'amidon que contient le maïs

est transformé chimiquement en glucose (un sucre simple) qui est ensuite fermenté en alcool par des **levures**. On mélange actuellement environ 225 millions de litres d'éthanol à de l'essence (à raison de 5 à 10 pour 100), et ce mélange est vendu dans plus de 600 stations service au Canada chaque année. En octobre 2000, le gouvernement fédéral a annoncé son intention d'augmenter la production d'éthanol au Canada de 750 millions de litres par année au cours des cinq prochaines années, ce qui porterait la production de bioéthanol d'environ 0,6 pour 100 à 2,5 pour 100 de toute l'essence utilisée au Canada. La production canadienne d'éthanol consomme actuellement plus de 17 millions de boisseaux de maïs chaque année. L'un des sous-produits importants de cette production d'éthanol est un aliment pour les animaux de haute qualité plus nutritif que le maïs original.



Source : National Biodiesel Board. www.biodiesel.org.

Ce sont les coûts et l'obtention des cultures adéquates qui sont considérés comme les principaux obstacles à une commercialisation plus étendue du bioéthanol au Canada. En outre, les avantages pour l'environnement de transformer le maïs et les autres céréales (c.-à-d. réduction des gaz à effet de serre) peuvent être moindres à cause des grandes quantités d'énergie, de combustibles fossiles et d'engrais requises pour obtenir ces cultures.

Les nouvelles biotechnologies qui prévoient la conversion sur une grande échelle des parties dures et fibreuses des plantes (c.-à-d. la **cellulose** dans les tiges, les épis de maïs et la paille) en bioéthanol pourraient être plus attrayantes que les technologies actuelles sur le plan environnemental. Nombre des technologies nécessaires pour fabriquer de l'éthanol à partir de la cellulose sur une échelle commercialement viable en sont encore au stade de la mise au point. La société Iogen d'Ottawa est devenue un chef de file mondial dans la mise au point de cette technologie.

D'autre part, on peut transformer les acides gras ou les huiles tirées de sources végétales et animales renouvelables en un carburant propre, le **biodiésel**. On peut séparer ces huiles organiques — tirées de graines, du maïs, du canola, de graisses animales et même des huiles végétales « usées » qui ont servi à faire frire des aliments de restauration rapide — et en isoler les composés combustibles. Selon l'Association canadienne des carburants renouvelables, le biodiésel, seul ou sous forme de mélange, peut être utilisé dans les moteurs diesels ordinaires dans le but de réduire significativement certaines émissions polluantes. La production de ce carburant ne produit pas d'émission nette de CO₂, et le carburant lui-même est considéré comme **biodégradable**.

Le biodiésel

Les coûts sont encore un obstacle important à la production commerciale et à l'utilisation sur une grande échelle du biodiésel. Selon les estimations du US Department of Energy, le biodiésel coûte entre 1,95 et 3,00 \$ US le gallon (selon la matière première et le fournisseur), alors que le prix actuel du carburant diesel ordinaire est d'environ 1,50 \$ US. La même source indique que les mélanges de diesel dans lesquels entrent 20 pour 100 de biodiésel devraient coûter 0,30 à 0,40 \$ US de plus le gallon que le diesel. Un important facteur à considérer ici est l'égalisation des mesures incitatives et des politiques habilitantes pour les bioproduits — en commençant par l'énergie — qui mettent la biomasse sur le même pied que les combustibles fossiles, lesquels sont encore subventionnés et ne sont pas tenus responsables de tous les coûts environnementaux qu'ils génèrent.

Selon l'American Biodiesel Association, malgré le coût plus élevé, les utilisateurs de biodiésel aux États-Unis comprennent le service postal et les départements de l'Énergie et de l'Agriculture, ainsi que près d'une centaine d'autres flottes publiques et privées au pays.

Il est difficile d'utiliser le biodiésel au Canada en hiver. Par temps froid, le biodiésel s'épaissit plus rapidement que le diesel ordinaire. Pour le moment, tant qu'on n'aura pas trouvé

Le biodiésel (suite)

un ratio de mélange optimum pouvant améliorer le rendement du biodiésel en hiver, on peut utiliser le biodiésel comme additif jusqu'à 5 pour 100 dans le diesel ordinaire.

Au Canada, on produit très peu de biodiésel à l'échelle commerciale, mais la situation devrait changer au cours des prochaines années. On a appliqué des projets de démonstration visant à vérifier la viabilité du biodiésel comme carburant pour les flottes du transport urbain et des travaux publics dans certaines villes, comme Kingston, Montréal, Saskatoon, Brampton, Guelph, Vancouver, Whistler, Halifax et Toronto. La BIOX Corporation de Toronto a mis au point une nouvelle technologie chimique qui permet de produire du biodiésel à partir de la biomasse à un coût 40 à 50 pour 100 moins cher que les autres procédés. L'entreprise prévoit lancer sa première usine commerciale de production de biodiésel (60 millions de litres par année) d'ici à 2004.

Les gaz émis par les déchets urbains et agricoles

Le **biogaz** — un mélange de méthane et de CO_2 — est un combustible renouvelable qui peut être produit à partir de déchets organiques. Le biogaz provient des **bactéries** qui dégradent la matière vivante en l'absence d'oxygène dans le cadre d'un processus appelé digestion anaérobie. La digestion anaérobie peut produire des gaz à partir de la matière organique. On l'observe naturellement dans les marais, les dépôts d'ordures ménagères, les fosses septiques et le système digestif des ruminants, comme les bovins et les ovins.

L'élimination du fumier de ferme et des déchets urbains solides s'accompagne de graves problèmes environnementaux et de dépenses élevées pour les collectivités rurales et urbaines. Au lieu de s'en débarrasser, on peut utiliser ces déchets pour produire du biogaz. Des procédés faisant appel à la digestion anaérobie ont été appliqués au fumier de volaille et de bovin, aux effluents des porcheries et aux déchets de la transformation des aliments. Le biogaz provenant de certains lieux d'enfouissement (décharges) au Canada est maintenant utilisé pour alimenter des turbines à gaz pour la production d'énergie. On s'en sert non seulement pour produire de l'électricité, mais également pour brûler le méthane — un gaz à effet de serre 21 fois plus puissant que le CO_2 — avant qu'il soit libéré dans l'atmosphère.

La municipalité de Kitchener-Waterloo, par exemple, avec la collaboration de Toromont Energy, utilise des **gaz d'enfouissement** — des gaz que l'on se contentait de brûler auparavant — pour produire de l'électricité. Un réseau de tuyaux souterrains recueille les gaz des décharges et les utilise pour alimenter une centrale électrique.

À Lethbridge (Alberta), ECB Enviro est en train de construire une usine pilote qui produira du biogaz (ainsi que de l'eau traitée et des engrais) à partir du fumier de porc provenant des porcheries de la région. L'entreprise prévoit que l'usine, dont la construction a débuté en 2003, utilisera 100 000 tonnes de fumier par année pour produire assez d'électricité pour environ 900 habitations.

La biomasse comme source d'hydrogène dans les piles à combustible

La biomasse peut également avoir un rôle à jouer dans la mise au point d'un combustible à base d'hydrogène renouvelable dans les piles à combustible. Les piles à combustible produisent de l'énergie en combinant un combustible à base d'hydrogène et l'oxygène (sans combustion) pour produire de l'eau et de l'électricité.

L'hydrogène est extrêmement volatil et explosif. Il prend également beaucoup de place comparativement à la quantité d'énergie qu'il fournit et il est difficile à stocker et à livrer aux consommateurs. Pour contourner ces obstacles, on peut utiliser des combustibles établis comme source portable d'hydrogène. L'éthanol et le méthane produits à partir de la biomasse peuvent être transformés en hydrogène pour les piles à combustible. Les automobiles munies de piles à combustible produisent moins d'émissions d'échappement et sont plus



Prototype d'une automobile alimentée par des piles à combustible.

Source : Ballard. www.ballard.com

efficaces (kilomètres au litre) que les automobiles ordinaires à l'essence.

C'est la NASA qui a été la première à utiliser les piles à combustible dans les années 1960. À l'heure actuelle, les fabricants d'automobiles nord-américains ainsi que de nombreux fabricants étrangers tentent de mettre au point des véhicules **efficaces** fonctionnant au moyen de piles à combustible. Dans le cas des automobiles et des autres véhicules, l'utilisation de piles à combustible pourrait signifier moins d'entretien que dans le cas des véhicules conventionnels et la capacité de faire jusqu'à 130 kilomètres au litre de carburant (presque dix fois plus efficaces en moyenne qu'une automobile actuelle).



Chapitre 4

Les produits biochimiques et les biomatériaux

La chimie industrielle est la science à l'origine de bien des produits et des matériaux que nous utilisons tous les jours et que nous tenons pour acquis – les plastiques, les colles et les produits nettoyants, pour n'en nommer que quelquesuns. L'industrie et les gouvernements, qui recherchent des méthodes de fabrication plus propres, plus efficaces et plus rentables, s'orientent maintenant vers les réactions chimiques naturelles et sur les structures biologiques qui les facilitent. Ils espèrent ainsi qu'en utilisant des processus naturels, l'industrie pourra utiliser moins de produits chimiques toxiques, réduire les dangereuses réactions qui leur sont associées et produire moins de déchets toxiques.

Toutefois, l'impact global de ces bioproduits n'est pas clair. Dans un rapport de 2001 sur le rendement environnemental et économique des industries des bioproduits (déterminé au moyen d'analyses du cycle de vie), l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a conclu que, en général, les bioproduits consomment moins d'énergie et produisent moins de gaz à effet de serre que les produits classiques. Toutefois, le rapport conclut également que les bioproduits sont rarement supérieurs aux produits classiques dans toutes les catégories d'effets sur l'environnement. Par exemple, certaines industries de bioproduits qui font appel à la biomasse peuvent contribuer à l'**eutrophisation** des lacs, des cours d'eau et d'autres plans d'eau de surface. L'eutrophisation est associée au ruissellement d'azote et de phosphore provenant des engrais utilisés en agriculture.

La chimie verte

La chimie industrielle qui cherche à réduire la pollution, à être plus efficace et à réduire l'utilisation de matières dangereuses dans la fabrication et l'utilisation de produits chimiques est souvent appelée « chimie verte ». L'objectif de la chimie verte est de créer des produits chimiques plus sûrs et plus écologiques; cet objectif s'applique également aux procédés de synthèse, aux réactifs, aux solvants et aux produits et sous-produits utilisés dans la production et l'utilisation de ces produits chimiques. La chimie verte vise également l'efficacité sur les plans chimique et énergétique.

La chimie verte fait souvent appel à des produits chimiques et des matières d'origine biologique (biomasse) pour atteindre ses buts, car ces produits ont tendance à être moins persistants et moins toxiques que les dérivés pétrochimiques. La chimie verte utilise également des procédés chimiques faisant appel à des structures biologiques naturelles, comme des enzymes ou les voies métaboliques de **cellules** vivantes, des procédés souvent très efficaces et moins susceptibles de perturber l'environnement que les procédés chimiques industriels.



Source : www.comstock.com/ca

Des produits industriels à partir de la biomasse

Dans certains cas, des matières produites chimiquement que nous utilisons aujourd’hui peuvent facilement être remplacées par des matières que l’on trouve dans la nature. Dans d’autres cas, de légères modifications à des substances naturelles peuvent les rendre plus utiles et plus faciles à obtenir.

Par exemple, l’acide polylactique est une matière plastique dérivée de sources renouvelables, comme l’amidon du blé et du maïs. On pourra aussi bientôt l’extraire de la cellulose des plantes. Tout comme les plastiques tirés des combustibles fossiles, l’acide polylactique est durable et peut être façonné et moulé de façon à créer des produits utiles, par exemple des sacs d’épicerie, et même des jouets. On peut également l’utiliser comme textile, et il peut facilement remplacer le nylon, le polyester et le polystyrène.

Les plastiques fabriqués à partir de produits pétroliers sont responsables de problèmes liés à leur élimination et d’autres problèmes de pollution partout dans le monde. Les plastiques à base d’acide polylactique sont également lents à se dégrader dans l’environnement, mais, selon

Les enzymes au travail

Selon l’OCDE, le marché mondial des enzymes industrielles vaut plus de 1 milliard \$ par année. C’est un marché qui continue de croître à raison d’environ 10 pour 100 par année. Les enzymes jouent de plus en plus un rôle primordial dans les procédés industriels dans le monde.

Par exemple, les fabricants ajoutent déjà des enzymes aux détergents à lessive pour mieux éliminer les taches. On se sert également d’enzymes pour transformer la cellulose en sucre, pour blanchir le papier, pour faire cailler le lait en fromage et pour améliorer la consistance de la farine en boulangerie.

logen Corporation (Canada) — logen Corporation, à Ottawa, a mis au point une technique d’hydrolyse enzymatique qui dégrade rapidement la cellulose — la matière ligneuse dure que l’on trouve dans la paille, les tiges de maïs, le bois et les déchets issus de l’émondage des vergers — pour la transformer en bioéthanol. On encourage l’utilisation d’éthanol de source biologique comme carburant de remplacement pour réduire les émissions de gaz à effet de serre associées à l’essence. L’un des problèmes venait du fait que la seule méthode facile d’obtenir de l’éthanol à partir de plantes était d’utiliser comme matière première des plantes riches en amidon, comme le maïs et les autres céréales. logen, qui a fait sa marque en mettant au point de nouveaux usages industriels pour les enzymes, peut maintenant produire un combustible écologique tiré de parties de cultures vivrières jusque là sous-utilisées ou abandonnées dans les champs. L’usine de démonstration de logen qui produit de l’« écoéthanol », peut transformer environ 40 tonnes de paille de blé, d’avoine et d’orge chaque jour et produire de trois à quatre millions de litres d’éthanol chaque année.

Mitsubishi Rayon (Japon) — L’entreprise japonaise Mitsubishi Rayon utilise une enzyme tirée d’un microorganisme d’origine naturelle pour faciliter la production d’acrylamide, une substance chimique importante dans la fabrication des plastiques. La méthode classique de production de l’acrylamide exige l’utilisation de cuivre ou d’acide sulfurique à des températures très élevées. En utilisant l’enzyme appelée nitrile hydratase, Mitsubishi Rayon peut produire de l’acrylamide plus pure à moindre coût et avec 80 pour 100 moins d’énergie par unité de production que la méthode classique. L’entreprise a modifié génétiquement le microorganisme pour améliorer la production de l’enzyme et son rendement.

Les enzymes au travail (suite)

Baxenden Chemicals (Grande-Bretagne) – Une enzyme tirée de la levure *Candida antarctica* est au cœur d'un procédé utilisé par Baxenden Chemicals, de Grande-Bretagne, pour fabriquer du polyester. L'entreprise se sert de cette enzyme pour effectuer la synthèse de longues molécules de polyester à des températures beaucoup moins élevées et sans l'aide des solvants toxiques et des acides utilisés dans le cadre de la méthode utilisée habituellement. En outre, le procédé enzymatique permet d'obtenir beaucoup plus facilement des molécules de longueur uniforme que les autres procédés chimiques industriels. Le polyester est très utile comme adhésif thermofusible, du genre utilisé dans les pistolets à colle.

Cerol (Allemagne) – La démulcination est le procédé de raffinage des huiles végétales qui permet d'éliminer les matières gommeuses indésirables appelées mucilages et d'améliorer la qualité et la durée de conservation des huiles. Dans le cadre des méthodes classiques de raffinage, on ajoute à l'huile des acides et de l'eau, puis on sépare l'huile des particules indésirables et des contaminants par centrifugation. Cerol d'Allemagne se sert d'une enzyme, la phospholipase, pour le dégommeage et obtient le même résultat tout en utilisant moins de soude caustique, d'acide phosphorique et d'acide sulfurique que dans les procédés classiques. La méthode enzymatique permet également d'utiliser moins d'eau pour le lavage et la dilution et de réduire les boues excédentaires.

le US Department of Agriculture, des travaux en cours visent à mélanger cette matière avec de l'amidon de maïs ou de la résine pour la rendre plus biodégradable. La production de ces plastiques exige beaucoup moins d'énergie que celle des plastiques ordinaires. Des chercheurs étudient également des façons de produire de l'acide polylactique à partir des tiges, de la balle et des résidus ligneux (p. ex. la cellulose) des industries agricole et forestière.

Les enzymes comme agents industriels

Les enzymes sont de grosses molécules organiques très utiles qui facilitent et accélèrent les réactions chimiques nécessaires à la vie. Ces **catalyseurs protéiques** réunissent les substances qui doivent réagir ensemble et les immobilisent jusqu'à ce que la réaction soit complète.

Dans certains cas, l'industrie a pu utiliser des enzymes isolées de leur source végétale, animale ou microbienne originelle. Les enzymes peuvent effectuer des tâches très spécifiques, et les processus chimiques qu'elles facilitent peuvent se révéler très efficaces. Certains processus enzymatiques utilisent moins d'énergie et produisent moins de déchets que les processus chimiques industriels.

Par le génie génétique ou par l'« évolution moléculaire » (c.-à-d. en faisant « évoluer » des enzymes rapidement grâce à un processus qui imite l'évolution naturelle et la sélection), l'industrie peut modifier et diriger le travail d'enzymes pour faciliter des réactions chimiques entièrement nouvelles ou pour travailler dans des conditions spécifiques, par exemple à des températures élevées ou dans un milieu très acide.

Les voies métaboliques comme agents industriels

On peut associer les voies métaboliques d'un organisme aux diverses étapes chimiques par lesquelles passe une cellule dans le stockage ou la libération d'énergie. Comme les enzymes qui agissent comme catalyseurs pour franchir ces étapes chimiques, les voies métaboliques sont devenues très efficaces au cours de l'évolution. L'industrie a pu exploiter les cellules entières des microorganismes pour tirer parti de leurs voies métaboliques dans la production de substances chimiques. Modifiées par le génie génétique, ces cellules peuvent devenir très efficaces, et elles peuvent donner des rendements plus élevés que les procédés classiques, sans les multiples étapes associées à ces derniers.

En Grande-Bretagne, par exemple, une entreprise de produits chimiques appelée Avecia utilise la bactérie *Pseudomonas* (bactérie que l'on retrouve couramment dans le sol et l'eau) pour fabriquer de l'acide Schloropropionique, une substance intermédiaire utilisée dans la production de plusieurs herbicides. Les bactéries isolent la molécule pure d'acide Schloropropionique en dégradant sa molécule jumelle qui est inefficace. Les méthodes chimiques classiques exigeraient des solvants et beaucoup d'énergie. Les bactéries font le travail à meilleur coût pour l'industrie et produisent moins de déchets.

Des bioprocédés pour le blanchiment et la lixiviation

Les enzymes et les systèmes métaboliques des microorganismes sont également utilisés dans les industries des textiles, du papier et des mines. Dans les méthodes classiques de blanchiment et de traitement du papier et des tissus, par exemple, il faut de grandes quantités d'eau, d'énergie, d'agent de blanchiment et d'autres produits chimiques pour blanchir les fibres et, par la suite, pour se débarrasser des produits résiduels. Des enzymes de sources biologiques peuvent être utiles dans le blanchiment, où dans le lavage et le nettoyage requis une fois le blanchiment effectué.

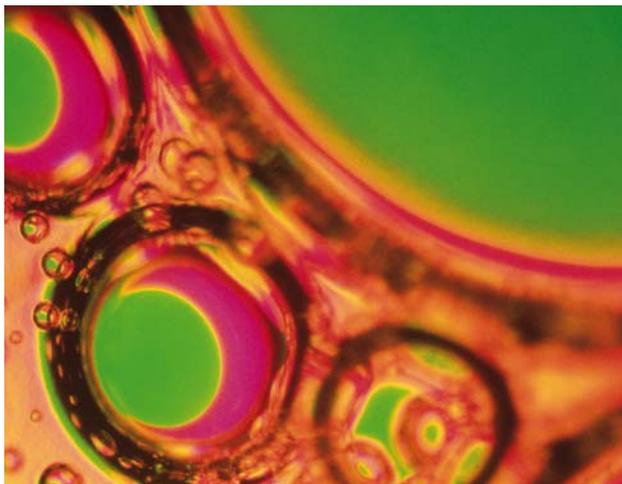
Iogen Corporation s'est révélée un chef de file dans la mise au point de l'enzyme appelée xylanase, qui facilite le blanchiment de la pâte de bois dans les usines de papier. Cette enzyme, isolée à l'origine des cellules d'un champignon, rend la structure ligneuse et dure de la pâte de bois plus perméable à l'agent de blanchiment. Le procédé exige alors moins d'eau et de chlore. Le procédé est également utilisé par Domtar Inc. du Canada.

Autre exemple : Oji Paper Co. du Japon utilise une enzyme, la catalase, pour se débarrasser du peroxyde d'hydrogène après le blanchiment. Cette enzyme réduit la température et la quantité d'eau requises pour éliminer l'agent de blanchiment.

Par ailleurs, des bactéries sont également utilisées dans l'industrie minière. L'entreprise

sud-africaine Billeton utilise des bactéries pour la lixiviation du cuivre contenu dans le minerai de sulfure. La bactérie, qui oxyde le sulfure et le fer dans le minerai, permet d'économiser le temps, l'énergie et les coûts associés à l'expédition du minerai dans une fonderie pour l'extraction du cuivre. Elle permet également de réduire les émissions d'oxydes de soufre, d'arsenic et d'autres produits chimiques toxiques.

Budel Zinc des Pays-Bas utilise des bactéries pour traiter les eaux usées de son procédé de raffinage du zinc. Les bactéries, qui réduisent les sulfates, captent les traces de zinc et d'autres métaux présents dans les eaux usées acides et les font sédimenter. Ce procédé est plus efficace que les méthodes classiques pour éliminer ces contaminants des eaux usées, et il permet d'éviter l'accumulation des boues contaminées par des métaux lourds qui constituaient un sous-produit du procédé classique.



Source : www.comstock.com/ca

L'écologie industrielle

Certains penseurs, notamment l'influent consultant en gestion Hardin Tibbs, aux États-Unis, estiment que la biologie peut permettre à l'industrie d'améliorer son efficacité de production et de réduire la pollution grâce à un modèle d'infrastructures industrielles complémentaires.

L'écologie industrielle est cette notion que des groupes d'entreprises peuvent imiter les interactions coopératives qui existent chez les organismes vivants dans les **écosystèmes** naturels. Grâce à la coopération, les sous-produits ou les déchets d'une industrie peuvent servir de matière première à une autre, et ainsi de suite dans une sorte de communauté ou « grappe » industrielle. Les groupes d'entreprises fonctionnant de cette façon peuvent devenir beaucoup plus efficaces et produire beaucoup moins de déchets qu'une seule entreprise isolée; il en résulte donc des « écosystèmes » industriels plus autosuffisants.

L'idée de l'écologie industrielle est venue, en partie, de la notion que les effets négatifs d'une industrie sur l'environnement proviennent du fait qu'elle fonctionne hors du contexte plus vaste de l'écologie de la planète — c'est-à-dire qu'elle ne tient pas compte des cycles naturels des être vivants. En travaillant ensemble dans le cadre de communautés industrielles, l'industrie peut fonctionner de façon à ce que ses sous-produits et ses déchets, ainsi que ses matières premières s'encadrent dans des cycles écologiques plus vastes.





Chapitre 5

Les bioproduits et les bioprocédés

Le présent chapitre s'appuie sur les descriptions des produits biochimiques et des biomatériaux données au chapitre 4, et présente des applications additionnelles pour les bioproduits et les bioprocédés.

La réduction du bois en pâte à l'aide de champignons

Dans les méthodes classiques de réduction du bois en pâte, on fait bouillir des copeaux de bois dans une solution chimique destinée à dégrader la lignine et les parois cellulaires résistantes du bois. Certaines entreprises de pâtes et papiers, comme le producteur européen de papier Leykam, d'Autriche, examinent maintenant la possibilité d'utiliser des champignons (telle la moisissure blanche, *Bjerkandera* sp., qui joue un rôle dans le pourrissement naturel des feuilles d'arbres tombées au sol) et des enzymes fongiques pour entamer la dégradation de la lignine et la séparation des fibres du bois avant la réduction en pâte. Un tel prétraitement permet de réduire la quantité d'énergie et de produits chimiques nécessaires pour produire la pâte, tout en réduisant la quantité de déchets. Leykam d'Autriche a constaté que les enzymes fongiques utilisées comme prétraitement dans la production de pâte permettent d'éliminer 30 pour 100 plus de lignine, et qu'il faut ensuite moins de chlore pour blanchir la pâte.

Le forage de puits à l'aide d'amidon

Le forage des puits de pétrole se fait à l'aide d'une boue lubrifiante (un mélange liquide d'argile, d'eau et d'huile), qui permet également de maintenir le puits ouvert et le gisement de pétrole à l'abri des contaminants pendant le forage. Le problème avec ce mélange classique tient à ce que l'huile utilisée dans sa préparation est nuisible pour l'environnement, tout comme l'acide nécessaire pour pénétrer la couche scellante de boue (le « gâteau »). Encore une fois, la biologie nous permet de résoudre ce problème. Aujourd'hui, on peut remplacer les boues de forage classiques par un mélange d'amidon et de composés biologiques (p. ex. la gomme xanthane lubrifiante produite par la bactérie *Xanthomonas campestris*). Ces mélanges contiennent des enzymes, plutôt que des acides, pour éliminer le gâteau scellant. Selon la société British Petroleum Exploration, l'utilisation de cette solution biologique a permis d'épargner de l'argent et de réduire les dommages à l'environnement.

Des capteurs biologiques pour les aliments et la sécurité

Chaque année, des millions de Canadiens sont victimes d'empoisonnements alimentaires, et des centaines meurent d'intoxications causées par des bactéries pathogènes comme *Escherichia coli* et *Salmonella*. L'industrie de la transformation alimentaire compte de plus en plus sur la biologie pour lui fournir des systèmes de détection précoce des pathogènes alimentaires. En général, ces systèmes font appel à des anticorps protéiques naturels produits par les organismes vivants en réponse à la présence de toxines (antigènes) produites par des microorganismes envahisseurs. Les anticorps sont disposés de telle sorte que lorsque la « clé » d'un anticorps correspond à la « serrure » d'un antigène, la disposition ou la couleur révèle automatiquement la présence des bactéries. On travaille également à la mise au point de ce type de technique pour la détection précoce de polluants ainsi que pour la lutte contre les armes chimiques et biologiques.

Dans certains cas, l'ADN des pathogènes et d'autres organismes est incorporé dans des dispositifs de détection microscopiques appelés « puces à ADN ». Ces puces tirent profit des connaissances biologiques de l'ADN, de la **nanotechnologie** et de la technologie de l'information. Il s'agit d'une minuscule lame de laboratoire qui indique automatiquement à un ordinateur le moment où un gène est activé ou inactivé. Comme dans le cas des modifications génétiques chez les bactéries, les puces à ADN permettent de détecter instantanément la présence d'organismes pathogènes, de produits chimiques toxiques et d'autres substances nocives.

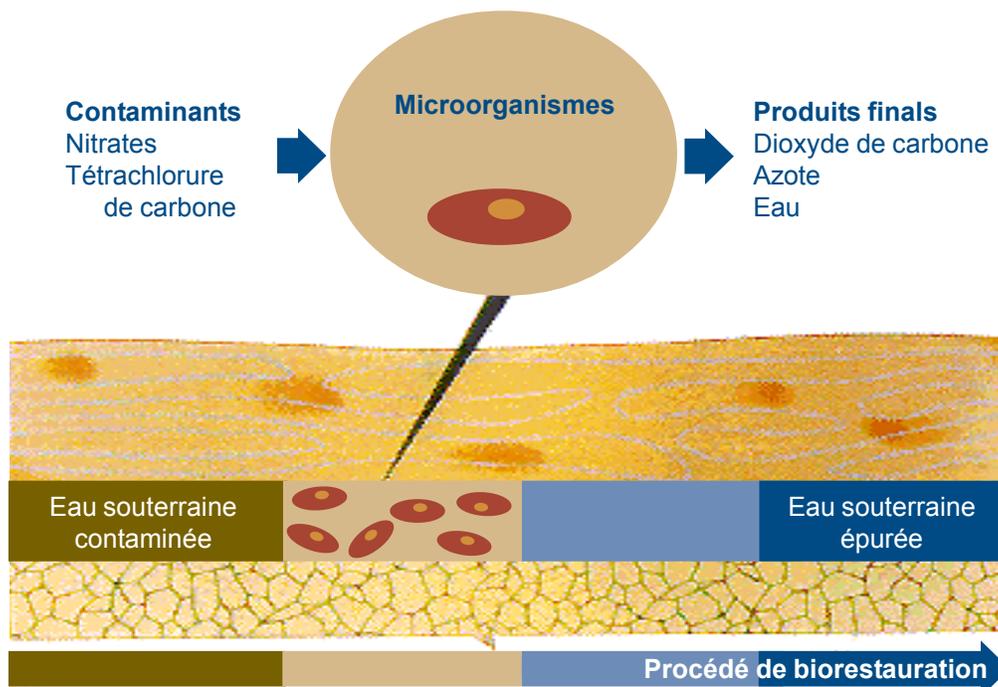
Des bactéries capables de dépister les mines terrestres

On estime à 60–70 millions le nombre de mines terrestres enfouies dans les champs et les forêts de plus d'une soixantaine de pays de par le monde. Selon le Comité international de la Croix-rouge, ces mines blessent ou tuent environ 26 000 civils chaque année. Il y a quelques années, les experts ont trouvé un allié microscopique dans leur lutte pour éliminer les mines terrestres. Ils ont en effet découvert que la bactérie *Pseudomonas putida* était naturellement sensible au trinitrotoluène, mieux connu sous le nom de T.N.T., utilisé dans les explosifs. À l'aide du génie génétique, les scientifiques ont modifié la bactérie de manière à ce qu'elle produise la même protéine qui permet aux méduses d'émettre leur fluorescence verte. La protéine de méduse est activée lorsque la bactérie détecte la présence de T.N.T. La grande efficacité de cette bactérie modifiée, sensible aux explosifs, à détecter les mines terrestres a déjà été démontrée.

La biorestauration

Les déversements accidentels de pétrole et de produits chimiques toxiques, ainsi que les contaminations environnementales par de tels produits menacent de plus en plus notre santé et celle de l'environnement. Le nettoyage des lieux ainsi souillés est difficile et coûteux. Toutefois, de nombreux microorganismes naturels vivant dans le sol et dans l'eau peuvent dégrader les composés toxiques dérivés de combustibles fossiles. Des bactéries et des champignons peuvent convertir ces contaminants en composés moins nocifs, voire inoffensifs, comme le CO₂ et l'eau. L'utilisation

de ces microorganismes pour dépolluer s'appelle **biorestauration**. Le pétrole brut, l'essence, la créosote, les solvants chlorés, les effluents d'eaux usées et d'eaux résiduaires industrielles, les produits chimiques et les pesticides agricoles sont tous potentiellement susceptibles d'être dégradés par des microorganismes. À l'instar des bactéries et des champignons, les végétaux peuvent aussi être utilisés en biorestauration (on parle alors de phytorestauration). La biorestauration ne se limite pas aux polluants à base de pétrole ou de chlore. La bactérie *Geobacter metallireducens*, par exemple, peut éliminer l'uranium, un déchet radioactif, des eaux souterraines contaminées.



Source : US Department of Agriculture. www.nal.usda.gov/bic/bio21

Les bioproduits spécialisés

Les découvertes scientifiques sont parfois tout à fait fortuites. Considérons le cas de l'entreprise Nexia Biotechnologies Inc. de Montréal. Dans la préparation de sa soumission concernant la fabrication d'un matériau super-résistant pour les vestes anti-balles, les sutures médicales et d'autres utilisations commerciales, Nexia s'est rendu compte que certaines des fibres les plus élastiques et durables étaient produites chaque jour dans les greniers et les jardins partout dans le monde. Nexia a découvert que la soie d'araignée a une résistance à la traction d'environ 135 000 kilogrammes par pouce carré et qu'elle est plus solide et plus légère que les matériaux faits à base d'acier ou de produits pétrochimiques. Comme il est difficile d'élever des araignées en quantités commercialement utiles (elles se mangent entre-elles), Nexia a choisi d'épisser le gène codant la protéine d'araignée et de l'introduire dans l'ADN d'une chèvre, qui produit maintenant la protéine dans son lait. L'étape suivante consiste à extraire la protéine de soie d'araignée du lait de chèvre et de la convertir en fibre utilisable.

Les bioproduits et la nanotechnologie

La nanotechnologie est la science fine qui concerne la fabrication de dispositifs ou de matériels, une molécule, voire un atome à la fois. En comprenant le monde à l'échelle du nanomètre – un milliardième de mètre ou environ un cent millième du diamètre d'un cheveu humain – certains scientifiques pensent pouvoir créer des machines et des matériaux microscopiques pour l'industrie. Par exemple, les protéines organiques forment des structures minuscules et complexes dans les cellules vivantes, qui peuvent, à l'échelle moléculaire, servir de supports, de moteurs, de pores ioniques, de pompes, de revêtements et de leviers chimiquement activés. De même, les organismes biologiques peuvent influencer sur la construction de structures inorganiques au sein des tissus vivants, comme les os, les dents ou le squelette inorganique des diatomées et d'autres algues. Le processus dit de minéralisation biologique, par exemple, fournit aux spécialistes de la nanotechnologie les outils nécessaires à la création de structures de silice microscopiques (comme celles utilisées dans le développement des technologies de l'information) ou à la mise au point de meilleurs procédés médicaux pour remplacer ou régénérer le tissu osseux.



Des machines protéiques peuvent être intégrées dans des nanomembranes synthétiques qui pourraient un jour dégrader la cellulose plus efficacement ou produire de l'hydrogène pour les piles à combustible.

Source : US Department of Energy Genomes to Life Program. <http://doegenomestolife.org>.



Chapitre 6

Comprendre les enjeux

Les chercheurs au sein des gouvernements, de l'industrie et du secteur universitaire ainsi que d'autres chercheurs examinent la possibilité que les bioproduits puissent aider le Canada à mieux exploiter ses ressources et ses industries tout en réduisant ses émissions de gaz à effet de serre ainsi que sa dépendance à l'égard des combustibles fossiles non renouvelables.

À l'heure actuelle, il reste encore beaucoup de questions sans réponse concernant les implications environnementales, sociales, économiques et éthiques des bioproduits. Il s'agit de questions compliquées en raison de la diversité et du grand nombre de bioproduits en cause. De plus, il est difficile d'évaluer les effets de ces produits en raison de la complexité de la science des bioproduits et de l'absence, pour de nombreux bioproduits, d'évaluations du rendement et du cycle de vie. Enfin, la quantité

d'informations contradictoires concernant plusieurs technologies associées aux bioproduits, comme le génie génétique, vient compliquer davantage encore l'évaluation des incidences de ces produits.

Devant autant d'incertitude et de complexité, les Canadiens doivent faire la part des avantages et des risques associés aux bioproduits. En raison des espoirs et des enjeux qu'ils suscitent, et comme le Canada s'oriente de plus en plus vers une bioéconomie, il est essentiel que les Canadiens puissent s'informer adéquatement et participer aux discussions sur les futures orientations et politiques du pays.

Le présent chapitre résume certains des enjeux soulevés par le développement des bioproduits. Il n'examine pas le détail de ces enjeux, et ne soupèse pas le bien-fondé des arguments présentés. Les lecteurs intéressés à en apprendre davantage sur le sujet peuvent communiquer avec les agences et les organisations mentionnées au chapitre 7.

Les cultures vivrières et industrielles

On s'attend à ce que le développement des bioproduits augmente la demande industrielle et commerciale à l'égard des cultures agricoles et des résidus de cultures. L'élaboration de ce type de produits nécessitera des changements dans l'utilisation des terres. Certains s'interrogent sur la quantité de terres arables pouvant être utilisées à des fins de production de biomasse industrielle sans nuire à la production de cultures vivrières.



Source : © Jim Moyes (2002)

Par exemple, dans un rapport présenté en 2000, Lois Levitan, professeure à la Cornell University (New York, É.-U.), signale que la quantité de terres utilisables de la planète peut tout juste suffire à nourrir ses six milliards d'habitants, et qu'on ne peut prévoir en utiliser une partie pour produire de la biomasse industrielle sans nuire aux approvisionnements essentiels. Elle se dit sceptique à l'égard d'une bioéconomie durable si celle-ci doit soutenir le même rythme et le même niveau de consommation que les sociétés industrielles et post-industrielles ont connu récemment dans le cadre de l'économie fondée sur les combustibles fossiles.

Le problème est loin d'être simple. Le développement des technologies permet d'accroître l'efficacité de la production agricole grâce à une meilleure captation de l'énergie solaire et une meilleure utilisation des éléments nutritifs disponibles. Ces technologies pourraient permettre de produire plus, plus rapidement et en utilisant moins de surface agricole, ou encore sur des terres auparavant considérées comme impropres à la production agricole classique. En revanche, en tant que matière première industrielle, la biomasse est habituellement moins concentrée par unité de surface que les combustibles fossiles. En conséquence, comparativement à la production classique au moyen de combustibles fossiles, certaines cultures destinées aux bioproduits peuvent nécessiter une plus grande quantité de sol et d'eau, plus d'énergie et d'intrants chimiques pour la production, la récolte et le transport, ainsi que plus d'étapes de transformation industrielle pour obtenir les produits finals.

La question à savoir si les bioproduits constituent ou non une menace significative à l'approvisionnement alimentaire reste à trancher. L'Association canadienne des carburants renouvelables en est venue à la conclusion qu'il faudrait au plus huit à neuf millions de tonnes de céréales (maïs, blé, orge, avoine, seigle) chaque année pour assurer que toute l'essence utilisée par les Canadiens contient 10 % d'éthanol — bien en deçà des 50 millions de tonnes de céréales habituellement produites par le Canada. En outre, les drêches de distillerie, un sous-produit utile de la production d'éthanol, peuvent être utilisées dans les aliments du bétail. L'importante composante des aliments du bétail provenant de la production d'éthanol représente ce que l'on appelle un « coproduit ». Ainsi, les coproduits sont des éléments importants à considérer dans l'examen des avantages de la bioéconomie.

Le changement climatique

Les partisans des bioproduits industriels, comme l'organisme BioProduits Canada Inc., mentionnent souvent le changement climatique comme une raison importante d'encourager le développement de la bioénergie et d'une bioéconomie au Canada. Ils soutiennent que l'utilisation de la biomasse pour remplacer en tout ou en partie les combustibles fossiles et les produits pétrochimiques dans l'industrie aidera à réduire les émissions de gaz à effet de serre. En effet, la combustion de nombreux

Certains avantages des organismes génétiquement modifiés (OGM)

- 1982 : premier médicament commercial mis au point à l'aide de cette technologie. 1996 : récolte des premières cultures commerciales issues de cette technologie.
- Les principaux comités de révision scientifiques (p. ex. l'American Medical Association, l'Académie des sciences de la France, la British Medical Association et la Société royale du Canada) n'ont relevé aucun effet dommageable chez l'humain des cultures génétiquement modifiées utilisées à l'heure actuelle. Chaque combinaison de gène et de culture doit cependant être évaluée en fonction du risque qu'elle présente.
- Les cultures génétiquement modifiées peuvent considérablement réduire l'utilisation de pesticides et protéger la diversité des insectes.
- Les cultures génétiquement modifiées peuvent favoriser l'agriculture sans travail du sol, qui entraîne une production beaucoup plus grande de matière organique (c.-à-d. un puits de carbone).
- En augmentant les rendements sur des terres agricoles à fort rendement, les cultures génétiquement modifiées peuvent contribuer à réduire la nécessité de cultiver des terres marginales.
- Les organismes génétiquement modifiés sont réglementés par Santé Canada et l'Agence canadienne d'inspection des aliments.

Source : G. Surgeoner, Ph.D., Ontario Agri-Foods Technologies, communication personnelle.

biocombustibles produit moins de CO₂ que celle des combustibles fossiles.

Par contre, la demande industrielle pour des arbres et des cultures aux fins d'utilisation comme matière première de biomasse pourrait avoir un effet négatif sur le changement climatique. Ainsi, le fait d'abattre les arbres de forêts anciennes, qui constituent d'importants réservoirs de carbone, pour produire des cultures et des arbres contenant moins de carbone pour la production de biomasse pourrait entraîner une augmentation nette de CO₂ dans l'atmosphère. Il faut protéger ces écosystèmes précieux (comme de nombreux pays commencent à le faire). De même, la production industrielle de biomasse pourrait nécessiter une production et une utilisation accrues d'engrais, d'herbicides et de pesticides. Or, ces produits pourraient contribuer à accroître la pollution et les émissions de gaz à effet de serre.

Le développement durable et la surconsommation

Le virage vers les bioproduits pourrait simplement consister à remplacer les matières premières traditionnelles non renouvelables et les procédés de fabrication classiques par de la biomasse et des procédés biologiques. Les bioproduits s'inséreraient alors dans notre système existant de production industrielle. Cependant, selon des environmentalistes réputés, comme David Suzuki, en raison de la demande pour une croissance économique accrue, il se peut que l'utilisation concomitante de ressources et d'énergie puisse ne pas pouvoir être maintenue à long terme. Bien que les bioproduits et la bioéconomie puissent être axés sur la croissance, la question à savoir si la consommation croissante de ressources dépassera ou non les limites de productivité écologique de la planète reste à débattre. À titre de virage plutôt que de changement fondamental dans notre mode de vie, les bioproduits pourraient masquer le problème de la surconsommation.

En revanche, le développement de bioproduits qui favorisent une meilleure conservation et des technologies plus efficaces pourrait se révéler un pas important vers le développement durable. Il pourrait être possible de mettre au point des bioproduits qui permettent à l'industrie d'utiliser tant les déchets que la biomasse renouvelable au lieu de combustibles fossiles non renouvelables, et ainsi de réduire l'empreinte environnementale globale de l'activité économique.

L'utilisation d'organismes génétiquement modifiés

Les organismes génétiquement modifiés (OGM) représentent à la fois une chance et un défi pour l'élaboration de bioproduits. Bien que le génie génétique ne soit qu'un des outils utilisés dans la mise au point de bioproduits, cette technologie est devenue une question brûlante d'intérêt public. Dans son rapport de 2002 intitulé *Towards a Biobased Economy* (www.pollutionprobe.org/Publications/Biobased.htm), l'organisme Pollution Probe signalait que le génie génétique représente, pour les sujets interrogés, un dossier important.

Plusieurs bioproduits et procédés industriels nous obligent à modifier le code génétique d'êtres vivants, comme dans le cas du transfert d'ADN entre organismes. On a aussi recours au génie génétique pour isoler des microorganismes ou leurs enzymes catalytiques, ou pour améliorer la capacité de production et d'autres caractéristiques des arbres et des cultures.

Les craintes suscitées par le génie génétique tiennent surtout aux procédés utilisés dans cette discipline et à l'utilisation finale de même qu'au devenir des organismes génétiquement modifiés. Par exemple, les questions concernant le transfert de matériel génétique entre organismes peuvent différer de celles soulevées par la manipulation de gènes chez une même espèce. De plus, les

Certaines préoccupations soulevées par les organismes génétiquement modifiés (OGM)

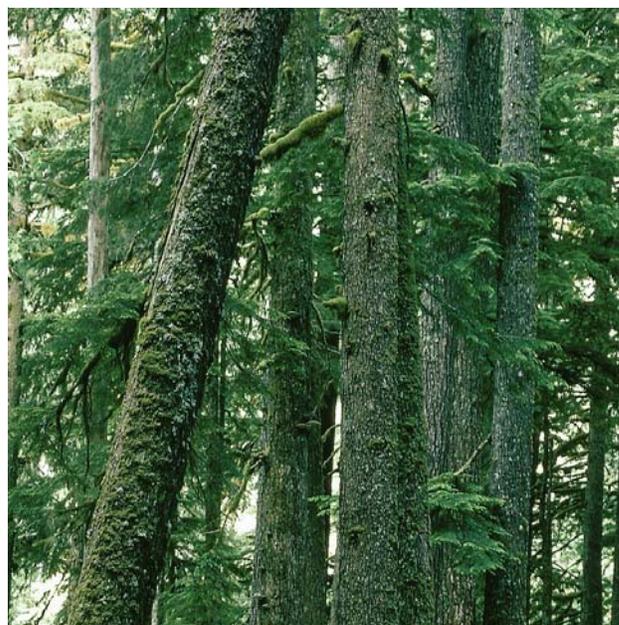
- Les organismes génétiquement modifiés (OGM) pourraient avoir des effets inattendus et peut-être durables sur les écosystèmes naturels.
- Les OGM pourraient entraîner l'apparition de « super mauvaises herbes » et de « super organismes nuisibles » (c'est-à-dire des végétaux et des organismes plus résistants), ce qui mènerait à une utilisation accrue de produits chimiques ou à l'emploi de produits plus toxiques pour essayer de les contenir.
- Les OGM pourraient entraîner une contamination génétique des végétaux sauvages ainsi que des cultures classiques et biologiques.
- Les OGM pourraient nuire aux insectes bénéfiques et à d'autres animaux.
- Les OGM pourraient entraîner une perte de biodiversité.

D'après www.greenpeace.ca.

organismes génétiquement modifiés provenant de la nature (p. ex. enzymes utilisées dans des laboratoires et des environnements industriels confinés) soulèvent des enjeux différents de ceux suscités par les organismes génétiquement modifiés ensemencés dans les champs et les forêts. Ainsi le Sierra Club, l'un des principaux groupes environnementalistes, ne prend pas position sur les manipulations génétiques effectuées dans des laboratoires ou pendant les processus de fabrication industrielle. Le groupe s'oppose cependant à toute application « extérieure » des organismes génétiquement modifiés, et soutient que les gènes modifiés des arbres à croissance rapide et des cultures résistantes aux maladies peuvent avoir des effets nuisibles sur les écosystèmes naturels et qu'ils pourraient éventuellement s'incorporer au génome de végétaux apparentés.

Le Sierra Club du Canada fait valoir que le conflit d'intérêt inhérent aux agences gouvernementales qui s'occupent de promouvoir la biotechnologie (Industrie Canada, Ressources naturelles Canada) et de la réglementer (Santé Canada et l'Agence canadienne d'inspection des aliments) constitue une autre raison pour considérer cette technologie comme essentiellement risquée pour l'environnement et la santé. Des rapports publiés en 2001 par la Société royale du Canada

et l'Association pour la santé publique de l'Ontario critiquent également le système de réglementation de la biotechnologie au Canada et le considèrent inadéquat pour traiter un grand nombre des questions scientifiques, sociales et éthiques associées aux organismes génétiquement modifiés. Le gouvernement du Canada a élaboré un plan d'action en réponse aux recommandations du rapport de la Société royale et s'est engagé à publier des rapports sur l'état des travaux (www.hc-sc.gc.ca/francais/protection/nouveaux.html).



Source : www.comstock.com/ca

Les autres considérations environnementales

À l'heure actuelle, on se demande si, en plus de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, les bioproduits peuvent être une source de bienfaits environnementaux significatifs. Un rapport récent du US Department of Energy a conclu que, dans l'ensemble, une réduction de la production d'électricité, de l'agriculture, du transport et une diminution de l'utilisation des combustibles fossiles par l'industrie pourraient contribuer à réduire le smog et les émissions de gaz liés aux pluies acides (oxydes d'azote et de soufre), de même que celles des gaz à effet de serre, comme le CO₂, qui contribuent au changement climatique.

Dans certains cas, comme dans celui du blanchiment de la pâte à papier, les industries de bioproduits peuvent utiliser moins de produits chimiques toxiques que dans les procédés de fabrication classique. De même, certains types de bioproduits sont plus facilement dégradables que leurs homologues à base de pétrole. De plus, les **bioindustries** qui utilisent des déchets agricoles, industriels et municipaux pourraient réduire le recours aux **incinérateurs** et aux sites d'enfouissement. Par ailleurs, les technologies liées aux bioproduits peuvent aussi servir à la prévention de la pollution ou à l'assainissement de lieux contaminés. En outre, la demande de biomasse pourrait donner lieu à une culture plus

importante de végétaux et d'organismes fixant le carbone – réduisant ainsi le taux de CO₂ de l'atmosphère.

Ces bienfaits ne sont cependant pas assurés, et de nombreuses questions subsistent au sujet de l'effet environnemental de bioproduits précis et de technologies de bioproduits particulières. Par exemple, les industries de bioproduits qui reposent sur la récolte à grande échelle d'arbres et de cultures peuvent-elles nécessiter une quantité telle de ces ressources vivantes que les réserves renouvelables (forêts et autres écosystèmes) pourraient en être menacées? La demande de parties d'arbres et de cultures que l'on laisse habituellement se décomposer au sol pourrait priver les sols d'éléments nutritifs et réduire leur valeur à titre de piège de carbone. Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat souligne que les exploitations agricoles et les collectivités de certaines régions pourraient être confrontées à des pénuries d'eau pendant les périodes de sécheresse, puisque les plantations d'arbres à croissance rapide nécessitent une plus grande quantité d'eau souterraine que les autres types d'arbres.

La perte de biodiversité constitue une autre préoccupation. La conversion de milieux sauvages et d'autres écosystèmes naturels en terres agricoles et en forêts commerciales représente l'une des plus grandes menaces à la diversité de la vie sur Terre. La pression exercée par l'industrie pour cultiver une plus grande quantité d'arbres et de végétaux pour

leur biomasse pourrait perturber l'**habitat vital** de nombreuses espèces. La perte d'habitat pourrait entraîner une réduction importante de la diversité des espèces. Par exemple, la diversité des communautés végétales et animales des forêts mixtes pourrait être compromise si ces forêts étaient remplacées par des peuplements de peuplier à croissance rapide.

Par ailleurs, s'ils ne sont pas gérés adéquatement, les bioproduits nécessitant la combustion de biomasse pourraient accroître les émissions de particules et contribuer à la pollution et au smog industriels.

Ces questions sont complexes. La technologie pourrait permettre d'améliorer l'efficacité de production et d'utilisation de la biomasse, de manière à satisfaire la demande industrielle en utilisant moins de terres et d'autres ressources habituellement requises. La conservation, y compris le recyclage et l'utilisation efficace des déchets, pourrait améliorer la disponibilité des matières premières de biomasse et rendre la consommation industrielle de ces ressources plus durable. Néanmoins, de nombreuses questions subsistent au sujet des effets des bioproduits sur l'environnement, témoignant de l'importance de poursuivre la recherche, notamment en matière d'évaluation détaillée des ressources et des cycles de vie.

Les considérations économiques

Les bioproduits offrent de nombreux avantages économiques. Selon un rapport de l'OCDE, ces avantages pourraient comprendre de meilleurs investissements dans l'innovation, la recherche et la technologie, une meilleure compétitivité internationale à long terme et de meilleures perspectives pour les économies rurales. Certains chercheurs et organismes qui préconisent l'utilisation de bioproduits, comme BioProduits Canada, affirment que l'avantage en termes de marché pourrait se révéler le principal moteur du virage vers les bioproduits et la bioéconomie.

Mais, on est loin de comprendre toutes les implications économiques des bioproduits et de la bioéconomie, et certaines des questions qui restent suscitent des préoccupations. Par exemple, il est fort probable que les nouvelles industries de bioproduits pourront être axées sur des cultures de biomasse de « moindre coût » plutôt que sur celles à fort rapport économique, ce qui pourrait éliminer un bon nombre des avantages économiques escomptés pour les producteurs. À l'inverse, les producteurs pourraient refuser de produire des cultures agricoles pour une industrie de bioproduits naissante, si la valeur marchande et l'attitude des consommateurs ne sont pas économiquement avantageuses.



Source : Corel Corporation

Les questions de commerce et d'accords internationaux, dont celles concernant les subventions agricoles et les encouragements fiscaux à la recherche et au développement, se compliqueront à mesure que les mécanismes du marché international détermineront la viabilité du développement de ressources agricoles, forestières et marines comme sources de biomasse industrielle. Les accords commerciaux actuels qui touchent le Canada, comme l'Accord de libre-échange nord-américain (ALENA) et les exigences de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), ne tiennent pas suffisamment compte des effets écologiques qu'aurait une industrie mondiale de bioproduits.

Les accords nationaux et internationaux sur l'innocuité des produits ou des procédés, la surveillance, la transformation, la réglementation de la propriété intellectuelle et le financement gouvernemental des bioproduits devront faire face à de nouveaux défis dans le cadre des technologies de la biotransformation. Dans l'intervalle, les accords qui s'appliquent à la biotechnologie, particulièrement ceux concernant l'innocuité des produits et des procédés, ainsi que la surveillance, n'ont qu'une portée limitée. Par exemple, en novembre 2003, le Protocole de Cartagena sur la prévention des risques biotechnologiques relatif à la convention sur la diversité biologique n'avait été ratifié que par 68 pays.

La pénurie de travailleurs hautement qualifiés possédant une formation multidisciplinaire constitue une autre contrainte économique qui risque de nuire au développement des bioproduits et de la bioéconomie. De nombreuses industries de bioproduits, par exemple, ont besoin d'employés ayant une formation polyvalente en génie, en biologie et en chimie. Toutefois, les fonds affectés à la recherche et aux universités canadiennes continuent d'être attribués à des chercheurs évoluant dans des disciplines particulières sans favoriser les études multidisciplinaires.

Un défi pour la politique en matière de biotechnologie

Depuis 1993, le gouvernement fédéral dispose d'un cadre de réglementation de la biotechnologie (en général) qui établit des normes en matière de protection de la santé et de l'environnement, fournit des lignes directrices pour évaluer les produits issus de la biotechnologie et les risques qui leur sont associés (conformément aux normes internationales) et assure une application ouverte et transparente de la réglementation. Dans son budget pour 2000, le gouvernement fédéral avait prévu 90 millions de dollars pour la mise au point d'outils permettant de réglementer plus efficacement la biotechnologie. Parmi ces outils, figuraient la formation des autorités de réglementation et l'accélération des processus réglementaires. Pendant que l'industrie continue de militer en faveur de processus plus rapides et d'une réglementation plus favorable à l'approbation des produits, la plupart des Canadiens — d'après les sondages d'opinion — s'attendent à ce que le gouvernement fédéral mette la priorité sur les questions de santé et de sécurité.

Les considérations sociales et politiques

Les incidences sociales des divers bioproduits industriels sont loin d'être connues. Ainsi, certains organismes, comme l'Institut canadien du droit et de la politique de l'environnement, s'inquiètent de l'absence de tribune publique où l'on pourrait évaluer convenablement les avantages sociaux et les risques des bioproduits et des technologies qui leur sont associées et en débattre.

Parmi les questions sociales qui restent en suspens, mentionnons celle concernant l'effet positif ou négatif des bioproduits sur les collectivités rurales. Le US Department of Energy soutient que, comme les ressources biologiques utilisées pour alimenter les industries de bioproduits proviennent principalement de régions rurales et de l'arrière-pays, on peut s'attendre à ce que les bioproduits et la bioéconomie bénéficient aux collectivités rurales. De même, les pays en développement, dont l'économie est fortement tributaire d'une ou de plusieurs de ces ressources, pourraient également bénéficier des bioproduits et de leurs technologies.

Selon certains chercheurs, dont le sociologue Conner Bailey de la Auburn University, ces avantages potentiels pour les régions rurales évoquent cependant le spectre de la domination de l'industrie sur les terres agricoles et forestières pour la production de biomasse aux fins d'obtention de matière première. Les collectivités rurales dynamiques pourraient devenir des villes à industrie unique, sujettes aux mêmes problèmes et vulnérabilités que les autres villes à industrie unique en Amérique du Nord.

Le problème est d'autant plus complexe du fait que la planification en matière d'utilisation des terres se fait souvent à l'échelle locale plutôt que régionale ou nationale. En effet, selon M. Bailey, les autorités locales pourraient ne pas voir les

répercussions plus profondes de l'utilisation de leurs terres à une grande échelle industrielle. En revanche, l'industrie se heurtera à d'importants obstacles si elle tente de satisfaire en même temps les divers intérêts des différents paliers gouvernementaux participant au processus de planification.

Les considérations éthiques

Le développement de bioproduits – issus de nouvelles technologies ou de nouvelles utilisations de technologies existantes – soulève des questions d'éthique et de droit indépendantes des conséquences immédiates de ces produits sur l'environnement, l'économie et la société. Ces défis « chargés de valeur » influent sur les règles, principes et manières de penser servant à déterminer si la politique canadienne en matière de biotechnologie est acceptable sur le plan social.

La résolution des questions d'ordre éthique est rarement simple. Par exemple, comment trouver un compromis entre les bienfaits pour la société et les coûts qui pourraient être imposés à l'environnement? La complexité et la diversité des bioproduits ajoutent à la difficulté de prendre des décisions éthiques dans ce domaine. Le rythme de l'évolution dans le domaine du développement des bioproduits constitue une autre variable confusionnelle.

Les organismes qui se penchent sur les questions éthiques de la recherche et du développement qui pourraient avoir une influence sur le sort des bioproduits comprennent le Comité consultatif canadien de la biotechnologie (CCCB) – un organisme qui conseille le gouvernement fédéral sur les aspects éthiques, sociaux, économiques et réglementaires de la biotechnologie – ainsi que le Comité international de bioéthique de l'UNESCO.

Devenir des citoyens avertis en matière de bioproduits

- Lire les arguments tant pour que contre la biotechnologie et les bioproduits.
- Juger les sources d'information (p. ex. sites d'industries ou d'activistes, rapports gouvernementaux, ouvrages scientifiques soumis à un examen par les pairs).
- Reconnaître que chaque bioproduit doit être jugé en fonction des risques et des avantages qu'il présente. Les déclarations générales peuvent être inexactes.
- Examiner les analyses du cycle de vie complet à partir des intrants énergétiques, en passant par les coproduits jusqu'à l'élimination finale des produits.
- Comprendre le système actuel de production à des fins de comparaisons (p. ex. évaluation du cycle de vie complet des produits à base de combustibles fossiles par rapport à celui des bioproduits).
- Considérer la probabilité, et non uniquement la possibilité, du risque – il est toujours possible de formuler des énoncés fondés sur les termes « peut » et « pourrait », mais il faut également considérer la probabilité du risque.
- Comprendre la réglementation concernant l'utilisation des bioproduits : qui l'établit et comment elle s'applique (c.-à-d. le rôle des agences de réglementation).

Source : G. Surgeoner, Ph.D., Ontario Agri-Food Technologies, communication personnelle.

Plusieurs des considérations éthiques sur la recherche en biotechnologie environnementale sont discutées dans un rapport de 2003 de l'Institut sur la gouvernance (www.iog.ca), dont le siège est à Ottawa. Pour certaines des questions éthiques suscitées par le développement de bioproduits, il faut trouver un juste milieu entre la prudence et l'inaction dans l'élaboration des technologies (associées à l'innovation), établir un système pour déterminer si les moyens utilisés dans la recherche et le développement en matière de bioproduits sont justifiables sur le plan moral (à l'égard des humains, des animaux et des écosystèmes), et évaluer la possibilité de conflits entre les intérêts et les obligations des chercheurs dans le domaine des bioproduits vis-à-vis de leurs sources de financement.

Les considérations techniques

Bien que de nombreux bioproduits existent depuis longtemps, un plus grand nombre encore sont en cours de développement, tout comme les technologies utilisées pour les produire. Les chercheurs universitaires et industriels continuent d'explorer les possibilités scientifiques, technologiques et commerciales des matériaux biologiques. Il est clair que les technologies associées aux bioproduits continueront d'offrir aux Canadiens des possibilités futures ainsi que de nouveaux défis.

Coup d'œil sur la biomasse et la bioéconomie

La biomasse est une des sources d'énergie les plus abondantes, les plus renouvelables et les plus sous-utilisées qui soit. Elle est disponible en quantités relativement importantes partout au Canada. La matière organique, comme celle constituée des déchets de l'agriculture, de l'aquaculture et de la foresterie, les biosolides (des stations municipales de traitement des eaux usées ainsi que ceux d'origine animale), les déchets urbains et les végétaux à croissance rapide peuvent être convertis en produits biochimiques ou en combustibles propres, et ce, dans le respect de l'environnement. Comme elles utilisent des quantités de matière organique facilement disponibles pour produire de l'énergie, les technologies de la biomasse peuvent aider à supplanter l'actuelle dépendance du Canada à l'égard du pétrole étranger et à protéger l'environnement en contribuant à réduire les émissions gaz à effet de serre tout en limitant les dommages environnementaux associés à l'extraction, au raffinage et à la production de combustibles fossiles. Partout au Canada, on peut exploiter le potentiel énergétique de cette ressource, et notamment dans les régions rurales ayant déjà en place une importante infrastructure de biomasse agroforestière et marine. Mais de nos jours, la plupart des utilisateurs de biomasse ont recours à des méthodes inefficaces et parfois hautement polluantes pour produire, convertir et utiliser la biomasse aux fins de production d'énergie.

La production de bioénergie fait appel à un mélange fort complexe de matières premières et de technologies de conversion, ayant chacune ses propres effets et avantages. Les avis sont fort partagés, même sur les solutions les moins dommageables pour l'environnement. De plus, des pratiques non durables de récolte de biomasse et d'utilisation des terres peuvent entraîner, d'une part,

l'épuisement des éléments nutritifs du sol et de la matière organique essentiels à la croissance durable des espèces agricoles et forestières et, d'autre part, une libération du carbone du sol dans l'atmosphère. Une culture et une récolte de biomasse accélérées et mal gérées, ainsi que la conversion d'écosystèmes naturels et de terres marginales en plantations énergétiques risquent également d'accroître le réchauffement de la planète et de détériorer l'environnement.

L'exploitation de l'énorme potentiel contenu dans la biomasse de notre grand pays pourrait être entravée par de graves lacunes dans notre compréhension des aspects suivants de l'utilisation de la biomasse :

- L'importance d'une définition de la biomasse communément acceptée par le gouvernement, l'industrie et le monde universitaire;
- L'importance de la clarté de la réglementation à tous les niveaux, c.-à-d. la législation qui devra s'appliquer pour les utilisations essentiellement nouvelles de la biomasse de même que pour les nouvelles technologies qui seront sans doute employées pour la produire, la convertir, la transformer et l'utiliser;
- L'absence de données écologiques de référence sur l'évaluation du cycle de vie de la biomasse dans des conditions représentatives de celles qui prévalent au pays;
- Le débat continu et hargneux sur le rôle des applications de la technologie de l'ADN recombinant dans les environnements agricole, forestier et marin;
- L'absence d'un cadre de travail canadien, validé scientifiquement, pour évaluer un éventail de produits biologiques quant au rendement, à l'efficacité et à la viabilité globale.

Source : T. McIntyre, Ph.D., Environnement Canada, communication personnelle.



Chapitre 7

Incidences les bioproduits sur notre vie

Le présent document sur les bioproduits vise à favoriser une meilleure compréhension de l'utilisation de biomasse et d'outils biologiques pour remplacer en tout ou en partie les combustibles fossiles et les procédés industriels classiques. Il explique ce que sont les bioproduits, pourquoi on les développe maintenant et où on peut les trouver.

Ce document insiste aussi sur l'importance de comprendre au moins les bases de ce que signifient les bioproduits pour le Canada. Plus les industries et les entreprises adopteront les technologies de biotransformation, plus les Canadiens devront débattre des avantages et des risques que présentent les bioproduits. Ils seront confrontés à des enjeux complexes et placés devant des questions scientifiques compliquées pour prendre des décisions sur les bioproduits.

Les occasions pour les Canadiens de se prononcer sur ces produits sont multiples. Par exemple, choisir d'acheter ou non des bioproduits est l'un des moyens les plus efficaces d'exprimer son opinion. Indépendamment de la réglementation et des incitatifs, le succès ou l'échec des bioproduits pourrait ultimement reposer sur le choix des consommateurs devant les tablettes des magasins ou à la pompe à essence.

Pour en apprendre davantage sur les bioproduits, les consommateurs peuvent vérifier les étiquettes des produits ménagers qu'ils achètent. Dans certains cas, les étiquettes peuvent les aider à établir une distinction entre les bioproduits et les ressources et les technologies – comme le génie génétique – dont ils proviennent. Elles peuvent également indiquer certaines « normes écologiques » s'appliquant aux produits « verts », « durables » ou « respectueux de l'environnement ». Pour l'instant, l'étiquetage des produits contenant des organismes génétiquement modifiés n'est pas obligatoire au Canada (bien que l'on se penche actuellement sur l'élaboration de normes d'étiquetage volontaire pour les aliments issus de la biotechnologie).

Les lecteurs sont également encouragés à consulter d'autres ressources – organismes gouvernementaux et non gouvernementaux, chercheurs et spécialistes, associations et représentants industriels – pour obtenir l'information requise en matière de science et technologie, d'effets environnementaux et sociaux, de coûts et de considérations éthiques associés aux bioproduits.

L'organisme Pollution Probe veille à ce que les gouvernements et les industries mettent en œuvre des politiques et des programmes visant à assurer un environnement plus propre et plus sain. L'appui d'un public bien informé et actif est essentiel à cette mission. BIOCAP Canada se consacre à mieux faire comprendre la recherche et les technologies afin que les gens puissent prendre des décisions éclairées sur les politiques et les investissements visant à appuyer l'utilisation durable de systèmes biologiques pour faire face au changement climatique. Le présent document est un outil important du programme de vulgarisation et d'éducation du public de ces deux organismes. Son objectif principal est de vous encourager à comprendre les enjeux et à poser les questions qui vous semblent importantes, et son message est le suivant : si vous vous intéressez aux bioproduits et à leur incidence sur l'environnement, impliquez-vous!

Pour de plus amples renseignements

(tous les sites web ont été visités aux fins de vérification le 15 octobre 2004)

Pour exprimer votre opinion sur les bioproduits, vous pouvez communiquer avec l'un ou l'autre des groupes ou organismes l'avant-garde du débat public sur ces produits et technologies. Pour en savoir plus sur ce que vous pouvez faire, consultez l'une des organismes ci-dessous :

AboutBioDiesel.com –

www.greenincubator.com/aboutbiodiesel

Agriculture et Agroalimentaire Canada –

www.agr.gc.ca

American Biomass Association –

www.biomass.org

Association canadienne des carburants renouvelables (ACCR) – www.greenfuels.org

Association canadienne des fabricants de produits chimiques – www.ccpa.ca/french

BC Biotech – www.bcbiotech.ca

BioAlberta – www.bioalberta.com

BioAtlantech – www.bioatlantech.nb.ca

Biomass Energy Research Association – www.bera1.org

BioProduits Canada Inc. – www.bioproductscanada.org

BioQuébec – www.bioquebec.com

BIOTECCanada – www.biotech.ca

Centre québécois de valorisation des biotechnologies – www.cqvb.qc.ca

Comité consultatif canadien de la biotechnologie – www.cbac-cccb.ca

Conseil de l'information en biotechnologie – <http://infobiotechnologie.qc.ca/canada-french.asp>

Conseil national de recherches du Canada – www.nrc-cnrc.gc.ca

Contact Canada – <http://contactcanada.com>

Environnement Canada, Direction générale pour l'avancement des technologies environnementales – www.ec.gc.ca/etad

Fondation BIOCAP Canada – www.biocap.ca/index.cfm?lg=f&

Fondation canadienne pour la revitalisation rurale – www.crrf.ca

Fondation David Suzuki – www.davidsuzuki.org

Greenpeace International – www.greenpeace.org

Groupe d'experts intergouvernemental sur le changement climatique – www.usgcrp.gov/ipcc

Industrie Canada, Passerelle des sciences de la vie – <http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/inlsg-pdsv.nsf/fr/Home>

Institut canadien du droit et de la politique de l'environnement – www.cielap.org/enfrancais.html

Les ami(e)s de la Terre – www.foecanada.org

Ontario Agri-Food Technologies – www.oaft.org

Ottawa Life Sciences Council – www.olsc.ca

Pollution Probe – www.pollutionprobe.org

Processus national sur les changements climatiques du Canada – www.nccp.ca/NCCP/index_f.html

Programme des Nations Unies pour l'environnement – www.unep.org/french/default-fr.asp

Réseau canadien des énergies renouvelables – www.canren.gc.ca

Ressources naturelles Canada – www.nrcan.gc.ca

Service canadien des forêts (SCF) – www.nrcan.gc.ca/cfs-scf

Sierra Club du Canada – www.sierraclub.ca/f/index.html

Société royale du Canada – www.rsc.ca

US National Biobased Products and Bioenergy – www.bioproducts-bioenergy.gov



Références

Chapitre 1 — Définition des bioproduits

- Association canadienne de l'électricité.
www.canelect.ca.
- Energy Information Administration. 2000,
International Energy Outlook. www.eia.doe.gov.
- Environnement Canada. 2000. Inventaire canadien
des gaz à effet de serre 1990 – 1998. Document
présenté au Secrétariat de la Convention-cadre
des Nations Unies sur les changements
climatiques (CCNUCC). Vol. 1.
- Fondation BIOCAP Canada. www.biocap.ca.
- Le Groupe ETC. www.etcgroup.org.
- The Hadley Centre. [www.met-office.gov.uk/
research/hadleycentre](http://www.met-office.gov.uk/research/hadleycentre).
- Hanson, J. and S. Edwards. 2002. *Towards a Biobased
Economy: Issues and Challenges Paper*.
www.pollutionprobe.org/Reports/Biobasedbib.pdf.
- Pollution Probe. 2003. *L'ABC des technologies de
l'énergie renouvelable*. [www.pollutionprobe.org/
Publications/Index.htm](http://www.pollutionprobe.org/Publications/Index.htm).
- Vitousek, P.M., P.R. Ehrlich, and P.A. Matson. 1986.
Human appropriation of the products of
photosynthesis. *Bioscience*, 36, 368–373.
- Wood, S. and D.B. Layzell. 2003. *A Canadian Biomass
Inventory : Feedstocks for a Biobased Economy*,
Kingston, Fondation BIOCAP Canada.

Chapitre 2 — Les bioproduits de nos jours

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2002. *Une
analyse économique des principaux programmes de
biocarburants entrepris par les pays de l'OCDE*.
- Committee on Biobased Industrial Products,
Commission on Life Sciences and the National
Research Council. 1999. *Biobased Industrial Products :
Priorities for Research and Commercialization*,
Washington: National Academy Press.
- Contact Canada. 2004. *Canadian Bioproducts from
Renewable Resources 2004*. www.contactcanada.com.
- Hanson, J. and S. Edwards. 2002. *Towards a Biobased
Economy: Issues and Challenges Paper*.
www.pollutionprobe.org/Reports/Biobasedbib.pdf.
- Industrie Canada. www.innovationstrategy.gc.ca.
- Iogen Corporation. www.iogen.ca.
- Pollution Probe. 2003. *L'ABC des technologies de
l'énergie renouvelable*. [www.pollutionprobe.org/
Publications/Index.htm](http://www.pollutionprobe.org/Publications/Index.htm).
- Service canadien des forêts. www.nrcan.gc.ca/cfs-scf.
- Statistique Canada. *Développement des bioproduits par
les entreprises canadiennes de biotechnologie : résultats
de l'Enquête sur l'utilisation et le développement de la
biotechnologie de 2001*. [www.statcan.ca:8096/
bsolc/francais/bsolc?catno=88F0006X2003013](http://www.statcan.ca:8096/bsolc/francais/bsolc?catno=88F0006X2003013).
- US Department of Energy. 2002. *Vision for Bioenergy
& Biobased Products in the United States*.
[www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/
BioVision_03_Web.pdf](http://www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision_03_Web.pdf).

White House Executive Order #13134. 1999.
Developing and Promoting Biobased Products and Bioenergy. www.denix.osd.mil/denix/Public/Legislation/EO/note52.html.

Chapitre 3 — Les biocombustibles et la bioénergie

Association canadienne des carburants renouvelables. www.greenfuels.org. (site anglais)

Association canadienne du ciment. www.cement.ca.

Ballard Power Systems Inc. www.ballard.com.

Biomass District Energy Information Package.
www.newenergy.org/biomass_info.html.

BIOX Corporation. www.bioxcorp.com.

Michigan Biomass Energy Program.
www.michiganbioenergy.org/ethanol/fuelcells.htm.

National Renewable Energy Laboratory.
www.nrel.gov/documents/biomass_power.html.

Ontario Corn Producers Association.
www.ontariocorn.org/envt/envfuel.html.

Pollution Probe. 2003. *L'ABC des technologies de l'énergie renouvelable.* www.pollutionprobe.org/Publications/Index.htm.

Ressources naturelles Canada. 2000. *Le guide du chauffage au bois résidentiel.* www.canren.gc.ca/prod_serv/index_f.asp?CalD=103&PgId=663.

Statistique Canada. www.statisticscanada.ca.

University of Adelaide. www.ees.adelaide.edu.au/pharris/biogas/beginners.html.

Wood, S. and D.B. Layzell. 2003. *A Canadian Biomass Inventory : Feedstocks for a Biobased Economy,* Kingston, Fondation BIOCAP Canada.

Chapitre 4 — Les produits biochimiques et les biomatériaux

Benyus, J..M. 1997. *Biomimicry: Innovation Inspired By Natur.*, New York, Quill.

Industrie Canada. http://strategis.ic.gc.ca/epic/internet/inind-dev.nsf/fr/Home

Iogen Corporation. www.iogen.ca.

Organisation de coopération et de développement économiques. 2001. Les biotechnologies au service de la durabilité industrielle : quelques clés. www.oecdwash.org/PDFILES/bio_sustainability.pdf.

Tibbs, H. 1993. *Industrial Ecology: An Environmental Agenda for Industry.* California: Global Business Network. www.gbn.com/ArticleDisplayServlet.srv?aid=235.

US Department of Agriculture. www.nal.usda.gov.

Chapitre 5 — Les bioproduits et les bioprocédés

Akhtar, M., R.A. Blanchette and T.K. Kirk. 1997. « Fungal delignification and biomechanical pulping of wood », *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 57, 59-195.

Comité international de la Croix-Rouge. www.icrc.org.

Nexia Biotechnologies Inc. www.nexiabiotech.com.

- Pew Initiative on Food and Biotechnology. 2001. *Harvest on the Horizon: Future Uses of Agricultural Biotechnology*. <http://pewagbiotech.org/research/harvest>.
- Society for Food Science and Technology. 2002. « Food Biosensors », *FoodTechnology*, 56 (7), 72–75. www.ift.org/publications/docshop/ft_shop/07-02/07_02_pdfs/07-02-lab.pdf.
- US Department of Agriculture. 1995. *Biotechnology for the 21st Century: New Horizons*. www.nal.usda.gov/bic/bio21.
- US Department of Agriculture – Forest Products Laboratory. www.fpl.fs.fed.us.
- US Department of Energy – Genomes to Life Program. www.doegenomestolife.org.
- US Geological Survey. 1997. *Bioremediation: Nature's Way to a Cleaner Environment*. <http://water.usgs.gov/wid/html/bioremed.html>.
- Chapitre 6 — Comprendre les enjeux**
- Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2002. *Une analyse économique des principaux programmes de biocarburants entrepris par les pays de l'OCDE*.
- Appell, D. 2001. The New Uncertainty Principle. *Scientific American*, January. www.sciam.com/article.cfm?colID=18&articleID=000C3111-2859-1C71-84A9809EC588EF21.
- Association canadienne des carburants renouvelables. www.greenfuels.org. (site anglais)
- L'Association pour la santé publique de l'Ontario. www.opha.on.ca
- Bailey, C. 2001. *Winners and Losers: Potential Ramifications of Forest Biotechnology*. A Presentation to the PEW Foundation conference on the Opportunities and Impacts of Forest Biotechnology. <http://pewagbiotech.org/events/1204/bailey.php3>.
- David Suzuki Foundation. www.davidsuzuki.org.
- Fondation BIOCAP Canada. www.biocap.ca.
- Global Change Strategies International. 2001. *Moving to a Biobased Economy: Analysis of Environmental Implications*. Prepared for Environment Canada.
- Greenpeace Canada. www.greenpeace.ca.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. 1998. *Rapport special du GIEC – L'utilisation des terres, le changement d'affectation des terres et la foresterie*. Résumé à l'intention des décideurs. www.ipcc.ch/pub/srlulucf-f.pdf.
- Hanson, J. and S. Edwards. 2002. *Towards a Biobased Economy: Issues and Challenges Paper*. www.pollutionprobe.org/Reports/Biobasedbib.pdf.
- Industrie Canada. 2000. *Les chemins de la croissance : possibilités dans le secteur de la biotechnologie*. <http://strategis.ic.gc.ca/pics/bof/textfre1.pdf>.
- Institut canadien du droit et de la politique de l'environnement. 2002. *The Citizen's Guide to Biotechnology : Helping Citizens Have a Real Say in the Development of Biotechnology in Canada*. www.cielap.org/citizensbiotech.pdf.
- Institut sur la gouvernance. 2003. Les aspects éthiques de la recherche en biotechnologie environnementale, notions élémentaires à l'intention des scientifiques www.iog.ca.

- Levitan, L. 2000. How Many Ways Can We Skin This Cat Called Earth: Risks and Constraints to the Biobased Economy. Paper presented at the National Agricultural Biotechnology Council (NABC), *The Biobased Economy of the 21st Century: Agriculture Expanding into Health, Energy, Chemicals and Materials*, May 11–13, 2000.
- Mooney, H. A., and P.G. Risser. 1989: Special Feature: The release of genetically engineered organisms: A perspective from the Ecological Society of America. *Ecology*, vol. 70, No. 2, pp. 297.
- National Agricultural Biotechnology Council (NABC), Report Number 12, Proceeding of a NABC Conference, 2000, pp. 130–150. <http://environmentalrisk.cornell.edu/Sustainability/SkinCat.pdf>.
- National Research Council. 1999. *Biobased Industrial Products: Research and Commercialization Priorities*.
- Organisation de coopération et de développement économiques. 2001. Les biotechnologies au service de la durabilité industrielle : quelques clés. www.oecdwash.org/PDFFILES/bio_sustainability.pdf.
- Pollution Probe. 2003. *L'ABC des technologies de l'énergie renouvelable*. www.pollutionprobe.org/Publications/Index.htm.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement. Convention sur la diversité biologique. www.biodiv.org/biosafety.
- Sierra Club. www.sierraclub.org.
- Sierra Club du Canada. www.sierraclub.ca.
- La Société royale du Canada. www.rsc.ca.
- Table ronde nationale sur l'environnement et l'économie. 2003. L'état du débat sur l'environnement et l'économie : les indicateurs d'environnement et de développement durable pour le Canada. www.nrtee-trnee.ca/Publications/PDF/Report_Indicators_f.pdf.
- Tibbs, H. 1999. Sustainability. *Deeper News* 10(1), 1–72.
- US Department of Energy – Biomass Technical Advisory Group. 2002. *Vision for Bioenergy and Biobased Products in the United States*. www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioVision_03_Web.pdf.
- US Department of Energy. 2003. *Industrial Bioproducts: Today and Tomorrow*. www.bioproducts-bioenergy.gov/pdfs/BioProductsOpportunitiesReportFinal.pdf.
- US Department of Energy. Biomass Research and Development Initiative. www.bioproducts-bioenergy.gov.
- World Resources Institute. www.wri.org/wri/index.html.

Chapitre 7 — Incidences des bioproduits sur notre vie

Agence canadienne d'inspection des aliments. www.inspection.gc.ca/francais/sci/biotech/labeti/interf.shtml.

Glossaire

ADN (acide désoxyribonucléique) : Molécule portant l'information génétique de la plupart des organismes vivants. L'ADN est constitué de quatre bases (adénine, cytosine, guanine et thymine), d'un sucre et d'un phosphate réunis en deux brins formant une double hélice.

Bactérie : Organisme microscopique possédant une structure cellulaire très simple qui peut fabriquer ses propres aliments, parasiter d'autres organismes ou vivre sur de la matière en décomposition.

Biocombustible : Combustible fabriqué à partir de matières cellulosiques et d'autres types de ressources tirées de la biomasse, comme l'éthanol, le biodiesel et le méthanol.

Biodégradable : Capable de se décomposer rapidement dans des conditions naturelles (habituellement sous l'action de microorganismes).

Biodiesel : Carburant de remplacement fabriqué à partir d'huiles végétales qui peut être utilisé dans un moteur diesel ordinaire.

Biodiversité : Abondance relative et variété des espèces végétales et animales et des écosystèmes dans un habitat particulier.

Bioéconomie : Économie dans laquelle la plupart des activités industrielles, commerciales et économiques reposent sur la biomasse renouvelable et les processus biologiques pour fournir l'énergie, les substances chimiques, les produits et les services. Les bioproduits sont à la bioéconomie ce que sont les combustibles fossiles et les produits pétrochimiques à l'économie actuelle basée sur les combustibles « fossiles » qui comblent actuellement environ 80 pour 100 des besoins énergétiques mondiaux.

Bioénergie : Énergie renouvelable utilisable produite à partir de la matière organique; conversion des glucides complexes en matière organique et en énergie. La matière organique peut être utilisée directement comme carburant ou transformée en liquides ou gaz.

Biogaz : Gaz combustible dérivé de la décomposition de déchets biologiques. Un biogaz renferme habituellement de 50 à 60 pour 100 de méthane.

Bioindustrie : Industrie qui repose sur les sciences biologiques et l'étude des procédés pour produire une grande variété de produits industriels à partir de ressources organiques renouvelables. Les produits de la bioindustrie comprennent des combustibles liquides, des produits chimiques, des lubrifiants, des plastiques et des matériaux de construction.

Biomasse : Matière organique renouvelable. La biomasse comprend les produits forestiers, les végétaux, les cultures et déchets agricoles, le bois et les déchets du bois, les déchets animaux et les végétaux aquatiques, ainsi que les fractions organiques des déchets municipaux et industriels.

Bioproduit : Produit commercial ou industriel qui repose sur de l'énergie, des substances chimiques ou des processus tirés d'organismes vivants. Lorsqu'on s'en sert adéquatement, les sources de bioproduits sont renouvelables et se reconstituent elles-même à partir de l'énergie solaire. Les bioproduits complètent ou remplacent les produits industriels fabriqués à partir de produits pétrochimiques ou de combustibles fossiles.

Biorestauration : Utilisation de microorganismes pour restaurer des milieux contaminés, pour rendre des déchets dangereux inoffensifs.

Biotechnologie : Application de la biologie et de techniques biologiques pour obtenir des produits et des procédés industriels.

Capacité de charge : Nombre d'individus (ou d'industries) qu'un territoire peut supporter, compte tenu de la qualité de l'environnement naturel et du niveau de technologie de la population.

Carbone : Élément chimique très répandu qui joue un rôle prédominant dans les processus chimiques vitaux; la photosynthèse permet son incorporation dans les processus biologiques et la biomasse.

Catalyseur : Agent (enzyme ou complexe métallique) qui facilite une réaction, mais qui n'est pas modifié lui-même durant la réaction. Il peut ou non être consommé durant la réaction.

Cellule : La plus petite unité structurale d'un organisme vivant qui peut croître et se reproduire de façon indépendante.

Cellulose : Glucide complexe que l'on retrouve dans les végétaux; la cellulose confère de la résistance aux cellules végétales et contribue à leur structure.

Cellulosique : Biomasse à forte teneur en cellulose ou bioproduit dérivé de la cellulose.

Cocombustion : Introduction de biocombustible dans les chaudières d'une centrale thermique alimentée au charbon ayant pour but de réduire l'utilisation du charbon.

Combustible fossile : Combustible solide, liquide ou gazeux formé dans le sol sur une période s'étendant sur des millions d'années, issu de modifications chimiques et physiques subies par des résidus végétaux et animaux à des températures et des pressions élevées. Le pétrole, le gaz naturel et le charbon sont des combustibles fossiles.

Combustion : Transformation d'un biocombustible en chaleur, en gaz et en cendres inorganiques par la combinaison chimique de l'hydrogène et du carbone présents dans le combustible avec l'oxygène de l'air.

Cycle du carbone : Flux continu du carbone entre l'état inorganique et l'état organique.

Décharge : Lieu où des déchets domestiques, des déchets industriels ou des biosolides d'eaux usées traitées sont évacués.

Dépolymérisation thermique : Procédé faisant appel à la pression et à la chaleur pour réduire la biomasse (habituellement des déchets organiques) en pétrole brut léger par dégradation des polymères à longue chaîne composés d'hydrogène, d'oxygène et de carbone en hydrocarbures pétroliers à courte chaîne. Le procédé, également appelé valorisation thermochimique ou conversion thermochimique, imiterait le processus géologique naturel à l'origine des combustibles fossiles.

Développement durable : Selon la Commission mondiale de l'environnement et du développement durable des Nations Unies de 1987, c'est le développement qui permet de « répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations futures de satisfaire les leurs ».

Digestion anaérobie : Processus de décomposition reposant sur l'utilisation de microorganismes qui vivent et se reproduisent dans un environnement exempt d'oxygène « libre » ou dissous et qui décomposent et stabilisent des solides organiques ou biosolides. Ce processus produit des biogaz.

Dioxyde de carbone (CO₂) : Gaz incolore et inodore courant produit durant la respiration, la combustion et la décomposition de la matière organique. Il est absorbé par les végétaux dans le cadre du processus de captage de l'énergie solaire appelé photosynthèse.

Écosystème : Ensemble des interactions entre les organismes vivants et leur environnement.

Efficient : Se dit d'une ressource ou d'un procédé économique qui procure des avantages réels par rapport aux coûts qu'il entraîne.

Émission : Déchet rejeté dans l'air, l'eau et le sol.

Enzyme : Protéine agissant comme catalyseur qui facilite les réactions chimiques ou métaboliques nécessaires à la croissance et la reproduction des cellules et à d'autres fonctions.

Eutrophisation : Accumulation de nutriments en excès dans les lacs, les cours d'eau et d'autres plans d'eau de surface souvent associée à un enrichissement en azote et en phosphore provenant du ruissellement des engrais. Elle provoque une croissance excessive d'algues et réduit l'oxygène disponible, ce qui rend souvent les eaux inhabitables pour d'autres espèces.

Fermentation : Dégradation enzymatique anaérobie d'un composé riche en énergie (tel un glucide en dioxyde de carbone et en alcool, ou en acide organique).

Gaz à effet de serre (GES) : Gaz qui emprisonne la chaleur du soleil dans l'atmosphère terrestre et produit un effet de serre. Les deux principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau et le CO₂. Autres gaz à effet de serre : méthane, oxyde nitreux et gaz fluorés (p. ex. CFC, HCFC, HFC, PFC et SF₆).

Gaz d'enfouissement : Gaz produit par la décomposition de la matière organique dans les décharges. Le gaz d'enfouissement est constitué d'environ 50 à 60 % de méthane, de 40 à 50 % de CO₂ et de moins d'un pour cent d'hydrogène, d'oxygène, d'azote et d'autres gaz à l'état de traces.

Gaz de synthèse : Gaz constitué principalement d'oxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂), créé par la gazéification de la biomasse liquide ou solide. On l'utilise pour produire de l'électricité, de l'hydrogène, du méthane et d'autres combustibles.

Gazéification : Procédé chimique ou thermique utilisé pour transformer un combustible solide en une forme gazeuse.

Gène : Segment d'un chromosome. Certains gènes dirigent la synthèse de protéines, alors que d'autres ont une fonction régulatrice.

Génie génétique (modification génétique) : Techniques appliquées de la génétique et de la biologie moléculaire qui servent à modifier le matériel génétique d'un organisme pour le rendre capable de produire de nouvelles substances, d'acquérir de nouvelles fonctions ou de bloquer la production de substances. La modification génétique consiste à éliminer, à modifier ou à ajouter des copies de certains gènes (provenant d'autres organismes) de façon à modifier l'une ou plusieurs de ses caractéristiques. Aussi appelé technologie de l'ADN recombinant, épissage de gènes ou modification génétique.

Habitat vital : Région présentant les caractéristiques physiques et biologiques essentielles à une espèce.

Incinérateur : Appareil servant à brûler des déchets solides ou liquides pour les éliminer. Certains incinérateurs permettent de récupérer la chaleur produite.

Levure : Terme général regroupant les champignons unicellulaires qui se multiplient par bourgeonnement. Certaines levures peuvent fermenter les glucides (amidons et sucres).

Mégawatt (MW) : Unité de puissance électrique valant un million de watts (1 000 kW).

Microorganisme : Organisme visible uniquement au moyen d'un microscope.

Nanotechnologie : Technologie à l'échelle atomique ou moléculaire élaborée à des dimensions inférieures à 1100 milliardièmes de mètre (100 nanomètres).

Organique : Provenant d'un organisme vivant, contenant des composés de carbone (et d'hydrogène) d'origine naturelle.

Photosynthèse : Conversion par les végétaux de l'énergie lumineuse en énergie chimique (les glucides sont fabriqués à partir de CO₂ et d'eau en présence de chlorophylle et de la lumière solaire). L'énergie chimique est alors utilisée par les processus biologiques des végétaux et des animaux qui les consomment.

Pile à combustible : Dispositif qui transforme sans combustion l'énergie d'un combustible directement en électricité et en chaleur.

Produit pétrochimique : Produit chimique dérivé du pétrole, du gaz naturel ou d'autres hydrocarbures fossilisés.

Protéine : Molécule organique composée d'acides aminés responsable de l'entretien et de la croissance des cellules.

Protocole de Kyoto : Entente internationale prolongeant les engagements de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques comprenant des objectifs relativement aux émissions futures des gaz à effet de serre (GES) des pays développés. L'engagement du Canada en vertu du Protocole de Kyoto est de réduire ses émissions nettes de GES de six pour cent par rapport à ses taux de 1990 entre 2008 et 2012. Le protocole a été élaboré en 1997, à Kyoto, au Japon.

Pyrolyse : Décomposition thermique de la biomasse à des températures élevées (supérieures à 200 °C) en l'absence d'air. Le produit final de la pyrolyse est un mélange de solides (produits de carbonisation), de liquides (huiles oxygénées) et de gaz (méthane, oxyde de carbone et CO₂), dont les proportions sont déterminées par la température, la pression, la teneur en oxygène et d'autres conditions.

Séquestration : Maintien à long terme du carbone dans la biosphère terrestre, le sol ou les océans, l'isolant ainsi du cycle du carbone et limitant l'accumulation du CO₂ (le principal gaz à effet de serre) dans l'atmosphère.

Substance toxique : Substance chimique ou matière dangereuse pour l'homme, les végétaux et les animaux.

Taillis : Élagage permettant la régénération d'une forêt surtout à partir de jeunes pousses ou de drageons plutôt qu'à partir de semences.

Thermochimie : Branche de la chimie qui étudie les échanges thermiques qui accompagnent les réactions chimiques.

Turbine : Dispositif formé de lames rotatives et d'un arbre d'entraînement qui utilise l'énergie d'un fluide (habituellement de l'eau ou de la vapeur) pour alimenter un générateur, lequel crée un champ électromagnétique et transforme l'énergie mécanique en électricité.

Voie thermochimique : Transformation chimique de la biomasse à des températures élevées pour produire des combustibles, comme des biogaz ou des biohuiles. La pyrolyse et la gazéification sont des voies thermochimiques.





BUREAU DE TORONTO :

625, rue Church
Bureau 402
Toronto (Ontario)
Canada M4Y 2G1

Tél. : 416-926-1907
Télé : 416-926-1601

www.pollutionprobe.org

BUREAU D'OTTAWA :

63, rue Sparks
Bureau 101
Ottawa (Ontario)
Canada K1P 5A6

Tél. : 613-237-8666
Télé : 613-237-6111



FONDATION BIOCAP CANADA :

Queen's University
156, rue Barrie
Kingston (Ontario)
Canada K7L 3N6

Tél. : 613-542-0025
Télé : 613-542-0045

www.biocap.ca