

Biomassacre

La biologie
synthétique
menace la
biodiversité
et les
modes de
subsistance

etc group

groupe d'action et de recherche sur l'érosion, la taxinomie et la concentration



« *Quiconque produit des biocarburants en abondance pourrait bien finir par faire plus que des gros sous – il écrira l’histoire... Les entreprises et les pays qui y parviendront seront les vainqueurs économiques de la prochaine ère, au même titre que le sont actuellement les pays bien pourvus en ressources pétrolières.* »

J. Craig Venter

Synthetic Genomics, Inc., 20 avril 2009

En couverture

The New Biomass Harvest réalisé par Beehive Design Collective, 2010 – d’après Automne d’Alphonse Mucha, tel qu’illustré ci-dessous (tiré de la série de lithographies intitulée *Les saisons*, 1896). Selon l’historien Vaclav Smil, la décennie 1890 - 1899 fut la dernière au cours de laquelle l’économie industrielle mondiale s’est essentiellement basée sur la biomasse. Afin d’illustrer l’économie de la biomasse actuelle, Mucha aurait dépeint un tout autre type de récolte.

Remerciements

Ce rapport est le fruit d’une étroite collaboration avec plusieurs alliés de la société civile, lesquels ont activement contribué à sa conception, sa documentation, sa rédaction et sa révision. Nous sommes particulièrement reconnaissants envers Rachel Smolker, docteure en biologie, ainsi que ses collègues Almuth Ernsting et Deepak Rughani. Une partie de la recherche originale et de l’élaboration de ce rapport a été effectuée par Rachel, cette dernière ayant d’ailleurs grandement contribué à parfaire nos connaissances de base sur la biomasse. Nous sommes également très reconnaissants envers Delphine Deryng et José Borrás Ferrán, qui à titre de stagiaires chez ETC Group, ont contribué à la recherche originale ainsi qu’à la rédaction. Merci à David Lee et Lara Lucretia, ainsi qu’à tous les autres membres de Beehive Design Collective, qui ont non seulement produit de magnifiques illustrations originales, mais qui ont également partagé leur inspiration, offert leur camaraderie, et formulé certaines phrases bien tournées. Merci également à Helena Paul d’Econexus pour ses commentaires sur les toutes premières versions de ce rapport, ainsi qu’à Anne Petermann et Orin Langelle du Global Justice Ecology Project.



Ce rapport puise ses origines dans une série de rencontres organisées par la société civile afin d’étudier les conséquences découlant de la convergence des technologies – un phénomène désigné par l’acronyme BANG qui signifie *Bits, Atoms, Neurons, Genes* (soit en français *particules, atomes, neurones et gènes*). Ces rencontres incluent une conférence internationale organisée conjointement par ETC Group, le projet What’s next ?, BEDE et la

Fondation Sciences Citoyennes s’étant tenue à Montpellier (France) en novembre 2008, de même que des rencontres régionales subséquentes organisées entre autres par le Centro Ecológico (Brésil), FASE (Brésil), l’African Biodiversity Network (Éthiopie), l’African Centre for Biosafety (Afrique du Sud), CASIFOP (Mexique), l’Alliance for Humane Biotechnology (États-Unis), EQUINET, SEARICE (Philippines), Les amis de la Terre (États-Unis), ICTA (États-Unis), le Center for Genetics and Society (États-Unis) et la Movement Generation (États-Unis). Nous exprimons notre extrême reconnaissance à tous les participants ainsi qu’aux autres qui ont contribué à forger notre opinion sur ces sujets. ETC Group tient finalement à remercier le soutien financier de SwedBio (Suède), de la HKH Foundation (États-Unis), du CS Fund (États-Unis), du Christensen Fund (États-Unis), de la Heinrich Böll Foundation (Allemagne), du Lillian Goldman Charitable Trust (États-Unis), d’Oxfam Novib (Pays-Bas), de la Ben and Jerry’s Foundation (États-Unis) et du Norwegian Forum for Environment Development (Pays-Bas).

ETC Group est entièrement responsable des opinions exprimées dans le présent document.

Publié sous la direction de Leila Marshy

Conception par Shtig (www.shtig.net)

Illustrations originales par Beehive Design Collective et Shtig

Biomassacre : La biologie synthétique menace la biodiversité et les modes de subsistance est le communiqué no. 104 d’ETC Group

Publié à Montréal, Canada Octobre 2010

www.etcgroup.org

Toutes les publications d’ETC Group sont disponibles gratuitement sur notre site Web : www.etcgroup.org

Biomassacre

La biologie synthétique
menace la biodiversité et
les modes de subsistance

Aperçu

Problématique

Prétextant vouloir contrer la dégradation de l'environnement, les changements climatiques et les crises énergétique et alimentaire, l'industrie annonce l'avènement de *la nouvelle bioéconomie* et le remplacement du carbone fossile par la matière vivante, maintenant désignée par le terme *biomasse*. La biomasse la plus productive et la plus accessible se trouve dans les pays du Sud – exactement là où d'ici 2050, il y aura deux milliards de bouches de plus à nourrir à partir de terres qui, en raison des changements climatiques, verront leur productivité réduite de 20 à 50 %. Bien que le moment semble particulièrement inopportun pour intensifier la pression sur les écosystèmes, les gouvernements se font dire que la *biologie synthétique* – une technologie qui n'en est qu'à ses premiers balbutiements – produira et transformera l'ensemble de la biomasse dont nous aurons besoin afin de remplacer les carburants fossiles actuels. Au même moment, et à l'encontre d'une réduction efficace des émissions de gaz à effet de serre, de nouveaux marchés du carbone sont en train de transformer les plantes en réserves échangeables de carbone. Cependant, les entreprises des secteurs énergétique, chimique, agroalimentaire ou forestier qui tentent de gagner notre confiance sont celles-là mêmes qui sont à l'origine des crises climatique et alimentaire.

Enjeux

Aliments, énergie et sécurité nationale. Les besoins de l'humanité s'approprient déjà 24 % de la biomasse mondiale produite annuellement, la complexification actuelle des crises constitue une opportunité d'accaparer et de transformer en marchandise les 76 % restant (et peut-être davantage, considérant les océans) qui échappent encore à Wall Street. Les industries intéressées à substituer les matières premières carbonées par la biomasse comprennent les secteurs suivants : énergie, chimie, plastiques, aliments, textiles, pharmaceutique, papiers et matériaux de construction. Ces marchés combinés – incluant l'échange de droits d'émission de carbone – valent au moins 17 trillions de dollars¹.

Acteurs

Les médias d'affaires rapportent le démarrage d'entreprises telles que Synthetic Genomics, Amyris Biotechnologies et LS9, mais derrière les grands titres, l'argent servant au développement de la biologie synthétique provient du Département de l'énergie des États-Unis, d'acteurs majeurs du secteur énergétique – BP, Shell, ExxonMobil –, de grandes entreprises chimiques – dont BASF et DuPont –, ainsi que de géants de la foresterie et de l'agroalimentaire – tels que Cargill, ADM, Weyerhaeuser et Syngenta. Alors que des installations de démonstration sont surtout construites en Europe et aux États-Unis, c'est ultimement la doctrine « la géographie est la destinée » qui s'applique à la bioéconomie : les pays où se retrouve la plus grande diversité de plantes seront également ceux où se retrouveront le plus grand nombre d'usines de production. L'industrie vise déjà le Brésil, le Mexique, l'Afrique du Sud et la Malaisie en guise de terrains d'essai pour ses nouvelles technologies. Pendant ce temps, les gouvernements des pays membres de l'OCDE injectent plus de 15 milliards de dollars en subventions dans l'économie de la biomasse.

Alors que la famine s'aggrave et que le climat s'emballe, le moment semble particulièrement inopportun pour intensifier la pression sur les écosystèmes.

Débats

Même les entreprises et les scientifiques qui sont les chefs de file de la biologie synthétique s'entendent pour dire qu'une surveillance est nécessaire dans ce domaine, reconnaissant également les risques inédits en matière de biosécurité que pourraient occasionner les nouveaux microorganismes et les nouvelles plantes. Bien que la biologie synthétique et l'économie de la biomasse puissent engendrer des conséquences majeures sur l'utilisation du territoire, la biodiversité, l'environnement et l'humain, celles-ci sont ignorées par la plupart des gouvernements et des chercheurs. Sous l'égide des Nations Unies, seule la Convention sur la diversité biologique (CDB) traite de la biologie synthétique. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et le Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR) semblent complètement méconnaître les développements récents, malgré leurs conséquences sur sécurité alimentaire.

Au sein des négociations de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), les gouvernements du Sud semblent ignorer que le *transfert de technologie* servira de levier à l'industrie afin d'étendre son monopole sur les technologies de la biomasse à leurs terres et leurs ressources. Les conséquences de la *nouvelle bioéconomie* sont tellement étendues qu'elles devraient être au programme de l'ensemble des agences des Nations Unies et devraient, en particulier, être débattues au Sommet de Rio+20 qui aura lieu au Brésil en 2012.

Politiques

Les annonces faites en 2010 à l'effet que les chercheurs en biologie synthétique peuvent manipuler l'ADN de manière substantielle afin de produire des microorganismes artificiels capables de se répliquer et n'ayant jamais existé sur Terre auparavant comportent des conséquences immédiates sur la biodiversité, la biosécurité et les économies nationales. Les organismes synthétiques ne devraient pas être libérés dans l'environnement, et les Nations Unies de même que les gouvernements nationaux devraient minimalement instaurer un moratoire afin de prévenir une telle chose. De manière tout aussi urgente, il est nécessaire d'entreprendre des études afin de déterminer les conséquences qu'aura ce que le gouvernement étasunien appelle la *biorévolution* sur les changements climatiques, les écosystèmes à l'échelle mondiale, l'approvisionnement en aliments et en énergie, les modes de subsistance et les droits fonciers.



La société civile ainsi que les mouvements sociaux œuvrant sur les questions de l'agriculture, des droits fonciers, de la protection des forêts, des problèmes des océans, des technologies en émergence, des produits chimiques toxiques, des changements climatiques, de la justice énergétique et de la consommation ont un urgent besoin de trouver des moyens de partager leurs analyses et de coordonner la résistance alors qu'ils affrontent les menaces communes découlant de la nouvelle bioéconomie.

Table des matières

Introduction : Méfiez-vous de la biomasse	1	Vendre la transition	11
Encadré : Qui sont les nouveaux maîtres du vivant ?	2	1. Rêves sucrés : l'économie des glucides	11
Qu'est-ce qui est en train de changer ?	3	2. Rêves écolos : les ressources renouvelables et l'économie de l'hydrogène	11
Pas seulement les biocarburants...		3. Rêves rafraîchissants : l'économie carboneutre	11
Carburants pour le transport	3	4. Rêves patriotiques : l'indépendance énergétique	12
Électricité	3	5. Rêves bondissants : le développement propre et le mouvement des emplois verts	12
Produits chimiques et plastiques	3	6. Rêves technophiles : les technologies convergentes et la technologie propre	12
Fertilisants	3	Encadré : C'est bien d'une mainmise qu'il s'agit, pas d'une transformation	12
 Partie I. Voici la bioéconomie	 5	Chiffrer l'économie de la biomasse	13
Encadré : Trois bioéconomies	5	Graphique : Où se trouve l'argent au sein de l'économie de la biomasse ?	14
Qu'est-ce que la biomasse ?	6	À qui appartient la biomasse ? L'histoire de deux bioéconomies	15
Encadré : La bioéconomie, alias...	6	Terres marginales pour profits maximaux	15
La cellulose, ce sucre miraculeux	7	Tableau : L'histoire de deux bioéconomies	16
Graphique : Comment les tenants de la bioéconomie voient les plantes	7	Un accaparement des terres qui profite à la biomasse	17
Soyons élémentaires : « C'est encore l'économie du carbone, naïf ! »	7	L'expédition de copeaux de bois, un nouveau commerce de biomasse	17
Graphique : Combien de carbone ?	8	Les cultures énergétiques : changements à la ferme	18
Soyons géopolitiques : tout se trouve dans le Sud	8	Le mythe de la carboneutralité	19
Carte : Où se trouve la biomasse ?	8	Graphique : Émissions de CO₂ de différents types de carburants	19
L'approvisionnement en biomasse, une conquête mondiale	9	Une grave erreur de comptabilisation à l'échelle mondiale	20
Forêts naturelles	9	Le marché du carbone issu de la biomasse	21
Plantations	9	Le marché du carbone issu de la biomasse, prise 2.	22
Écosystèmes agricoles	9	Le programme REDD des Nations Unies contribue à la mainmise	
Prairies	9	Le transfert des technologies de la biomasse : Initiative technologie et climat	23
Écosystèmes marins	10	Encadré : L'initiative REDD et la cartographie infrarouge de la biomasse	23
Déserts et milieux humides	10	L'Économie verte, un foyer confortable pour la bioéconomie	23
Retour vers le futur ? Glucides contre hydrocarbures...	11	Excéder le budget planétaire de la biomasse ?	24
Du craquage pétrolier au piratage des plantes	11	Les écosystèmes d'abord	25
		Graphique : Production nette de différents types de biomasse exprimée en termes de puissance (térawatts)	25
		Encadré : La biomasse est-elle vraiment renouvelable ?	26
		Des limites planétaires à l'extraction de la biomasse ?	26

Pas assez de biomasse ? Augmentons sa production !	27	Changement no 2 : biocarburants liquides.	43
Encadré : Biomasse ou biomassacre ?	27	La liquéfaction de la biomasse	
La géo-ingénierie par la biomasse	29	pour le transport	
L'immersion de biomasse	29	Un échec total : les ratées des biocarburants de	44
La fertilisation des océans (algues marines)	30	première génération	
La bioénergie couplée à la technologie de capture	30	Les survivants de la première génération :	44
et de stockage du carbone		le sucre et le jatropha	
Dix mythes sur la nouvelle économie de la biomasse	31	La prochaine génération : changement de	45
		carburants et de matières premières	
		Les carburants cellulosiques	46
		Au-delà de la transition de l'alcool aux	47
		hydrocarbures : bioessence, butanol,	
		isopentanol, hexadécane et farnesène	
		Au-delà de la cellulose : les Algocarburants	47
		La nouvelle vague de vendeurs d'algues	49
Partie II. Les outils et les acteurs	35	Changement no 3 : produits chimiques.	50
		Les bioplastiques et les bioproduits chimiques	
La nouvelle bio-alchimie. S'équiper pour la mainmise	35	Les composantes issues de la biomasse	51
La combustion	35	Le futur est-il (bio)plastique ?	52
La chimie	35	Les bioplastiques sont-ils biodégradables ?	52
La biotechnologie et le génie génétique	35	Les bioplastiques sont-ils recyclables ?	52
La nanotechnologie	36	Les bioplastiques sont-ils toxiques ?	53
La biologie synthétique, celle qui a changé la donne	36	Les bioplastiques sont-ils produits à	53
de la biomasse		partir de ressources renouvelables ?	
La biologie synthétique : imprévisible, jamais	37	Les cultures d'OGM, la biologie synthétique	54
testée et mal comprise		et la nanotechnologie	
Les organismes synthétiques en tant que bio-usines	38	Les bioplastiques peuvent-ils être produit	54
Les enzymes synthétiques pour digérer la cellulose	39	d'une manière adéquate ?	
Les plantes synthétiques remplacent les matières	39	Conclusion : Mainmise sur la planète !	55
premières conventionnelles		Recommandations : Vers la gouvernance	55
Encadré : Dévoreurs de cellulose et fermenteurs	39	mondiale	
de carburants en liberté ?			
La bio-électricité synthétique ?	40		
La mainmise de la biologie synthétique sur les	40	Annexe : Liste des producteurs de biocarburants	57
modes de subsistance : substitution		de la prochaine génération	
des produits de base			
Encadré : La nanocellulose : miniaturiser la biomasse	41	Notes en fin de document	66
pour agrandir les nouveaux marchés			
Qu'est-ce qui est en train de changer ?	42		
Changement no 1 : énergie. Combustion de biomasse	42		
pour l'obtention de chaleur et de bio-électricité			
À portée de la main	42		
Encadré : Combustion de biomasse aux États-Unis	42		
Énergie issue de la biomasse dans les pays du Sud	42		
Détermination des coûts de l'électricité issue	42		
de la biomasse I. : Englobissement des			
champs et des forêts			
Détermination des coûts de l'électricité issue de la	43		
biomasse II. : Menaces pour la santé humaine			
Encadré : L'incinération déguisée	43		

Introduction : Méfiez-vous de la biomasse

À travers le monde, les stratégies que les entreprises et les gouvernements utilisent pour répondre aux défis climatiques, énergétiques, agricoles, technologiques et pour produire des matériaux convergent graduellement vers le même objet : la biomasse.

La biomasse englobe plus de 230 milliards de tonnes métriques d'organismes vivants² produits annuellement sur Terre : arbres, arbustes, herbes, algues, céréales, microorganismes et plus encore. Connue sous le nom de *production primaire*, cette manne annuelle est particulièrement abondante dans les pays du Sud – dans les océans, les forêts et les savanes retrouvées sous les tropiques – et soutient les modes de subsistance, les cultures et les besoins primaires de la majeure partie de la population mondiale. Jusqu'à présent, les humains ont utilisé seulement le quart (24 %) de la biomasse retrouvée sur la terre ferme pour satisfaire leurs besoins primaires et alimenter la production industrielle³, laissant la biomasse océanique grandement intouchée. De la sorte, 86 % de la biomasse de la planète (considérant le milieu terrestre et océanique) échappe encore à la marchandisation.

Cependant, en raison de l'évolution technologique, notamment dans les domaines de la nanotechnologie et de la biologie synthétique, la biomasse est présentement dans le collimateur de l'industrie. Cette dernière voit dans la biomasse une source de carbone végétal pouvant s'ajouter ou se substituer partiellement au carbone fossile qui, sous forme de pétrole, de charbon et de gaz, constitue actuellement la base des économies industrialisées des pays du Nord. De la production d'électricité jusqu'à celle des carburants, des fertilisants et des produits chimiques, d'importants changements sont déjà en cours, faisant de la biomasse une composante essentielle de l'économie industrialisée mondiale. La première partie de ce rapport offre un aperçu de la situation actuelle et des conséquences de l'émergence de la soi-disant nouvelle bioéconomie sur les peuples, leurs modes de subsistance et l'environnement. La deuxième partie du rapport brosse le portrait des nouveaux maîtres du vivant – les acteurs industriels et les technologies dont ils tirent parti.



Biomasse en cours de fabrication. Photo : Asea

Biomasse :

Organisme vivant ou ayant déjà vécu. Fait plus précisément référence à la masse de matière vivante (plantes, animaux, bactéries, champignons, etc. retrouvée dans une région donnée. Ce terme est maintenant employé par l'industrie pour désigner l'ensemble de la matière biologique non fossilisée et de la matière résiduelle qui peut être utilisée en guise de matière première pour la production de carburants, de produits chimiques, d'énergie et de chaleur.

Ce qui est présenté comme étant une bénigne et bénéfique transition du carbone fossile vers le carbone végétal constitue en fait une mainmise agressive sur les ressources du Nord et du Sud afin d'en faire une nouvelle source de richesse. Si ce dessein réussit, alors le pillage de la biomasse des pays du Sud dans le but d'alimenter à faible coût les économies industrialisées des pays du Nord constituera un geste impérialiste du 21^e siècle qui contribuera à accentuer l'injustice, la pauvreté et la famine. De plus, le pillage d'écosystèmes fragiles afin d'assurer les réserves de carbone et de sucre de l'industrie est un acte meurtrier sur cette planète déjà surexploitée. Plutôt que de se rallier aux fausses promesses d'une *nouvelle bioéconomie* soi-disant écologique, la société civile devrait s'opposer aux *nouveaux maîtres du vivant* et aux récents assauts qu'ils perpètrent sur les terres, les modes de subsistance et le monde vivant.

Note sur les unités employées :

Dans ce rapport, la distinction entre tonne métrique (1000 kg ou 2204,6 lb) et tonne courte (2000 lb ou 907,2 kg) est clairement indiquée lorsque cela est nécessaire.



Illustration : Beehive Design Collective

Qui sont les nouveaux maîtres du vivant ?

Les compagnies transnationales qui ont favorisé la dépendance envers l'économie du pétrole durant le 20^e siècle sont celles-là mêmes qui s'autoproclament aujourd'hui les nouveaux maîtres du vivant. Une fois ce coup achevé, plusieurs acteurs industriels connus seront à la tête d'un nouvel ordre économique mondial. Que leurs voitures roulent aux biocarburants, que leurs ordinateurs fonctionnent à la bio-électricité ou que leurs cartes de crédit soient faites de bioplastique, là n'est pas le principal point; à l'instar d'une emprise potentiellement fatale, ils auront resserré l'étau sur les systèmes naturels dont nous dépendons tous.

Les géants de la foresterie et de l'agroalimentaire, qui contrôlent déjà les terres et les ressources biologiques à travers le monde, sont au premier plan du développement de la bioéconomie et du nouveau marché de la biomasse. Voici certains noms familiers : Cargill, ADM, Weyerhaeuser, Stora Enso, Tate & Lyle, Bunge et Cosan Ltd.

Les compagnies œuvrant dans le domaine des hautes technologies (biotechnologie, nanotechnologie et informatique) fournissent les outils nécessaires à la transformation, à la mesure et à l'exploitation du monde biologique, contribuant ainsi à faire de l'information génétique une simple marchandise. Ces compagnies comprennent Microsoft, Monsanto, Syngenta, Amyris Biotechnologies, Synthetic Genomics, Inc., Genencor et Novozymes.

Les grandes compagnies pharmaceutiques, chimiques et productrices d'énergie tissent des partenariats avec les nouveaux bio-entrepreneurs afin de changer leurs procédés de production et leurs sources de matières premières. Surveillez bien les faits et gestes de DuPont, BASF, DSM, Duke Energy, British Petroleum (BP), Shell, Total Oil, Chevron et ExxonMobil.

Les compagnies financières et les banques d'investissement établissent les nouveaux titres de placement, marchés et investissements fonciers pour les écosystèmes, même si beaucoup de titres se sont précédemment écroulés autour d'eux : Goldman Sachs, J. P. Morgan et Microsoft.

Les compagnies alimentaires et celles produisant les biens de consommation se tournent vers des produits, des emballages et des ingrédients issus du vivant afin de verdifier leur image : Procter & Gamble, Unilever et Coca-Cola.

Qu'est-ce qui est en train de changer ? Pas seulement les biocarburants...

« Plusieurs pensent que la biomasse sert surtout à produire des carburants liquides comme l'éthanol et le biodiésel. Toutefois, la biomasse peut également être transformée en une multitude de produits de tous les jours. En fait, parmi les produits actuellement issus de la pétrochimie – incluant peintures, encres, adhésifs, plastiques et autres produits à valeur ajoutée – seuls quelques-uns ne pourraient pas être fabriqués à partir de la biomasse. »

- David K. Garman, sous-secrétaire de l'énergie pour l'Énergie, la science et l'environnement sous George W. Bush⁴

« Nous poursuivons les objectifs modestes de remplacer l'ensemble de l'industrie pétrochimique et de devenir une source majeure d'énergie. »

- J. Craig Venter, fondateur de Synthetic Genomics, Inc.⁵

Une façon simple de bien saisir l'ampleur des transformations proposées par la nouvelle économie de la biomasse consiste à jeter un coup d'œil sur une liste de produits et de services qui dépendent actuellement des carburants fossiles. Imaginez ensuite que chacun de ces secteurs troque les ressources fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel) pour de la matière végétale vivante :

Carburants pour le transport

Plus de 72 % du pétrole⁶ est transformé en carburants liquides pour les voitures, les camions, les avions et le chauffage. Les agrocarburants (soit des biocarburants issus de productions agricoles) tels que l'éthanol et le biodiésel ne marquent que le début de l'ère de la transition du marché des carburants liquides vers la biomasse. Certains agrocarburants de la prochaine génération seront des hydrocarbures possédant des propriétés chimiques identiques à celles de l'essence et du carburéacteur.

Électricité

Le charbon, le gaz naturel et le pétrole sont à l'origine de 67 % de l'électricité produite mondialement⁷.

Cependant, brûler du charbon en concomitance avec de la biomasse (cocombustion) est une pratique de plus en plus courante, et la tendance consistant à alimenter les centrales électriques avec des copeaux de bois, de l'huile végétale et des déchets municipaux prend de l'ampleur. Pendant ce temps, la recherche sur la nanocellulose et les bactéries synthétiques se poursuit afin de pouvoir produire de l'électricité à partir de cellules vivantes, autrement dit, transformer la biomasse en électricité sans l'intervention de turbines.

Produits chimiques et plastiques

Environ 10 % des réserves mondiales de pétrole sont actuellement transformées en plastiques et en divers produits chimiques⁸. Afin de se prémunir contre la hausse des prix du pétrole et de verdir leur image publique, de grandes compagnies chimiques telles que DuPont se fixent des cibles ambitieuses et comptent utiliser la biomasse – sucre, maïs – en guise de matières premières pour fabriquer des bioplastiques, des textiles, ainsi que des produits chimiques fins et en gros.

Fertilisants

La production mondiale de fertilisants nécessite une importante quantité de gaz naturel. Ceux qui promeuvent le biochar se targuent d'avoir trouvé une solution basée sur la biologie afin d'améliorer la fertilité du sol et ce, à l'échelle industrielle.

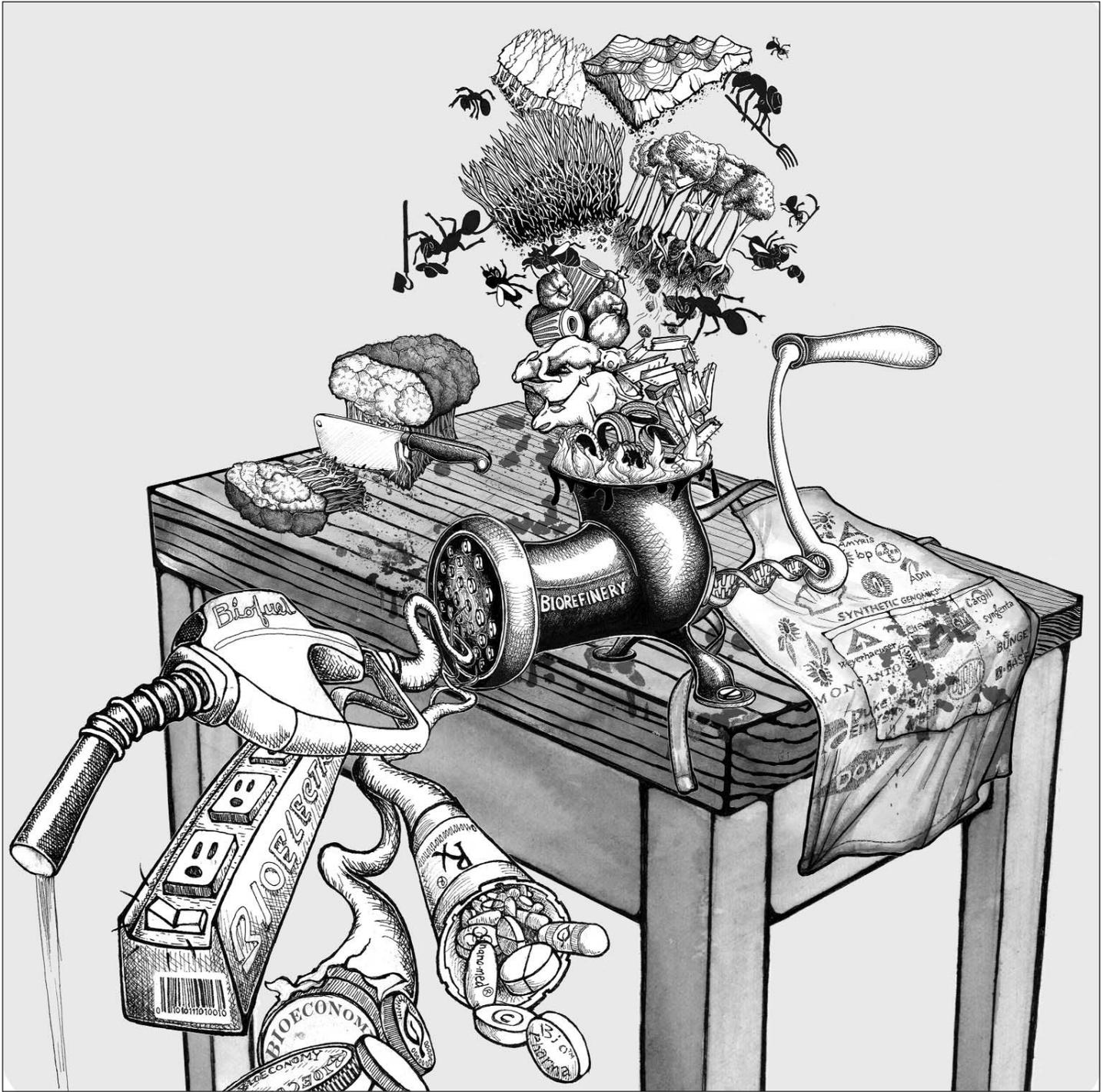


Illustration : Beehive Design Collective

Partie I. Voici la bioéconomie

« *Les économies des chasseurs-cueilleurs ont dominé pendant des centaines de milliers d'années, avant d'être éclipsées par les économies agricoles qui ont régné pendant près de 10 000 ans. Vinrent ensuite les économies industrielles. La première de celles-ci a vu le jour en Grande-Bretagne dans les années 1760, et la première à se terminer a vu le jour aux États-Unis au début des années 1950. Nous nous situons présentement à la mi-temps de l'économie de l'information, une période dont la durée totale devrait s'étaler sur 75 à 80 ans et qui devrait ainsi se terminer à la fin des années 2020. Préparez-vous maintenant à la prochaine étape : la bioéconomie.* »
- Stan David et Christopher Meyer, futurologues, Times, mai 2000⁹

Deux ans se sont écoulés depuis qu'une fulgurante flambée des prix des aliments a déclenché une crise qui a défrayé la manchette partout dans le monde. De manière soudaine, le détournement des cultures pour en faire des *biocarburants* (plutôt qualifiés d'*agrocaburants* par leurs détracteurs) est devenu le sujet d'une importante controverse et d'une forte opposition parmi les communautés rurales et ce, particulièrement dans les pays du Sud. Alors que les grands titres mettaient l'emphase sur l'intérêt de l'industrie pour l'huile de palme et l'éthanol-maïs (la *ruée vers l'éthanol*)¹⁰, il s'agissait là seulement de la pointe visible d'une transition et d'une trajectoire beaucoup plus importantes de la politique industrielle. Actuellement, la progression vers la bioéconomie s'accélère, jouissant d'appuis politiques et de milliards de dollars en subventions publiques et en investissements privés. Peu importe qu'elle remplisse ou non ses promesses, la nouvelle bioéconomie fait planer la même menace sur les gens, leurs modes de subsistance et l'environnement que celle créée par la ruée vers l'éthanol. Cette menace pourrait même être encore plus grave.

Bien qu'imprécise, la rhétorique de la *nouvelle* bioéconomie déploie présentement ses tentacules à travers les programmes politiques et les grands titres médiatiques, se drapant des termes à la mode du nouveau millénaire : *durabilité, économie verte, technologie propre et développement propre.*

Trois bioéconomies

La bioéconomie évoque l'idée d'un ordre industriel faisant appel à des matériaux, des procédés et des services biologiques. Puisque plusieurs secteurs de l'économie mondiale sont déjà basés sur la biologie (agriculture, pêcheries, foresterie), ses tenants parlent souvent d'une *nouvelle bioéconomie* afin de désigner une vision réinventée de l'économie mondiale qui relie étroitement les mécanismes économiques et financiers néolibéraux aux nouvelles technologies biologiques et aux nouveaux modes de production.

Il semble que le terme *bioéconomie* soit employé pour décrire au moins trois concepts distincts, mais qui demeurent liés et se renforcent mutuellement. Ces concepts se fondent sur la notion selon laquelle les systèmes et les ressources biologiques peuvent être mis à profit afin de maintenir les systèmes industriels actuels de production, de consommation et d'accumulation du capital :

Intrants : l'économie de la biomasse – Parfois appelée bioéconomie ou économie des glucides. Le concept clé derrière ce terme est que la production industrielle remplace les ressources fossiles et minérales qu'elle utilise (charbon, pétrole et gaz naturel) par des matières premières biologiques, dont principalement la biomasse végétale (copeaux de bois, cultures agricoles et algues).

Procédés : l'économie de la biotechnologie – Alors que l'ADN retrouvé dans les cellules vivantes est décodé et transformé en information génétique employée dans les applications biotechnologiques, les séquences génétiques deviennent les composantes entrant dans la conception de systèmes de production biologiques. En détournant l'information génétique des cellules, des plantes ou des animaux afin de créer des produits industriels, l'industrie transforme les organismes transgéniques ou synthétiques en bio-usines pouvant être déployées partout dans le monde – autant dans les cuves de fermentation que dans les plantations privées. La nature est altérée afin de répondre aux intérêts commerciaux.

Services : l'économie des services biologiques – Alors que les écosystèmes se détériorent et que la biodiversité décline, de nouveaux marchés de services écosystémiques rendent possible l'échange de crédits écologiques. Le but avoué de cette opération est de générer un profit et de créer un incitatif à la conservation afin de justifier l'intervention sur les cycles biogéochimiques tels que celui de l'eau, du carbone ou de l'azote¹¹. À l'instar des services d'un système de production industrielle, ces services écosystémiques mis en place pour privatiser les procédés naturels deviendront de plus en plus efficaces à servir les intérêts commerciaux.



Derrière le discours de la bioéconomie se cache une attaque contre les systèmes économiques plus anciens également basés sur la biologie et qui rassemblent des milliards de personnes revendiquant des droits préexistants sur les terres et les eaux où croît la biomasse. Les systèmes de connaissances et les modes de subsistance de ces personnes dépendent d'une gamme complexe d'organismes qui assurent la survie de tous : la biomasse (forêts, sols, plantes et microorganismes) qui a été entretenue pendant des millénaires. Pour tous ceux qui ont été victimes des nouvelles vagues industrielles dans le passé, l'avènement de la bioéconomie semblera une histoire familière. Il s'agit en fait d'une autre opération de pillage du bien commun qui aura raison des ressources, des territoires et de la souveraineté des petits agriculteurs, des paysans, des pêcheurs, des pasteurs et des peuples autochtones, soit ceux qui ont su préserver la biodiversité et produire nos aliments sans toutefois contribuer au réchauffement de la planète.

Par l'entremise de l'appropriation de la matière végétale et de sa transformation en marchandises, de la manipulation génétique des cellules pour en faire des micro-usines industrielles et de la redéfinition et du réaménagement des écosystèmes afin qu'ils servent l'industrie, la nouvelle bioéconomie, telle qu'envisagée par les entreprises forestières, agroalimentaires, biotechnologiques, chimiques et celles produisant de l'énergie, perpétue les phénomènes d'accapement et de dégradation du monde naturel déjà en cours.

Qu'est-ce que la biomasse ?

À proprement parler, la biomasse constitue une mesure de masse en écologie. Ce concept fait référence à la masse totale de tous les organismes vivants (matière organique) retrouvés dans un endroit donné¹². Poissons, arbres, animaux, bactéries et humains, toutes ces entités sont de la biomasse. Depuis récemment, ce terme constitue toutefois une manière abrégée de désigner la matière biologique non fossilisée, et plus particulièrement la matière végétale pouvant être employée comme matière première pour produire des carburants ou des composés chimiques industriels¹³.

La bioéconomie, alias...

Dans ce rapport, les termes *bioéconomie* et *économie de la biomasse* sont employés. Voici d'autres termes utilisés par différentes institutions afin de référer à la vision de l'industrie consistant à transformer la matière vivante en biens et services :

Économie basée sur la biologie – OCDE

Bioéconomie basée sur la connaissance – Union européenne

Bioraffinerie industrielle – Forum économique mondial

Biotechnologie blanche ou biotechnologie industrielle –
Organisation de l'industrie biotechnologique

Économie verte et services de la biodiversité – Programme des
Nations Unies pour l'environnement

Économie des glucides – Institute for Local Self Reliance

Révolution bioéconomique – Biomass Research and
Development Board du gouvernement étasunien

Selon la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED), « la biomasse comprend la matière organique qui est disponible sur une base renouvelable, dont les résidus forestiers et de scieries, les cultures agricoles, le bois et ses résidus, les déchets animaux, les résidus issus de l'élevage du bétail, les plantes aquatiques, les espèces végétales à croissance rapide et la fraction organique des déchets municipaux et industriels¹⁴. »

Un examen approfondi nous permet néanmoins de constater que les gouvernements et l'industrie considèrent également à titre de biomasse les pneus, les boues d'épuration, les plastiques, le bois traité, les matériaux de construction peints, les débris de démolition, les fumiers et lisiers des élevages industriels, les rejets d'abattoirs et les carcasses incinérées de bovins¹⁵.

Les plantes représentent une source majeure de carburant et de matériaux depuis des millénaires, mais le nouveau sens donné au terme *biomasse* marque le récent virage industriel dans la relation que l'humanité entretient avec le monde végétal. Contrairement au mot *plante* qui sous-entend une division taxinomique du règne végétal en différentes espèces et en multiples variétés, le terme *biomasse* considère l'ensemble de la matière organique de manière indifférenciée, comme s'il s'agissait de la même matière végétale. Reconsidérées sous l'appellation de biomasse, les plantes sont sémantiquement réduites à leur plus simple expression commune de manière à ce que, par exemple, les prairies comme les forêts soient commercialement redéfinies à titre de sources de cellulose et de carbone. Le terme *biomasse* induit ainsi une vision réductionniste et anti-écologique qui considère la matière végétale comme une marchandise homogène, disponible en vrac. À l'instar de certains autres termes ayant *bio* pour préfixe (e.g. biocarburant, biotechnologie), l'emploi du terme *biomasse* pour désigner la matière vivante constitue souvent un signal d'alarme indiquant que des intérêts industriels sont en jeu.

La cellulose, ce sucre miraculeux

« *Le chêne robuste et le palmier majestueux, l'herbe qui recouvre notre bonne Terre, le lichen qui habille le roc, même la plus petite algue qui prolifère dans l'océan, tous fabriquent de la cellulose. Il s'agit là de la principale matière première de l'ensemble du règne végétal.* »

- Williams Haynes, Cellulose : *The Chemical that Grows*, 1953¹⁶

Si vous récoltiez la mince couche de matière vivante qui recouvre la Terre pour la réduire en ses composantes moléculaires, la majeure partie de ce que vous obtiendriez est une molécule composée de sucres portant le nom de cellulose. La cellulose se retrouve dans toutes les plantes et au sein de certains microorganismes sous la forme de longues chaînes de molécules de glucose organisées selon une structure fibreuse ou occasionnellement cristalline¹⁷. Cette composante moléculaire commune est rapidement en train de devenir l'enfant chéri de l'industrie pour quatre raisons :

Abondance : la Terre produit annuellement environ 180 milliards de tonnes courtes de cellulose¹⁸. Cela fait de la cellulose le composé organique le plus abondant de la planète.

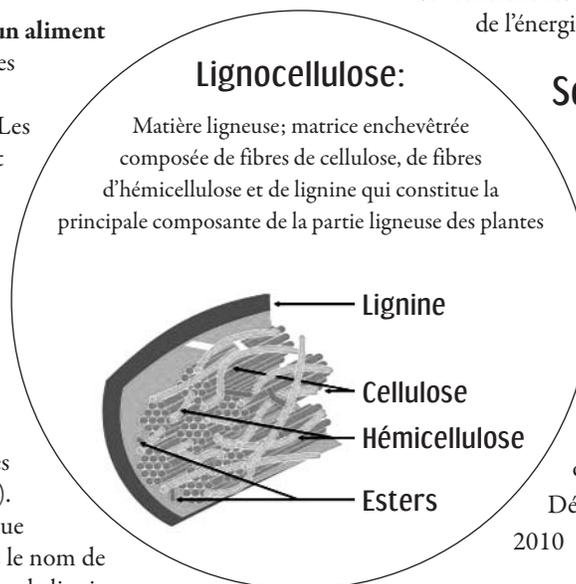
Énergie : la cellulose constitue la principale source d'énergie alimentaire pour les animaux et la principale source de chaleur pour les humains (lorsque la matière végétale est brûlée).

Polyvalence : la plupart des premiers plastiques étaient fabriqués à partir de cellulose. Cette dernière peut être chimiquement modifiée et rendue fonctionnelle de diverses manières afin de produire de nouveaux polymères, revêtements, huiles et combustibles¹⁹. De récents travaux ont également montré que les nanofibres de cellulose peuvent être modifiées afin d'acquies de nouvelles propriétés²⁰.

La cellulose n'est pas (nécessairement) un aliment

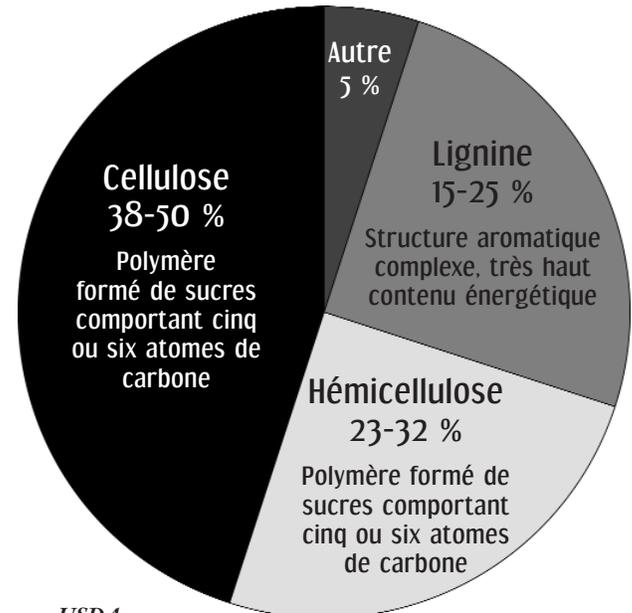
: à l'instar des légumes et des céréales, les parties non alimentaires des plantes contiennent également de la cellulose. Les tenants des biocarburants maintiennent que la cellulose retrouvée dans les tiges et les feuilles des plantes peut être employée à des fins industrielles, alors que les fruits et les céréales sont laissés pour combler les besoins alimentaires.

Bien que la cellulose soit abondante, l'un des principaux obstacles à son utilisation réside dans la difficulté de la séparer des autres composantes des plantes (voir le diagramme intitulé *Lignocellulose*). La plupart du temps, la cellulose est retenue dans une matrice hétérogène connue sous le nom de lignocellulose et qui se compose elle-même de lignine (une substance rigide riche en carbone) et d'hémicellulose (un mélange de divers sucres).



Comment les tenants de la biomasse voient les plantes

(composition chimique type de la biomasse)



Source : USDA

Séparer la cellulose de la lignine pour ensuite la briser en sucres simples nécessite un intense procédé de chauffage ou encore l'utilisation de produits chimiques puissants ou d'enzymes comme celles retrouvées dans le système digestif des vaches et des termites. La séparation industrielle de la cellulose est devenue l'un des secteurs de recherche les plus actifs dans les domaines des sciences de l'énergie et des sciences des matériaux²¹.

Soyons élémentaires :

« C'est encore l'économie du carbone, naïf ! »

« C'est le carbone contenu dans la biomasse et la possibilité de trouver diverses applications pour ce dernier qui fait de celle-ci une matière première si précieuse pour le futur. »

- Energy Matters, bulletin d'information de l'Industrial Technologies Program du Département de l'énergie des États-Unis, été 2010

« La bioéconomie repose sur la production de carbone à partir de ressources renouvelables, comme les récoltes et les autres sources de biomasse, plutôt que de recourir à du carbone pétrolier non renouvelable. »

- Georg Anderl, président de BioWa Development Association, 2004²²

À une époque où les ressources pétrolières sont de plus en plus rares, l'engouement pour la cellulose en tant que source *non conventionnelle* de carbone n'a rien d'étonnant. Les entreprises impliquées dans la fabrication de biocarburants et de biomatériaux font souvent référence aux plantes exclusivement à titre de source de molécules carbonées, éclipsant ainsi leurs autres composantes et fonctions. Le bilan des réserves mondiales en carbone établi par les entreprises du secteur énergétique révèle que les milliards de tonnes de carbone emprisonnées dans les réserves de biomasse excèdent amplement les réserves connues de pétrole, de gaz naturel et de sables bitumineux combinées, étant seulement dépassées par les dépôts de charbon. Les réserves mondiales de carbone récupérable dans l'ensemble des carburants fossiles sont estimées à 1,1 trillion de tonnes métriques²³, alors que la biomasse mondiale contient environ la moitié de cette quantité de carbone (soit 503 milliards de tonnes métriques – voir l'encadré intitulé *Quelle quantité de carbone ?*). Comme le fait remarquer Rosalie Lober, analyste d'entreprise dans le domaine des biocarburants : « Les biocarburants sont des champs pétrolifères retrouvés à la surface du sol, soit une forme différente de réserve prouvée²⁴. »

Soyons géopolitiques : tout se trouve dans le Sud

« Si vous jetez un coup d'œil à une carte du monde, il est assez facile de voir où se concentre la végétation; dans une perspective d'optimisation, il s'agit là des endroits où nous devrions éventuellement cultiver les matières premières. »

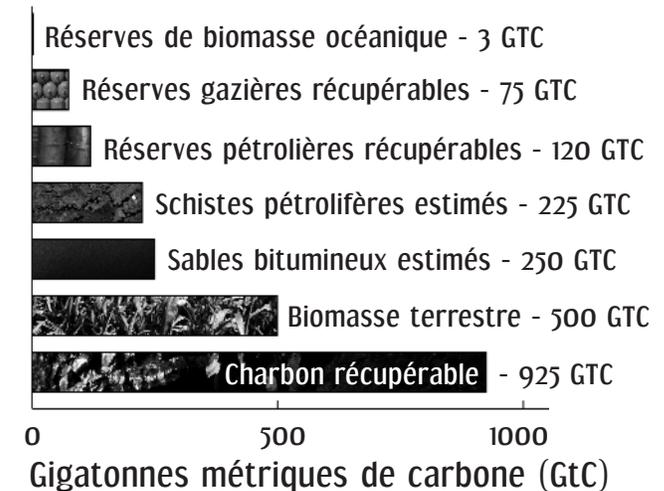
- Steven Koonin, sous-secrétaire de la science au Département de l'énergie des États-Unis et ancien chef de la recherche chez BP, 2009²⁵

« Une nouvelle division du travail dans le domaine de l'agriculture est susceptible de se produire à l'échelle mondiale entre les pays bien nantis en terres arables – ceux-ci deviendraient des exportateurs de biomasse ou de ses produits dérivés densifiés – et ceux qui le sont moins bien – ceux-là deviendraient des importateurs de biomasse, comme les Pays-Bas. Il est attendu que les plus importantes plateformes d'exportation seront le Brésil, l'Afrique et l'Amérique du Nord. » - Forum économique mondial²⁶

Bien que vue de l'espace, notre planète puisse sembler verte et riche en biomasse, il importe de considérer un aspect peu reluisant inhérent à l'économie de la biomasse – tout comme c'est le cas pour les ressources fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel) : les réserves vivantes de carbone ne sont pas également réparties. À l'échelle mondiale, la végétation terrestre représente un réservoir de 500 milliards de tonnes métriques de carbone. Cependant, 86 % de ce réservoir (soit 430 milliards de tonnes métriques) se trouve dans les zones tropicales et subtropicales, les zones boréales et tempérées ne renfermant respectivement que 34 et 33 milliards de tonnes métriques²⁷. Les tropiques représentent également les endroits où la biomasse se régénère le plus rapidement et où la biomasse océanique, notamment le phytoplancton, est la plus productive²⁸.

Quelle quantité de carbone ?

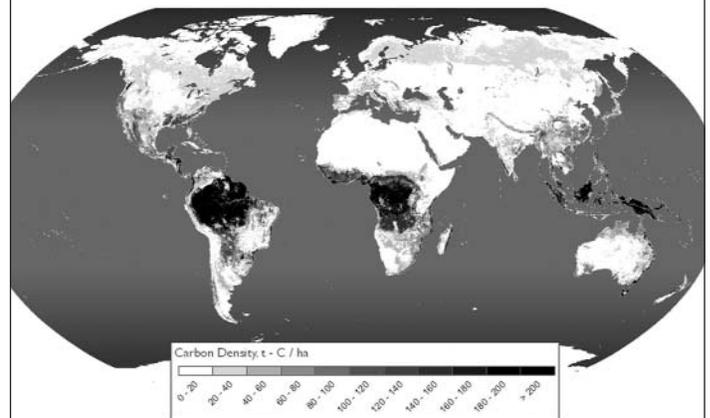
Estimation des réserves mondiales
en carbone *récupérable*



Source: Dr. Jeff Sirola (American Institute of Chemical Engineers),
Mark Maslin and IPCC

Où se trouve la biomasse ?

Densité de carbone de la biomasse épigée et hypogée



Source : http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/global_carbon/FINAL_DATASETS.jpg

Ce n'est donc pas une coïncidence si les endroits de la planète où se concentre la biomasse attirent actuellement les entreprises qui veulent produire des biocarburants, des produits chimiques dérivés du vivant et de la bioélectricité. Le Brésil, en particulier, a assisté à une augmentation drastique des investissements liés à la bioéconomie. Le Forum économique mondial a en effet suggéré qu'une « nouvelle division du travail dans le domaine de l'agriculture est susceptible de se produire à l'échelle mondiale » entre les pays tropicaux qui produisent de la biomasse et les pays du Nord, bien qu'il soit pertinent de se demander ce qu'il y a de si nouveau dans cette division du travail²⁹.

Comme l'indique Mark Bünger qui suit les développements de la bioéconomie à titre de directeur de la recherche à Lux Research, l'industrie a compris que « la géographie est la destinée ». Bünger a expliqué à Antonio Regalado du magazine Technology Review que « seuls quelques endroits sur la planète possèdent les régimes de pluie et d'ensoleillement de même que la superficie nécessaire pour produire des biocarburants à une échelle et un prix qui auront un impact réel »³⁰. Alors que le Brésil occupe le premier rang selon ces critères, il est suivi de près par l'Afrique subsaharienne, une situation mise en évidence par une mainmise sur les terres et un intérêt croissant pour planter de la canne à sucre dans cette région³¹.

« *En scrutant le monde et en cherchant où se trouvait la biomasse la moins coûteuse et la plus abondante, nous avons découvert que le Brésil était vraiment l'Arabie Saoudite des énergies renouvelables.* »

- John Melo, directeur général d'Amyris Biotechnologies, Inc.³²

L'approvisionnement en biomasse, une conquête mondiale

Dans un avenir rapproché, les pays possédant une importante quantité de forêts ainsi qu'une superficie de plantations en expansion (Brésil, États-Unis, Indonésie, Canada, Russie et pays de l'Afrique Centrale) joueront des coudes pour devenir l'*Arabie Saoudite de la biomasse*³³. Toutefois, les écosystèmes agricoles, les prairies, les déserts et les océans deviendront éventuellement eux aussi de plus en plus la cible de la mainmise sur la biomasse. Chacun de ces écosystèmes possède des avantages à titre de sources de biomasse. Même si les nouveaux maîtres du vivant se targuent d'être un jour capable d'utiliser n'importe quelle source de biomasse disponible, ils convoitent tous aujourd'hui les plantes qui sont déjà exploitées par l'agriculture et la foresterie industrielles, soit le maïs, la canne à sucre, le soya, l'eucalyptus à croissance rapide, le peuplier, le palmier à huile et le pin.

Forêts naturelles

Représentant le plus vaste réservoir de biomasse terrestre, les forêts naturelles subissent la majeure partie de la pression directement exercée par l'extraction de la biomasse. Bien que les forêts aient été rognées par des siècles de pratiques forestières non durables, elles demeurent néanmoins le milieu de vie de millions de peuples autochtones, comptent encore parmi les écosystèmes les plus diversifiés de la planète, et jouent toujours un rôle essentiel dans la régulation du climat. Avec le temps, les coûts politiques et écologiques du retrait de la biomasse à partir des forêts naturelles restantes à l'échelle mondiale pourraient s'avérer trop élevés pour que l'industrie de la biomasse ne puisse compter sur cette source. Les changements climatiques imposent déjà d'intenses pressions sur les écosystèmes forestiers, faisant en sorte que le retrait de n'importe quelle quantité de biomasse augmentera, entre autres conséquences négatives, les risques d'incendie, d'invasions ou de saturation des sols³⁴.

Plantations

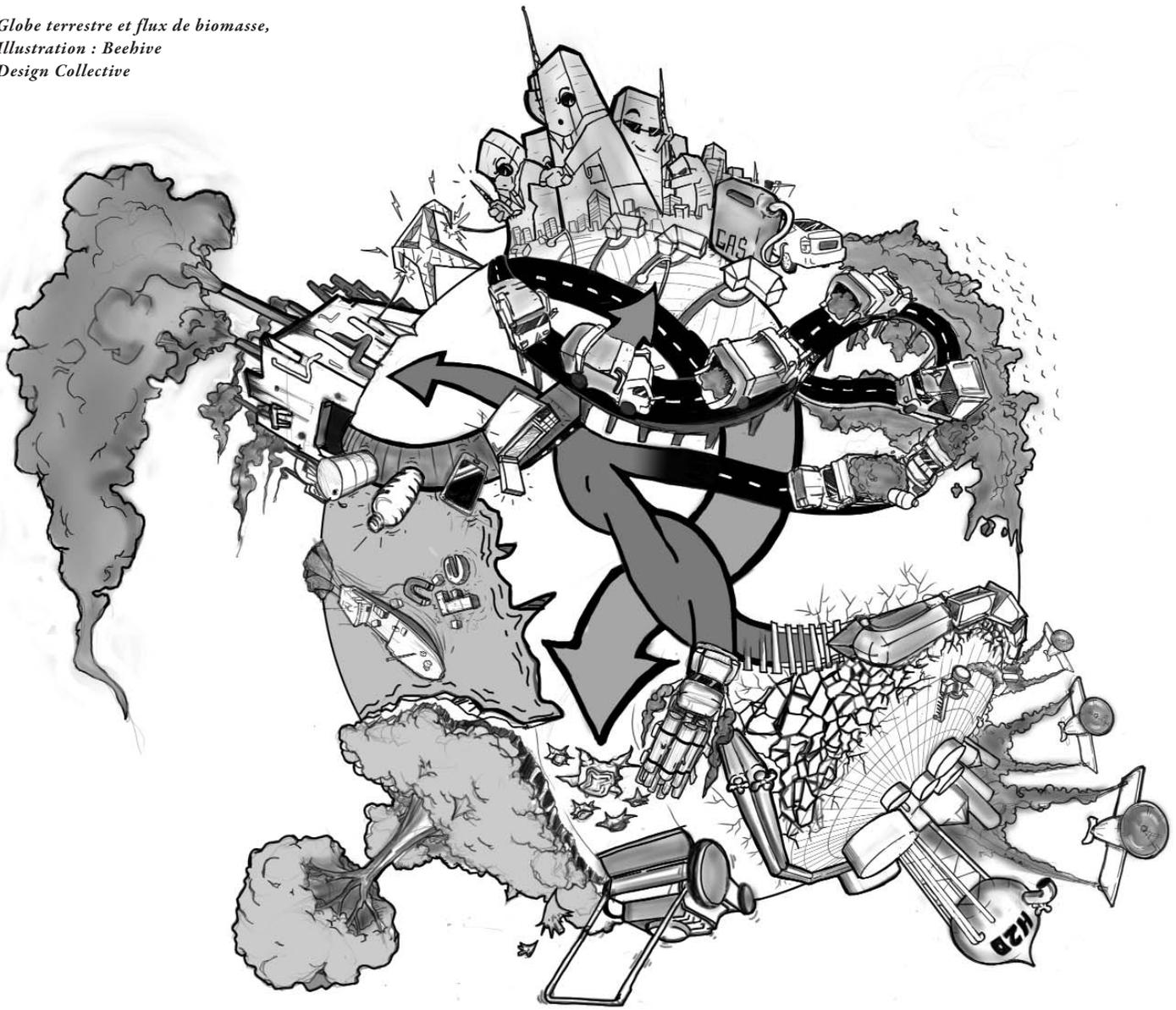
Les plantations monoculturelles d'arbres à croissance rapide riches en cellulose tels que l'eucalyptus, le peuplier et le pin, ou encore d'arbres à hydrocarbures tels que le palmier à huile et le jatropha sont en pleine expansion, particulièrement dans les pays du Sud et ce, sur des terres où poussaient des forêts auparavant. De telles plantations en forêt tropicale ont quintuplé leur superficie depuis 1980³⁵. La course à la biomasse accentue cette tendance. Souvent possédées par des grandes entreprises privées, ayant une faible valeur sur le plan de la biodiversité et entraînant d'importantes conséquences négatives sur l'eau et les sols, les plantations d'arbres et les cultures constitueront les principales sources de biomasse à usage industriel au cours des prochaines décennies. Cela aura notamment pour effet de perturber les communautés et les écosystèmes, en plus de contribuer aux inégalités et d'alimenter les affrontements pour la terre et l'eau. L'industrie forestière se plaît à dire que de telles plantations devraient être considérées à titre de forêts; néanmoins, au plan de l'écologie, une plantation d'arbres en monoculture ne partage que très peu de points communs avec une forêt naturelle.

Écosystèmes agricoles

Les quelque 1,5 milliard d'hectares de cultures alimentaires et de plantes à fibres sont le symbole de la mainmise sur la biomasse la mieux organisée et la plus efficace sur la planète³⁶. Bien qu'il y ait d'évidentes raisons de craindre que la fonction première de l'agriculture passe de la production d'aliments à celle de matériaux et d'énergie, l'industrie considère les écosystèmes agricoles comme étant d'attrayantes sources de biomasse parce qu'ils sont déjà bien conçus pour la récolte, l'entreposage et le transport vers le marché. Dans le contexte de l'agriculture, les cibles à court terme pour les marchés de la biomasse consisteront à récupérer les *résidus végétaux* des cultures (tiges de maïs, paille de riz, enveloppes des grains de blé, coton), ainsi qu'à introduire des plantes herbacées à croissance rapide riches en cellulose telles que le bambou, le panic érigé et le miscanthus. Malheureusement, le retrait des résidus végétaux des terres aura vraisemblablement un effet négatif sur les sols agricoles. Qui plus est, les plantes herbacées à croissance rapide peuvent faire augmenter la demande en eau et devenir invasives. Entretemps, la pression qu'exerce la production de biomasse en convoitant des sols de qualité fragilisera davantage la souveraineté alimentaire et les mesures de conservation.

Prairies

Alors que les prairies et les prés ont jusqu'à présent surtout été utilisés commercialement pour produire du fourrage destiné aux animaux brouteurs, la quête de biomasse est en train de créer un nouveau marché pour ce type de terres. Le fauchage sur une base régulière de différents types de prairies peu demanderesse en intrants a été proposé à titre de solution écologique pour extraire de la biomasse d'une manière qui prétend maintenir la biodiversité naturelle en place. La supposition à l'effet que les prairies puissent conserver leur biodiversité sous de telles pratiques d'aménagement est toutefois contestée, autant que l'est le potentiel d'obtenir un gain énergétique net³⁷. Néanmoins, alors que la recherche pour de nouvelles sources de biomasse s'intensifie, les prairies pourraient graduellement gagner de l'importance ou encore être de plus en plus converties en cultures ou en plantations, ce qui dans tous les cas engendrera des impacts sur la production animale, les droits de pâturage et la biodiversité.



Écosystèmes marins

Les algues retrouvées dans les océans du monde représentent près de la moitié de la production annuelle mondiale de biomasse (48,5 %) mais, jusqu'à présent, il a toujours été difficile d'y accéder à des fins industrielles ou alimentaires³⁸. De la sorte, les océans représentent une vaste ressource inexploitée et la quête de biomasse aura inévitablement un impact sur les écosystèmes marins.

Actuellement, les cultures commerciales d'algues ne représentent qu'une infime partie du vaste potentiel disponible. Il n'est pas facile de mener des opérations en mer et les océans sont souvent assujettis à une gouvernance multilatérale; de la sorte, récolter une plus grande part de la biomasse océanique ou intensifier la mariculture d'algues pourrait requérir de nouvelles technologies et possiblement de nouvelles conventions internationales. À court terme, la culture d'algues se développera vraisemblablement sur la terre ferme, notamment dans les étangs situés en milieu désertique. Toutefois, certaines entreprises tentent déjà de récolter des algues sauvages dans certaines baies et le long de certaines côtes aux fins de production de carburants et de produits chimiques (e.g. Blue Marble à Seattle aux États-Unis)³⁹. D'autres entreprises explorent la culture algale dans des installations en pleine mer et le *fauchage* des fonds océaniques.

Déserts et milieux humides

Bien qu'il ne s'agisse pas de cibles immédiates pour y extraire de la biomasse, les déserts, les marécages et les autres écosystèmes considérés comme marginaux subissent une certaine pression, alors que l'approvisionnement en biomasse modifie l'utilisation des terres et que les autres activités humaines, dont le peuplement, sont relocalisées dans des écosystèmes de plus en plus éloignés et fragiles. En raison de l'abondance de leur ensoleillement, les déserts et les zones arides sont déjà convoités pour y implanter des cultures d'algues à grande échelle, que ce soit dans des étangs ou sous verre. Pour la même raison, il est bien possible que ces écosystèmes soientensemencés avec de nouvelles variétés d'herbes et de cultures modifiées pour mieux tolérer la sécheresse. Entretemps, des variétés culturales halophiles en cours de développement pourront envahir les écosystèmes marécageux saumâtres.

Retour vers le futur ? Glucides contre hydrocarbures... Du craquage pétrolier au piratage des plantes

Les tenants de l'économie de la biomasse aiment parler d'une transition prochaine d'une économie des hydrocarbures (basée sur les ressources fossiles) vers une économie des glucides (basée sur les plantes). Du point de vue de la chimie, la différence entre un hydrocarbure et un glucide ne tient qu'à quelques atomes d'oxygène. Les glucides sont des sucres composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, qui sont considérés comme étant de la matière organique. Quant à eux, les hydrocarbures sont uniquement composés de carbone et d'hydrogène.

D'un point de vue historique toutefois – et c'est d'ailleurs encore aujourd'hui le cas chez quelques communautés locales et autochtones –, ces sont les glucides issus des plantes qui ont majoritairement servi à répondre aux besoins des humains. Dès 1820, les États-Uniens utilisaient deux tonnes de végétaux pour chaque tonne de minéraux en guise de matières premières pour produire des teintures, des produits chimiques, des peintures, des encres, des solvants et même de l'énergie. Vers 1920, ce rapport végétaux : minéraux s'est inversé et vers la moitié des années 1970, les États-Uniens consommaient huit tonnes métriques de minéraux pour chaque tonne de glucides végétaux⁴¹. Deux facteurs ont motivé et rendu possible la plus récente de ces transitions :

- Le contenu énergétique supérieur des carburants fossiles : une demi-tonne de charbon minéral contient autant d'énergie que deux tonnes de bois vert. Le charbon, puis le pétrole (qui est plus dense et plus facilement transportable que le charbon) sont donc devenus les carburants préférés de la révolution industrielle⁴².
- Le triomphe de la pétrochimie : les premiers chimistes de synthèse ont appris à transformer profitablement le goudron de houille en teintures puis, à *craquer* le pétrole en diverses molécules pouvant être raffinées et transformées en carburants, cires, explosifs, pesticides, plastiques, peintures, produits pharmaceutiques, cosmétiques, textiles, caoutchouc synthétique, essence, asphalte et plus encore⁴³.

Aujourd'hui toutefois, la volatilité des marchés, le potentiel lucratif des marchés du carbone, le développement de nouvelles technologies et l'inquiétude soulevée par le spectre du pic pétrolier contribuent à un retour vers la biomasse vivante. Notamment, à l'instar des développements de la chimie synthétique survenus au 19^e siècle qui rendirent possible l'économie des hydrocarbures, l'innovation actuelle dans le domaine de la biologie synthétique permet aux entreprises de modifier l'économie des hydrocarbures afin qu'elle puisse utiliser les glucides à titre de matières premières.

Vendre la transition

L'analyse effectuée par ETC Group suggère que c'est le bon vieux opportunisme capitaliste qui motive vraiment l'investissement dans la nouvelle bioéconomie. Malgré cela, les tenants de cette dernière possèdent suffisamment de nouveaux vêtements avec lesquels déguiser leur impérialisme suranné. Voici quelques-uns des points visant à justifier la récente mainmise sur la biomasse.

1. Rêves sucrés : l'économie des glucides

Économie des glucides est une expression inventée par les militants de l'Institute for Local Self Reliance (ILSR) qui, au début des années 1990, ont explicité leur vision consistant à produire des composés chimiques et des matériaux industriels à partir de la matière végétale plutôt que du pétrole⁴⁴. Leur intérêt envers la matière vivante (c'est-à-dire végétale) était motivé par le souhait que cette dernière se dégraderait presque complètement dans l'environnement, ce qui n'est pas le cas des plastiques fabriqués à partir du pétrole.

2. Rêves écolos : les ressources renouvelables et l'économie de l'hydrogène

La biomasse est systématiquement incluse dans les descriptions et les définitions des ressources renouvelables comme le sont, du moins théoriquement, les plantes et les arbres qui repoussent après avoir été coupés. La biomasse est aussi occasionnellement décrite comme étant une forme emmagasinée d'énergie solaire puisque les plantes tirent leur énergie du soleil (voir plus loin la section intitulée *La biomasse est-elle vraiment renouvelable ?*, page 26). La biomasse est enfin considérée comme une ressource clé pour la réalisation d'un autre rêve *écologique*, l'*économie de l'hydrogène*, puisque cet élément peut aussi être obtenu à partir des plantes.

Définitions

Glucides : sucres et amidons. Molécules organiques composées principalement d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène qui sont retrouvées dans la matière végétale vivante. Le glucide le plus abondant est la cellulose.

Hydrocarbures : matière riche en carbone. Molécules faites de carbone et d'hydrogène. Bien que plusieurs hydrocarbures ne soient pas des carburants fossiles, ce terme est souvent employé pour désigner les ressources fossiles comme le charbon, le pétrole et le méthane.

3. Rêves rafraîchissants : l'économie carboneutre

L'urgence actuelle de s'attaquer aux changements climatiques induits par l'activité anthropique a placé la biomasse au cœur des politiques énergétiques gouvernementales. Parce que les plantes peuvent capter du dioxyde de carbone à partir de l'atmosphère, les décideurs politiques considèrent la matière végétale comme étant une source d'énergie *carboneutre*, argumentant que le dioxyde de carbone émis lors de la production de bioénergie est recapté par la replantation (voir plus loin la section intitulée *Le mythe de la carboneutralité*). En 2008, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) estimait que l'énergie dérivée de la biomasse représentait 77 % de la production mondiale d'énergie renouvelable⁴⁵.

4. Rêves patriotiques : l'indépendance énergétique

À tout le moins aux États-Unis, l'idée d'une bioéconomie nationale qui agirait à titre de rempart patriotique contre le terrorisme et les guerres pour le pétrole jouit d'un fort intérêt populaire. Portés par le mantra enjoignant de *réduire la dépendance envers le pétrole étranger*, les biocarburants et les bioplastiques galvanisent la souveraineté nationale, tout en réduisant les fonds allant vers les États pétroliers extrémistes. Cette vision transcende les différentes appartenances politiques, puisant à même le sentiment anti-belliciste de la gauche, et dans le jingoïsme et les peurs en matière de sécurité nationale de la droite.

5. Rêves bondissants : le développement propre et le mouvement des emplois verts

Comment aider les pays pauvres à *développer* leurs économies tout en évitant le modèle polluant et consommateur de ressources des pays riches ? Voilà le supposé dilemme que les tenants du *bond en avant environnemental* tentent de résoudre en recourant à de nouvelles technologies pour que le développement soit plus propre et plus respectueux de l'environnement. Du côté des Nations Unies, cette idée a pris forme au sein de l'initiative *Économie verte* mise de l'avant par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (voir plus loin la section intitulée *L'Économie verte, un foyer confortable pour la bioéconomie*). Entretemps, un mouvement en émergence prônant les emplois verts maintient que les technologies écologiques issues de la bioéconomie peuvent sauver l'Amérique du Nord et l'Europe de la stagnation de la force de travail industrielle.

6. Rêves technophiles : les technologies convergentes et la technologie propre

L'expression *technologies convergentes* fait référence à la manière par laquelle des domaines technologiques apparemment distincts – nanotechnologie, biotechnologie, technologies de l'information, robotique – peuvent s'associer pour former une puissante plateforme de technologie hybride. Au sein des cercles politiques européens rattachés à la science, il est proposé que les technologies convergentes servent principalement à des applications *durables* telles que la bioénergie et les *technologies climatiques* afin de stimuler la croissance économique⁴⁶.

Aux États-Unis, des scientifiques chevronnés et des investisseurs en capital de risque ont donné un surnom à cette nouvelle vague de technologies : *les technologies propres*. Celles-ci représentent un domaine d'investissement de plusieurs milliards de dollars et regroupent les biocarburants, la bioénergie, les bioplastiques et la plupart des biomatériaux en général, en plus des technologies sous-jacentes qui les rendent possibles, comme la biologie synthétique et la nanotechnologie.

C'est bien d'une mainmise qu'il s'agit, pas d'une transformation

Attribuer la récente montée de la bioéconomie et l'intérêt bourgeonnant pour la biomasse exclusivement à une conscience environnementale ou nationaliste, c'est présumer à tort que les dirigeants des grandes entreprises et les économies des pays membres de l'OCDE sont émus par de telles préoccupations. À l'instar des transformations industrielles précédentes, ce qui se cache derrière la course effrénée à la biomasse ne sont pas de grands idéaux, mais bien les intérêts calculés du bénéfice net des entreprises. Loin de mener vers une nouvelle forme d'économie, la transition vers la biomasse consiste en fait à rééquiper avec de nouveaux outils le même vieux système de production, de consommation, d'accumulation du capital et d'exploitation. La seule chose qui est en train de changer, c'est le pillage d'une nouvelle source de carbone afin que la machine industrielle puisse continuer de tourner.

Au plan économique, transformer la cellulose et les autres sucres en matières premières utilisables pour produire des biocarburants, des produits chimiques et de l'électricité a pour conséquence de rendre potentiellement profitable l'exploitation d'herbes, d'algues et de brindilles qui n'avaient aucune valeur auparavant. De manière encore plus notable, toute terre ou plan d'eau ayant la capacité de soutenir la croissance de plantes cellulosiques acquiert une valeur ajoutée à titre de source potentielle de biomasse. Ce phénomène précipite déjà la mainmise mondiale sur les terres initialement entreprise pour assurer la sécurité alimentaire. Si cette transition vers la biomasse réussit selon ces modalités, alors les technologies visant la transformation de la biomasse (notamment la nanotechnologie, la biotechnologie et la biologie synthétique) deviendront de précieux instruments permettant d'extraire de la valeur et de hisser les industries qui les contrôlent en première place.

Ce n'est pas une coïncidence si, au cours de la dernière décennie, les tenants les plus pugnaces de l'économie de la biomasse n'étaient pas des ONG environnementales, mais bien de grandes entreprises issues des secteurs biotechnologique, chimique, forestier et agroalimentaire.

Chiffrer l'économie de la biomasse

Transformer la paille (ou d'autres sources de cellulose) en or financier n'est pas chose nouvelle. Un rapport publié en 2008 par le USDA souligne que déjà, à travers le monde, la fabrication de produits à partir de la biomasse atteint une valeur supérieure à 400 milliards de dollars annuellement : pulpe et papier, bois d'œuvre et de construction, peintures, graisses et lubrifiants⁴⁷. La seule estimation globale accessible au public et chiffrant les revenus potentiels découlant des différents produits issus du vivant (énergie, produits chimiques, plastiques, carburants) et des marchés qui y sont associés provient du Forum économique mondial. Ce dernier prédit que d'ici 2020, ces revenus attendront 300 milliards de dollars⁴⁸. Un échantillon de prédictions (voir ci-dessous) totalise près d'un demi-trillion de dollars d'ici 2020, et possiblement bien plus encore.

Électricité produite à partir de la biomasse - Selon Pike Research, la valeur marchande de l'électricité générée à partir de la biomasse aux États-Unis augmentera de manière constante jusqu'à 53 milliards de dollars d'ici 2020, comparé à 45 milliards de dollars en 2010⁴⁹. Le Forum économique mondial établit que d'ici 2020, la valeur totale combinée de la chaleur et de l'énergie produite à partir de la biomasse sera de 65 milliards de dollars⁵⁰.

Carburants produits à partir de la biomasse - Pike Research affirme que les marchés du biodiésel et de l'éthanol ont rapporté 76 milliards de dollars en 2010 et que ce chiffre pourrait augmenter jusqu'à 247 milliards de dollars d'ici 2020. Au total, le marché mondial des biocarburants pourrait dépasser 280 milliards de dollars d'ici 2022⁵¹.

Produits chimiques fabriqués à partir de la biomasse - En 2005, McKinsey & Company a estimé que la valeur du marché des biomatériaux et des bioproduits (par exemple, bioplastiques, produits chimiques issus de la biologie, et produits chimiques raffinés à l'aide de procédés biotechnologiques) s'élevait à 77 milliards de dollars, ce qui représente 7 % des ventes mondiales dans le secteur de la chimie⁵². En 2008, cette valeur s'élevait à 170 milliards de dollars et il est prévu qu'elle atteigne 513 milliards de dollars d'ici 2020⁵³. Basée sur des données de 2006, une estimation effectuée en 2008 par l'USDA prévoyait que les produits chimiques issus de la biologie représenteraient 22 % de toutes les ventes de l'industrie chimique d'ici 2025⁵⁴. Ces chiffres ne distinguent toutefois pas les produits chimiques issus de la biologie de ceux qui sont fabriqués par l'entremise de procédés biotechnologiques. En mars 2009, une étude effectuée par Frost & Sullivan rapportait que les revenus du marché mondial des produits chimiques biorenewables (soit les produits chimiques fabriqués à partir de la biomasse plutôt que du pétrole) ont atteint seulement 1,63 milliard de dollars en 2008 (seulement 4 % des ventes), mais pourraient grimper jusqu'à 5,01 milliards de dollars d'ici 2015⁵⁵. Le Forum économique mondial rapporte que la part des produits chimiques issus de la biologie devrait augmenter au sein de l'ensemble de la production de produits chimiques, pour atteindre environ 9 % de tous les produits chimiques d'ici 2020, pour un montant de 6 milliards de dollars⁵⁶. Selon une analyse optimiste effectuée par Helmut Kaiser Consultancy, les bioplastiques représentent déjà entre 10 et 15 % de l'ensemble du marché des plastiques; cette part pourrait augmenter à 25 - 30 % d'ici 2020⁵⁷.

Le gaspillage engendré par la biomasse - L'analyse de l'économie de la biomasse mène inévitablement à la conclusion suivante : ses endosseurs les plus zélés sont en fait les gouvernements, ceux-ci allouant des milliards de dollars en subventions, particulièrement pour soutenir le secteur des biocarburants. Des études effectuées par la Banque mondiale et la Global Subsidies Initiative (GSI) suggèrent que les subventions gouvernementales annuelles octroyées au secteur des biocarburants excèdent actuellement les 15 milliards de dollars et qu'elles pourraient atteindre plus de 50 milliards de dollars d'ici 2020⁵⁸. « Dans les années à venir, les gouvernements semblent indiquer qu'il n'y a aucune limite », explique Simon Upton, directeur de GSI. Selon la Banque mondiale, 24 pays se sont fixé des objectifs précis en matière de biocarburants, alors que l'Union européenne et une douzaine d'autres pays offrent des exonérations et des crédits fiscaux pour la production et l'utilisation de biocarburants⁵⁹.

Investissements dans la biomasse - L'industrie émergente de la biomasse s'est stratégiquement positionnée par rapport au financement en capital de risque en matière de ce qu'il est convenu d'appeler les *technologies propres*. Une étude de Lux Research portant sur plus de 100 investissements en capitaux de risque dans le secteur des sciences biologiques a démontré que, suite à l'imposition par le gouvernement étasunien en 2005 d'une teneur obligatoire en éthanol dans l'essence, les ententes d'investissement dans les bioénergies ont connu une reprise marquée⁶⁰. Entre 1998 et 2008, au moins 4,17 milliards de dollars en capitaux de risque ont alimenté ce secteur. Plusieurs des principales sociétés étasuniennes de capital de risque qui ont investi dans l'essor d'Internet ont changé leur fusil d'épaule pour plutôt se consacrer aux *technologies assurant le respect de l'environnement*, notamment l'énergie solaire et les biocarburants⁶¹. Draper Fisher Jurvetson, une société de capital de risque de Silicon Valley (Californie) ayant auparavant financé Skype et Hotmail, fut l'une des premières à investir dans la biologie synthétique. C'est elle qui a fourni les capitaux de démarrage à Synthetic Genomics, Inc., une entreprise fondée par J. Craig Venter qui se spécialise principalement dans les biocarburants. Une autre société de capital de risque de Silicon Valley, Kleiner Perkins Caufield & Byers cette fois, et dont les précédentes réussites comprennent notamment Google, AOL, Amazon.com et Sun Microsystems, est reconnue pour avoir financé en 2008 cinq entreprises différentes fabriquant des biocarburants à partir de cellulose⁶², alors qu'elle était conseillée par les personnalités Al Gore et Bill Joy. Entretemps, l'ancien partenaire d'affaires de Bill Joy, Vinod Khosla de Khosla Venture, est qualifié de *baron des biocarburants* pour avoir contribué au démarrage d'une douzaine d'entreprises de biocarburants, surtout de l'éthanol, et dont au moins cinq œuvrent dans le domaine de la biologie synthétique. Selon le Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), les biocarburants ont bénéficié de 19,6 milliards de dollars en titres garantis par des actifs en 2007, bien que le financement de ce secteur ait chuté à 15,4 milliards de dollars en 2008 pour plonger à 5,6 milliards de dollars en 2009. Toutefois, considérant les importants investissements dans le secteur des biocarburants ayant actuellement cours au Brésil, REN21 observe un renversement dans cette tendance. Au même moment, les investissements privés dans les projets de génération de bioélectricité sont passés de 9 milliards de dollars en 2008 à 10,4 milliards de dollars en 2009⁶³.

Où se trouve l'argent au sein de l'économie de la biomasse ?

Revenus mondiaux anticipés de la chaîne de production de la biomasse en 2010

Source: Le Forum économique mondial prédit que l'économie de la biomasse atteindra une valeur de 295 milliards de dollars d'ici 2020 (valeur par secteurs, en dollars US).⁶⁴



Bioénergie : énergie produite à partir de la biomasse. Fait référence à tout procédé qui transforme la matière biologique en énergie, ce qui comprend la production et l'utilisation de biocarburants, la production d'électricité à partir de biomasse et l'utilisation de biomasse à des fins de chauffage et de cuisson.

« Et si vous retiriez la moitié des tiges de maïs des champs [de l'Iowa], laissant l'autre moitié sur place pour contrôler l'érosion. Quelle quantité obtiendriez-vous en une année ? Environ 24 millions de tonnes courtes. Considérant que chaque livre vaut deux cents, ces 24 millions de tonnes courtes représentent un milliard de dollars. Et si maintenant vous vous déplaçiez en aval de la chaîne de valeur et fabriquiez du plastique agricole à 1,50 la livre avec ces 24 millions de tonnes courtes ? Vous parlez alors d'injecter 72 milliards de dollars dans l'économie nationale. Essentiellement, vous venez presque de faire doubler l'économie nationale. »

– Floyd Barwig, directeur, Iowa Energy Center, 2004⁶⁵

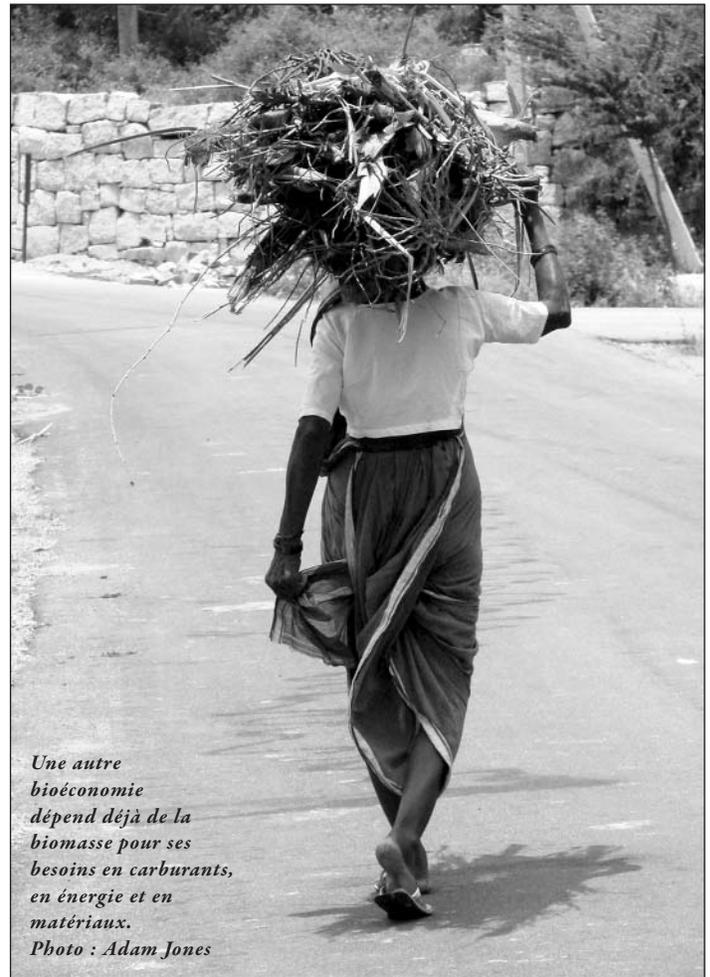
À qui appartient la biomasse ? L'histoire de deux bioéconomies

Les disciples de la nouvelle bioéconomie se plaisent à considérer cette dernière comme une sorte de retour à une économie durable antérieure, dans laquelle la civilisation humaine se servait des fruits contemporains de la nature plutôt que de piller les ressources fossiles du passé. Cependant, alors que, dans son ensemble, l'économie mondiale se soit détournée du sentier de la bioéconomie pendant un siècle, des milliards de personnes sont au contraire restées sur cette voie. Ces paysans, autochtones, pasteurs, pêcheurs, habitants des forêts et autres membres de communautés traditionnelles sont restés indépendants de l'économie des hydrocarbures. Ceux-ci font par contre les frais du climat qui s'emballent...

- Deux siècles après que la révolution industrielle ait commencé à être alimentée au charbon, trois milliards de personnes, soit les deux tiers des habitants des pays du Sud, dépendent toujours du bois pour se chauffer et cuire leurs aliments⁶⁶.
- Cent trente ans après que Thomas Edison eut rendu possible la distribution d'électricité, 1,6 milliard de personnes n'ont toujours pas accès à cette source d'énergie, peu importe qu'elle soit produite à partir du charbon, du vent, de la force hydraulique ou des copeaux de bois⁶⁷.
- Cent quarante ans après que Siegfried Marcus eut installé pour la première fois un moteur à combustion sur un véhicule, 2 milliards de personnes dépendent encore de la force animale en agriculture et pour se déplacer. En fait, la moitié des terres agricoles dans les pays du Sud sont exclusivement labourées à l'aide d'animaux⁶⁸.

Ces économies basées sur la biodiversité dépendent exactement des mêmes ressources naturelles (plantes, terres, eau, produits animaux) que celles que la nouvelle bioéconomie tente actuellement de s'approprier pour les convertir en produits chimiques industriels et en énergie. De plus, cette biomasse que convoite l'industrie est non seulement déjà utilisée à titre de ressource par ces communautés, elle est également profondément ancrée dans leurs cultures et leurs systèmes de connaissances.

Accaparement des terres : ruée actuellement en cours pour acheter les terres des pays du Sud. Au cours des dernières années, il a été possible d'assister à une croissance rapide du nombre d'ententes conclues par les investisseurs et les pays du Nord pour l'achat et la location de terres agricoles dans les tropiques. Cette expression a été inventée par l'organisation de la société civile GRAIN.



*Une autre bioéconomie dépend déjà de la biomasse pour ses besoins en carburants, en énergie et en matériaux.
Photo : Adam Jones*

« Les terres les mieux adaptées à la production de biomasse (Amérique latine, Afrique subsaharienne) sont celles qui sont les moins utilisées. »

– Tiré d'une présentation de Steven Chu (actuellement secrétaire d'État à l'énergie aux États-Unis) lors de la conférence du Partenariat Asie-Pacifique sur le développement propre et le climat qui s'est tenue à Berkeley aux États-Unis le 19 avril 2006

Terres marginales pour profits maximaux

Aux fins d'y extraire de la biomasse, les tenants de la biomasse lorgnent les terres marginales, improductives, incultivées, dégradées, abandonnées et incultes, affirmant que 500 millions d'hectares de terres abandonnées ou marginales sont disponibles à travers le monde pour y cultiver de la biomasse⁶⁹. De telles affirmations semblent fondées sur des données satellitaires montrant d'anciennes zones culturales. Un examen plus approfondi de la situation révèle toutefois que ces terres marginales abritent en réalité des peuples marginalisés. Loin d'être abandonnées ou dégradées, elles sont utilisées d'une manière imperceptible aux yeux d'un système qui ne reconnaît que la propriété privée et l'agriculture industrielle – et qui effectue d'ailleurs ses opérations de reconnaissance du terrain à partir de l'espace.



Tel que le rapporte une coalition d'organisations de la société civile dans une étude portant sur le mythe des terres marginales : « Les communautés qui utilisent ces terres riches en biodiversité pour produire des aliments et des médicaments, générer des revenus et y faire brouter leur bétail n'apprécient pas que leur existence soit déniée. Elles ne croient pas plus que la conversion de leurs terres pour y produire des agrocarburants puisse apporter des bénéfices qui contribueraient au développement⁷⁰. » Une revue effectuée par Gören Berndes portant sur 17 études de faisabilité dans le domaine de la bioénergie a révélé que « les terres dites dégradées constituent souvent la base de la subsistance des populations rurales⁷¹. »

Par exemple, les prairies sont considérées comme des *terres incultivées*, même lorsqu'elles assurent la subsistance des peuples pastoraux et nomades, qui ont besoin de vastes surfaces de pâturages afin que leur impact sur les écosystèmes fragiles restent faibles. Jonathan Davies, coordonnateur mondial de l'Initiative mondiale pour un pastoralisme durable basée à Nairobi au Kenya, fait le commentaire suivant : « Ces terres marginales n'existent pas à l'échelle à laquelle les gens les conçoivent. En Afrique, la plupart de ces terres sont aménagées de façon active par les pasteurs, les chasseurs-cueilleurs et parfois même par les aridoculteurs⁷². » Davies continue en disant : « Considérant l'approche cavalière actuelle en matière d'accapement des terres, ou encore le mépris des droits fonciers des habitants ruraux dans plusieurs pays, la production d'agrocarburants se fera inévitablement par de grands investisseurs au détriment des communautés locales. »

Chose troublante, le dénigrement des droits des petits agriculteurs et des pasteurs ainsi que la mainmise sur leurs terres sont loin d'être de simples inadvertances, mais semblent plutôt faire partie du plan. Par exemple, dans un rapport publié en 2004, des chercheurs européens renommés ont fait remarquer que les pâturages constituent les endroits détenant la majeure partie du potentiel pour produire des biocarburants et ont déclaré que : « L'une des conditions préalables pour développer le potentiel bioénergétique de toutes les régions consiste à... remplacer les systèmes de gestion agricoles inefficaces et peu intensifs actuels par des systèmes de gestion agricole et de gestion technologique basés sur les meilleures pratiques d'ici 2050⁷³. » Autrement dit : « Débarrassons-nous de la paysannerie. »

Le fait de cibler les terres des peuples marginalisés avec autant d'emphase mène clairement au constat suivant : la soi-disant nouvelle bioéconomie ne peut prendre racine que si elle réussit à déplacer les bioéconomies déjà en place.

L'histoire de deux bioéconomies

Économies basées sur la biomasse

Homogènes – Réduisent les plantes et les autres formes de vie à leur plus simple expression, soit des sources indifférenciées de *matières premières* : sucres, amidon, cellulose, huile, etc.

Uniformes – Favorisent l'approvisionnement à grande échelle à partir de monocultures et de plantations en engendrant la destruction des forêts et le défrichage des terres.

Obéissent aux diktats du marché – Basées sur la transformation industrielle de la biomasse en marchandises destinées au marché mondial, comme, par exemple : électricité, biocarburants, produits chimiques en vrac, produits pharmaceutiques, textiles.

Hautes technologies – Font appel à des technologies brevetées (privées) et capitalistiques afin de transformer la biomasse : biotechnologie, biologie synthétique, chimie synthétique. Le processus d'innovation est rapide et ses fruits sont promptement – voire prématurément – diffusés à grande échelle.

Réductionnistes – La nature est essentiellement considérée pour sa valeur commerciale et son potentiel de générer des profits.

Économies basées sur la biodiversité

Hétérogènes – Différencient les plantes et les autres formes de vie en de multiples espèces; considèrent leurs différents organes et parties comme ayant des propriétés et des fonctions spécifiques.

Diversifiées – Favorisent la culture à petite échelle de différents végétaux et la cueillette sauvage. Lorsqu'il est nécessaire, le défrichage des terres s'effectue selon un processus de rotation ou de culture itinérante.

Motivées par la subsistance – Basées sur la transformation des matières animales et végétales par les individus ou les communautés à des fins personnelles ou communautaires, dont : médicaments, aliments, autres objets pour usages culturels et spirituels.

Technologies appropriées – Font appel à des technologies adaptées à l'humain et centrées sur les communautés afin de transformer les plantes : séchage, fermentation, cuisson. Le processus d'innovation peut être rapide, mais seulement à petite échelle. La diffusion à grande échelle des fruits de l'innovation se fait par contre lentement.

Holistiques – La nature est empreinte de valeurs culturelles et spirituelles; elle est souvent perçue comme sacrée.

Un accaparement des terres au profit de la biomasse

« Notre perspective constitue une formidable occasion d'aider certains pays africains à développer une nouvelle industrie en... hum... heu... explorant une certaine partie des terres agricoles et en créant de formidables opportunités d'emplois. Je considère cela comme la meilleure opportunité qui soit pour les pays tropicaux de tirer profit de la demande de plusieurs pays en développement et de l'ensemble des pays développés. »

– John Melo, directeur général d'Amryris Biotechnologies, Inc.⁷⁴

En 2008, l'organisation de la société civile GRAIN a levé le voile sur la forte augmentation de l'acquisition de terres agricoles dans les pays du Sud par les États riches et les investisseurs privés étrangers⁷⁵. Deux ans plus tard, un rapport de la Banque mondiale fondé sur les recherches de GRAIN a dénombré 464 projets couvrant au moins 46,6 millions d'hectares de terre, surtout situés en Afrique subsaharienne⁷⁶. Selon GRAIN, ceux qui se cachent derrière ce phénomène – en grande partie des investisseurs cherchant à mettre leur argent à l'abri des marchés financiers qui s'écroulent – tentent d'acheter des terres à bas prix dans le but de les rendre rapidement économiquement productives, ce qui leur permet de réaliser un rendement du capital investi de 400 % en aussi peu qu'une dizaine d'années⁷⁷.

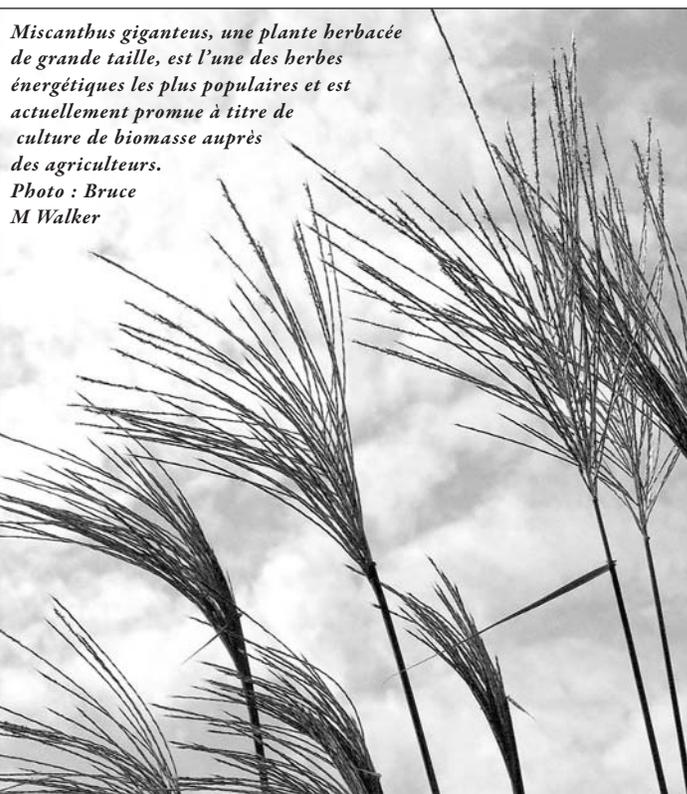
Mue par sa promesse de transformer les abondantes cultures de sucres, de cellulose et d'huile en marchandises de forte valeur, l'économie émergente de la biomasse incite clairement à la mainmise sur les terres. Une analyse effectuée en 2010 par les Amis de la Terre portant sur le phénomène dans 11 pays africains montre en effet qu'au moins cinq millions d'hectares de terre – une superficie équivalente à celle du Danemark – sont déjà en voie d'être acquis par des entreprises étrangères afin de produire des biocarburants majoritairement destinés aux marchés du Nord⁷⁸. La Banque mondiale considère que 21 % des projets d'acquisition de terres sont motivés par les biocarburants⁷⁹ et reconnaît de manière explicite que les politiques des pays du Nord, comme les obligations en vertu desquelles le carburant vendu doit contenir un pourcentage déterminé de biocarburant, y ont joué un rôle clé :

« Les programmes gouvernementaux pour les biocarburants peuvent avoir d'importants effets indirects sur le changement de l'affectation des terres, particulièrement en ce qui a trait à la conversion des pâturages et des forêts. »

Il est en fait attendu qu'à l'échelle mondiale, la conversion des terres en vue de la production de matières premières pour les biocarburants touchera entre 18 et 44 millions d'hectares d'ici 2030⁸⁰.

« L'essor des biocarburants sur notre continent est en train de transformer les forêts et la végétation naturelle en cultures énergétiques, enlevant ainsi aux communautés leurs terres dédiées aux cultures alimentaires et créant des conflits fonciers parmi les peuples locaux. »

– Marianne Basse, coordonnatrice de l'alimentation et à l'agriculture pour Environmental Rights Action et la branche nigérienne des Amis de la Terre.⁸¹



Miscanthus giganteus, une plante herbacée de grande taille, est l'une des herbes énergétiques les plus populaires et est actuellement promue à titre de culture de biomasse auprès des agriculteurs.

Photo : Bruce M Walker

L'expédition de copeaux de bois, un nouveau commerce de biomasse

« Le bois est rapidement en train de devenir une partie très importante du cocktail énergétique et sera, d'ici quelques années, une marchandise mondiale tout comme le pétrole. »

– Heinrich Unland, directeur général de Novus Energy GmbH, Allemagne⁸²

L'accaparement des terres aux fins de production de matières premières pour les biocarburants n'est qu'un aspect de la mainmise de l'entreprise sur les ressources et les terres des pays du Sud. Le phénomène est déjà en cours alors que la cellulose (et la biomasse ligneuse en particulier) acquiert une valeur croissante pour l'industrie. L'exemple le plus évident de cela réside probablement dans l'émergence d'un commerce mondial de copeaux, de granules et de sciure de bois, qui servent de carburants aux brûleurs de biomasse afin de produire de l'électricité. Ce commerce est actuellement relativement peu développé et surtout établi en Europe (dont 70 % dans les pays baltes). Un rapport émanant de l'industrie prévoit cependant une augmentation d'un facteur pouvant varier entre 80 et 150 au cours des prochaines années⁸³. L'industrie prévoit également une transition probable vers la fabrication de granules (sciure de bois compactée) à partir de cultures énergétiques à croissance rapide, ce qui risque ultimement d'accélérer la déforestation.

Selon des estimations en provenance de l'industrie, la production de granules de bois, qui était virtuellement inexistante il y a 15 ans, a atteint environ 10 millions de tonnes courtes en 2008. Il est prévu que ce chiffre doublera au cours des quatre ou cinq prochaines années, et certains experts de l'industrie entrevoient une croissance annuelle mondiale de l'ordre de 25 à 30 % au cours des dix prochaines années⁸⁴. Notamment, les cibles que s'est fixées l'Europe en matière de carburants issus de la biomasse stimulent la quête de copeaux de bois à meilleur prix dans les pays du Sud, de même que l'approvisionnement auprès des États-Unis.

- Il semblerait que MagForest, une entreprise canadienne opérant en République démocratique du Congo, envoie annuellement 500 000 tonnes métriques de copeaux de bois en Europe.
- IBIC Ghana Limited soutient qu'elle peut exporter mensuellement du Ghana 100 000 tonnes métriques de bois d'essences tropicales feuillues et résineuses à titre de matières premières issues de la biomasse.
- L'entreprise étasunienne Sky Trading offre de fournir jusqu'à 600 000 tonnes métriques de copeaux de bois provenant des États-Unis ou du Brésil.
- Selon des documents étudiés par la Coalition mondiale des forêts, le Brésil est en train de prendre les moyens de répondre à la demande européenne en copeaux de bois en augmentant la superficie de ses plantations – surtout composées d'espèces exotiques comme l'eucalyptus – de 27 millions d'hectares⁸⁵.

Les cultures énergétiques : changement à la ferme

Bien que les tenants de la bioéconomie prétendent que la transition vers les biocarburants cellulosiques n'affectera pas la production alimentaire, il reste néanmoins que d'importants changements sont envisagés à la ferme. Le dessein consistant à retirer davantage de paille et de tiges, de même que celui d'accroître la superficie des terres vouées aux cultures énergétiques modifiera de manière drastique le schéma d'utilisation des sols et les systèmes agricoles, en plus d'ajouter une pression additionnelle sur les paysages ruraux.

Selon Jack Huttner, anciennement rattaché à DuPont Danisco Cellulosic Ethanol et actuellement vice-président directeur des affaires publiques et commerciales chez Gevo, une entreprise étasunienne qui travaille au développement de biocarburants de la prochaine génération, rendre les biocarburants cellulosiques viables demande non seulement de construire des centaines de bioraffineries, mais également d'entourer chacune d'elles de milliers d'acres de cultures énergétiques, telles que de l'herbe de prairie. « Nous parlons d'une transformation plutôt importante du paysage économique rural », a indiqué Huttner au magazine *BusinessWeek* en 2009. Les entreprises œuvrant dans le domaine des biocarburants devront outiller les agriculteurs afin qu'ils puissent planter des cultures énergétiques dédiées comme le panic érigé sur des millions d'acres.

« Je suis préoccupé par l'idée d'organiser une nouvelle économie », a-t-il indiqué, expliquant que les grandes entreprises, et non pas les petites, sont les seules ayant la capacité de concrétiser ces transformations⁸⁷.

Récolter, presser, faire sécher et entreposer de grandes quantités de plantes cellulosiques et de tiges de maïs engendrent également de nouveaux défis. La première vague de profits au sein de la nouvelle bioéconomie semble bénéficier aux fabricants d'équipement tel que le fournisseur d'équipement agricole John Deere, qui a récemment signé une entente de collaboration de recherche avec Monsanto et Archer Daniels Midland (ADM) visant la récupération des résidus de cultures. Emballer les tiges de maïs récoltées d'une manière suffisamment compacte pour que leur transport vers, par exemple, une usine de transformation demeure économiquement viable s'avère être un obstacle majeur. Assurer le séchage adéquat de la biomasse récoltée afin de prévenir la moisissure lors de son entreposage, de même qu'assurer qu'elle ne contienne aucune particule de sol qui pourrait interférer avec les procédés de fermentation constituent deux autres défis importants. Sam Acker, directeur commercial de la récolte et de l'agriculture de précision chez Case IH North

America, a indiqué au magazine *Corn and Soybean Digest* en novembre 2008 qu'« en raison des défis que représentent le séchage et la densification des tiges de maïs, il peut être difficile d'en faire une matière première majeure pour la production d'éthanol⁸⁸ »

« Je crois que le plus grand problème de tous est de savoir comment nous allons faire croître, amasser, entreposer et traiter la biomasse. »

- Brent Erickson, lobbyiste pour l'Organisation de l'Industrie de la Biotechnologie (BIO).⁸⁶

La question de l'innocuité des nouvelles plantes énergétiques telles que le miscanthus ou le panic érigé pour les écosystèmes agricoles n'a pas non plus trouvé de réponse claire. En septembre 2006, une équipe de chercheurs écrivait dans le journal scientifique *Science* que ces plantes constituent

vraisemblablement des espèces invasives. « La plupart des caractéristiques qui sont identifiées comme étant désirables pour des cultures énergétiques – aucune maladie ou nuisible connu, croissance rapide, grande efficacité à utiliser l'eau – sont autant de signaux d'alarmes pour les biologistes spécialisés dans les espèces invasives », a indiqué Robert N. Wiedenmann, professeur d'entomologie à l'Université de l'Arkansas. M. Wiedenmann utilise le sorgho d'Alep (*Sorghum halepense*) pour illustrer le cas de cultures *apparemment sans danger* qui furent introduites aux États-Unis, devinrent invasives et qui, dans trois États seulement, causent maintenant des pertes annuelles de l'ordre de 30 millions de dollars pour l'industrie du coton et du soya⁸⁹.

Aux États-Unis, le conseil consultatif fédéral sur les espèces invasives sonna l'alarme en août 2009. « En l'absence de mesures de mitigation stratégiques, il y a un risque substantiel pour que certaines cultures énergétiques se répandent au-delà de leur site d'implantation et causent des dommages socio-économiques et/ou environnementaux », a averti le Invasive Species Committee dans un livre blanc intitulé *Cultivating Energy Not Invasive Species*⁹⁰. Ce document fait remarquer que « certaines espèces de plantes ciblées pour la production de biocarburants – par exemple, l'alpiste faux-roseau (*Phalaris arundinacea*), la canne de Provence (*Arundo donax*) et le miscanthus (ou herbe à éléphant; *Miscanthus sinensis*) – sont généralement déjà invasives dans certaines régions des États-Unis et du monde. »

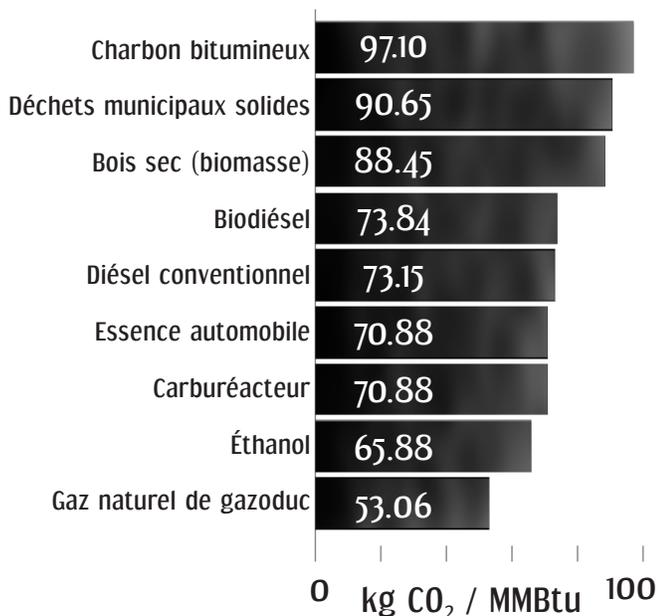
Fait préoccupant, le Comité a cessé de se prononcer contre l'utilisation de cultures énergétiques invasives, recommandant plutôt que les phytogénéticiens introduisent des *caractéristiques souhaitables* permettant d'éviter qu'elles ne se répandent indûment dans l'environnement, dont « la stérilité ou la réduction de la production de semences et l'incapacité de se reproduire par fragmentation des tiges⁹¹. » Bien que cette prescription suggère d'abord et avant tout de développer des cultivars stériles de miscanthus par l'entremise de l'hybridation, un tel langage ressemble également dangereusement à une incitation à doter les cultures énergétiques de technologies génétiques restrictives comme la fameuse technologie *Terminator*.

Carboneutralité : émission nette nulle de dioxyde de carbone. Fait référence à des procédés qui, dans leur ensemble, ne contribuent pas à augmenter la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Les tenants de la biomasse affirment que l'utilisation industrielle de biomasse est carboneutre parce que les plantes qui croissent fixent du dioxyde de carbone par photosynthèse, de sorte que les procédés utilisant la biomasse finissent par absorber tout le dioxyde de carbone qu'ils émettent. Cette perception est trompeuse et inexacte.

« *Nous nous accrochons à la paille (et à toute autre forme de biomasse) dans l'espoir désespéré qu'il existe une manière facile de s'en sortir.* »
 – George Monbiot,
The Guardian,
 2009⁹²

Émissions de CO₂ de différents types de carburants

Quantité de CO₂ émise lors de la production de 1 million de BTU (MMBTU), mesurée à la cheminée ou au tuyau d'échappement :



Sources: (1) *Annual Energy Outlook 2010, avec prévisions jusqu'en 2035*; 11 mai 2010 http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/carbon_dioxide.html

(2) *ELA Voluntary Reporting of Greenhouse Gases Program Fuel Carbon Dioxide Emission Coefficients*, disponible en ligne à <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html>

Le mythe de la carboneutralité

Lors des rencontres internationales portant sur les politiques climatiques, de nombreuses autorités et plusieurs négociateurs considèrent à tort que la production d'énergie à partir de la biomasse ne contribue pas au réchauffement planétaire parce que les émissions de carbone qui en découlent sont théoriquement recaptées par les végétaux qui seront replantés. Cette conception fantaisiste ne résiste toutefois pas à une analyse plus poussée. Considérons les faits suivants :

La combustion de biomasse peut générer davantage d'émissions de dioxyde de carbone (CO₂) que les carburants fossiles. Cela est vrai car il faut brûler beaucoup plus de biomasse que de combustibles fossiles pour obtenir la même quantité d'énergie. Selon l'Agence d'information sur l'énergie du gouvernement étasunien, brûler du bois de feuillus génère un peu moins de CO₂ par unité d'énergie que le charbon, mais beaucoup plus que le pétrole ou le gaz naturel. Certains analystes affirment que les émissions de CO₂ mesurées à la cheminée d'usines brûlant de la biomasse sont même supérieures à celles générées par la combustion du charbon lorsque le contenu en eau de la biomasse (humidité) est élevé⁹³.

Le dioxyde de carbone généré lors de la combustion de la biomasse est rapidement émis vers l'atmosphère, mais peut prendre plusieurs décennies avant d'être recapté. Lorsqu'il est brûlé à des fins énergétiques, un arbre mature (80-100 ans) ne prend que quelques minutes pour libérer son contenu en carbone dans l'atmosphère sous forme de CO₂. Par contre, il faudra une centaine d'années pour recapturer ce carbone, si toutefois cet arbre est remplacé. Durant cette période de 100 ans, le CO₂ émis reste dans l'atmosphère, contribuant aux changements climatiques, alors que les règles de comptabilisation des émissions ne considèrent pas ce dernier (voir la section intitulée *Une grave erreur de comptabilisation à l'échelle mondiale*, page 20). Les tenants de la bioéconomie proposent de remplacer les arbres matures par des variétés végétales à croissance rapide telles que le peuplier ou l'eucalyptus, affirmant que ces dernières constituent des puits de carbone plus efficaces que les forêts anciennes. Une telle affirmation a été catégoriquement rejetée récemment, la nouvelle orthodoxie soutenant au contraire que les forêts anciennes sont plus efficaces que celles qui sont jeunes pour fixer du carbone atmosphérique⁹⁴.

Perturber les sols et modifier l'utilisation des terres dans le but de cultiver ou de récolter de la biomasse génèrent d'importantes émissions de gaz à effet de serre (GES). On estime qu'à eux seuls, les 100 premiers centimètres du sol sur l'ensemble de la planète contiendraient 1 555 milliards de tonnes métriques de carbone, que ce soit sous la forme de microorganismes, de racines, de composés organiques retrouvés dans les agrégats de particules de sol, d'insectes ou d'autres représentants de la faune édaphique⁹⁵. Cette quantité de carbone représente plus du double (2,5 fois) de celle qui est contenue dans toutes les plantes terrestres vivant à la surface de la planète; cette quantité est en outre du même ordre de grandeur que la quantité de carbone retrouvée dans l'atmosphère. La perturbation de cette couche de sol qu'engendrent l'agriculture industrielle, la déforestation et les plantations en monocultures très demandereses en intrants synthétiques de même que les autres changements dans l'utilisation des terres représente l'un des principaux contributeurs aux émissions anthropiques de carbone.

Même le très prudent rapport Stern de 2006 portant sur les coûts économiques des changements climatiques a estimé qu'en 2000, le changement d'affectation des terres était la deuxième plus grande source d'émissions de GES, juste derrière le secteur de l'énergie⁹⁶.

Selon le rapport Stern, 18 % des émissions de GES furent engendrées par des changements dans l'utilisation des terres, la déforestation y contribuant largement avec des émissions annuelles de 8 milliards de tonnes métriques de CO₂⁹⁷. Le retrait de matière cellulosique à partir des champs est responsable d'une dégradation accrue des sols, réduisant leur potentiel de fixation du carbone. Par exemple, des études ont démontré que les sols agricoles des États-Unis ont perdu entre 30 et 50 % de leur contenu en carbone organique depuis les débuts de l'agriculture (soit un plus d'un siècle dans la majorité des cas). Un article paru en 2009 montre que peu importe les quantités en jeu, le retrait des tiges de maïs (soit les tiges qui ne sont normalement pas récoltées et qui sont retournées au sol lors du labourage) contribuerait à abaisser la teneur en carbone des sols, de même qu'à réduire le rendement des cultures au cours des années subséquentes⁹⁸.

La production agricole et le transport de matières premières issues de la biomasse sont des activités fortement émettrices de GES. Selon une analyse effectuée par l'organisation de la société civile GRAIN, le système agroalimentaire industriel est la principale cause des changements climatiques, générant entre 44 et 57 % des émissions mondiales de GES⁹⁹. Cette estimation comprend le défrichage des terres, l'énergie employée pour la production de semences, la machinerie nécessaire pour semer, récolter et transporter la production, l'irrigation, les GES émis par le bétail, ainsi que la perturbation des sols entraînée par l'utilisation de pesticides et de fertilisants. La destruction des forêts et l'aménagement de plantations engendrent également d'importantes émissions de GES, tenant compte notamment du transport et de l'utilisation d'équipements destinés à la coupe et au débardage. En raison du contenu énergétique relativement faible de la biomasse, procéder au débardage du bois à l'aide de camions consomme plus d'énergie que de transporter du charbon, du pétrole ou du gaz. Cela est particulièrement vrai dans le cas de la biomasse destinée à la production de biocarburants ou de produits chimiques plutôt qu'à la production d'électricité. La transformation de la biomasse en ces produits possède un taux de conversion énergétique moindre que la combustion, et engendre généralement des résidus qui doivent être éliminés, ce qui ajoute au coût énergétique d'ensemble.

Le retrait de la matière cellulosique à partir des champs pour en faire de la biomasse engendrera des besoins accrus en fertilisants afin de maintenir la fertilité des sols. Les fertilisants à base de nitrophosphate relâchent de l'oxyde nitreux – un gaz à effet de serre ayant un potentiel de réchauffement 298 fois plus puissant que le CO₂¹⁰⁰. L'utilisation mondiale de fertilisants a déjà subi une augmentation de 31 % entre 1996 et 2008, un phénomène partiellement attribuable aux cultures énergétiques¹⁰¹. Outre leur effet direct sur les émissions de GES, la production et l'application de fertilisant sont d'abord et avant tout des activités très énergivores (et consomment donc beaucoup de carbone). Une étude parue en 1998¹⁰² estimait que la production de fertilisants était responsable d'environ 1,2 % des émissions totales de GES – soit l'équivalent de la totalité des émissions de l'Indonésie ou du Brésil. Aux États-Unis seulement, la production et l'utilisation de fertilisants représentent 30 % de toute l'énergie consommée en agriculture.

Enfin, les fertilisants comportent un effet indirect supplémentaire sur les concentrations atmosphériques de GES, lorsque les nitrates lessivés à partir des sols fertilisés contribuent à créer des zones anoxiques dans les océans, ces dernières pouvant relâcher d'énormes quantités de dioxyde de carbone, de méthane et d'oxyde nitreux.

Le retrait de la végétation pour la production de biomasse peut également contribuer aux changements climatiques en modifiant la quantité de chaleur qui est conservée dans l'atmosphère. Les scientifiques considèrent qu'en Australie, par exemple, la perte de végétation naturelle a eu pour effet de réduire la formation de nuages, faisant ainsi en sorte que moins de chaleur était réfléchi vers l'espace. Ce phénomène a amplifié les conséquences des récentes sécheresses reliées aux changements climatiques, élevant la température de 2 ou 3 degrés Celsius. Ces changements survenus en Australie ont contribué à l'effondrement de sa productivité agricole¹⁰³.



Une grave erreur de comptabilisation à l'échelle mondiale

Dans le cadre des efforts de lutte aux changements climatiques, de nombreux instruments politiques nationaux et internationaux sont basés sur la fausse supposition que l'énergie issue de la biomasse est intrinsèquement *carboneutre*. L'origine de cette erreur commune réside dans les méthodes de comptabilisation du carbone enchâssées dans la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC).

En 2001, l'organisme scientifique consultant le CCNUCC, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), a d'abord décrit l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques comme étant un « système fournissant de l'énergie à faibles émissions en carbone » et indiqua sans détour que « les biocarburants liquides, lorsqu'ils remplacent les carburants fossiles, auront un impact direct sur la réduction des émissions de CO₂. En conséquence, la production de bioénergie en concomitance avec certaines mesures de fixation du carbone peuvent permettre de maximiser les bénéfices découlant des stratégies de réduction des émissions¹⁰⁴. » En 2007, l'enthousiasme du GIEC semble avoir été ébranlé : « Selon leur mode de production, les biocarburants pourraient jouer un rôle important dans la réduction des émissions de GES du secteur des transports¹⁰⁵. »

Malgré ce revirement, l'esprit des politiciens reste bien imprégné par l'impression à l'effet que la promotion des usages énergétiques de la biomasse dans les stratégies nationales constitue un moyen légitime et relativement facile de respecter leurs engagements en matière de lutte contre les changements climatiques.

Les règles actuelles de calcul des émissions de carbone dans le cadre du Protocole de Kyoto ne prennent pas du tout en compte l'énergie produite à partir de biomasse en tant que source d'émissions, sans aucune considération à l'égard de la manière par laquelle est assuré l'approvisionnement en biomasse, ni des quantités de carbone additionnelles qui sont relâchées au cours du procédé de production. Ceci résulte d'une décision du GIEC à l'effet que les émissions de carbone associées à la production de bioénergie soient considérées comme faisant partie des changements d'utilisation des terres plutôt que comme une conséquence de l'utilisation de l'énergie et ce, afin d'éviter un double comptage. Toutefois, le Protocole de Kyoto a seulement comptabilisé les émissions du secteur énergétique et ainsi, l'énergie issue de la biomasse bénéficia d'un *sauf-conduit*. Cette exception instaure une puissante motivation économique pour les pays à se convertir aux sources d'énergies issues de la biomasse les plus abordables disponibles afin de respecter les cibles d'émissions de CO₂ et d'obtenir des crédits de carbone. Selon une récente étude de modélisation, la politique visant à exempter les énergies issues de la biomasse pourrait pousser les pays à remplacer toutes les forêts et les savanes naturelles du monde par des cultures énergétiques. Un tel remplacement massif des forêts pourrait potentiellement relâcher des centaines de milliards de tonnes de carbone sur une brève période (moins de 20 ans). Un tel scénario engendrerait une perte catastrophique de la biodiversité et de dangereuses conséquences climatiques en moins d'un siècle¹⁰⁶.

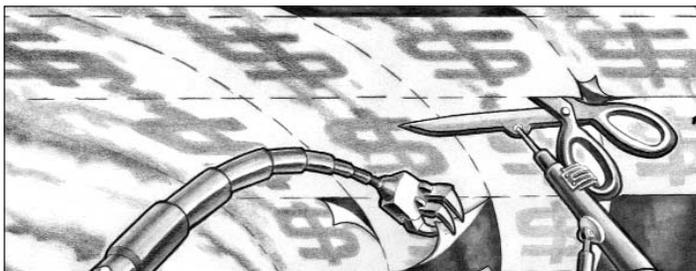
Cette perspective alarma même les défenseurs de l'énergie issue de la biomasse, si bien qu'en octobre 2009, 13 scientifiques et experts en matière de politique – certains de ceux-ci étant étroitement associés aux protocoles originaux de comptabilisation sous Kyoto – avertirent que l'exemption de la biomasse au sein des protocoles de comptabilisation du carbone constituait une *sérieuse* lacune, d'ailleurs *lourde de conséquences*, de l'accord mondial sur le climat¹⁰⁷. Selon eux, cette *erreur de comptabilisation* pourrait être corrigée si les émissions reliées à l'énergie issue de la biomasse étaient, à l'instar de celles reliées aux carburants fossiles, mesurées à la sortie des cheminées et des tuyaux d'échappement, et que tout gain en matière de captage du carbone était mesuré séparément et crédité en tenant compte des pratiques réelles de gestion des terres et de production des différentes technologies de biocarburants et de biomasse. Établissant une analogie avec la récente crise financière, les auteurs – surtout des tenants des biocarburants cellulosiques – laissèrent entendre que la question de la comptabilisation erronée avait le potentiel de discréditer l'ensemble du programme de la biomasse. « Tout comme dans le cas des vérifications financières, il est important que les vérifications des bilans de carbone soient adéquates dès le début », a indiqué Philip Robertson, professeur à l'Université de l'État du Michigan et co-auteur. « Les bénéfices escomptés des biocarburants cellulosiques sont grands, autant pour notre climat que pour notre économie. Nous ne voulons pas constater plus tard que la nouvelle économie que nous avons construite n'était en fait qu'un château de carte¹⁰⁸. »

Le marché du carbone issu de la biomasse

La CCNUCC a non seulement considérée à tort la biomasse comme étant carboneutre, elle a également mis en place des mécanismes institutionnels pour récompenser financièrement l'essor de la nouvelle économie de la biomasse. Bien que la réduction des émissions de GES (principalement le dioxyde de carbone) à l'échelle des pays ait été la pièce maîtresse du Protocole de Kyoto, les délégués ont acquiescé, lors des dernières négociations, aux propositions des États-Unis visant à introduire ce qu'il est convenu d'appeler des *flex mex* (soit des mécanismes flexibles) qui permettraient l'échange de quotas d'émission selon un plafond établi et sévère, ainsi que des mesures au sein de ces mécanismes permettant de monnayer les *puits* de carbone biologiques et géologiques¹⁰⁹.

L'article 3.3 de la Convention-cadre permet également aux Parties de se voir octroyer des crédits ou des débits d'émission de carbone selon la manière dont ils aménagent leurs propres puits de carbone. Par puits, ceux qui soutiennent les *flex mex* avaient en tête que les plantes, les sols et les océans captaient naturellement du CO₂ atmosphérique; conséquemment, ils affirmèrent que des mesures permettant de protéger les puits de carbone et d'améliorer leur potentiel – comme par exemple planter plus d'arbres, prévenir l'érosion des sols – devraient être éligibles à des crédits échangeables. Ces crédits pourraient être émis, par exemple, dans le cadre du nouveau *Mécanisme de développement propre* (MDP) du Protocole de Kyoto ou de ce qu'il est convenu d'appeler *projets d'application conjointe*. Le MDP encourage notamment les entreprises et les pays du Nord à investir dans des projets implantés dans les pays du Sud et permettant de réduire ou d'éviter des émissions de GES.

Bien qu'initialement les projets agricoles et forestiers étaient limités et ne constituaient qu'une petite partie des projets du MDP, les mécanismes flexibles sont devenus de plus en plus permissifs à compter de 2001, donnant ainsi l'occasion à la production de biomasse dans des forêts existantes de recevoir des crédits et d'être monnayée plus facilement. Les entreprises œuvrant dans les domaines de la bioénergie et des produits chimiques issus de la biologie ont depuis ce temps fait activement du lobbying afin que le MDP puisse étendre son financement à l'ensemble des secteurs de l'économie de la biomasse. À partir de 2005, des méthodes furent approuvées afin de financer la production d'électricité à partir de résidus de plantations telles que la canne à sucre, la bagasse, la balle de riz et les grappes de fruits des palmiers à huile. À partir de septembre 2006, le MDP a accepté l'usage de la biomasse pour la production d'eau chaude. Dès 2009, les projets de production de biodiésel sur des terres soi-disant dégradées sont également devenus admissibles aux crédits du MDP. En février 2010, le conseil du MDP a décidé d'octroyer des crédits aux centrales électriques qui brûlent de la biomasse, incluant les centrales au charbon qui font de la cocombustion avec de la biomasse¹¹⁰.



Découper le ciel Illustration : Beehive Design Collective

En octobre 2010, 705 projets de biomasse étaient soit approuvés, soit en instance de l'être pour recevoir 45 millions de crédits de carbone certifiés dans le cadre du MDP, l'Inde (318 projets), la Chine (101 projets) et le Brésil (94 projets) étant les pays ayant présenté la majeure partie de ceux-ci. Cela représente 12,75 % de tous les projets du MDP, positionnant les projets de biomasse juste après les projets éoliens et hydroélectriques¹¹¹. En monnaie courante, ces crédits vaudraient environ un demi-milliard de dollars, lesquels viennent s'ajouter à la valeur globale de l'économie de la biomasse¹¹².

Entretemps, une industrie non régulée de crédits de carbone *volontaires* a émergé en marge du Protocole de Kyoto à partir d'entreprises, dont Future Forests, associant des projets de biomasse et de bioénergie à de nouveaux crédits de carbone pouvant être vendus à des individus afin que ceux-ci puissent *compenser* un mode de vie qui engendre des émissions de carbone élevées. La Banque mondiale estime que le marché du carbone vaut actuellement 144 milliards de dollars, les transactions nationales et régionales étant en pleine expansion en Europe, en Asie et en Amérique du Nord¹¹³.

Le marché du carbone issu de la biomasse, prise 2. Le programme REDD des Nations Unies contribue à la mainmise

Les effets combinés de la méthode erronée de comptabilisation du carbone de la CCNUCC et du financement qu'elle accorde aux projets bioénergétiques a déjà suffisamment alluré d'une attaque contre la biodiversité, mais comme si cela n'était pas suffisant, cette même entité internationale s'apprête à mettre en place un troisième mécanisme pour commercialiser la biomasse. L'initiative Réduire les émissions provenant de la déforestation et de la dégradation des forêts (ou REDD en anglais pour Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation) présentement en négociation à la CCNUCC tente d'attribuer une valeur monétaire à la biomasse forestière en se basant sur son contenu en carbone. L'idée derrière l'initiative REDD est de cautionner le carbone contenu dans la biomasse forestière à l'aide de garanties financières pouvant être monétisées et échangées au même titre que n'importe quelle autre marchandise. Ceux qui appuient cette initiative affirment qu'elle offrira un incitatif afin d'empêcher l'abattage d'arbres et la déforestation. En transformant la biomasse en devise, l'initiative REDD aggrave la perte de biodiversité en transformant les organismes vivants en réserves de carbone pouvant être transformées en marchandises. Alors que l'industrie forestière a été accusée de ne pas voir la forêt qui se cache derrière l'arbre, l'initiative REDD n'arrive même pas à *voir l'arbre qui se cache derrière le carbone qu'il contient*.

En conséquence d'une telle vision réductionniste, il y a de fortes chances que la mise en application de l'initiative REDD porte préjudice autant à la biodiversité qu'aux communautés qui en dépendent.

En particulier, le plan d'action de Bali de la CCNUCC recommande d'adopter « des approches politiques et des mesures incitatives positives face aux questions touchant la déforestation et la dégradation des forêts dans les pays en développement, de même que face au rôle de la conservation, de l'aménagement durable des forêts et l'augmentation des réserves de carbone forestier dans les pays en développement. » Une fois décodé, cet extrait de ce qu'il est convenu d'appeler l'initiative REDD+ autorise l'expulsion des peuples traditionnels à des fins de *conservation*, et subventionne les activités forestières commerciales qui rencontrent des critères d'*aménagement durable* préalablement convenus. Qui plus est, en mentionnant l'augmentation des réserves de carbone forestier, la raison d'être de l'initiative REDD+ semble être de récompenser monétairement la conversion de la forêt en plantations industrielles d'arbres, s'appuyant sur des affirmations à l'effet que de telles plantations emmagasinent plus de carbone que la végétation naturellement en place. Tout cela comporte de graves conséquences pour la biodiversité et les communautés locales.

Avant même que l'initiative REDD ne soit mise en application et approuvée, les gouvernements, les grandes entreprises, les grandes ONG et les institutions internationales expérimentent d'ores et déjà cette nouvelle forme de financement du carbone issu de la biomasse et tentent de mettre en place des modèles similaires à l'initiative REDD. D'après l'organisation REDD Monitor, qui assure un rôle de chien de garde vis-à-vis l'initiative REDD, la Banque mondiale a déjà approuvé vingt-cinq projets sous l'égide de sa Forest Carbon Partnership Facility et trois autres par l'entremise de son BioCarbon Fund. Au même moment, toujours selon REDD Monitor, l'initiative collaborative des Nations Unies UN-REDD (regroupant le PNUD, le PNUE et la FAO) mène des projets pilotes en Bolivie, en République démocratique du Congo, en Indonésie, au Panama, en Papouasie-Nouvelle-Guinée, au Paraguay, en Tanzanie, au Viêt Nam en en Zambie, avec plus de 18 millions de dollars promis. Certains gouvernements, dont ceux de la Norvège, de l'Australie et de l'Allemagne, se sont engagés à fournir des fonds aux projets REDD se déroulant dans les pays du Sud, tout comme l'a fait un nombre croissant d'entreprises privées. Des organisations telles que Conservation International, le WWF, The Nature Conservancy et Environmental Defense Fund forment des partenariats avec des grandes entreprises incluant BP, Pacificorp, Merrill Lynch et Marriott Hotels. Des normes volontaires voient déjà le jour afin de définir ce qui est *durable* dans le cadre de l'initiative REDD, et les courtiers du carbone tels qu'EcoSecurities et la Caisse de dépôt sont en voie de commencer à tirer profit de toute la biomasse dont ils pourront s'emparer au sein des forêts mondiales¹¹⁴.



Photo : Orin Langelle, Global Justice Ecology Project

Le transfert des technologies de la biomasse : Initiative technologie et climat

L'économie de la biomasse jouit en fait d'un stimulant financier supplémentaire provenant de la CCNUCC, celui-ci se concrétisant par ses activités de transfert de technologie dans le cadre du traité climatique. En 1995, l'Agence internationale de l'énergie et l'OCDE ont mis sur pied l'Initiative technologie et climat (ITC) afin de faciliter le transfert de technologies *respectueuses du climat* du nord vers le sud. Il n'est pas surprenant de constater que la biomasse a joué un rôle de premier plan dans les activités de l'ITC. Le Private Financing Advisory Network (PFAN), soit la branche privée de l'ITC, agit à titre d'*agence de rencontre* afin de jumeler les investisseurs et les entreprises œuvrant dans le secteur technologique des pays du Nord avec des projets et courtiers des pays du Sud. Il agit également à titre de négociateur pour la conclusion d'ententes commerciales dans le domaine des *énergies propres* entre ces parties. Plus du tiers des 60 projets actuellement en cours d'élaboration par le PFAN – représentant une valeur de 823 millions de dollars – sont reliés à l'emploi de biomasse comme source d'énergie : production d'électricité à partir de biomasse, production de granules de bois destinées aux industries ou production de biodiésel¹¹⁵.

L'Économie verte, un foyer confortable pour la bioéconomie

Les multiples crises qui ont frappé le monde en 2007-2008 ont pris le système multilatéral par surprise. Au sein des efforts visant à se sortir de cette délicate situation, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a lancé en 2008 son initiative *Économie verte* afin d'aider les gouvernements à réformer et de réorienter leurs politiques, leurs investissements et leurs dépenses vers des « activités commerciales et des infrastructures qui permettent de meilleurs rendements sur les capitaux naturel, humain et financier investis, tout en réduisant les émissions de GES, extrayant et utilisant moins de ressources naturelles, créant moins de déchets et réduisant les inégalités sociales¹¹⁸. »

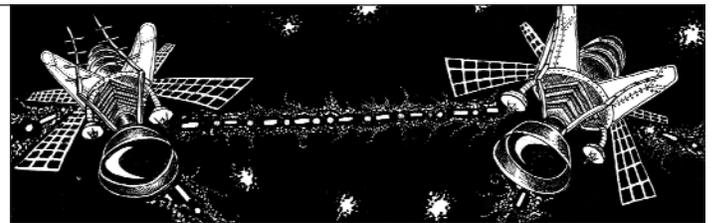
L'initiative *Économie verte* a reçu le seau officiel des Nations Unies avec le lancement, en 2009, de son *Global Green New Deal for Sustainable Development*. Cet accord vise à investir 1 % du PIB mondial (totalisant environ 750 millions de dollars) à titre de dépenses de relance, ainsi qu'à instituer des changements au sein des politiques nationales et internationales afin d'appuyer l'économie verte.

L'initiative REDD et la cartographie infrarouge de la biomasse

Les satellites et les avions peuvent dorénavant s'associer afin de cartographier et suivre (en 3D) la biomasse de même que les terres à identifier, aménager et exploiter dans le cadre de la nouvelle économie de la biomasse. Des caméras montées sur de petits aéronefs, incluant des hélicoptères, peuvent recourir à l'imagerie hyperspectrale afin d'analyser les régions visibles et infrarouge du spectre de la lumière révélant les variations de la végétation. Des mesures précises de la lumière permettent de déterminer la teneur en nutriments des sols, identifiant ainsi non seulement le type de couverture végétale, mais également ce qui se cache en-dessous, permettant de déterminer ce qui pourrait y pousser. La technologie en cause a été initialement développée afin de localiser des lieux de sépulture, mais s'est graduellement diversifiée pour répondre à une multitude de besoins allant de ceux des archéologues à ceux de la CIA.

Pour les investisseurs impliqués dans la mainmise sur les terres qui cherchent à *améliorer* le potentiel économique des terres soi-disant marginales, cette cartographie du monde végétal acquiert une valeur inestimable. Les possibilités à court terme de cette technologie comprennent l'identification aérienne des cultures brevetées et la possibilité de valider la présence, au sol, d'insectes ou de plantes pouvant trouver des usages industriels. Une fois la biodiversité repérée et mise à sac, les terres peuvent être utilisées à d'autres fins.

Les cartographes du monde végétal visent tout particulièrement le carbone. En septembre 2010, le Carnegie Institute de l'Université Stanford a annoncé qu'avec l'aide de ses partenaires du WWF et du gouvernement péruvien, il avait cartographié plus de 16 600 milles carrés (soit une superficie équivalente à la Suisse) de la forêt amazonienne.



Alors que les satellites cartographiaient la végétation et enregistraient les différentes perturbations, leur travail fut complété par un avion équipé d'un capteur LIDAR (pour Light Detection And Ranging) appartenant au Carnegie Institute afin de générer une représentation tridimensionnelle de la structure de la végétation de la région. Au sol, des scientifiques convertirent les données structurelles en termes de densité de carbone avec l'aide d'un modeste réseau de quadrats. En alliant des données géologiques, d'utilisation du territoire et d'émissions, le nouveau système du Carnegie Institute a permis d'indiquer au gouvernement péruvien – et à quiconque pouvant accéder aux données – que le réservoir total de carbone forestier de la région couverte a une masse équivalente à 395 millions de tonnes métriques. L'estimation de la quantité de carbone stockée du GIEC pour la région à l'étude était de 587 millions de tonnes métriques. Sous l'égide de programmes similaires à l'initiative REDD, la méthode mise au point par le Carnegie Institute pourrait permettre d'émettre plus de crédits par tonnes de carbone¹¹⁶. Pour ceux qui sont à la recherche de matières premières issues de la biomasse, cette méthode permet en outre de connaître ce qu'il est possible d'acheter. Enfin, l'utilisation de cette technologie est peu coûteuse. La cartographie du Pérou a coûté 8 cents l'hectare et une opération similaire effectuée à Madagascar s'est chiffrée à 6 cents l'hectare¹¹⁷. Mais bien entendu, dans le monde des matières premières issues de la biomasse et des échanges de carbone, la vraie question consiste à savoir quelle quantité de biomasse la terre peut-elle produire.

Illustration : the Beehive Design Collective

Un rapport publié en 2009 par HSBC Global Research a démontré que les gouvernements des pays membres du G20 ont déjà alloué plus de 430 milliards de dollars sous la forme d'encouragements fiscaux – soit l'équivalent de 15 % du montant total de 2,8 trillions de dollars – dans le domaine de la lutte aux changements climatiques et d'autres projets dits *verts*¹¹⁹. Plusieurs de ces projets peuvent ne pas être nouveaux, mais plutôt des projets déjà existants qui ont été réétiquetés afin de répondre aux critères *verts* établis.

L'économie verte a joui d'un vaste appui au sein des Nations Unies, le Groupe pour la gestion de l'environnement – l'organe des Nations Unies qui coordonne la direction de l'ensemble des agences spécialisées touchant l'environnement – ayant adopté l'initiative *Économie verte* dans son programme de travail biennal dans l'objectif d'évaluer comment le système des Nations Unies peut soutenir d'une manière plus cohérente les pays faisant la transition vers l'économie verte. Il n'est pas surprenant de constater que la promotion de l'économie verte fut accueillie avec enthousiasme par les gouvernements désireux de paraître proactifs en matière de lutte aux changements climatiques et de reprise de leurs économies. Le nouvel engouement pour le *verdissement* du système des Nations Unies permettra d'assurer un accueil chaleureux à la bioéconomie. Avec la gouvernance environnementale internationale, l'économie verte représente l'un des deux principaux thèmes de la Conférence des Nations Unies sur le développement durable (Rio+20) en 2012.

Il existe déjà des points de convergence entre la bioéconomie et l'économie verte. Les grands architectes de l'initiative *Économie verte* sont également les principaux auteurs du rapport d'étape *L'économie des écosystèmes et de la biodiversité* (EEB), ce dernier fournissant l'ancrage conceptuel de l'initiative REDD (de même que REDD+ et ses autres formes) et du concept naissant des *mesures compensant la perte de biodiversité*, qui constituent une facette de la bioéconomie : l'économie des services de la biodiversité. Les bioraffineries et la production utilisant des matières premières issues du vivant font partie des modèles d'*innovation verte* explicitement endossés par l'initiative *Économie verte*. Ayant amassé près d'un demi-milliard de dollars à partir des mesures d'encouragements fiscaux mises de l'avant par les gouvernements des pays riches en aussi peu de temps, l'économie verte constitue le carburant parfait pour alimenter les moteurs de la bioéconomie.

Watts (W), mégawatts (MW), gigawatts (GW) et térawatts (TW) : unités de puissance. Un watt désigne un taux d'utilisation d'énergie. Un mégawatt équivaut à un million de watts; un gigawatt équivaut à un milliard de watts et un térawatt équivaut quant à lui à un trillion de watts. Une ampoule domestique type consomme de manière continue entre 25 et 100 watts; un grand bâtiment commercial tel qu'un centre d'achat ou une usine consomme des mégawatts d'énergie; les plus importantes centrales de production d'électricité comme celles fonctionnant à l'énergie nucléaire peuvent produire plusieurs gigawatts d'énergie. Les térawatts sont généralement employés pour décrire l'utilisation d'énergie sur une échelle mondiale ou régionale.

Excéder le budget planétaire de la biomasse ?

La biomasse étant présentée comme la nouvelle matière première d'une économie post-pétrolière mondiale, une question essentielle demeure : y a-t-il suffisamment de biomasse sur Terre pour entreprendre une telle transition ? Aux fins de comparaison, la dernière fois que la population mondiale fut dépendante de la matière végétale pour répondre à la majeure partie de ses besoins en énergie, soit vers la fin des années 1890, la consommation mondiale en énergie était estimée à 600 gigawatts¹²¹. Les estimations de la consommation mondiale actuelle d'énergie varient entre 12 et 16 térawatts – une augmentation de la demande énergétique d'au moins 20 fois par rapport à l'ancienne *économie de la biomasse*. Cette demande en énergie est presque complètement assurée par les carburants fossiles, seule une infime partie étant assurée par les énergies nucléaire, hydraulique et de biomasse (environ 1,5 térawatt)¹²². D'après l'économiste énergétique Daniel Nocera du MIT, il est prévu que l'utilisation mondiale d'énergie augmentera de 19 térawatts d'ici 2050¹²³.

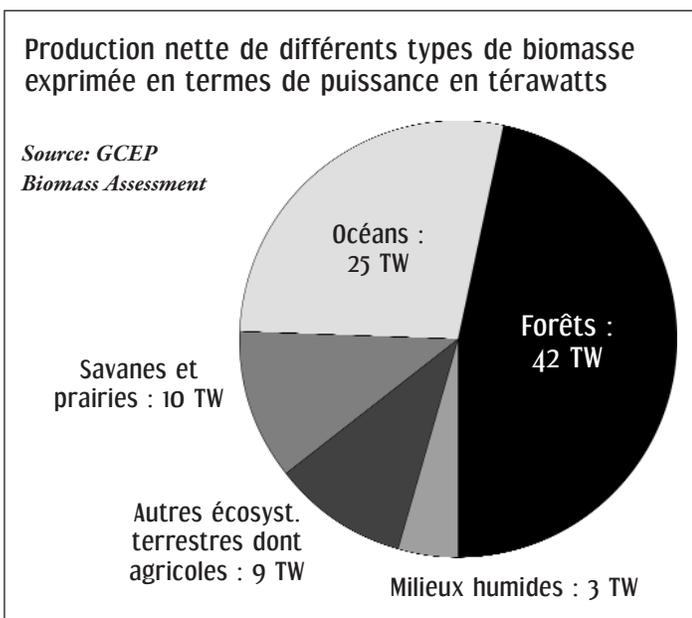
La biomasse pourrait théoriquement être en mesure de répondre complètement à cette demande mondiale en énergie. Chaque année, à peine plus que 100 milliards de tonnes métriques de carbone, renfermé dans 230 milliards de tonnes métriques de biomasse, sont ajoutées à la planète sous l'effet des 100 TW d'énergie que fournit le Soleil¹²⁴. Cela représente approximativement 6 fois la consommation énergétique mondiale actuelle, ou de 3 à 4 fois celle qui est prévue pour 2050¹²⁵.

Il faut cependant noter que les 230 milliards de tonnes métriques de biomasse mondiale ne sont pas facilement accessibles :

- Près de la moitié (100 milliards de tonnes métriques) de cette biomasse se trouve dans les océans, la plupart de cette dernière étant emprisonnée dans les microorganismes et les algues. Ceux-ci sont difficilement accessibles car souvent retrouvés dans les sédiments et les zones abyssales.
- Des 130 milliards de tonnes métriques qui restent et qui sont retrouvées sur la terre ferme, 24 % (soit 31,2 milliards de tonnes métriques) sont déjà utilisées par les humains pour produire des aliments, des matériaux de construction, du bois de chauffage et répondre à une foule d'autres besoins (ce qui est appelé *appropriation humaine de la production primaire nette*)¹²⁶.
- Les 98,8 milliards de tonnes métriques de biomasse annuellement produites qui restent font face à des demandes concurrentes. Les Nations Unies prévoient que la population humaine atteindra 9 milliards en 2050. Cela signifie une demande accrue en aliments, en fourrage, en fibres et en terres. Les économistes prédisent, par exemple, que l'utilisation du bois (e.g. pour fabriquer des madriers) est susceptible d'augmenter de 50 à 75 % d'ici 2050¹²⁷. L'industrie des pâtes et papiers planifie une capacité totale de plus de 25 millions de tonnes métriques de nouvelle pâte, une moyenne de cinq millions de tonnes métriques supplémentaires par année¹²⁸. Pendant ce temps, la FAO prévoit qu'en Afrique seulement, l'utilisation de bois de chauffage augmentera de 34 % d'ici 2020¹²⁹.

- De plus, alors que les changements climatiques se poursuivent, les pressions additionnelles qu'ils exercent sur les écosystèmes forestiers et agricoles peuvent sérieusement compromettre leur productivité, alors que des températures globales plus élevées et la fréquence accrue du phénomène El Niño feront augmenter les risques des feux de forêt. Entretemps, la recrudescence des infestations des cultures (maladies, insectes ravageurs) reliée aux changements climatiques, de même que l'impact de l'élévation des concentrations de CO₂ atmosphérique sur la croissance des plantes et les inondations peuvent réduire davantage la production actuelle de biomasse.
- Des études mesurant l'appropriation humaine de la biomasse mondiale concluent qu'en moyenne, pour chaque tonne de biomasse directement utilisée par la société humaine, cinq tonnes sont incidemment perdues en raison des changements de l'utilisation des terres, des procédés de fabrication et des déchets¹³⁰. Il est en outre désolant de constater qu'afin d'obtenir une image plus réaliste de leurs impacts sur la biosphère, il faudrait probablement multiplier par six la quantité officiellement annoncée de matières premières issues de la biomasse qui seraient nécessaires au développement des activités économiques basées sur la matière vivante. Le fait que l'énergie emmagasinée dans la production annuelle mondiale de biomasse équivaut à peu près au sixième des besoins énergétiques actuels suggère que les impacts indirects d'une conversion complète aux bioénergies pourraient engloutir la totalité de la production annuelle de biomasse de la Terre.

Une revue de 16 évaluations portant sur la disponibilité mondiale de biomasse indique que : « Selon les scénarios les plus optimistes, la bioénergie pourrait fournir plus de deux fois la quantité d'énergie nécessaire pour répondre à la demande mondiale actuelle et ce, sans faire compétition à la production alimentaire, aux efforts visant à protéger les forêts et à la biodiversité. Toutefois, selon les scénarios les plus pessimistes, la bioénergie ne pourrait répondre qu'à une fraction de la demande énergétique actuelle, et peut-être même moins que ce qu'elle fournit présentement¹³¹. »



Les écosystèmes d'abord

Pourquoi y a-t-il autant d'estimations visant à savoir si la biomasse a le potentiel de répondre à nos besoins énergétiques ? Il existe une réponse courte à cette question : les économistes énergétiques ne voient tout simplement pas la forêt qui se cache derrière l'arbre. La quantité de biomasse vivante ne peut pas être déterminée de la manière dont le sont les réserves de pétrole et de charbon. La valeur économique des plantes récoltées à titre de matières premières industrielles pour produire des aliments, du fourrage, des fibres, des produits chimiques et des carburants doit être considérée à l'aune de leur valeur écologique fondamentale.

Les études portant sur les systèmes terrestres qui tentent d'évaluer l'état de santé et la résilience des écosystèmes et de la biodiversité offrent de sérieuses mises en garde. L'Évaluation des écosystèmes pour le millénaire de 2005 a conclu que 60 % des écosystèmes de la planète sont déjà en déclin¹³². Bien que l'*Indice planète vivante*, un indicateur des tendances en matière de biodiversité qui se base sur le suivi de 1 313 espèces terrestres, marines et dulcicoles, indique qu'entre 1970 et 2003, l'indice a chuté de 30 %, ce qui signifie que les écosystèmes accusent de manière générale un important déclin¹³³. L'Union internationale pour la conservation de la nature a pour sa part indiqué que dans l'ensemble, 40 % des espèces étudiées sont menacées d'extinction¹³⁴. Le rythme actuel auquel les espèces disparaissent est plus de 1 000 fois supérieur aux taux historiques, et le changement de l'utilisation des terres – comprenant la déforestation et l'expansion de l'agriculture – est considéré comme la principale cause de ce phénomène. Il est entretemps estimé qu'au minimum, entre 10 et 20 % des forêts et prairies restantes seront converties sous la pression anthropique d'ici 2050¹³⁵. Également, les Nations Unies estiment que les deux tiers des pays du monde sont affectés par la désertification des sols, un phénomène qui touche quatre milliards d'hectares de terres agricoles, celles-ci soutenant plus d'un milliard de personnes¹³⁶.

Certains indicateurs, comme l'empreinte écologique développée par le Global Footprint Network¹³⁷, sont particulièrement éloquentes. L'empreinte écologique détermine à quel point l'humain [sur]utilise la capacité biologique de la Terre. La capacité biologique de la Terre réfère à la quantité de biomasse que peuvent naturellement synthétiser les cultures, les pâturages, les forêts et les océans tout en absorbant les déchets produits par l'humain. Excéder la capacité biologique endommage les écosystèmes et conduit ceux-ci vers leur déclin. Il semblerait ainsi que depuis la fin des années 1980, nous avons atteint le seuil du dépassement planétaire¹³⁸, en raison d'une empreinte industrielle qui outrepassa la capacité biologique de notre planète. En fait, il est stupéfiant de constater qu'en 2003, nous avons atteint un dépassement de 25 %, puisque nous transformons les ressources en déchets plus rapidement que la nature ne peut recycler les déchets en ressources¹³⁹.

Production primaire nette : volume de biomasse produit annuellement. Ensemble de la biomasse (essentiellement sous forme de plantes, mais aussi d'animaux, de bactéries et d'autres organismes) produite par la planète en une année. La production primaire nette est évaluée à environ 230 milliards de tonnes métriques de matière vivante.

Si nous poursuivons dans cette voie, nous utiliserons l'équivalent du double de la capacité biologique de la Terre d'ici 2050. Il s'agit là d'une situation intenable.

« *Les récents projets visant la mise en place d'imposants systèmes faisant appel à la biomasse comptent parmi les exemples les plus regrettables de pensée magique et d'ignorance quant aux réalités et aux besoins des écosystèmes. Les promoteurs de tels projets ne sont pas au courant (ou ignorent délibérément) certaines découvertes fondamentales effectuées dans le cadre des études récentes sur la biosphère.* »

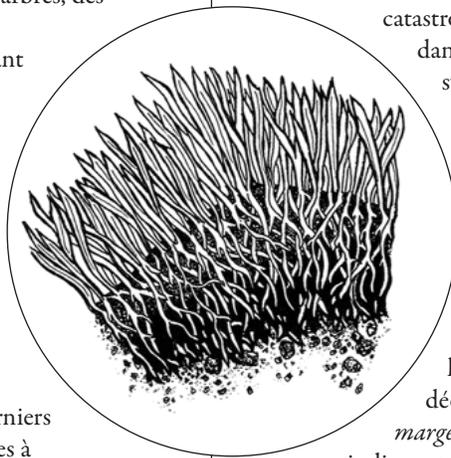
– Vaclav Smil, éminent professeur dans le domaine de l'environnement, Université du Manitoba¹⁴⁰

La biomasse est-elle vraiment renouvelable ?

Alors que les énergies renouvelables sont généralement obtenues à partir de différentes formes de biomasse, les groupes environnementaux et les communautés affectées par les cultures énergétiques ont entrepris de faire pression pour que la biomasse ne soit plus considérée comme une source renouvelable d'énergie. Et ils ont de bonnes raisons de le faire. L'utilisation de plantes à titre de source d'énergie n'a rien à voir avec l'énergie solaire, éolienne ou marémotrice, ces dernières pouvant être considérées plus justement comme des *sources perpétuelles d'énergie* en raison du fait que leur utilisation n'engendre pas leur raréfaction. À l'opposé, la surexploitation des arbres, des cultures et autres formes de vie végétale peut conduire à leur épuisement. Fait plus important encore, les sols et les écosystèmes d'où ces végétaux sont prélevés peuvent en être affectés.

De nombreuses études ont démontré que le changement de l'utilisation des terres et les pratiques d'aménagement associées à la production de biomasse ont le potentiel d'affaiblir ou de détruire les écosystèmes et la nappe phréatique, les rendant ainsi non renouvelables. Enlever le couvert végétal des terres accélère l'érosion des sols et prive ces derniers de nutriments, alors que les plantations d'arbres à croissance rapide ou les monocultures peuvent épuiser la couche aquifère.

En avril 2009, une alliance regroupant 25 groupes étasuniens voués à la cause environnementale et à la conservation a écrit au Congrès, affirmant que « la biomasse ne devrait pas être considérée comme renouvelable parce que le prélèvement de biomasse, même les *résidus* et les *déchets* issus des forêts, des prairies ou des sols, épuise les nutriments, ce qui résulte en une diminution de la fertilité et de la biodiversité. Bien qu'il soit possible de replanter des arbres et d'autres plantes, il n'est pas possible de recréer des écosystèmes en santé¹⁴¹. »



Des limites planétaires à l'extraction de la biomasse ?

Les défenseurs de la conservation craignent qu'un désastre survienne en raison de la pression exercée par les politiques industrielles associées à l'économie de la biomasse. Dans le bassin amazonien par exemple, l'expansion des cultures de canne à sucre et de soya (en partie dédiées à la production de biocarburants) entraîne un tel degré de déforestation qu'un dépérissement forestier (soit la mort d'un massif d'arbres) est susceptible de survenir¹⁴². Un tel dépérissement forestier en Amazonie serait une véritable catastrophe, considérant le rôle de cette importante forêt sur la régulation du régime des pluies et du climat, un phénomène dont l'influence s'étend sur la majeure partie de l'Amérique du Sud jusque dans le Midwest des États-Unis, et même aussi loin qu'en Afrique du Sud¹⁴³.

Un tel drame nous indique que bien que la détermination de la capacité biologique et des fonctions des écosystèmes demeure utile, cette dernière n'offre qu'un tableau incomplet des limites réelles à l'extraction de la biomasse, ainsi qu'une conception irréaliste de la manière dont les écosystèmes fonctionnent et peuvent disparaître. Tout comme le dépérissement forestier de l'Amazonie qui ne peut être appréhendé à partir d'un indice de *capacité biologique*, il existe plusieurs autres *points de non-retour* écologiques qui, une fois atteints, peuvent entraîner la disparition d'écosystèmes et engendrer une cascade dévastatrice d'effets synergiques. Il est possible que nous ne voyions jamais venir ces points de non-retour, jusqu'à ce qu'il ne soit trop tard.

Dans la perspective d'éveiller les consciences quant à la possibilité d'atteindre des points de non-retour aux conséquences catastrophiques, un groupe de scientifiques œuvrant dans les domaines de l'environnement et des systèmes terrestres dirigé par Johan Rockström du Stockholm Resilience Centre a publié un article dans le journal scientifique *Nature* en septembre 2009 proposant l'établissement de neuf *limites planétaires*¹⁴⁴. Il s'agit d'une série de seuils ou de points de non-retour au-delà desquels toute modification des processus biophysiques pourrait entraîner des *changements environnementaux inacceptables* sur l'ensemble de la planète. Les auteurs de cet article décrivent ces limites comme étant les bornes d'une *marge d'opération sécuritaire pour l'humanité*, en indiquant que les interférences de l'activité anthropique avec la biosphère doivent demeurer circonscrites par ces bornes afin que la planète conserve l'état stable qu'elle connaît depuis les 10 000 dernières années. Selon leurs estimations, au moins trois des neuf frontières planétaires qu'ils ont déterminées ont déjà été franchies. Bien que l'article de Rockström et ses collaborateurs ne mentionne pas de frontières précises à l'appropriation de la biomasse par les humains, respecter la plupart de ces dernières (comme, par exemple, le changement de l'utilisation des terres et l'utilisation abusive de l'azote) semble encore plus tenir de l'impossible lorsque les prévisions en matière de récolte future de biomasse sont prises en compte.

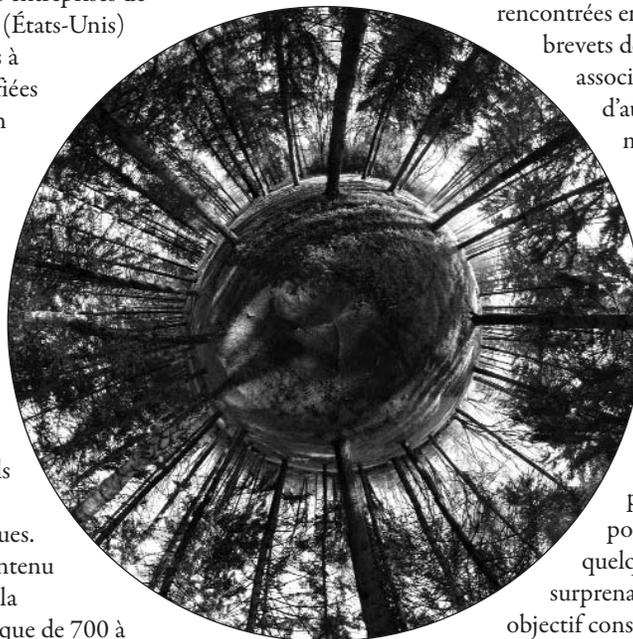
Illustration : Beehive Design Collective

Pas assez de biomasse ? Augmentons sa production !

Le fait que la Terre ne puisse pas produire suffisamment de biomasse pour que la transition vers l'économie de la biomasse se fasse de manière sécuritaire n'échappe pas aux nouveaux maîtres du vivant. Certains d'entre eux rétorquent que le passage à la biomasse n'est qu'une étape sur la route menant au solaire ou à d'autres formes d'énergies futures véritablement renouvelables. En d'autres termes, avoir un *compte à découvert* à la banque de la biomasse consisterait à s'endetter pour obtenir un crédit de relais. D'autres proposent quelque chose qui ressemble davantage à l'inflation, soit d'augmenter la production de biomasse, particulièrement la biomasse cellulosique, par des moyens technologiques. Cette dernière proposition engendrera de nouveaux risques et il n'est pas raisonnable de croire que produire des quantités industrielles de biomasse *supplémentaire* pourrait permettre de contrer le déclin des écosystèmes d'une manière ou d'une autre. Comme le font remarquer Almuth Ernsting et Deepak Rughani de Biofuelwatch, il subsiste une contradiction dans le fait que « malgré la surabondance de preuves à l'effet que l'agriculture et la foresterie industrielles épuisent rapidement la biosphère, les sols et l'eau à l'échelle mondiale à un rythme toujours plus rapide, il est proposé que ces deux secteurs puissent prendre davantage d'expansion afin de rendre d'une certaine manière la biosphère considérablement plus productive qu'elle ne l'a jamais été auparavant¹⁴⁵. »

Alors que la quête pour la biomasse s'intensifie, attendez-vous à une recrudescence de stratégies visant à augmenter la production de biomasse. Voici des exemples :

Arbres génétiquement modifiés – Les entreprises de biotechnologie telles qu'Arborgen, Inc. (États-Unis) vont de l'avant avec des espèces d'arbres à croissance rapide génétiquement modifiées dédiées aux marchés de la biomasse. En mai 2010, Arborgen a été autorisée à planter 260 000 plants d'une variété d'eucalyptus résistant au froid dans neuf États des États-Unis, ce qui a permis de repousser la limite septentrionale de cette espèce à un point jamais atteint auparavant. Pendant ce temps, des scientifiques de l'Université Purdue ont développé une variété de peuplier à croissance rapide contenant moins de lignine qu'ils prétendent parfaitement adaptée à la production de biocarburants cellulosiques. Ils affirment que la modification du contenu en lignine des arbres pourrait accroître la production annuelle d'éthanol cellulosique de 700 à 1 000 gallons l'acre¹⁴⁶. Il est par contre ironique de constater que la réduction du contenu en lignine des arbres semble également réduire leur capacité à fixer le carbone. Une étude indique en effet que les arbres à faible teneur en lignine accumulent respectivement 30 et 70 % moins de carbone dans leurs tissus et les sols que les arbres non modifiés¹⁴⁷.



Photomontage : Karl Adam

Biomasse ou biomassacre ?

Y a-t-il suffisamment de biomasse sur la planète pour passer à l'économie de la biomasse ?

Sans ambiguïté possible, la réponse est non.

L'alarmante notion de dépassement planétaire, soit le déclin rapide des écosystèmes de la planète et la proche menace de points de non-retour catastrophiques, nous met en garde contre le fait que toute tentative de déterminer un *niveau acceptable* pour l'extraction de la biomasse est aussi inappropriée que de prélever du sang sur un sujet en pleine hémorragie.

Ayant déjà de la difficulté à maintenir sa capacité à soutenir la vie, la planète n'a tout simplement pas de biomasse supplémentaire à donner. D'ici à ce que la civilisation industrielle ait significativement réduit son empreinte écologique, notre compte à la banque de la biomasse reste dangereusement à découvert et nous nous dirigeons inexorablement vers la banqueroute écologique et le déclin, une situation pour laquelle il n'existe aucune issue.

Cultures génétiquement modifiées dédiées à la biomasse – Alors que les sélectionneurs ont tenté pendant des siècles d'accroître le rendement des plantes, il a toujours été essentiellement question de le faire à des fins alimentaires – augmentation du nombre de semences ou de fruits. Maintenant, alors que la valeur de la biomasse cellulosique augmente, le domaine agroalimentaire travaille plutôt à augmenter le nombre de tiges, de feuilles, d'enveloppes et d'autres

parties riches en cellulose chez les plantes couramment rencontrées en agriculture. Par exemple, une série de brevets déposés par BASF dévoile des méthodes associées au génie génétique permettant d'augmenter le rendement en biomasse du maïs et d'autres cultures¹⁴⁸. Ces brevets réclament également un droit de propriété sur la biomasse elle-même lorsqu'elle est produite à partir du maïs, du soya, du coton, du canola, du riz, du blé ou de la canne à sucre.

Altérations génétiques de la photosynthèse – Selon certains scientifiques, le processus naturel consistant à transformer la lumière du soleil et le CO₂ en biomasse chez les plantes vertes est lent et inefficace, mais pourrait bien être accéléré avec l'aide de quelques manipulations génétiques. Chose surprenante, l'un des moyens d'arriver à cet objectif consiste à réduire la quantité de chlorophylle dans les feuilles afin que la lumière puisse plus facilement traverser les feuilles supérieures pour mieux atteindre les feuilles inférieures. D'après le magazine scientifique *New Scientist*, des expériences effectuées avec du soya transgénique contenant la moitié de la quantité normale de chlorophylle ont montré que ce dernier produisait 30 % plus de biomasse¹⁵⁰.

D'autres tours de passe-passe en voie d'être perfectionnés incluent notamment de modifier le type de processus photosynthétique afin qu'il puisse convertir plus efficacement le carbone en sucre. De récentes expériences entreprises en laboratoire avec du riz se sont soldées par un succès, mais pas sur le terrain. Malgré cela, l'International Rice Research Institute a lancé un nouveau projet en 2008 afin de modifier le mécanisme de la photosynthèse chez le riz. Ce projet est financé par la Fondation Bill et Melinda Gates. En novembre 2009, le CIMMYT (International Wheat and Maize Improvement Center) a mis sur pied son Wheat Yield Potential Consortium pour faire la même chose avec le blé¹⁵¹. D'autres altèrent le processus de photosynthèse de manière différente. Par exemple, les scientifiques œuvrant au J. Venter Craig Institute ont développé des souches synthétiques d'algues et de bactéries qui génèrent de l'hydrogène par voie photosynthétique plutôt que de l'oxygène. Bien que cette modification ne procure pas davantage de biomasse, elle pourrait générer, si elle s'avère fonctionner, un carburant très précieux – et très coûteux – qui ne dégage que de l'eau lorsqu'il est brûlé¹⁵².



Illustration : the Beehive Collective

Plantes Terminator – D'après l'expert en plantes génétiquement modifiées Albert Kausch de l'Université de Rhode Island, rendre les plantes stériles est un moyen infaillible d'augmenter leur biomasse. Les plantes stériles n'utilisent pas leur énergie pour produire des fleurs et peuvent donc utiliser la totalité de celle-ci pour produire plus de biomasse. Il s'agit du moins de l'affirmation qu'il est possible de retrouver dans une demande de brevet portant sur les plantes stériles dédiées à la fabrication de biocarburants, remplie par le professeur Kausch et un collègue¹⁵³. La demande de brevet ne réclame pas seulement des droits de propriété sur les méthodes de stérilisation utilisées pour accroître la biomasse, mais également sur toute plante produite à partir de ces méthodes, s'accaparant ainsi directement la biomasse. Kausch, qui travaille chez Vekon Energies en Allemagne, a également reçu 1,5 million de dollars de l'Agence de protection environnementale des États-Unis afin de financer ses travaux sur ce qu'il appelle le projet *golden switchgrass*¹⁵⁴.

Cultures adaptées au climat – Une autre option pour augmenter la quantité de biomasse à l'échelle mondiale consiste à rendre les plantes aptes à croître dans des conditions inhospitalières, comme dans des sols salins, des terrains marécageux ou désertiques. De telles cultures, *résistantes aux stress abiotiques* et pouvant survivre à la salinité, à l'imbibition des sols, à la sécheresse ou encore à des carences en azote, sont actuellement développées et mises en marché par les géants de l'agroalimentaire sous l'appellation *climate ready* parce qu'elles pourraient théoriquement s'adapter aux changements climatiques rapides. Cependant, de telles cultures peuvent aussi être considérées comme destinées à accroître la production de biomasse puisqu'elles sont productives même sur les terres d'emblée jugées marginales, retirant du même coup les terres traditionnellement employées par les peuples et les paysans pauvres au profit des grandes entreprises. Les recherches effectuées par ETC Group ont jusqu'à présent permis de révéler l'existence de 262 familles de brevets de cultures adaptées au climat. Celles-ci sont essentiellement détenues par six entreprises (DuPont, BASF, Monsanto, Syngenta, Bayer et Dow) et leurs partenaires (principalement Mendel Biotechnology et Evogene). Encore une fois, les brevets réclament des droits de propriété qui vont au-delà des méthodes de production pour s'étendre à la biomasse elle-même¹⁵⁵.

Algues – Alors que les arbres mettent plusieurs décennies à croître et que les herbacées et les cultures le font en plusieurs mois, les algues doublent leur masse quotidiennement. Augmenter la production algale permettrait donc d'obtenir plus de biomasse bien plus rapidement qu'avec n'importe quelle autre source de biomasse. Les algues peuvent être cultivées dans les océans, les étangs, les déserts et les zones humides; conséquemment, les tenants de la bioéconomie affirment qu'exploiter cette ressource ne fait pas compétition à la production alimentaire. Cela n'est pas tout-à-fait vrai puisque la production actuelle d'algues induit une certaine compétition pour l'eau, les nutriments et même les terres (voir plus loin pour un exposé détaillé sur les algues).

La géo-ingénierie par la biomasse

Augmenter la production de biomasse à l'échelle mondiale ou *améliorer* le processus de photosynthèse afin qu'il absorbe davantage de dioxyde de carbone constituent en fait des tentatives visant à remodeler la production primaire planétaire au-delà des contraintes imposées par la nature. Les technologies de cette ampleur capables d'altérer les processus biogéochimiques clés de la planète sont connues sous le nom de géo-ingénierie. Elles jouissent d'un intérêt grandissant, particulièrement alors que sévissent les changements climatiques. Pendant que les projets de géo-ingénierie les plus médiatisés proposent de réduire la quantité d'énergie solaire qui pénètre l'atmosphère afin de refroidir la planète, une seconde catégorie de projets de géo-ingénierie, surnommée *bio-géo-ingénierie*, est considérée avec une grande attention par les gouvernements et les scientifiques. Par divers moyens, la bio-géo-ingénierie tente d'exploiter ou d'augmenter la production de biomasse afin de fixer le dioxyde de carbone (CO₂).

Ironiquement, la planète a probablement elle-même déjà répondu à l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂ en augmentant sa production de biomasse. « Entre 1982 et 1999, 25 % de la superficie végétalisée de la Terre a enregistré une augmentation de la productivité végétale – une augmentation totale d'environ 6 %¹⁵⁷ », explique Ramakrishna Nemani, un scientifique de la biosphère travaillant au Ames Research Center de la NASA. Il doit cependant exister des limites supérieures à la production de la biomasse, celles-ci étant imposées par la quantité de nutriments retrouvés dans les sols et les océans, la disponibilité en eau, la chaleur et la lumière du soleil. Néanmoins, les bio-géo-ingénieurs sont en train de proposer des moyens d'accélérer le cycle et la fixation du carbone ainsi que la croissance de la biomasse, non pas à des fins énergétiques ou de production de matériaux, mais bien à des fins climatiques.

Voici quelques exemples de bio-géo-ingénierie :

L'immersion de biomasse

Deux géo-ingénieurs étasuniens proposent de déverser de façon continue de la biomasse en zone océanique profonde, affirmant qu'il s'agit là du meilleur moyen d'éliminer du CO₂ atmosphérique.

Le professeur Stuart Strand de l'Université de Washington et le professeur Gregory Benford de l'Université de Californie à Irvine surnomment leur projet

CROPS (Crop Residue Oceanic Permanent Sequestration) et estiment que si 30 % des résidus de cultures agricoles (paille, feuilles et tiges) étaient immergés en zone océanique profonde, 600 millions de tonnes métriques de carbone seraient annuellement retirées de l'atmosphère, réduisant la concentration de carbone atmosphérique de 15 %. L'un de leurs projets consiste à immerger 30 % des résidus agricoles des États-Unis en une couche de quatre mètres d'épaisseur d'une superficie de 260 kilomètres carrés au fond du Golfe du

Mexique. « Ce qui est déposé là y restera pendant des milliers d'années », affirme Strand en indiquant que les conditions rencontrées au fond des océans ne permettent pas à la biomasse de se décomposer¹⁵⁸. Certains écologistes spécialistes des milieux océaniques sont en désaccord : « Les grands fonds ne sont pas des endroits noirs, froids et exempts de vie; ils sont remplis d'animaux qui ont évolué de manière à tirer profit de n'importe quel type de nourriture qui descend jusqu'au fond, qu'elle soit d'origine terrestre ou non. Par exemple, le bois qui se retrouve au fond des océans est mangé¹⁵⁹ », explique Miriam Goldstein du Scripps Institution of Oceanography. Des essais de zones d'immersion de biomasse ont déjà commencé au large des côtes de Monterey, en Californie (États-Unis)¹⁶⁰. Strand et Benford affirment qu'il n'y a pas de restrictions légales quant à l'immersion de matière organique agricole en mer.

« Le but du jeu ne consiste pas à optimiser la production de carburants à partir de la biomasse, mais d'optimiser l'utilisation de la biomasse afin de retirer du carbone de l'atmosphère. »

– Stuart Strand, chercheur à l'Université de Washington¹⁵⁶



Illustration :
Beehive Design Collective

Géo-ingénierie : transformation à l'échelle de la planète. Manipulation intentionnelle des systèmes de la Terre, particulièrement, mais pas nécessairement, dans le but de contrer les effets des changements climatiques.

La fertilisation des océans (algues marines)

Une autre forme de déversement dans les océans aux fins de géo-ingénierie consiste à fertiliser ceux-ci avec du fer, de l'urée et d'autres nutriments afin de stimuler la croissance du phytoplancton (algues). La théorie de la fertilisation des océans stipule que l'addition de nutriments stimulera l'efflorescence massive du phytoplancton, qui absorbera rapidement le CO₂ pour finalement mourir et retomber au fond des océans, retenant ainsi le carbone¹⁶¹. L'addition de fer, de phosphate ou d'urée aux océans déclenche l'efflorescence algale; cela a été démontré, autant par des expériences internationales portant sur la fertilisation des océans que par l'existence de vastes zones mortes (zones anoxiques) océaniques où le ruissellement de fertilisants employés en agriculture engendre la prolifération d'algues. L'hypothèse voulant que l'efflorescence artificiellement créée retienne de manière permanente le carbone absorbé (certains parlent volontiers de *séquestration*) demeure par contre beaucoup plus controversée. Les efflorescences artificielles phytoplanctoniques semblent avoir une structure écologique différente des efflorescences naturelles, et peuvent donner lieu à la prolifération d'espèces dangereuses et mener à la libération de gaz à effet de serre au potentiel radiatif puissant tels que le méthane et l'oxyde nitreux¹⁶². Elles peuvent de plus mener à la désoxygénation de l'eau, réduisant ainsi la biodiversité par suffocation des espèces sensibles. Malgré le fait qu'en 2008, la Convention sur la biodiversité biologique ait instauré un moratoire de fait sur la fertilisation des océans, des entreprises privées comme Climos, Ocean Nourishment Corporation (ONC) et Planktos Science espèrent encore pouvoir tirer profit de cette activité. ONC et Planktos Science sont également intéressés à utiliser la biomasse résultante à d'autres fins (augmentation des stocks de poissons et biocarburants).

Illustration : Liz Snook



La bioénergie couplée à la technologie de capture et de stockage du carbone

Alors que la combustion de la biomasse pour la production d'électricité est souvent faussement présentée comme un procédé *carbonneutre*, certains tenants de la biomasse affirment qu'elle pourrait même soustraire du carbone de l'atmosphère, en lui faisant subir certaines modifications d'ordre technologique. Afin d'y parvenir, ils

proposent de jumeler la technologie du *captage et stockage de carbone* (CSC) aux brûleurs de biomasse ou aux installations de production de biocarburants¹⁶³. Bien que la technologie CSC n'existe toujours pas et qu'elle risque d'ailleurs de ne jamais voir le jour à l'échelle industrielle en raison des sérieux risques environnementaux qu'elle comporte, capter chimiquement le CO₂ à la sortie des cheminées industrielles et d'ensuite *l'enfouir* sous terre sous forme liquide ou solide est une idée qui se retrouve au cœur des stratégies de lutte aux changements climatiques proposées par l'OCDE. Aux yeux des géo-ingénieurs, les allégations à l'effet que la bioénergie couplée à la technologie de captage et stockage du carbone (BECS en anglais) puisse capter le carbone à deux étapes du procédé (soit une première fois lors de la croissance de la biomasse et une seconde fois lors de la capture du CO₂ émis par combustion de la biomasse) sont très intéressantes. Dans une série d'essais portant sur la *gestion des réserves de carbone de la biosphère*, Peter Read de l'Université Massey en Nouvelle-Zélande a proposé d'établir des plantations d'arbres à croissance rapide sur 1 milliard d'hectares afin de produire de l'électricité et de capter le carbone généré. Par ce projet de géo-ingénierie, Read voudrait permettre à l'atmosphère de retourner à des concentrations plus faibles de carbone¹⁶⁴. Lui et d'autres tenants de la technologie BECS ont également suggéré que la transformation de la biomasse en charbon destiné à être enfoui dans le sol (biochar) pourrait également contribuer à refroidir le climat de la planète, si toutefois cette méthode est appliquée à une échelle suffisamment vaste.

Dix mythes sur la nouvelle économie de la biomasse

1. Baser notre économie sur la biomasse est une chose naturelle; nous l'avons déjà fait auparavant et il est à nouveau temps de le faire.

L'affirmation – Dans le passé, nos systèmes économiques se sont servis de la biomasse en guise de matière première essentielle et d'ailleurs, certaines sociétés traditionnelles en dépendent encore grandement. Baser nos systèmes économiques sur des matières organiques naturelles fournies par les écosystèmes est une façon de faire qui s'harmonise avec les limites de la nature.

La réalité – Il est hypocrite ou naïf d'affirmer que les systèmes économiques à petite échelle basés sur la biodiversité constituent des exemples pertinents de la transformation à l'échelle industrielle de grandes quantités de biomasse indifférenciée destinée au marché mondial. La dernière fois que l'économie mondiale s'est essentiellement basée sur la matière végétale (dans les années 1890), elle avait besoin du vingtième de l'énergie qu'elle consomme actuellement. Même à cette époque, les économistes contemporains étaient inquiets des conséquences de l'utilisation des terres découlant de la nécessité de maintenir des quantités suffisantes de biomasse. L'extraction de bois, l'agriculture et les plantations monoculturelles à l'échelle industrielle qui caractérisent notre époque ne sont ni naturelles, ni durables. L'histoire de l'environnement nous enseigne que lorsque les ressources naturelles sont surexploitées, le résultat est souvent le déclin de la civilisation.

2. La biomasse constitue une source d'énergie carbonéutre et une bonne solution pour lutter contre les changements climatiques.

L'affirmation – Puisque le carbone généré par la combustion de la biomasse peut être recapté par les prochaines générations de plantes, l'utilisation de la biomasse à des fins énergétiques demeure une activité qui ne génère aucune émission nette de carbone vers l'atmosphère et qui, conséquemment, ne contribue pas aux changements climatiques d'origine anthropique.

La réalité – La combustion de la biomasse peut même engendrer des émissions de dioxyde de carbone supérieures à celles reliées à la combustion des ressources fossiles en raison du fait que la matière végétale a une densité énergétique moindre que ces dernières. Les gaz à effet de serre libérés ne seront recaptés par les prochaines générations de plantes qu'après un certain temps suivant leur émission. Dans le cas des espèces dont l'existence est relativement longue, les arbres particulièrement, la quantité de carbone émis ne sera vraisemblablement pas recaptée suffisamment rapidement pour contrer ses effets négatifs sur le climat. De plus, produire de l'énergie ou des biens à partir de la biomasse implique d'autres sources d'émissions de carbone : émissions des sols reliées au changement de l'utilisation des terres; émissions reliées aux activités agricoles, incluant l'utilisation de fertilisants et de pesticides fabriqués à partir de ressources fossiles; émissions reliées à la récolte, à la transformation et au transport de la biomasse.

3. La biomasse est une ressource renouvelable.

L'affirmation – La biomasse est constituée d'organismes vivants (ou ayant déjà vécu), des plantes en particulier, qui peuvent croître en une courte période. Tel n'est pas le cas des ressources fossiles qui sont renouvelées sur des échelles de temps géologiques. Sur le plan du carbone, l'économie de la biomasse est par conséquent une économie à l'état d'équilibre.

La réalité – Bien que les plantes soient renouvelables sur une courte période de temps, les sols et les écosystèmes desquels elles dépendent peuvent ne pas l'être. L'agriculture industrielle et l'extraction de biomasse forestière affectent la structure des sols ainsi que leur teneur en nutriments, en matière organique et en eau, ce qui diminue leur fertilité et rend les écosystèmes plus vulnérables, voire sujets à une sévère dégradation. L'utilisation de produits chimiques industriels et la mauvaise gestion des terres souvent associées à l'agriculture industrielle peuvent aussi empirer les choses. Ainsi, la biomasse est en pratique vraiment renouvelable que lorsqu'elle est prélevée en quantités trop faibles pour servir adéquatement les intérêts de l'industrie.

4. Il y a suffisamment de biomasse, de biomasse cellulosique en particulier, pour remplacer les ressources fossiles.

L'affirmation – Sur une base annuelle, notre planète produit des arbres, des plantes, des algues, des herbes et d'autres sources de cellulose en abondance – souvent sur des terres improductives et marginales. Ces ressources sont disponibles à la transformation en carburants cellullosiques, en produits chimiques et en autres matériaux. La production primaire nette de la planète est cinq à six fois supérieure à ce qu'il est nécessaire de produire pour assurer le bon fonctionnement d'une économie basée sur l'énergie dérivée de la biomasse.

La réalité – Loin de receler suffisamment de biomasse pour alimenter l'économie de la biomasse, notre compte à la banque de la biomasse accuse déjà un important découvert. Les êtres humains utilisent déjà le quart de la production primaire nette de la terre ferme pour s'alimenter, se chauffer et s'abriter. Il y a déjà 20 ans que les humains ont outrepassé la limite de consommation des ressources naturelles au-delà de laquelle les écosystèmes perdent leur résilience et commencent à se dégrader, si bien que nous avons amplement dépassé le seuil du dépassement planétaire.



Origami : Elkosi

5. Nous pouvons accroître le rendement de la biomasse dans le temps.

L'affirmation – Contrairement aux réserves fossiles et minérales, qui sont des ressources limitées, il est possible d'augmenter le rendement de la biomasse à l'aide d'un aménagement prudent des terres improductives, d'une plus grande utilisation de fertilisants, ou encore en modifiant génétiquement les plantes et les algues. De la sorte, une économie basée sur la biomasse n'est pas tenue de respecter les contraintes des économies basées sur les ressources fossiles, lesquelles sont imposées par la rareté de ces dernières.

La réalité – La production mondiale de biomasse atteint déjà des records historiques et il existe des limites à la quantité de biomasse que la planète peut céder aux humains. Ces limites sont imposées par la disponibilité en eau, certains minéraux et fertilisants, de même que l'état de santé des écosystèmes. Une pénurie mondiale en phosphore, par exemple, ne jouirait sûrement pas de l'attention accordée au pic pétrolier, mais cette situation aura un impact négatif important sur la capacité à augmenter artificiellement le rendement des cultures. Par ailleurs, la disponibilité des terres improductives est limitée. Suite à un examen plus approfondi, il appert que de telles terres constituent la base de modes de subsistance qui assurent la pitance de la majorité des pauvres dans le monde. Toute tentative visant à pousser les terres à produire davantage pourrait enfin compromettre complètement leur fertilité.

6. Les carburants et produits chimiques fabriqués à partir de la cellulose résolvent le problème de la compétition entre les aliments et les biocarburants.

L'affirmation – Bien que l'utilisation des sucres et des huiles extraits de plantes telles que le maïs, le canola et le palmier en guise de matières premières issues de la biomasse puisse induire une compétition directe avec leur usage alimentaire en plus de faire gonfler leur prix, tel ne serait pas le cas avec l'utilisation de la cellulose. Il serait ainsi possible de transformer des matières résiduelles (comme l'enveloppe des céréales et les tiges de maïs) en une lucrative source de revenus secondaires pour les agriculteurs. Entretemps, les copeaux de bois, les herbes cellulosiques et les autres cultures énergétiques peuvent être produits à partir de terres qui ne sont pas employées pour la production alimentaire, contribuant ainsi à l'économie rurale tout en protégeant la sécurité alimentaire.

La réalité – Bien que nous ne mangions pas la portion cellulosique des plantes, celles-ci restent précieuses car elles contribuent à la teneur en nutriments, à la structure et à la fertilité des sols agricoles. Le retrait de ces résidus agricoles à grande échelle mènera vraisemblablement à une chute des rendements, une importante augmentation de l'utilisation de fertilisants synthétiques, ou les deux. Il est d'ailleurs faux de prétendre que les cultures et les plantations cellulosiques ne font pas compétition aux cultures alimentaires pour les terres. Des terres servant à alimenter les peuples pauvres et marginalisés sont actuellement converties à des fins énergétiques. Il est attendu que cette tendance s'intensifie au fur et à mesure que les cultures cellulosiques prendront de la valeur. Enfin, les cultures cellulosiques entrent en compétition avec les cultures alimentaires pour l'eau et les nutriments.

7. Les plastiques et les produits chimiques issus de la biomasse sont plus écologiques que ceux fabriqués à partir du pétrole.

L'affirmation – Puisque les composantes de base des plastiques et des produits chimiques dérivés de la biomasse sont des amidons et des sucres plutôt que des molécules issues du pétrole, ils se décomposent complètement dans l'environnement et sont moins toxiques.

La réalité – Bien que dans certains cas il soit vrai que les plastiques et les produits chimiques dérivés de la biomasse peuvent être conçus de manière à être moins toxiques et plus facilement dégradables dans l'environnement, cela n'est généralement pas le cas. Pour produire annuellement 45 000 tonnes métriques de polymère de propane-1,3-diol Sonora non biodégradable – l'un des premiers bioplastiques commerciaux créé par DuPont –, il faut transformer 150 000 tonnes métriques d'un aliment biodégradable (soit le maïs). Les entreprises chimiques s'outillent de plus en plus afin de produire des composés extrêmement toxiques, comme le chlorure de polyvinyle (PVC), à partir de sucres issus de la biomasse plutôt que d'hydrocarbures. Alors que l'industrie chimique se convertit à des procédés de production faisant appel à la matière biologique, nous pouvons voir apparaître sur le marché plusieurs des composés toxiques actuellement disponibles, à la différence qu'ils seront produits à partir de carbone issu de la biomasse (plantes) plutôt que du pétrole.

8. La biomasse est bénéfique pour l'économie mondiale, puisqu'elle contribue au développement économique des pays du Sud et crée des emplois verts dans les pays du Nord.

L'affirmation – Alors que l'industrie des énergies propres s'installe à l'échelle de la planète, elle créera des emplois de haute technologie qualifiés qui seront également écologiques. Les nouveaux emplois faisant appel à des procédés utilisant la biomasse sont qualifiés d'emplois verts; ils offrent des opportunités d'embauche tout en transformant les industries polluantes. La production de biomasse permet également de stimuler les économies des milieux ruraux et celles des pays du Sud, ceux-ci pouvant assigner des terres pour y faire pousser de lucratives cultures et plantations énergétiques, et pouvant également construire des installations de transformation à proximité des principales sources de cellulose et d'autres types de biomasse. La bioénergie peut également permettre de gagner des sommes d'argent supplémentaires pour le développement par l'entremise du Mécanisme de développement propre (MDP) du Protocole de Kyoto.

La réalité – Les technologies de la biomasse sont généralement assujetties à des brevets et à d'autres types de droits de propriété intellectuelle; ainsi, les pays qui voudraient développer une industrie de la biomasse devront payer des redevances et/ou des droits de licence. L'agriculture et les plantations industrielles sont déjà contrôlées par une poignée d'entreprises transnationales. De plus, il n'y a aucune raison de croire que les bioraffineries et que les plantations énergétiques monoculturelles sont respectueuses de l'environnement ou encore sécuritaires pour les travailleurs. En plus des effets nocifs des intrants chimiques et des techniques de production employées dans les monocultures sur les humains et l'environnement, les organismes synthétiques peuvent aussi s'avérer dommageables pour l'environnement et comporter des risques pour la sécurité des travailleurs. Le Brésil offre d'ailleurs un avertissement bien réel : les conditions de travail de ceux qui coupent la canne à sucre aux fins de production de bioénergie (actuellement sous la forme d'éthanol) impliquent notamment d'être exposé à de fortes concentrations de pesticides et à la pollution de l'air. Loin d'aider les communautés marginales, les nouvelles plantations bioénergétiques, qu'elles soient autorisées par le MDP ou d'autres mécanismes, peuvent directement empiéter sur les terres des paysans et des petits producteurs, leur subtilisant le contrôle sur la production alimentaire, l'eau et la santé des écosystèmes dont ils dépendent.

9. L'économie de la biomasse réduit l'instabilité politique ainsi que les risques de guerres et de terrorisme associés aux pétrodollars

L'affirmation – Les guerres dont l'enjeu est le pétrole, le gaz naturel ou n'importe quelle autre ressource fossile ont constitué une caractéristique prépondérante de la fin du 20^e siècle et du début du 21^e. Les profits exagérés reliés à l'extraction du pétrole au Moyen-Orient et ailleurs dans le monde ont indirectement financé des groupes extrémistes et alimenté les tensions politiques. Les entreprises pétrolières ont méprisé les droits humains et les revendications territoriales des autochtones et des communautés traditionnelles dans leur course pour contrôler les derniers gisements de pétrole et de gaz. Contrairement aux ressources fossiles, la biomasse est distribuée d'une manière plus uniforme sur l'ensemble de la planète et permettrait aux économies industrielles de devenir indépendantes sur le plan de l'énergie, en plus de couper les fonds aux régions politiquement instables de la planète.

La réalité – Retirer les hydrocarbures fossiles du cocktail énergétique mondial (admettant que cela soit possible) ne ferait pas disparaître les tensions politiques comme par magie. À l'instar des ressources fossiles, la biomasse est inégalement répartie sur l'ensemble de la planète et il règne déjà une certaine bousculade afin d'obtenir et de contrôler les terres, l'eau, les minéraux stratégiques ainsi que les droits de propriété intellectuelle nécessaires à la nouvelle économie de la biomasse. Les disputes reliées aux rares ressources d'eau douce, aux océans et aux déserts pourraient devenir plus fréquentes, particulièrement alors que les technologies touchant la biomasse algale progressent. Les entreprises agroalimentaires et forestières ainsi que l'industrie du sucre ne respectent pas plus les droits humains et les revendications en matière de souveraineté que les grandes pétrolières : pour les communautés qui se battent contre les plantations celluloseuses, la mainmise sur les terres, le détournement de l'eau ou la coupe forestière illégale, la guerre engendrée par la biomasse est déjà commencée.

10. 1. Les technologies de la biomasse doivent être soutenues à titre de transition vers un nouveau cocktail énergétique qui comprendra l'énergie nucléaire, celle du vent, du *charbon propre*, etc.

L'affirmation – Faisant actuellement face à d'énormes défis sur le plan de l'énergie, la société doit impérativement changer la manière dont elle produit son énergie. Cependant, il est présentement trop tôt pour pouvoir se prononcer sur la composition exacte du futur cocktail énergétique parce que les technologies n'existent pas encore. Bien que la biomasse puisse en définitive jouer un rôle marginal au sein de la nouvelle économie énergétique, elle a l'avantage de pouvoir être exploitée rapidement à titre de source d'énergie bouche-trou durant la période de transition vers des solutions à plus long terme qui ne sont pas encore développées ou demandent plus de temps pour être opérationnelles à plus grande échelle, comme l'hydrogène, la fusion nucléaire et le charbon propre. L'énorme défi que représente la transition énergétique nécessite que les technologies de la biomasse soient explorées et développées afin d'accroître l'éventail des possibilités.

La réalité – Fondamentalement, la société n'est pas simplement aux prises avec une crise énergétique, mais avec une crise de surproduction et de surconsommation. Comparer la valeur d'une économie alimentée par la biomasse par rapport à d'autres modèles inéquitables de production, comme l'énergie nucléaire ou la capture et le stockage du carbone, n'est tout simplement pas approprié. La réduction de la demande énergétique mondiale est peu enthousiasmante d'un point de vue politique, mais demeure importante d'un point de vue écologique. Accroître le soutien à une agriculture paysanne décentralisée qui ne contribue pas aux changements climatiques et assure la souveraineté alimentaire constitue un autre moyen de répondre aux crises mondiales.

Partie II. Les outils et les acteurs



Dans un conte seyant
pertinemment au contexte de la
bioéconomie actuelle, le nain
Tracassin demanda qu'on lui cède
un nouveau-né en échange de son
don le rendant capable de
transformer la paille en or.
Illustration du nain Tracassin
tirée du livre *Contes de l'enfance et
du foyer* des frères Grimm, 1886.

La nouvelle bio-alchimie. S'équiper pour la mainmise

Transformer la biomasse peu coûteuse en marchandises de valeur est un vieux rêve. Dans un conte allemand du 19^e siècle, un nain nommé Tracassin a le don de transformer la paille en or. Tracassin était d'une part une caricature des alchimistes de l'époque (l'étymologie d'alchimie serait *transformation*) qui cherchaient des moyens de transmuter des matériaux naturels communs en produits de valeur élevée. En fait, toute une branche de l'alchimie, la spagyrie, était dédiée à la transformation de la matière végétale à des fins plus nobles¹⁶⁵. Certaines des principales quêtes alchimiques, telles que la tentative de développer des panacées et de créer un solvant universel qui puisse dissoudre toute matière en ses constituantes de base, semblent trouver écho dans les efforts actuels visant à développer des cellulases (enzymes capables de dégrader la cellulose) chez les plantes et à transformer la paille en carburants cellulotiques et en matériaux. Il existe quatre principaux domaines de transformation de la biomasse.

La combustion



La meilleure manière de tirer profit d'un tas de biomasse consiste à y mettre une allumette : la combustion permet de soutirer le plus haut rendement énergétique de la biomasse. Les techniques de combustion comprennent la combustion à l'air libre (en présence d'oxygène), la pyrolyse (en l'absence d'oxygène), la gazéification de la biomasse (combustion à des températures élevées en contrôlant la quantité d'oxygène) et la gazéification au plasma (chauffage de la biomasse avec un courant électrique de haut voltage).



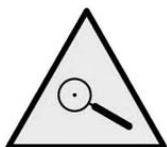
La chimie

Tout comme les pétrochimistes qui ont perfectionné la méthode du *craquage pétrolier* afin de fractionner des hydrocarbures complexes en plus petites molécules à l'aide de la chaleur, de la pression et de catalyseurs acides, des techniques similaires peuvent être employées pour scinder les glucides de la biomasse afin de les transformer en produits de chimie fine, en polymères et en d'autres matériaux. Les techniques thermo-chimiques (comme la synthèse Fisher-Tropsch) transforment les matériaux lignocellulosiques en hydrocarbures. L'extraction des protéines et des acides aminés permettent d'obtenir des composés précieux. Les techniques de fermentation, parfois combinées au génie génétique et à la biologie synthétique (voir ci-dessous), peuvent également produire des protéines qui peuvent être ensuite transformées en plastiques, en carburants et en produits chimiques.



La biotechnologie et le génie génétique

La fermentation des sucres des plantes en alcools et la sélection des plantes ont été employées pendant des milliers d'années. Depuis, de nouvelles technologies génétiques ont été introduites, ces dernières contribuant à l'engouement de l'industrie pour la biomasse. Ces techniques comprennent de nouvelles approches en génie génétique (ADN recombinant) permettant de modifier les plantes de manière à ce qu'elles produisent plus de cellulose, de dissocier plus facilement cette dernière pour qu'elle devienne fermentescible, ou encore de rendre les plantes aptes à pousser sous des conditions édaphiques et climatiques moins favorables. Depuis plus récemment, la biologie synthétique (voir ci-dessous) permet de créer de nouveaux organismes qui captent la lumière du soleil ou l'azote plus efficacement, ou qui peuvent synthétiser de toutes nouvelles enzymes (soit des protéines biologiquement actives). De telles enzymes sont utilisées pour catalyser les réactions chimiques ou pour produire de nouveaux composés à partir de la matière végétale.



La nanotechnologie

La nanotechnologie fait référence à une gamme de techniques qui utilisent et manipulent les propriétés inhabituelles que les substances présentent lorsqu'elles prennent des dimensions de l'échelle atomique et moléculaire

(approximativement de taille inférieure à 300 nm). L'industrie démontre un intérêt croissant pour la transformation de nanostructures retrouvées dans la biomasse aux fins d'usages industriels. Les chercheurs s'intéressent ainsi à la nanocellulose à titre de nouvelle marchandise, tirant profit de la structure fibreuse allongée de la cellulose pour produire de nouveaux polymères, des matériaux *intelligents*, des nanocapteurs et même des composantes électroniques. La recherche dans le domaine de la nanobiotechnologie vise à modifier, à l'échelle nanométrique, les propriétés du bois vivant et d'autres matières premières issues de la biomasse dans le but d'altérer leurs propriétés matérielles ou énergétiques.

La biologie synthétique, celle qui a changé la donne de la biomasse

Bien que les secteurs d'application pour la biomasse commerciale qui se développent rapidement depuis les dernières années fassent appel à des techniques traditionnelles – e.g. combustion de la biomasse pour produire de l'électricité –, la biologie synthétique promet à plus long terme d'accroître les débouchés commerciaux pour la biomasse, ce qui risque d'accélérer la mainmise mondiale sur cette dernière. La biologie synthétique est une industrie qui crée des *organismes sur mesure* se comportant comme des *usines vivantes*. Le dessein est le suivant : dans les cuves de fermentation, les microorganismes transforment la biomasse en une vaste gamme de produits chimiques et pharmaceutiques, de plastiques, de carburants et d'autres composés de grande valeur.

La biologie synthétique implique une panoplie de *techniques extrêmes* de génie génétique. Cela comprend la création de nouveaux systèmes génétiques à l'aide de principes d'ingénierie et d'ADN synthétique¹⁶⁷. La biologie synthétique diffère des techniques *transgéniques* qui *coupent et collent* des séquences naturelles d'ADN d'un organisme à l'autre afin de changer le comportement de l'organisme hôte (e.g. implanter des gènes bactériens chez le maïs ou des gènes humains chez le riz)¹⁶⁸.

Organisme synthétique : forme de vie fabriquée par une machine. Organisme vivant (généralement des levures ou des bactéries) auquel ont été ajoutés des segments d'ADN qui ont été construits par un appareil appelé synthétiseur d'ADN à l'aide des techniques de la biologie synthétique.



Au lieu de cela, les spécialistes de la biologie synthétique fabriquent des segments d'ADN en partant de zéro en utilisant un synthétiseur d'ADN, soit un appareil capable de produire la séquence d'ADN demandée. De cette façon, ils sont en mesure de modifier radicalement l'information contenue dans l'ADN, créant ainsi de l'information génétique totalement nouvelle déclenchant une série de réactions biochimiques complexes – appelée voie métabolique – à l'intérieur de la cellule hôte. Pratiquement parlant, le nouveau segment d'ADN synthétique *détourne* la machinerie cellulaire afin de fabriquer des substances qui ne sont pas produites naturellement.

En faisant cela, les spécialistes de la biologie synthétique prétendent acquérir de l'expérience pour transformer de simples êtres unicellulaires tels que des levures ou des bactéries en véritables usines. Au cours des cinq dernières années, la biologie synthétique, qui était une science plutôt *marginalisée* – une sorte d'hybride entre le génie génétique et la programmation plutôt isolée du reste des sciences biologiques –, est devenue l'objet d'un intense intérêt et d'importants investissements de l'industrie.

« *Au cours des 20 prochaines années, la génomique synthétique deviendra la norme de production pour une grande majorité de produits. L'industrie chimique en dépendra. Et, souhaitons-le, une grande partie de l'industrie de l'énergie en dépendra.* »

– J. Craig Venter, fondateur de Synthetic Genomics, Inc.¹⁶⁶

La biologie synthétique : imprévisible, jamais testée et mal comprise

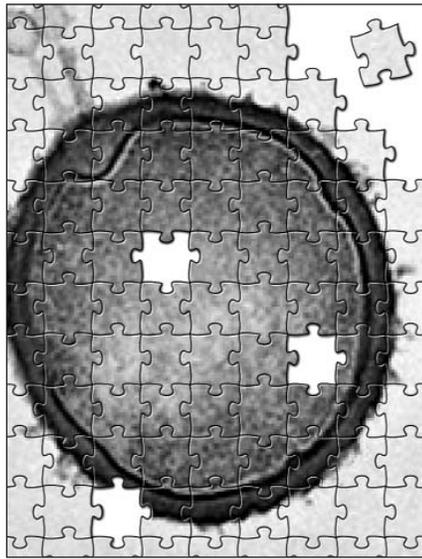
« Si un microorganisme synthétique est construit en combinant... des composantes génétiques d'une manière nouvelle, il ne possède aucun pedigree génétique précis et peut receler des propriétés émergentes dues à de complexes interactions entre ses composantes génétiques. En conséquence, les risques liés à la libération d'un tel organisme dans l'environnement seraient extrêmement difficiles à prévoir, et pourraient inclure sa propagation au sein de nouvelles niches écologiques ainsi que le développement de nouvelles caractéristiques potentiellement nuisibles. »

– Jonathan B. Tucker et Raymond Zilinskas,
*The Promise and Perils of Synthetic Biology*¹⁶⁹

La chose la plus frappante de la biologie synthétique aux yeux de la société civile n'est pas tellement sa prétention de reconstruire des parties du vivant, mais plutôt la rapidité avec laquelle elle trouve des applications commerciales – sans surveillance. Des organismes constitués synthétiquement sont déjà employés dans la production de milliers de tonnes de biocarburants et de produits chimiques issues de la biologie et ce, bien avant que ne soient entamés des recherches ou des débats quant à leur innocuité et leur efficacité, ou encore quant aux hypothèses sur lesquelles se fondent les techniques en jeu.

Par exemple, les spécialistes de la biologie synthétique se basent sur l'hypothèse à l'effet que l'ADN – une macromolécule composée d'un squelette à base de sucres retenant quatre types de substances (appelées *bases azotées*) organisées en séquences uniques – constitue un code qui indique à un organisme vivant comment croître, fonctionner et se comporter. En modifiant ce code, les spécialistes de la biologie synthétique affirment être en mesure de programmer les formes de vie un peu comme un ordinateur. Ces hypothèses sont fondées sur un modèle génétique vieux de 50 ans mieux connu sous le nom de *théorie fondamentale de la biologie moléculaire*. La justesse de ce dogme est toutefois en train de devenir de moins en moins certaine.

Les récents travaux en génétique, particulièrement dans les domaines de la théorie des systèmes de développement et de l'épigénétique, remettent en question l'importance prédominante accordée au code génétique. Les théoriciens qui étudient les systèmes de développement font remarquer que toutes sortes de facteurs complexes se trouvant autant à l'intérieur qu'à l'extérieur d'une cellule vivante influencent la manière dont un organisme vivant se développe et que cela ne peut être déterminé a priori en ne ciblant exclusivement que le code génétique¹⁷⁰. Les épigénéticiens – qui étudient les facteurs non génétiques qui affectent le développement des organismes – affirment que des composantes secondaires, telles que les radicaux organiques qui enrobent l'ADN (appelés groupements méthyles), peuvent avoir un effet tout aussi important que celui de l'ADN sur la manière dont un organisme se développe. Il en va de même pour les facteurs environnementaux tels que le stress et les conditions météorologiques.



Montage par Jim Thomas, d'une photo originale de A.J. Can

En fait, les spécialistes de la biologie synthétique rapportent souvent que leurs programmes d'ADN, aussi minutieusement conçus et fonctionnant parfaitement à l'ordinateur (*in silico*) soient-ils, ne passent pas le test du réel lorsqu'ils sont implantés dans des organismes synthétiques ou encore, comportent des effets secondaires inattendus sur le comportement des organismes¹⁷¹. Il s'avère que la biologie est complexe. Appliquer les normes et la rigueur de l'ingénierie au monde biologique demeure quelque chose d'intéressant au plan de la théorie, mais cela pourrait ne pas être judicieux d'appliquer celles-ci aux organismes vivants. « Les

ingénieurs peuvent reconnecter ceci et cela. Toutefois, les systèmes biologiques ne sont pas simples », explique Eckard Wimmer, un spécialiste de la biologie synthétique à l'Université d'État de New York à Stonybrook. « Les ingénieurs se rendront un jour compte que les bactéries se payent leurs tête¹⁷². » Ainsi que l'admet le spécialiste de la biologie synthétique James Collins de l'Université de Boston, « Si vous avez une connaissance incomplète, il est fort possible que vous ayez quelques surprises¹⁷³. »

Les probabilités de rencontrer des comportements inattendus chez les organismes synthétiques rendent encore plus surprenant le fait qu'il n'existe aucun protocole pour évaluer les effets de ceux-ci sur la santé ou sur l'environnement. Les mécanismes de réglementation existants pour évaluer l'innocuité des organismes génétiquement modifiés *conventionnels* se fondent sur le concept très controversé connu sous le nom d'*équivalence substantielle*¹⁷⁴, qui tente d'établir les scénarios les plus plausibles en ce qui a trait au comportement d'un organisme dans lequel des gènes ont été insérés. En réalité, l'équivalence substantielle est totalement inappropriée pour évaluer des organismes synthétiques car les spécialistes de la biologie synthétique ne font pas simplement que transférer des séquences distinctes de gènes d'une espèce à l'autre; sur une base routinière, ils introduisent des séquences d'ADN bricolées à partir de plusieurs organismes différents. Ils peuvent également introduire des bouts d'ADN qui n'existent pas dans la nature, mais qui sont issus de mutations obtenues à l'aide d'une technique de laboratoire appelée *évolution dirigée*, ou conçus en utilisant un logiciel et subséquemment assemblés à partir de zéro à l'aide d'un synthétiseur d'ADN. Par exemple, la levure synthétique conçue par Amyris Biotechnologies, qui est sur le point d'être commercialisée à grande échelle au Brésil, contient de l'ADN exogène fabriqué à partir de 12 gènes de synthèse prélevés principalement chez des plantes et altérés de manière à pouvoir être opérationnels dans un microorganisme particulier¹⁷⁵. Dans l'avenir, de tels organismes pourraient être fabriqués à partir de centaines de sources différentes. Comme l'a fait remarquer un groupe de spécialistes de la biologie synthétique en 2007 : « la manière d'évaluer l'innocuité biologique de telles constructions reste nébuleuse¹⁷⁶. »

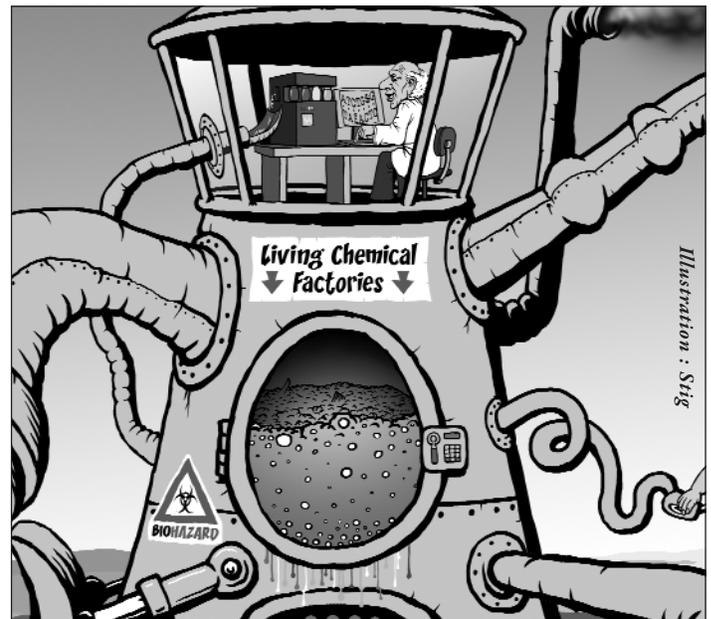
Même des organismes synthétiques beaucoup plus simples présentent des perspectives tout aussi floues en matière d'évaluation de l'innocuité. « En raison d'une absence de preuves empiriques, l'inventeur d'un organisme synthétique ne peut pas prédire ses effets sur la santé humaine ni celle de l'environnement », affirment les chercheurs en sciences biologiques Jonathan Tucker et Raymond Zilinskas du Monterey Institute of International Studies. « Même si l'origine de l'ensemble des parties d'un microorganisme est connue, et que chaque nouveau circuit génétique est compris, il serait difficile de prévoir s'il possèdera des *propriétés émergentes* inattendues¹⁷⁷ ». Par exemple, même si les séquences génétiques ajoutées à un organisme synthétique ne sont pas considérées pathogènes (pouvant causer une maladie), il subsiste toujours une possibilité qu'ils deviennent pathogènes une fois à l'intérieur cet organisme. Lors d'une analyse portant sur des problèmes de sécurité liés à la biologie synthétique, l'ancien responsable de la réglementation environnementale Michael Rodemeyer a relevé que le génie génétique a causé des risques sanitaires inattendus dans le passé, comme la fois où un poxvirus de la souris génétiquement modifié supposé rendre les souris stériles a plutôt engendré une souche particulièrement virulente de celui-ci¹⁷⁸.

Les risques écologiques inhérents à la biologie synthétique sont également importants, autant dans le cas d'une libération volontaire d'organismes synthétiques (cultures et algues) que dans celui d'une fuite accidentelle à partir d'une bioraffinerie. Puisque les espèces habituellement modifiées (comme les algues, la bactérie *Escherichia coli* et les levures) se retrouvent couramment dans l'environnement, il reste possible que celles-ci se croisent avec des espèces naturelles et contaminent les communautés microbiennes des sols, des océans et des animaux, incluant l'humain.

Les microorganismes se propagent et mutent rapidement; ils sont également capables de se disséminer dans les sols, les cours d'eau et d'autres compartiments, rendant particulièrement difficile le suivi de leur propagation. Les spécialistes de la biologie synthétique soutiennent que leurs créatures de laboratoire sont trop faibles pour survivre en dehors des conditions dans lesquelles elles ont été développées. Toutefois, cette affirmation déjà a été démentie. Lorsque la dissémination dans l'environnement de cultures transgéniques telles que le maïs, le coton, le soya fut initialement approuvée dans les années 1990, les entreprises de biotechnologie ont assuré aux responsables de la réglementation qu'elles aussi étaient trop faibles pour se croiser avec les cultures conventionnelles. Vingt ans plus tard, la majeure partie des cultures de maïs, de canola et de coton ont subi de faibles niveaux de contamination par les organismes génétiquement modifiés en raison du mélange de semences et de la pollinisation croisée.

« La biologie synthétique créera des organismes dotés de caractéristiques issues de nombreux organismes, et par conséquent, il pourrait être difficile de prévoir leurs propriétés. »

– Opinion de la Commission européenne quant à l'éthique entourant la biologie synthétique¹⁷⁹



Les organismes synthétiques en tant que bio-usines

Les levures naturelles sont déjà employées de manière routinière par l'industrie pour agir à titre de bio-usines miniatures. Par exemple, elles transforment le sucre de canne en éthanol ou le blé pour faire de la bière. Cependant, en altérant les levures (ou d'autres microorganismes), le même sucre peut être transformé de manière polyvalente en nouveaux produits selon la façon dont leur code génétique a été *reprogrammé*. Les milliards de microorganismes synthétiques contenus dans une seule cuve industrielle peuvent ingérer des sucres et excréter des hydrocarbures – plutôt que de l'éthanol normalement produit – ayant les propriétés de l'essence. Si programmés différemment, ces mêmes microorganismes peuvent excréter un polymère, un produit chimique servant à fabriquer du caoutchouc synthétique ou encore un produit pharmaceutique. En effet, les microorganismes constituent maintenant une nouvelle plateforme de production pour divers produits chimiques. « Les ingénieurs chimiques excellent dans l'assemblage de nombreuses pièces pour en faire de grandes usines chimiques, et c'est ce que nous faisons dans le cadre du génie biologique moderne. Nous prenons plusieurs petites pièces génétiques et les assemblons pour en faire un système complet », explique le pionnier de la biologie synthétique Jay Keasling du Joint BioEnergy Institute du Département de l'énergie des États-Unis. « Nous concevons vraiment des cellules pour en faire des usines chimiques. Nous construisons les usines chimiques du futur¹⁸⁰. » Rédacteur pour le magazine en ligne *Grist*, David Roberts décrit plus succinctement la vision de la biologie synthétique : « ... les microorganismes génétiquement modifiés consommeront du sucre et du pétrole *merdique*¹⁸¹. »

Les enzymes synthétiques pour digérer la cellulose

Les spécialistes de la biologie synthétique sont également en train de forger les outils qui transformeront la cellulose en sucre pour l'industrie. Les entreprises fabriquant des enzymes telles que DSM, Verenum, Genencor, Codexis et Novozymes développent des microorganismes synthétiques afin de produire des nouvelles enzymes (des protéines intervenant dans les réactions biochimiques) puissantes connues sous le nom de cellulases, qui scindent les molécules complexes contenues dans la lignocellulose en sucres¹⁸². Jusqu'à tout récemment, des procédés énergivores impliquant de hautes températures étaient nécessaires afin de libérer la cellulose de la biomasse pour ultimement la rendre apte à la fermentation.

D'autres entreprises telles que Mascoma et LS9 tentent de développer des bestioles tout-en-un qui peuvent à elles seules scinder la biomasse en sucres, puis transformer ces sucres en carburants par fermentation (chez Mascoma, le carburant en question est de l'éthanol; chez LS9, la bactérie *E. coli* qu'ils ont synthétisée peut transformer la cellulose en une variété de produits chimiques, dont le diésel)¹⁸³. Christopher Voigt, un spécialiste de la biologie synthétique à l'Université de Californie à San Francisco est allé plus loin afin de mettre au point une méthode *polyvalente* surnommée *Bio-MeX*, dans laquelle des microorganismes synthétiques (comprenant 89 nouvelles séquences génétiques) ont la capacité de digérer divers substrats non préalablement transformés – panic érigé, tiges de maïs, bagasse de canne à sucre, copeaux de peuplier – et d'en faire une panoplie de composés connus sous le nom d'halogénures de méthyle. Les halogénures de méthyle sont généralement employés à titre de fumigants en agriculture, mais sont également des précurseurs moléculaires pouvant être convertis en d'autres produits chimiques et en carburants comme l'essence¹⁸⁴.

« L'une des caractéristiques de l'industrie contemporaine réside dans le fait que si vous créez un plant de maïs destiné à produire de l'éthanol, le maïs sera votre unique matière première et l'éthanol, l'unique produit », explique Voigt. « Vous ne pouvez pas changer ceci en un claquement de doigts. Nous nous sommes attaqués à la question des matières premières et des produits de manière isolée¹⁸⁵. »

Les plantes synthétiques remplacent les matières premières conventionnelles

Une poignée d'entreprises commencent également à ajouter des séquences d'ADN synthétisé pour modifier des plantes de manière à les transformer en matières premières optimales pour la bioéconomie. Un exemple de ceci est l'alpha-amylase de maïs produite par Syngenta, qui fait appel à des séquences génétiques synthétisées par Verenum (maintenant possédée par BP). Introduites dans le maïs, ces séquences lui permettent de fabriquer cette enzyme capable de briser les tiges en cellulose aux fins de production de carburants cellulotiques¹⁸⁸. De concert avec des spécialistes de la biologie synthétique de l'aujourd'hui défunte Codon Devices, l'entreprise de biotechnologie agricole Agrivida a mis au point une variété de maïs similaire¹⁸⁹, alors que Chromatin Inc., avec la participation de Monsanto et de Syngenta, utilise également la biologie synthétique afin de *reprogrammer* des cultures de base telles que le maïs, le coton et le canola afin qu'elles deviennent des matières premières plus efficaces pour la production de biocarburants¹⁹⁰.

Dévoreurs de cellulose et fermenteurs de carburants en liberté ?

La majeure partie du travail commercial effectué dans le domaine de la biologie synthétique requiert le développement de microorganismes synthétiques capables de digérer la biomasse cellulotique en sucres simples ou de convertir la cellulose et les sucres en plastiques, en carburants et en produits chimiques. Si ces microorganismes venaient à s'échapper des cuves de fermentation et à survivre dans la nature, il pourrait y avoir plusieurs raisons de s'inquiéter. Si ces souches évadées s'avèrent être en mesure de scinder la cellulose et les autres sucres complexes retrouvés dans l'environnement pour ensuite les transformer en composés industriels par fermentation *in situ*, il en résulterait un grave danger pour la santé et l'environnement.

Il existe des précédents à un tel scénario. En 1999, la biologiste des sols Elaine Ingham de l'Université d'État d'Oregon et l'étudiant diplômé Michael Holmes ont rapporté les résultats d'expériences effectuées avec la bactérie du sol *Klebsiella planticola*. Une entreprise européenne de biotechnologie a modifié la bactérie pour qu'elle puisse transformer la cellulose de la paille de blé en éthanol et s'apprêtait à y trouver des applications commerciales. Ingham et Holmes ont ajouté la bactérie modifiée à différents échantillons de sol et ont découvert qu'elle pouvait métaboliser les résidus cellulotiques retrouvés dans les sols et produire de l'éthanol, ce qui eut pour résultat d'empoisonner et de tuer les plantes qui y poussaient. À cette époque, l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis étudiait la possibilité d'autoriser l'ajout de résidus de boues provenant de l'utilisation de *K. planticola* modifiée dans les champs¹⁸⁶.

Cet exemple s'applique pertinemment aux bioraffineries commerciales qui utilisent des organismes synthétiques car elles produiront également des résidus devant être éliminés. De plus, il n'est pas prévu que de telles bioraffineries mettent en place des protocoles de biosécurité stricts, se comportant davantage comme des brasseries industrielles que des laboratoires de haute technologie. Des données suggèrent en fait qu'il est fréquent que les brasseries, qui utilisent des levures pour la fermentation au même titre que les bioraffineries, laissent fréquemment des microorganismes s'échapper. Selon l'expert en brassage Hugh Dunn, une étude effectuée sur six brasseries durant une période de trois ans montre bien que des souches commerciales de levures cultivées s'échappent dans l'environnement. Les propriétaires de vignobles biodynamiques ont déjà signifié leur inquiétude quant à la possibilité que des souches échappées – même non modifiées – viennent altérer le goût et les caractéristiques de leurs vins¹⁸⁷.

La bio-électricité synthétique ?

Les microorganismes synthétiques cultivés dans les cuves contenant des sucres extraits de la biomasse pourraient éventuellement aussi servir à produire de l'électricité. En 2006, Yuri Gorby, alors employé au Pacific Northwest National Laboratory du Département de l'énergie des États-Unis, a montré que plusieurs souches de bactéries produisent naturellement de petites quantités d'électricité conduite par des nanofils naturels¹⁹¹. Gorby travaille maintenant sur l'électricité d'origine bactérienne à l'institut dirigé par le spécialiste de la biologie synthétique très connu J. Craig Venter¹⁹². En 2008, une équipe de bacheliers de l'Université Harvard se sont inspirés des travaux de Gorby lors d'une compétition internationale de biologie synthétique appelée iGEM (International Genetically Engineered Machine Competition). L'équipe a créé ce qu'elle appelle la *bactricité*, en modifiant synthétiquement la bactérie *Shewanella oneidensis* de manière à ce que des individus de cette espèce s'assemblent en fils et conduisent l'électricité. Ces étudiants disent qu'une telle technologie pourrait bien constituer la base de futures piles à combustibles bactériennes ou de futurs capteurs¹⁹³.

La mainmise de la biologie synthétique sur les modes de subsistance : substitution des produits de base

Afin de comprendre de quelle manière la contribution de la biologie synthétique à l'économie de la biomasse affectera les modes de subsistance des populations des pays du Sud, il suffit de jeter un coup d'œil au plan d'affaires d'Amyris Biotechnologies, une entreprise fondée par le pionnier de la biologie synthétique Jay Keasling. Amyris se vante d'être « maintenant prête à commercialiser des produits pharmaceutiques et d'autres produits de chimie fine précieux issus des forêts et des océans du monde en les fabriquant à l'aide de microorganismes synthétiques¹⁹⁵. » Financé par la Fondation Bill et Melinda Gates à hauteur de 42,5 millions de dollars, ce retentissant projet consiste à modifier la levure industrielle afin qu'elle puisse produire le précurseur de l'artémisinine, un précieux composé antipaludique normalement extrait à partir de l'armoise annuelle (*Artemisia annua*), une plante annuelle couramment cultivée par des milliers de petits agriculteurs en Afrique de l'Est, en Asie du Sud-Est et en Asie du Sud¹⁹⁶. Même ceux qui appuyaient le projet ont admis que la substitution de l'artémisinine produite par les agriculteurs par celle produite par Amyris et son partenaire d'affaires Sanofi Aventis pouvait avoir un impact sur le revenu et les modes de subsistance des cultivateurs d'armoise annuelle¹⁹⁷.

Un rapport publié en 2006 par The Netherlands Royal Tropical Institute souligne en effet que la perspective de produire synthétiquement de l'artémisinine représente l'une des principales menaces planant sur les cultivateurs d'armoise annuelle¹⁹⁸.



Amyris Biotech est en train d'arracher la production d'artémisinine des mains des agriculteurs, alors qu'elle compte en faire elle-même la production à partir de cuves remplies de microorganismes synthétiques

Photo : Birgit Betzelt, action medeor

Ceux qui appuient la production d'artémisinine synthétique maintiennent par contre que les bienfaits d'une production d'artémisinine bon marché pour la santé publique mondiale compenseraient amplement la disparition du mode de subsistance de quelques milliers d'agriculteurs¹⁹⁹.

Les cultivateurs d'armoise annuelle d'Afrique et d'Asie qui risquent de perdre leur marché sont simplement les premières victimes d'un vaste processus de substitution des modes de subsistance amorcé par les entreprises de biologie synthétique et la nouvelle bioéconomie. Outre les composés médicinaux, les spécialistes de la biologie synthétique comptent bien se lancer dans la fabrication de nombreux produits de base et produits stratégiques dont dépendent actuellement les revenus des pays du Sud :

Caoutchouc – En 2007, un rapport d'ETC Group mettait en lumière les tentatives du laboratoire de Jay Keasling de créer des microorganismes capables de synthétiser du caoutchouc naturel²⁰⁰. Selon les souhaits du Département de l'agriculture des États-Unis, ce projet permettrait d'aider à enrayer les coûts reliés à l'importation de caoutchouc des pays du Sud vers les États-Unis, ceux-ci se chiffrant à deux milliards de dollars. En septembre 2008, Goodyear, l'un des plus grands producteurs de pneus au monde, annonça la création d'une initiative conjointe avec Genencor afin d'accroître la production microbienne d'isoprène, le composé employé pour fabriquer du caoutchouc synthétique pour les pneus, en ayant recours à des organismes synthétiques se nourrissant de sucres issus de la biomasse²⁰¹. Il est prévu que la production commerciale de caoutchouc démarre en 2013. Dans son annonce, Goodyear indiqua clairement que la disponibilité de l'isoprène synthétique constituerait une solution de rechange au caoutchouc naturel employé dans la confection des pneus²⁰².

Il est raisonnable de supposer que ce produit puisse influencer le prix du caoutchouc et conséquemment, le mode de subsistance des petits producteurs de caoutchouc et de ceux qui travaillent dans les plantations. En mars 2010, il a été rapporté que Goodyear avait déjà utilisé le *bioisoprène* de Genencor pour produire du caoutchouc synthétique, qui fut ensuite utilisé pour fabriquer plusieurs prototypes de pneus, et que Goodyear était en train de prendre une décision quant à la construction d'une usine pilote²⁰³.

Agents aromatisants – La glycyrrhizine est un composé sucré retrouvé dans la réglisse et qui est de 150 à 300 fois plus sucré que le sucrose (sucre de table). Il est largement employé à titre d'édulcorant naturel et de médicament naturel en médecine traditionnelle. Il y a une forte demande pour la réglisse, et celle-ci provient presque exclusivement d'espèces sauvages indigènes confinées aux régions arides de la Chine, du Proche-Orient et du Moyen-Orient. En 2009, les chercheurs du RIKEN Institute au Japon ont identifié et synthétisé tous les gènes responsables de la production de glycyrrhizine²⁰⁴. Selon ces chercheurs, il serait maintenant possible de recourir à la biologie synthétique afin d'amener un plant de soya ou un microorganisme comme la levure à produire ce composé. S'ils réussissent, il sera alors possible de remplacer la glycyrrhizine produite au Moyen-Orient et en Extrême-Orient par une production synthétique à partir de cultures industrielles de soya ou même à partir de cuves commerciales.

Soleil vert ? – En octobre 2008, la firme privée Synthetic Genomics, Inc. dirigée par le spécialiste en biologie synthétique J. Craig Venter, a bénéficié d'un investissement de 8 millions de dollars provenant du conglomérat de producteurs d'huile de palme malaisien The Genting Group pour décoder le génome du palmier à huile²⁰⁵. Bien que ces fonds étaient initialement supposés être destinés à la modification du palmier à huile pour produire des biocarburants, les déclarations les plus récentes de Venter suggèrent une toute autre destinée. Lors d'une allocution faite à la télévision étasunienne en 2010, Venter a expliqué que son entreprise tentait maintenant d'utiliser des algues synthétiques pour produire des substances alimentaires plutôt que de faire la récolte d'huile de palme. « Vous obtenez 20 fois la productivité théorique de la croissance algale dans un espace beaucoup plus petit... Au lieu de tuer des poissons pour obtenir leur huile, nous pouvons reproduire cette dernière à partir d'algues²⁰⁶. » Venter n'est pas le seul à la recherche d'un substitut biosynthétique pour l'huile de palme. En septembre 2010, le plus important acheteur mondial d'huile de palme, le géant alimentaire Unilever, a annoncé un investissement de plusieurs millions de dollars dans l'entreprise de biologie synthétique Solazyme afin qu'elle puisse développer de l'huile algale qui remplacerait l'huile de palme dans les aliments tels que la mayonnaise et la crème glacée, de même que dans les savons et les lotions. Unilever affirme que d'ici trois à sept ans, elle pourra lancer un nouveau produit alimentaire biosynthétique, mais l'entreprise souligne : « Il ne s'agit pas seulement d'une application restreinte... Nous croyons qu'il s'agit plutôt de quelque chose qui offre des possibilités prodigieuses. » Solazyme affirme qu'elle peut modifier les *profils des huiles* des algues et ainsi concevoir des produits de remplacements pour différents types d'huiles. Bien qu'elles soutiennent qu'elles peuvent parvenir à cela à l'aide de souches naturelles d'algues, les entreprises espèrent que l'opposition des consommateurs aux aliments génétiquement modifiés s'atténuera et qu'elles pourront ensuite avoir recours à la biologie synthétique²⁰⁷.

La nanocellulose : miniaturiser la biomasse pour agrandir les nouveaux marchés

En modifiant les fibres de cellulose à l'échelle atomique, les nanotechnologues créent de nouvelles applications – et conséquemment de nouveaux marchés – pour la biomasse industrielle :

Nanomatériaux, énergie et produits pharmaceutiques : Bien que les nanotubes de carbone (NTC) – matériaux extrêmement résistants et représentant l'emblème de la nanotechnologie – soient normalement fabriqués à partir de graphite, il est également possible de les créer à partir de l'éthanol-mais²⁰⁸. Entretemps, les nanotechnologues sont de plus en plus séduits par une nouvelle classe de nanostructures connues sous le nom de nanocristaux de cellulose (NCC). Dérivés de la biomasse, les NCC peuvent être ajoutés aux plastiques pour les rendre 3 000 fois plus résistants, peuvent être conçus pour administrer des médicaments et des vaccins, et peuvent servir d'échafaudages pour faire croître des nanofils et des particules métalliques afin de créer des capteurs miniatures et des nouveaux matériaux photovoltaïques (soit des matériaux produisant de l'électricité à partir de la lumière du soleil)²⁰⁹.

Armure corporelle, dispositifs médicaux et aliments : Une forme de nanocellulose produite à partir de la pâte de bois par la firme suédoise Innventia est simultanément publicisée comme étant aussi résistante et légère que le Kevlar, capable de prévenir la dégradation des aliments lorsque utilisée comme emballage, permettant la fabrication de pièces de remplacement pour le corps humain à des fins médicales, et également comestible, pouvant alors être employée comme agent de remplissage hypocalorique dans les aliments préparés. La première usine commerciale pour ce merveilleux matériau issu de la biomasse devrait commencer sa production en octobre 2010²¹⁰.

Piles : Les nanotechnologues de l'Université d'Uppsala en Suède ont indiqué que les fibres de cellulose provenant de l'algue filandreuse *Cladophora* pourraient servir à faire des piles de papier de haute qualité. Comparées aux piles rechargeables conventionnelles, les piles de nanocellulose possèdent une charge de 50 à 200 % plus élevée et peuvent être rechargées des milliers de fois plus vite. « Lorsque la technique sera complètement développée, je crois que nous pourrons voir apparaître des applications auxquelles nous ne pouvons même pas rêver aujourd'hui », affirme Maria Strømme, l'une des scientifiques ayant développé cette pile. « Essayez d'imaginer ce que vous pouvez créer lorsque la pile peut être insérée dans des tapisseries, des textiles, des emballages, des dispositifs de diagnostic, etc.²¹¹ »

Nanotechnologie : technologie miniaturisée. La nanotechnologie implique la manipulation de la matière à l'échelle atomique et moléculaire (de l'ordre de 1 à 300 nanomètres) afin de tirer parti des nouvelles propriétés rencontrées à cette échelle.

Qu'est-ce qui est en train de changer ?

Changement no 1 : énergie. Combustion de biomasse pour l'obtention de chaleur et de bio-électricité

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) rapporte que 10,1 % de l'énergie primaire mondiale est présentement obtenue à partir de la biomasse – principalement du bois, de la bouse et de la paille utilisés pour la cuisson et le chauffage traditionnels. L'Agence prévoit toutefois que ce chiffre pourrait atteindre 25 % d'ici 2030²¹², une importante augmentation qui reflète bien la nouvelle frénésie consistant à brûler de la biomasse pour produire de l'électricité commerciale.

À portée de la main

En seulement quelques années, l'industrie de l'électricité a adopté la combustion de la biomasse à titre de stratégie permettant non seulement de réduire les coûts de production, mais aussi d'obtenir des crédits de carbone et de se conformer aux critères des énergies renouvelables. Des centrales électriques alimentées à la biomasse sont maintenant en fonction dans plus de 50 pays à travers le monde et fournissent une part croissante de l'électricité consommée. À la fin de 2009, il était estimé qu'à l'échelle de la planète, les centrales à la biomasse totalisaient une puissance installée de 54 GW²¹³. La combustion de la biomasse représente l'une des énergies renouvelables les plus accessibles. Cette source d'énergie à portée de la main ne requiert que peu ou pas de nouvelles technologies et peut être facilement exploitée dans les installations industrielles déjà existantes, simplement en changeant de combustible – des huiles minérales aux huiles végétales ou du charbon aux granules de bois (sciure de bois compactée). À ce titre, les autorités nationales et régionales considèrent la combustion de la biomasse comme une *forme transitoire* d'énergie supposément renouvelable. La cocombustion du bois dans les centrales au charbon existantes, notamment, est en train de devenir largement répandue. Cela est réalisé en mélangeant simplement de la biomasse au charbon dans les chaudières activant les turbines à vapeur des centrales thermiques.

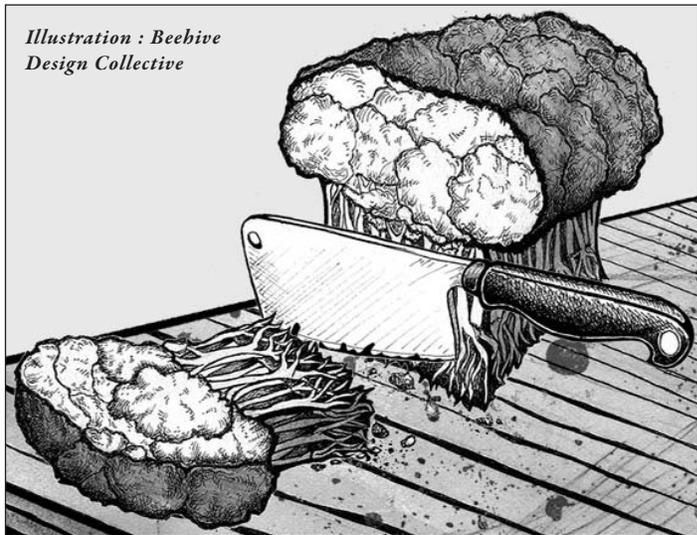
Combustion de biomasse aux États-Unis

Les États-Unis génèrent plus du tiers de toute l'électricité produite à partir de la biomasse, faisant de ceux-ci les plus grands producteurs d'énergie de biomasse au monde²¹⁴. En octobre 2010, le groupe communautaire Energy Justice Network a répertorié plus de 540 centrales énergétiques industrielles brûlant de la biomasse aux États-Unis, et il est prévu que 146 autres soient construites²¹⁵. Quarante-vingt centrales fonctionnant à la biomasse et générant environ dix GW de puissance²¹⁶ sont actuellement reliées au réseau de distribution électrique dans vingt états américains, ce qui représente la moitié de toute l'énergie renouvelable des États-Unis, cette industrie étant évaluée à 1 milliard de dollars²¹⁷. Selon la Biomass Power Association, la contribution de la biomasse au réseau de distribution a augmenté de 25 % pour atteindre environ 2 500 MW²¹⁸.

Énergie issue de la biomasse dans les pays du Sud

D'après le réseau REN21 (Renewable Energy Network for the 21st Century), l'énergie issue de la biomasse a également connu une forte croissance dans les pays du Sud, particulièrement dans ceux désignés par l'acronyme BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud). Les autres pays produisant de la bioélectricité incluent le Costa Rica, le Mexique, la Tanzanie, la Thaïlande et l'Uruguay. En 2009, l'énergie issue de la biomasse en Chine représentait 3,2 GW et ce pays entend produire jusqu'à 30 GW d'ici 2020. L'Inde vise une capacité de 1,7 GW d'ici 2012. Le Brésil génère déjà 4,8 GW d'électricité à partir de la biomasse, une production presque entièrement assurée par la bagasse de canne à sucre issue des raffineries de sucre²¹⁹.

Illustration : Beehive
Design Collective



Détermination des coûts de l'électricité issue de la biomasse I. Engloutissement des champs et des forêts

L'impact le plus direct des nouvelles centrales énergétiques s'alimentant de biomasse réside dans l'augmentation des besoins en biomasse, principalement le bois, ces centrales devant être approvisionnées 24 heures par jour afin de garder leurs turbines constamment en fonction. Selon un rapport portant sur la disponibilité de la biomasse préparé par le Massachusetts Department of Environmental Resources, 13 000 tonnes métriques de biomasse (poids humide) sont nécessaires pour générer un mégawatt d'énergie pendant un an²²⁰. Selon les dires du militant étatsunien Josh Schlossberg, ces centrales sont « des bouches béantes attendant un approvisionnement constant en provenance des forêts²²¹. »

La plus grosse centrale énergétique au monde fonctionnant à la biomasse, celle de Prenergy à Port Talbot au pays de Galles (présentement en construction), vise à importer trois milliards de tonnes courtes de copeaux de bois en provenance des États-Unis, du Canada, de l'Amérique du Sud et le l'Europe de l'Est. D'après Biofuelwatch, une organisation qui assure un rôle de chien de garde, la superficie des terres nécessaires à la croissance de toute cette biomasse pourrait être aussi vaste qu'un demi-million d'hectares – engendrant le déboisement d'une superficie équivalente à trois fois celle du Liechtenstein à chaque année²²².

Détermination des coûts de l'électricité issue de la biomasse II. Menaces pour la santé humaine

« J'ai constaté des liens forts et significatifs entre l'amygdalite, la toux fréquente, la laryngite sous-glottique aiguë, la respiration sifflante induite par l'exercice, les allergies alimentaires et l'exposition à la fumée de bois chez nos enfants d'âge scolaire. Je pense que la fumée de bois est l'un des polluants atmosphériques les plus nocifs que nous ayons sur Terre. »

- Gerd Oberfeld, M. D., épidémiologiste, Bureau de la santé publique - Unité de santé environnementale, Salzburg, Autriche²²³

La combustion de la biomasse est peut-être *naturelle*, mais elle représente néanmoins un risque majeur pour la santé des communautés vivant à proximité des grosses centrales énergétiques alimentées à la biomasse.

- Une estimation effectuée par l'Organisation mondiale de la santé en 1997 a déterminé que le nombre de morts prématurées dues à l'inhalation de fumée de bois – surtout reliée aux feux de cuisson à l'intérieur des habitations – se situait entre 2,7 et 3 millions de personnes²²⁴. La cause principale de ces morts semble être reliée aux effets engendrés par des particules fines et ultrafines qui pénètrent profondément dans les poumons.

- L'Agence de protection de l'environnement (EPA) des États-Unis estime que le risque cumulé sur l'ensemble de la durée de vie de développer un cancer est 12 fois supérieur dans le cas de la fumée de bois que dans le cas d'une quantité équivalente de fumée secondaire de cigarette²²⁵. Selon un calcul effectué par l'EPA, brûler seulement deux cordes de bois (environ un quart de tonne métrique) produit la même quantité de particules mutagènes que le fait de conduire 13 voitures fonctionnant à l'essence pendant 10 000 miles si chacune de celles-ci font 20 miles au gallon²²⁶.
- Les enfants vivant dans des communautés où la fumée de bois est présente en quantité importante présentent une diminution de la capacité pulmonaire et une recrudescence des épisodes d'asthme, ainsi qu'une augmentation de la fréquence et de la gravité des problèmes respiratoires en général, des visites aux urgences des hôpitaux et de l'absentéisme scolaire²²⁷. La poussière de bois aéroportée (non brûlée) peut également causer des irritations respiratoires, oculaires et cutanées.
- La fumée de bois contient plus de 200 groupes de substances chimiques, certaines de celles-ci étant toxiques²²⁸. Selon le groupe de défense de l'intérêt public Clean Air Revival, la fumée de bois est la troisième plus grande source de dioxines aux États-Unis, une classe de composés comptant parmi les plus toxiques²²⁹.

Changement no 2 : biocarburants liquides. La liquéfaction de la biomasse pour le transport

« Quiconque produit des biocarburants en abondance pourrait bien finir par faire plus que des gros sous – il écrira l'histoire... Les entreprises et les pays qui y parviendront seront les vainqueurs économiques de la prochaine ère, au même titre que le sont actuellement les pays bien pourvus en ressources pétrolières. »

- J. Craig Venter, fondateur de Synthetic Genomics, Inc.²³¹

La production de carburants liquides pour le transport à partir de la biomasse représente la figure emblématique, reluisante et bien nantie de la nouvelle économie de la biomasse. Qu'il s'agisse de la brève ruée vers l'éthanol-maïs de 2006-2008 ou de la récente vague de capitaux de risques et de grandes entreprises pétrolières engloutissant des milliards de dollars pour le démarrage de la filière des biocarburants, l'industrie des biocarburants est toujours considérée comme étant une importante source de revenus à l'heure du pic pétrolier et de la tarification du carbone. Les prédictions faites en 2006 à l'effet que les biocarburants représenteraient 30 % de tous les carburants pour les transports d'ici 2030²³² apparaissent maintenant exagérées. Il n'en demeure pas moins que, stimulé par les incitatifs financiers des programmes gouvernementaux d'énergie propre et les énormes investissements des grandes pétrolières, le secteur des biocarburants connaît actuellement une forte croissance. Ayant récemment attiré beaucoup d'attention, le déversement de pétrole par la plateforme Deepwater Horizon de BP semble également redonner vie à l'idée selon laquelle les carburants liquides non fossiles constitueraient une panacée aux problèmes environnementaux²³³.

L'incinération déguisée

Alors que les copeaux de bois et les huiles végétales confèrent à la bioénergie une façade propre et respectueuse de l'environnement, l'industrie camoufle une réalité beaucoup moins reluisante derrière l'acronyme DSM, qui signifie déchets solides municipaux. Les installations qui sont autorisées à brûler du bois sont également autorisées à mélanger un certain pourcentage de déchets solides municipaux, soit jusqu'à 30 % dans certains États des États-Unis, et se font même payer à cette fin, rendant l'incinération des déchets intéressante.

Mondialement, 12 GW d'énergie soi-disant issue de la biomasse sont actuellement générés par l'incinération des déchets²³⁰. Des dioxines, des furannes, des métaux lourds comprenant le mercure et le plomb, des biphényles polychlorés (BPC), de la matière particulaire ultrafine, du monoxyde de carbone, du dioxyde de soufre, des oxydes d'azote et une panoplie d'autres composés toxiques sont rejetés par les cheminées des incinérateurs du monde entier depuis des années. Maintenant couplés à une foule de technologies comme la pyrolyse, la gazéification et l'incinération au plasma, les incinérateurs acquièrent le titre de centrales énergétiques fonctionnant à la biomasse, désignées comme étant des technologies permettant de convertir les déchets en énergie. Ces incinérateurs déguisés prétendent résoudre simultanément les problèmes de surplus de déchets et de pénurie d'énergie renouvelable, réduisant ainsi la quantité de biomasse prélevée du milieu naturel.

Un échec total : les ratées des biocarburants de première génération

La *première* génération de biocarburants, que l'on pourrait aussi appeler *génération ratée*, fait autant référence aux alcools – presque entièrement de l'éthanol produit à partir de la fermentation du maïs et de la canne à sucre – qu'aux biodiésels – obtenus par le raffinage de cultures oléagineuses (soya, colza, tournesol, moutarde) ou d'arbres (palmier à huile, jatropha). Trois grands obstacles ont obstrué la voie des biocarburants de première génération vers le succès :

- **Interférences avec la sécurité alimentaire et la protection des forêts** - En 2008, un rapport interne de la Banque mondiale (rendu subséquemment public) a révélé que jusqu'à 75 % de la hausse des prix des aliments durant la crise qui sévissait cette année-là était due aux politiques européennes et étasuniennes en matière de biocarburants. Ces dernières ont en effet déclenché une conversion massive vers les cultures de colza au détriment des cultures de blé, couplé à un détournement majeur du maïs et du soya vers la production d'éthanol et de biodiésel²³⁴. Des modélisations plutôt conservatrices effectuées antérieurement par l'Institut international de recherche sur les politiques alimentaires (IIRPA) ont estimé que 30 % de la hausse globale des prix des céréales durant la crise alimentaire de 2008 pouvait être attribuable aux biocarburants. Toutefois, l'IIRPA a calculé que si un moratoire mondial sur la production de biocarburants avait été décrété en 2007, les prix des cultures alimentaires essentielles auraient pu chuter de manière significative en 2010 – de 20 % pour le maïs, 14 % pour le manioc, 11 % pour le sucre et 8 % pour le blé²³⁵. Les cultures dédiées à la production de biodiésel (soya, tournesol, canola) consomment de l'eau, des nutriments et utilisent des terres agricoles de qualité ou, dans le cas des plantations de palmier à huile, sont responsables de la destruction des forêts ombrophiles, ce qui comporte des impacts sur les espèces menacées et les droits des habitants des forêts²³⁶.
- **Faible bilan énergétique** - L'éthanol, pour citer cet exemple en particulier, est un mauvais carburant qui produit moins d'énergie que l'essence lors de sa combustion. Cette caractéristique affecte négativement le bilan énergétique des biocarburants de première génération. Les économistes énergétiques ont calculé que lorsque les coûts énergétiques des intrants agricoles sont pris en compte, l'éthanol-maïs consomme 29 % plus d'énergie qu'il n'en produit. Le biodiésel obtenu à partir du soya consomme 27 % plus d'énergie (souvent obtenue à partir de sources fossiles) qu'il n'en produit, et le biodiésel obtenu à partir du tournesol, 118 % plus d'énergie qu'il n'en produit²³⁷.
- **Moteurs et systèmes de distribution modifiés** - L'éthanol pur peut corroder les différentes pièces des moteurs et nécessite d'ajuster les flux d'air et de carburant. En conséquence, l'éthanol doit être manipulé séparément, ce qui implique le recours à des réservoirs de stockage et des systèmes de distribution coûteux (il faut toutefois noter que le biodiésel s'adapte plus facilement aux moteurs et aux systèmes de distribution déjà existants).

Bien que ces ratés des biocarburants de première génération soient largement connus, les gouvernements des pays membres de l'OCDE maintiennent leurs subventions et leurs programmes d'intégration pour l'éthanol et le biodiésel. Les partisans du biodiésel assurent que de tels programmes doivent rester en place afin de permettre une transition en douceur vers la prochaine génération de biocarburants qu'ils entrevoient moins problématique (quoiqu'ils soient encore à l'étape de la conception).

Les survivants de la première génération : le sucre et le jatropha

Même après que se fut dissipé l'engouement initial pour les biocarburants, au moins deux biocarburants de première génération font toujours l'objet d'un ardent appui :

Canne à sucre – Au Brésil, la canne à sucre est transformée en éthanol à une échelle industrielle depuis une trentaine d'années. Depuis 2008, plus de 50 % du carburant pour voitures et autres véhicules légers vendu au Brésil était de l'éthanol, et ce pays semble prêt à produire la quantité record de 27 milliards de litres d'éthanol en 2010²³⁸. L'industrie brésilienne de l'éthanol affirme que sa canne à sucre possède un bien meilleur bilan énergétique que l'éthanol-maïs et que davantage de cette plante peut être cultivée de manière durable sans faire compétition à la production alimentaire. En février 2010, Royal Dutch Shell a signé un accord avec le géant du sucre Cosan afin de créer une coentreprise d'une valeur de 12 milliards de dollars produisant de l'éthanol à partir de la canne à sucre brésilienne. Cet investissement représente l'engagement le plus important envers les biocarburants fait par une entreprise pétrolière jusqu'à maintenant²³⁹.



Récolte de la canne à sucre au Brésil
Photo : John McQuaid

Suite à la page suivante

Ces affirmations *écologues* de l'industrie brésilienne de la canne à sucre sont vivement critiquées. Des calculs montrent qu'il faudra doubler la superficie des plantations de canne à sucre brésilienne – couvrant actuellement 8,89 millions d'hectares – d'ici 2020²⁴⁰. Cela se fera grandement aux dépens de régions écologiquement sensibles telles que le *Cerrado*. Fragile et riche en biodiversité, cette région est surnommée *le père de l'eau* en raison du fait qu'elle héberge les trois plus grands bassins versants de l'Amérique du Sud, incluant l'Amazonie. L'essor de l'éthanol entraîne la destruction de l'Amazonie, alors que les nouvelles plantations de canne à sucre poussent les cultures de soya et les élevages de bétail à s'enfoncer encore plus profondément dans le territoire amazonien. En plus de consommer beaucoup d'eau, la culture de la canne à sucre requiert l'application intensive de substances agrochimiques et la pratique du brûlis à grande échelle. Selon une étude récente, le brûlis combiné à l'usage de fertilisants et d'autres intrants agricoles relâchent annuellement près de 150 millions de tonnes courtes de dioxyde de carbone²⁴¹ dans l'atmosphère, ce qui contribue à faire du Brésil le septième plus grand émetteur de gaz à effet de serre dans le monde²⁴². Le coût social s'avère également élevé. L'expansion de la frontière agricole prive les habitants locaux de leurs terres et fait rapidement augmenter le nombre de pauvres dans les grandes villes du Brésil. Pendant ce temps, la canne à sucre est récoltée par une armée d'un demi-million de travailleurs immigrants, une grande proportion de ceux-ci devant endurer des conditions de travail forcé, des problèmes respiratoires et des risques de mort prématurées due à l'épuisement²⁴³.

Jatropha – *Jatropha* est un genre (au sens taxinomique du terme) d'arbustes tropicaux, dont certaines espèces produisent des noix incombustibles riches en huile pouvant servir à la production de biodiésel. Des entreprises telles que D1 Oils (dont BP est propriétaire) et Daimler soutiennent actuellement l'expansion de la culture du jatropha en Afrique, en Amérique du Sud et en Asie, qu'ils honorent à titre de culture merveilleuse. Ils encensent le jatropha pour sa capacité à croître sur des terres dites marginales, dans des sols pauvres et même sous des conditions semi-arides. Certaines communautés à travers l'Afrique et l'Asie ont réagi à la mainmise sur les terres reliées aux plantations de jatropha, la plupart de celles-ci déplaçant la production alimentaire et s'emparant de terres où vivent des personnes pauvres. Bien que le jatropha puisse effectivement vivre malgré des quantités d'eau restreintes, cette plante a néanmoins besoin de quantités importantes d'eau afin de se développer et de fournir des quantités suffisantes d'huile. Une étude récente de l'empreinte des cultures énergétiques sur l'eau a conclu qu'un seul litre de biodiésel produit à partir du jatropha requiert 20 000 litres d'eau pour la croissance celui-ci, dépassant de loin la consommation en eau du canola, du maïs, du soya, de la canne à sucre ou de n'importe quelle autre culture énergétique actuellement mise à profit²⁴⁴. D'autres problèmes causés par le jatropha comprennent la toxicité de ses semences pour les humains, son pouvoir envahissant et le fait qu'il ne résiste pas aussi bien aux nuisibles qu'on ne le dit²⁴⁵.

La prochaine génération : changement de carburants et de matières premières

Après s'être fortement fait surprendre par les ratés de la première génération de carburants, l'industrie, de concert avec les gouvernements des pays membres de l'OCDE, injecte maintenant des montants astronomiques dans ce qui est appelé la *prochaine génération* de biocarburants. Le fort niveau d'engagement suggère qu'une manœuvre politique désespérée est en cours afin de sauver les deniers publics déjà engagés et les promesses déjà faites dans ce secteur.

Afin de pallier les problèmes de la première génération de biocarburants, la prochaine génération entend recourir à de nouvelles matières premières (la cellulose et les algues notamment) et développer des carburants liquides plus énergétiques à l'aide de technologies de transformation améliorées (particulièrement la biologie synthétique). L'élixir de deuxième génération que les bio-alchimistes tentent actuellement de concocter consiste idéalement en un liquide dont les ingrédients ne risqueront pas d'affecter la sécurité alimentaire, qui contiendra une quantité d'énergie égale (ou supérieure) à un volume équivalent d'essence, et qui pourra être employé dans les moteurs et les systèmes de distribution déjà existants.

On rapporte qu'au moins 200 entreprises tentent de concrétiser cette vision du *biocarburant parfait*²⁴⁶, chacune de celles-ci travaillant à un morceau particulier du casse-tête de la *prochaine génération*. Certaines de ces entreprises s'engagent déjà dans la production commerciale, mais seulement en petites quantités (voir l'annexe). La plupart de celles-ci sont aux prises avec des problèmes reliés au passage à une plus grande échelle.

Usine d'éthanol Photo: Aaron Brown



Bioraffinerie : installation industrielle servant à la transformation de la biomasse. À l'image des raffineries de pétrole, les bioraffineries sont des usines qui scindent la biomasse en ses composantes pour ensuite les raffiner à l'aide de méthodes chimiques et biologiques (dont la fermentation) afin de fabriquer des composés industriels tels que des produits chimiques et des carburants de même que de la chaleur et de l'énergie.

Les carburants cellulodiques

« *Le carburant du futur proviendra de fruits comme le vinaigrier retrouvé le long des routes, ou à partir des pommes, de mauvaises herbes, de la sciure de bois, bref, de presque n'importe quoi.* »

– Henry Ford, dans le New York Times, 1925²⁴⁷

Vous vous souvenez des 180 milliards de tonnes métriques de sucre produites annuellement à partir de la cellulose des branches d'arbres, des feuilles, des herbes et des algues du monde entier ? Aux yeux d'une industrie qui a besoin de sucre pour produire des carburants, ce filon cellulodique semble être la matière première non alimentaire parfaite. La législation étasunienne de 2005 qui a commandé la production de 100 millions de gallons d'éthanol cellulodique avant 2010 a dû revoir drastiquement ses objectifs à la baisse dès février 2010, les portant à 6,5 millions de gallons²⁴⁸. La même législation a exigé que les voitures aux États-Unis consomment 4,3 milliards de gallons d'éthanol cellulodique d'ici 2015 – une autre cible qui ne sera vraisemblablement pas atteinte. Il existe deux manières de produire des carburants à base de cellulose : thermochimique et biologique.

Production thermochimique de carburants cellulodiques

Les chimistes savent comment transformer la biomasse en carburants depuis les années 1930, lorsque le procédé de la synthèse Fisher-Tropsch permettant de transformer le charbon en liquide fut commercialisé par le gouvernement allemand en cette époque de guerre. Ce procédé surchauffe le charbon (ou la biomasse) pour le transformer en gaz qui est ensuite chimiquement transformé en carburant liquide :

Suite à un investissement d'au moins 320 millions de dollars, dont la moitié fut fournie par le gouvernement étasunien et l'État de Géorgie, l'entreprise **Range Fuels** au Colorado (États-Unis) a ouvert sa première usine commerciale à grande échelle (en Géorgie), laquelle produit quatre millions de gallons d'éthanol cellulodique annuellement – une quantité bien plus faible que le milliard de gallons d'éthanol qu'ils avaient initialement promis²⁴⁹.

Située en Californie, **BlueFire Ethanol** a recours à des acides forts pour briser la lignocellulose en sucres disponibles pour la fermentation. La première bioraffinerie de BlueFire transformera des déchets préalablement triés normalement destinés aux sites d'enfouissement pour produire annuellement environ 3,9 millions de gallons d'éthanol apte à servir de carburant. Une seconde usine vise à produire 19 millions de gallons d'éthanol par année à partir de biomasse ligneuse²⁵⁰.

Production biologique de carburants cellulodiques

L'autre principale manière de fabriquer des biocarburants cellulodiques consiste à employer de puissantes enzymes, appelées cellulases, pour scinder la cellulose en sucres fermentescibles, lesquels sont alors transformés en éthanol et d'autres alcools. Des microorganismes naturels, génétiquement modifiés et synthétiques sont tous en cours d'être développés afin de scinder et fermenter la cellulose.

- **BP** et **Verenium** (anciennement **Diversa**) ont fondé en 2009 une coentreprise d'une valeur de 45 millions de dollars afin de produire de l'éthanol cellulodique à l'aide des enzymes synthétiques mises au point par **Verenium**²⁵¹. En juillet 2010, BP a payé 98 millions de dollars supplémentaires pour faire l'acquisition de l'entreprise de biocarburants de **Verenium**, incluant deux installations de production²⁵².
- **Iogen Corporation** utilise des enzymes sécrétées par une souche génétiquement modifiée du champignon **Trichoderma reesi** (responsable de la dégradation de certains textiles contenant de la cellulose en région tropicale humide) afin de dégrader la matière végétale à son usine de démonstration située à Ottawa. Celle-ci produit déjà 170 000 gallons d'éthanol cellulodique annuellement. Dans le cadre d'une coentreprise à parts égales avec **Shell**, **Iogen** prévoit mettre sur pied ce qu'elle appelle la première usine mondiale d'éthanol cellulodique à grande échelle en **Saskatchewan** au Canada²⁵³.
- **Mascoma** a remodifié des levures et des bactéries pour qu'elles puissent non seulement dégrader la cellulose en vue d'en produire de l'éthanol, mais qu'elles puissent également faire fermenter les composantes générées en éthanol cellulodique au sein d'un processus simplifié tout-en-un. **Mascoma** a établi un partenariat avec **General Motors**²⁵⁴, **Marathon Oil**²⁵⁵ ainsi que le fabricant d'éthanol **Royal Nidalco**²⁵⁶, et construit présentement une installation de production commerciale dans le **Michigan**. Par l'entremise d'un partenariat avec **Stellenbosch Biomass Technologies**, **Mascoma** est également en train d'implanter sa technologie en **Afrique du Sud**²⁵⁷.
- **Coskata**, qui a développé des partenariats avec **General Motors** et **Total Oil**²⁵⁸, a cultivé des microorganismes naturels qui, employés de manière concomitante avec la gazéification, peuvent transformer des matières premières telles que des copeaux de bois ou des pneus usagés en éthanol cellulodique.
- **DuPont** s'est associée avec l'entreprise de biotechnologie **Genencor** pour fonder **DuPont Danisco Cellulosic Ethanol LLC**, un projet d'une valeur de 140 millions de dollars faisant usage de la technologie des enzymes synthétiques de **Genencor**²⁵⁹. Leur usine de démonstration au **Tennessee** transforme actuellement quelques tonnes de rafles de maïs en éthanol. La production à l'échelle commerciale est prévue pour 2013.
- **POET**, qui prétend être le plus important producteur d'éthanol au monde, utilisera les enzymes commerciales de **Novozymes** pour transformer les rafles de maïs de manière à produire annuellement 25 millions de gallons d'éthanol lorsque sa bioraffinerie sera opérationnelle vers la fin de 2011 ou au début de 2012²⁶⁰.
- **Verdezyne**, une entreprise de biologie synthétique établie en Californie, développe présentement une levure pouvant convertir le panic érigé, le chanvre, le maïs et le bois en éthanol²⁶¹. Cette entreprise a déjà conclu des ententes avec **Novozymes**, **Genencor** et **Syngenta**²⁶².
- En février 2008, le géant de la foresterie **Weyerhaeuser** a fondé une coentreprise avec **Chevron** nommée **Catchlight Energy** pour produire de l'éthanol cellulodique à partir du bois. Peu de détails ont été dévoilés depuis qu'ils ont fait leur annonce initiale²⁶³.
- L'entreprise étasunienne **Qteros** a amélioré une bactérie retrouvée dans la nature appelée microbe **Q** afin qu'il lui soit possible de transformer la lignocellulose en sucres pour en faire de l'éthanol et des produits chimiques. Ses bailleurs de fonds actuels incluent **BP** et **Soros Fund**. **Qteros** entend obtenir une licence pour son microbe **Q** au **Bésil** et en **Inde** afin de pouvoir transformer la bagasse de canne à sucre en éthanol²⁶⁴.

Au-delà de la transition de l'alcool aux hydrocarbures : bioessence, butanol, isopentanol, hexadécane et farnésène

Qu'il soit produit à partir de copeaux de bois, de tiges de maïs ou d'algues, le principal problème du marché de l'éthanol cellulosique réside justement dans le fait qu'il s'agit d'éthanol, un carburant faiblement énergétique demandant d'apporter des modifications aux moteurs et une infrastructure de distribution distincte. Comme se plaît à dire le spécialiste de la biologie synthétique et entrepreneur Jay Keasling, « L'éthanol, c'est fait pour boire, pas pour conduire²⁶⁵. » Un certain nombre d'entreprises prennent donc leurs distances par rapport à l'éthanol et aux autres alcools similaires pour plutôt se consacrer à la production massive d'hydrocarbures ressemblant au diésel ou à l'essence et pouvant être traités dans des raffineries de pétrole conventionnelles ou employés directement dans les moteurs automobiles ordinaires.

Méthodes thermochimiques

1. L'entreprise allemande de biocarburants **Choren** a inauguré la première raffinerie commerciale au monde permettant de transformer la biomasse en liquide afin de transformer annuellement 68 000 tonnes métriques de bois en 18 millions de litres de carburant diésel d'hydrocarbures. Les partenaires de Choren incluent notamment Shell, Daimler et Volkswagen²⁶⁶.
2. **Dynamotive Corporation** de Vancouver au Canada soumet la biomasse agricole et forestière à une pyrolyse éclair (combustion en absence d'oxygène), générant ainsi de l'huile pyrolyseuse. Dynamotive Corporation dirigeait une usine de démonstration en Ontario (Canada) qui a cependant dû fermer ses portes pour être mise sous séquestre en juillet 2010²⁶⁷.

Photo: *Yersinia Pestis*



Algues : amas filandreux verdâtres retrouvés à la surface des étangs ou goémon retrouvé sur la plage. Terme faisant référence à une grande variété d'organismes plantiformes photosynthétiques qui croissent dans l'eau, ceux-ci allant des algues unicellulaires, comme les cyanobactéries, aux grandes algues marines pluricellulaires, comme la laminaire.

Méthodes ayant recours à la biologie synthétique

3. **LS9** a développé des microorganismes synthétiques brevetés capables de transformer par fermentation les sucres et même la cellulose en carburants d'hydrocarbures qui sont en tous points identiques à l'essence, au diésel et au carburacteur. Suite à un investissement de **Chevron** totalisant 25 millions de dollars, une nouvelle bioraffinerie ayant vu le jour en Floride devrait produire 50 000 à 100 000 gallons de son diésel ultra propre d'ici 2011 et le commercialiser en 2013²⁶⁸.
2. **Gevo**, une autre entreprise étasunienne de biologie synthétique, a développé des microorganismes capables de transformer les sucres issus de l'agriculture en isobutanol, un alcool à haute teneur énergétique pouvant servir de carburant directement utilisable dans les moteurs fonctionnant à l'essence. L'entreprise a conclu des accords avec **Cargill** et jouit d'investissements concédés par **Total Oil** et **Virgin Group**²⁶⁹.
3. **Amyris Biotechnologies** a mis au point une levure synthétique qui peut assurer la fermentation du sucre de canne en équivalents de diésel, d'essence et de carburacteur d'hydrocarbure en se servant du farnésène. Dirigée par un ancien directeur de BP, Amyris est en lien avec de nombreux partenaires, incluant **Shell**, **Total**, **Votorantim**, **Crystalsev**, **Mercedes**, **le Département de la défense des États-Unis**, **Bunge**, et **Cosan**. Sa bioraffinerie située au Brésil commencera à vendre du biodiésel dit sans compromis en 2011. Amyris collabore également avec **Proctor & Gamble** pour fabriquer des produits chimiques²⁷⁰.

Au-delà de la cellulose : les algocarburants

« Si l'humanité décidait de labourer le désert du Sahara, de l'irriguer avec l'eau salée de la Méditerranée et d'y faire croître de la biomasse comme les algues, nous pourrions remplacer tous les carburants fossiles que notre espèce utilise actuellement et fournir des aliments à faible coût à une population mondiale croissante. »

– Dennis Bushnell, scientifique en chef au Centre de recherche Langley de la NASA²⁷¹

Aux yeux de ceux qui ont foi en les biocarburants, l'élaboration de carburants à partir d'algues (cyanobactéries, ou amas filandreux flottant communément à la surface des étangs) constitue le point culminant en matière de ravitaillement durable en biomasse. L'UK Carbon Trust prévoit que d'ici 2030, les algocarburants pourront remplacer plus que les 70 milliards de litres de carburants fossiles utilisés à chaque année par le transport routier et l'aviation²⁷².

Il est proposé de cultiver ces algues dans quatre systèmes différents :

Les **étangs ouverts** situés dans les déserts ou d'autres régions jouissant d'un ensoleillement abondant représentent la méthode privilégiée pour cultiver des algues. Des eaux usées ou douces peuvent être acheminées vers les étangs en utilisant des roues à aubes en mouvement.



Étang de culture d'algues pour la production de carburant
Photo : Agrilife Inc.

Les **photobioréacteurs** sont des systèmes qui confinent les algues dans des tubes de verre ou des sacs de plastique et qui sont alimentés en eau, en CO₂ et en nutriments par une pompe. Les photobioréacteurs peuvent potentiellement être utilisés en milieu urbain.

Les **cuves fermées** tirent leur énergie du sucre plutôt que de la lumière du soleil. Les algues peuvent être cultivées dans de grandes cuves et trafiquées de manière à produire de l'hydrogène plutôt que des huiles.

La culture d'algues en **haute mer** est encore à un stade théorique et comporte des risques que les souches d'algues cultivées s'échappent des enclos et causent des dommages écologiques. Certaines entreprises comme Blue Marble proposent de récolter des algues sauvages à partir des zones mortes des océans²⁷³. Pendant ce temps, les chercheurs du projet Algae OMEGA de la NASA proposent de développer des élevages flottants d'algues d'eau douce confinées dans des sacs en plastique; de cette manière, si les algues s'échappent, elles ne résisteront pas aux conditions du milieu océanique²⁷⁴.

Arguments appuyant la culture des algues

- Les algues produisent une huile d'hydrocarbure qui peut être extraite et transformée en biodiésel ou encore raffinée pour en faire de l'essence, des plastiques et des produits chimiques.
- Les algues produisent elles aussi de la cellulose pouvant être récupérée et transformée en carburant cellulosique ou en bioélectricité.
- Les algues peuvent être modifiées pour produire de l'hydrogène.
- Les algues sont plus performantes que les plantes vertes pour transformer la lumière du soleil en biomasse.
- Les algues croissent rapidement et facilement dans des eaux riches en nutriments; elles sont abondantes et renouvelables.
- Les algues ne constituent pas une importante source alimentaire.
- Les algues peuvent absorber le dioxyde de carbone, peu importe qu'il provienne de l'atmosphère ou d'activités industrielles.
- Selon leur souche, les algues peuvent être cultivées dans de l'eau de mer ou des eaux usées, ce qui évite l'utilisation abusive d'eau douce.
- Les cultures d'algues ne requièrent pas de terres agricoles, celles-ci pouvant être développées dans les déserts, sur les terres marginales, dans l'océan et même en milieu urbain.

Arguments s'opposant à la culture des algues comme source de carburant

- **Passage à grande échelle** – Après plus de 40 années d'expérimentation sur les algues comme source de biocarburants, aucune entreprise n'a réussi à produire des quantités commerciales afin de pouvoir rivaliser avec les carburants fossiles, que ce soit en utilisant l'huile ou la biomasse algale. Il est fort probable qu'il soit nécessaire de modifier génétiquement les algues d'une manière ou d'une autre pour y parvenir.
- **Emprise** – En raison du fait que la production d'algues nécessite la lumière du soleil à titre de source d'énergie, les étangs de culture doivent rester peu profonds afin que la lumière y pénètre et atteignent ces organismes. En conséquence, l'emprise des étangs de production peu profonds couvrent de très vastes superficies, ce qui comporte des impacts sur les écosystèmes, les droits fonciers et les usages coutumiers, particulièrement dans les régions désertiques. L'expert en énergies renouvelables Saul Griffiths a récemment calculé que même si une souche d'algues peut être rendue quatre fois plus efficace à capter la lumière du soleil pour combler ses besoins en énergie, il serait quand même nécessaire de remplir l'équivalent d'une piscine olympique d'algues à chaque seconde pendant les 25 prochaines années²⁷⁵, ce qui permettrait de réduire seulement de 3 % la consommation mondiale en énergie.
- **Bilans hydrique et énergétique** – Selon la nature du système de production en jeu, cultiver des algues peut s'avérer être une activité très énergivore. Cela est notamment dû au fait que la culture d'algues dans des étangs ouverts ou des bioréacteurs clos requière un apport constant en fertilisants. Dans une analyse du cycle de vie portant sur les algocarburants parue dans le journal *Environmental Science and Technology*, des chercheurs ont conclu que la production d'algues consomme plus d'eau et d'énergie que les autres matières premières destinées à la fabrication de biocarburants (dont le maïs, le canola et le panic érigé), ainsi qu'un bilan d'émissions de gaz à effet de serre plus élevé²⁷⁶. La production de fertilisants, en particulier, est très énergivore. De plus, la production et l'opération en continu des photobioréacteurs, des pompes à eau et des dispositifs d'agitation, de même que les technologies de récolte et d'extraction consomment également de l'énergie. « Tenant compte de ce que nous avons appris des projets pilotes de production d'algues au cours des 10 ou 15 dernières années, nous avons découvert que l'empreinte environnementale de ces organismes est plus grande que les cultures pratiquées sur la terre ferme », a dit Andres Clarens du Civil and Environmental Department de l'Université de Virginie et auteur de l'étude²⁷⁷. Les auteurs ont suggéré que les entreprises utilisent des eaux usées riches en nutriments afin de réduire la quantité de fertilisants employés.
- **Pic de production des phosphates et compétition avec la production alimentaire** – Le coût énergétique associé à l'utilisation intensive de fertilisants n'est pas la seule entrave à l'essor des algocarburants. Il est estimé que les réserves mondiales de phosphate convenant à la fabrication de fertilisants ont chuté à seulement 8 000 millions de tonnes métriques. Un commentateur a noté que si nous troquions la production de pétrole contre celle des algues, nous n'aurions suffisamment de fertilisants phosphatés que pour 37 ans²⁷⁸. Étant donné la pénurie imminente de cet important minéral, l'utilisation des phosphates aux fins de production de biocarburants entre directement en compétition avec la production alimentaire – le dilemme classique aliments contre carburants.

- **Risques reliés au pouvoir envahissant et aux manipulations génétiques** – Plusieurs écologistes sont alarmés par l'idée de développer de vastes productions de cyanobactéries à ciel ouvert puisque les algues se reproduisent rapidement, pouvant doubler leur masse quotidiennement. Les souches sauvages d'algues sont déjà responsables des pires invasions écologiques, engendrant des zones anoxiques (zones mortes) dans les régions côtières sous l'effet du ruissellement des fertilisants ou des efflorescences de cyanobactéries qui étouffent les écosystèmes d'eau douce et menacent la santé humaine. Les cyanobactéries génétiquement modifiées augmentent les risques écologiques en raison du fait que l'altération de leur code génétique aura non seulement des effets collatéraux imprévus, mais également parce que ces altérations visent à engendrer des souches de *super-algues* qui capteront la lumière du soleil de manière plus efficace que les souches naturelles. Lors de la rencontre de 2010 de la nouvelle commission de bioéthique du président Barack Obama, Allison A. Snow, une écologiste de l'Université d'État de l'Ohio a témoigné à l'effet qu'un *hypothétique scénario du pire cas* impliquerait que les algues modifiées pour être très résistantes pourraient se disperser dans l'environnement, supplanter les autres espèces et engendrer des efflorescences qui consomment l'oxygène de la colonne d'eau et tuent les poissons²⁷⁹.
- **Géo-ingénierie et climat** – Les algues occupent un rôle central dans la régulation de la vie terrestre, étant responsables de 73 à 87 % de la production nette mondiale d'oxygène en fixant le dioxyde de carbone atmosphérique²⁸⁰. Modifier la biologie des algues ou altérer la population algale sur n'importe quelle échelle d'importance peut comporter des conséquences directes imprévisibles et négatives sur le cycle de l'oxygène, celui du carbone et de l'azote, ainsi que sur la production d'ozone. Les propositions à l'effet de cultiver des algues dans les régions côtières ou au large des océans soulèvent les mêmes préoccupations sur le plan de l'environnement et de la justice que les plans de géo-ingénierie consistant à ensemercer les océans avec du fer ou de l'urée pour provoquer la prolifération du plancton (fertilisation des océans).



Illustration: Beehive Design Collective

La nouvelle vague de vendeurs d'algues

Bien qu'actuellement, aucune entreprise ne commercialise des quantités commercialement viables d'algocarburants, le groupe d'étude de marché Global Information estime qu'à travers le monde, plus de 100 entreprises tentent actuellement de produire des carburants et d'autres produits à partir d'algues. Ces entreprises sont généralement financées, à tout le moins aux États-Unis, où elles reçoivent 70 millions de dollars en provenance du gouvernement étasunien ou des États. Global Information affirme que le marché des algocarburants représente une valeur de 271 millions de dollars en 2010 et pourrait valoir plus de 1,6 milliards de dollars d'ici 2015²⁸¹.

Les entreprises à surveiller incluent :

Synthetic Genomics, Inc. – Une entreprise de biologie synthétique très médiatisée fondée par le magnat des gènes J. Craig Venter. Possède une coentreprise avec **ExxonMobil** d'une valeur de 600 millions de dollars et qui entend développer une souche algale hautement efficace et en faire la production commerciale. ExxonMobil mentionne qu'il s'agit là d'un de ses plus grands projets de recherche dans le domaine de la technologie²⁸². Une serre de démonstration a été ouverte à San Diego (Californie) en 2010 et une installation d'essais plus importante, qui sera dévoilée en 2011, est en cours de construction dans un endroit gardé secret²⁸³. En mai 2010, Venter a dit au Congrès des États-Unis que Synthetic Genomics entend construire des installations aussi vastes que la ville de San Francisco²⁸⁴. Les autres bailleurs de fonds de Venter incluent **BP**, **Genting Group** de Malaisie, **Novartis** et **Life Technologies Corporation**, ainsi que plusieurs individus.

Sapphire Energy prétend qu'en 2011, elle produira annuellement un million de barils de diesel et de carburateur fabriqués à partir d'algues; cette production devrait passer à 100 millions de barils d'ici 2018. Cette entreprise a amassé 100 millions de dollars en provenance de grands investisseurs, dont **Bill Gates**²⁸⁵, en plus d'un autre financement fédéral de 100 millions de dollars dédié à la construction d'un site de démonstration de 300 acres dans le désert du Nouveau-Mexique. Sapphire Energy travaille avec des souches d'algues naturelles et synthétiques. Ses directeurs comptent l'ancien directeur général de **Monsanto**, Robert Shapiro, ainsi que l'ancien directeur général de **BP**²⁸⁶.

Transalgae, une entreprise étasunienne basée en Israël, prétend vouloir devenir le Monsanto des semences d'algues²⁸⁷. En collaboration avec Endicott Biofuels du Texas (États-Unis) et Ranaan – le plus grand producteur israélien de nourriture pour poissons –, elle développe des algues génétiquement modifiées pour produire du carburant et des aliments destinés aux animaux. La première génération d'algues transgéniques développées par Transalgae est actuellement à l'étape d'être testée dans une centrale au gaz naturel de 400 MW située à Ashdod (Israël) avec la collaboration de l'**Israeli Electric Company**. L'entreprise a indiqué à la presse qu'elle avait ajouté un gène Terminator commutable dans ses algues, de manière à ce que celles-ci s'autodétruisent, du moins théoriquement, en six heures²⁸⁸. Ses brevets mentionnent toutefois un mécanisme beaucoup plus faible qui rend simplement les algues moins résistantes dans la nature²⁸⁹.

Basée à San Francisco (États-Unis), **Solazyme** a recours à la biologie synthétique pour produire du biodiésel algal dans des cuves fermées où les algues se nourrissent de sucre plutôt que de dioxyde de carbone. Elle possède une coentreprise avec la grande pétrolière **Chevron** afin d'accroître sa production de son algocarburant d'ici 2013, de même qu'elle a conclu des ententes avec **Unilever** pour développer une huile algale qui remplacerait l'huile de palme. Après avoir livré 20 000 tonnes métriques de diésel algal à la US Navy en septembre 2010, l'entreprise a annoncé un second contrat naval de 150 000 gallons supplémentaires²⁹⁰. Solazyme a également conclu des ententes avec le négociant de céréales **Bunge** afin de faire croître des algues sur la bagasse de canne à sucre, et jouit d'investissements octroyés par Sir Richard Branson de **Virgin Group** et l'importante entreprise alimentaire japonaise **San-Ei Gen**²⁹¹.

Joule Biotechnologies, une société issue de l'essaimage universitaire du Massachusetts Institute of Technology de Boston (États-Unis), prétend avoir développé une cyanobactérie (algue bleue-verte) hautement modifiée synthétiquement capable de sécréter des alcanes, des molécules communément transformées en pétrole. La créature de Joule Biotechnologies sécrète normalement de l'éthanol directement dans l'eau dans laquelle elle croît, mais selon l'entreprise, « Différentes variantes peuvent aussi fabriquer des polymères et d'autres produits chimiques de haute valeur qui sont normalement dérivés du pétrole²⁹². » Joule Biotechnologies est en train de construire une usine commerciale qui devrait commencer sa production en 2012 avec un rendement prévu de 15 000 gallons de diésel par acre.

Basée en Floride (États-Unis), **Algenol** a établi un partenariat avec **Dow Chemical** afin de construire une bioraffinerie d'algues au Texas. Les souches d'algues hybrides d'Algenol produisent de l'éthanol dans des bioréacteurs. Les autres partenaires de cette entreprise incluent l'**Agence de protection environnementale** des États-Unis (EPA) et **Valero Energy Corporation**, l'un des principaux producteurs d'éthanol²⁹³.

Cellana est une coentreprise formée par **Royal Dutch Shell** et **HR BioPetroleum** qui sélectionne et cultive des souches naturelles d'algues pour la production de biocarburants et d'aliments pour les animaux. Elle a conclu des accords avec plusieurs universités à travers le monde et opère une petite installation expérimentale à Hawaï (États-Unis) qui cultive des algues marines dans des systèmes ouverts et clos²⁹⁴.

Changement no 3 : produits chimiques. Les bioplastiques et les bioproduits chimiques

La transition vers les sucres et les matières premières issues de la biomasse effectuée par l'industrie chimique mondiale – un secteur d'une valeur de trois trillions de dollars²⁹⁵ – compte parmi les phénomènes ayant reçu le moins d'attention critique de la part de la société civile et des mouvements populaires. Il s'agit pourtant du changement le plus marqué, particulièrement dans les domaines des bioplastiques et des bioproduits chimiques fins. Fabriquer des produits chimiques plutôt que des carburants pour le transport à partir de la biomasse demeure attrayant en raison du fait que les marchés sont plus petits et ainsi plus faciles à percer. De plus, les prix des produits chimiques sont en moyenne deux à quatre fois plus élevés. En effet, les investisseurs de capital de risque conseillent de plus en plus aux entreprises investies dans la fabrication de biocarburants de deuxième génération de se diversifier et de fabriquer des produits chimiques (et aussi des aliments) afin d'assurer leur flux de rentrées secondaires et même primaires.

L'industrie chimique mondiale consomme environ 10 % du pétrole²⁹⁶ et plusieurs des milliers de produits chimiques synthétiques faisant partie des produits de tous les jours sont fabriqués à partir du craquage et du raffinage du pétrole en molécules d'hydrocarbures encore plus élaborées. En fait, l'industrie chimique a toujours obtenu une certaine partie de ses matières premières carbonées à partir du sucre et est par conséquent bien outillée pour effectuer un retour vers les glucides. Au début du 20^e siècle, les premiers plastiques commerciaux ainsi que plusieurs produits chimiques employés quotidiennement étaient fabriqués à partir de la biomasse, incluant la cellulose et la rayonne. Dans son historique de *l'économie des glucides*, l'économiste David Morris rapporte que pas plus tard qu'en 1945, le plus important fabricant britannique de produits chimiques, ICI, possédait trois divisions distinctes de production : une basée sur le charbon, une sur le pétrole et la troisième sur les mélasses²⁹⁷.

Une vaste gamme de produits chimiques de haute valeur sont déjà fabriqués à partir de la biomasse, incluant la lysine (largement employée dans l'alimentation animale), l'acide glutamique (employé dans la fabrication des exhausteurs de goût tels que le glutamate monosodique) ainsi que des teintures et des encres fabriquées à partir du soya, lesquelles ravitaillent actuellement plus de 90 % des presses à journaux des États-Unis et 25 % des imprimeurs commerciaux²⁹⁸. Toutefois, alors que la biologie synthétique rend possible le traitement et le raffinage des sucres des plantes au sein même des cellules plutôt que dans des usines chimiques, un nombre croissant d'organismes synthétiques sont créés afin de sécréter des produits chimiques qui auraient auparavant été obtenus à partir du raffinage des ressources fossiles. Actuellement, la production basée sur la biomasse trouve application dans l'ensemble des secteurs de l'industrie chimique, incluant les parfums et les arômes, les produits pharmaceutiques, les produits chimiques en vrac, les produits chimiques fins et spécialisés, de même que les polymères (plastiques). Bien que les bioproduits chimiques, et particulièrement les bioplastiques, soient présentés comme étant écologiques et propres, certains sont impossibles à distinguer de leurs congénères issus du pétrole sur les plans de leur biodégradabilité et de leur toxicité.

Pétrochimie : fabrication de produits à partir du pétrole.

Branche de l'industrie chimique qui transforme le pétrole brut et le gaz naturel en produits utiles et en matériaux bruts. La pétrochimie commence par craquer les molécules complexes du pétrole en molécules plus simples pour ensuite les recombinaisonner.

Les composantes issues de la biomasse

Les spécialistes de la biologie synthétique et les chimistes tentent de fabriquer ce qu'ils appellent des plateformes chimiques à partir du sucre ou des matières premières issues de la biomasse. Ces dernières sont des composantes chimiques essentielles pouvant être transformées en centaines d'autres produits chimiques utiles qui sont actuellement fabriqués dans des raffineries commerciales. La pétrochimie commerciale a déjà recours à cette approche, craquant le pétrole en composantes de base telles que l'éthylène, le butadiène, le propylène, le xylène, ainsi que divers intermédiaires polyvalents dont l'ammoniac, l'acide acétique, le phénol et le butylène, lesquels peuvent être transformés en des milliers d'autres composés. En ciblant ces plateformes chimiques, ou en en choisissant de nouvelles, les chimistes qui développent des bioproduits sont en mesure de troquer d'un seul coup le carbone fossile contre celui des plantes pour la production de dizaines ou de centaines de substances. Voici quelques exemples de plateformes chimiques issues de la biomasse arrivant sur le marché :

Les **terpénoïdes**, également appelés **isoprénoïdes**, constituent une classe de composés naturels qui comprend le latex, le taxol, l'huile de neem, l'artémisinine et les cannabinoïdes. Certains de ces composés ont été produits par des levures synthétiques créées par **Amyris Biotechnologies, Inc.** Amyris s'est concentrée sur un terpénoïde appelé **farnésène** (responsable de l'odeur âcre des pommes), qu'elle prétend pouvoir raffiner davantage pour le transformer en une « vaste gamme de produits allant des applications chimiques spécialisées – comme les détergents, les cosmétiques, les parfums et les lubrifiants industriels – jusqu'aux carburants comme le diesel²⁹⁹. » Amyris, dont la levure synthétique se nourrit de canne à sucre brésilienne, a conclu un accord avec **Proctor & Gamble**³⁰⁰ pour transformer le farnésène en cosmétiques et en produits ménagers. Elle a également convenu d'un accord avec **M&G Finanziaria**, le plus grand fournisseur mondial de plastique pour bouteilles employant du farnésène issu de la biomasse pour fabriquer du polyéthylène téréphtalate (plastique PET ou PETE)³⁰¹. **Genencor** a également synthétiquement manipulé la bactérie *E. coli* pour produire de l'isoprène pour la fabrication de caoutchouc. En 2008, Amyris a établi un partenariat avec le fabricant mondial de pneus **Goodyear, Inc.** afin de produire des quantités industrielles de caoutchouc pour les pneus. Elle affirme que son bio-isoprène remplace les sept gallons de pétrole brut normalement requis pour fabriquer un pneu en caoutchouc synthétique³⁰².

Le **propane-1,3-diol** est une composante chimique entrant dans la composition des plastiques, des composites, des adhésifs, des stratifiés, des revêtements et agissant comme solvant dans l'antigel et la peinture pour le bois. Bien que le propane-1,3-diol soit normalement produit à partir de l'oxyde d'éthylène (un dérivé du pétrole), il est maintenant produit sous le nom de Bio-PDO par une levure synthétique créée par **Genencor** et sert notamment de précurseur pour le bioplastique Sonora de **DuPont**. En partenariat avec **Tate & Lyle**, DuPont produit actuellement 45 000 tonnes métriques de Bio-PDO à son usine de Loudon au Tennessee (États-Unis). Pour ce faire, elle consomme annuellement 152 000 tonnes métriques de maïs – ce qui représente une superficie de 40 000 acres, soit approximativement la superficie du Lichtenstein³⁰³.

En juin 2010, **DuPont** a annoncé une augmentation de 35 % de sa production³⁰⁴. L'entreprise française **METabolic Explorer** fabrique également du Bio-PDO, mais à partir de glycérol, une substance pouvant notamment être obtenue à partir des huiles des plantes. Cette entreprise estime que le marché mondial du PDO atteindra 1,3 milliard d'euros d'ici 2020³⁰⁵.

L'**acide succinique** est un sous-produit naturel de la fermentation du sucre et est un proche cousin chimique de l'**anhydride maléique**, une substance chimique dérivée du pétrole employée couramment comme matière première pour la fabrication de produits alimentaires et pharmaceutiques, de surfactants, de dégivrateurs, de caloporteurs, de détergents, de plastiques, de pesticides, de textiles et de solvants biodégradables. Puisqu'il est possible de convertir l'acide succinique en anhydride maléique, un certain nombre d'entreprises rivalisent actuellement pour produire de grandes quantités d'acide succinique, visant un marché qui pourrait valoir 2,5 milliards de dollars par année³⁰⁶. Les entreprises produisant de l'acide succinique à partir de la biomasse comprennent **DSM** et **Mitsubishi Chemicals**. **BASF** et **Purac** construisent une usine de production d'acide succinique en Espagne, et une usine produisant 2 000 tonnes métriques par année est en opération à Pomacle (France). Pour ce faire, cette dernière usine a recours à des bactéries *E. coli* mutantes qui utilisent les sucres du blé pour produire de l'acide succinique. L'usine est opérée par Bioamber, une coentreprise formée par l'entreprise biotechnologique étasunienne **DNP** et l'entreprise française **ARD** (Agro-industrie Recherches et Développement)³⁰⁷. En 2010, l'entreprise de biologie synthétique étasunienne **Myriant** s'est vu octroyer une subvention de 50 millions de dollars du Département de l'énergie des États-Unis pour la construction d'une usine en Louisiane qui produira 14 000 tonnes métrique d'acide succinique d'origine biologique³⁰⁸.

L'éthylène est un gaz employé dans la fabrication de plastiques incluant le **polyéthylène** (PE), le **polyester**, le **chlorure de polyvinyle** (PVC) et le **polystyrène** (PS), de même que de fibres et d'autres substances organiques. Généralement obtenu à partir du naphte ou du gaz naturel, l'éthylène est également un sous-produit de la production de l'éthanol. En effet, dans les années 1980, les entreprises brésiliennes ont produit 160 000 tonnes métriques de PVC et de polyéthylène (PE) à partir d'éthanol jusqu'à ce que le prix du pétrole chute, ce qui engendra la fermeture des usines. En 2008, trois entreprises chimiques distinctes, **Braskem**, **Solavay** et **Dow Chemical**, ont annoncé qu'elles redémarraient la production de PVC et de PE au Brésil et en Argentine – totalisant 860 000 tonnes métriques par année – à partir de la canne à sucre³⁰⁹.

Les autres entreprises à surveiller qui recourent à la chimie et à la biologie synthétique pour créer des bioproduits et des bioplastiques incluent :

ADM/Metabolix, **Blue Marble**, **Cargill**, **Natureworks**, **Codexis**, **Draths Corporation**, **Genomatica**, **LS9**, **OPX Biotechnologies**, **Segetis**, **Solazyme**, **Qteros** et **Zechem**.

Le futur est-il (bio)plastique ?

« Il y a de l'avenir dans les plastiques. Songez-y. » C'est le conseil que Dustin Hoffman se fait donner dans le film de 1967 *Le lauréat* (*The Graduate*). Cinquante ans plus tard, le seul secteur de l'industrie du plastique qui semble destiné à un brillant avenir est celui des bioplastiques. D'après les initiés, l'industrie des bioplastiques pourrait valoir 20 milliards de dollars en 2020³¹⁰. L'utilisation actuelle mondiale des bioplastiques se chiffre à seulement un demi-million de tonnes métriques en 2010, soit un volume qui pourrait remplir cinq fois l'Empire State Building. Bien qu'il soit prévu que cette quantité passe à 3,2 millions de tonnes métriques d'ici 2015³¹¹, il ne s'agit que d'une infime partie des 200 millions de tonnes métriques de résine de plastique produite à chaque année³¹² (bien que certains analystes soutiennent qu'il soit techniquement faisable de remplacer 90 % des plastiques par des bioplastiques)³¹³.

Pour l'industrie du plastique qui est en voie de devenir plus respectueuse de l'environnement, il s'agit également d'une belle opportunité d'améliorer son image sur le marché en montrant qu'elle se prémunit contre la hausse du prix du pétrole. Les consommateurs croient souvent – et l'industrie du plastique aime bien leur faire croire cela – que les bioplastiques sont *ipso facto* conformes à de hautes normes de protection de l'environnement, se démarquant ainsi nettement de la traditionnelle toxicité des produits contenant du vinyle, du bisphénol A (BPA) et du polystyrène qui encombreront les sites d'enfouissement et les océans de la planète. Malgré leurs tentatives de promouvoir leurs produits comme étant *écologiques* et en *harmonie avec la nature*, les fabricants de bioplastiques se trouvent souvent à être des entreprises polluantes bien connues qui sont déjà versées dans les domaines de l'agroalimentaire et de la chimie :

Cargill et **ADM**, qui se partagent la majeure partie du marché des céréales, sont également deux des principaux acteurs du secteur des bioplastiques et contrôlent respectivement les lignes de produits Natureworks et Mirel. **DuPont**, **DSM**, **BASF** et **Dow Chemical**, qui représentent quatre des plus importantes entreprises chimiques du monde, sont également des acteurs importants.



Bouteille de plastique Photo: Shea Bazarian

Les bioplastiques sont-ils biodégradables ?

Certains bioplastiques, comme le bioplastique Mirel d'ADM et ceux qui sont fabriqués par Plantic, se dégradent dans l'environnement ou dans les composteurs domestiques, alors que d'autres bioplastiques s'avèrent difficilement biodégradables ou ne le sont que sur de longues périodes et ce, même s'ils sont identifiés comme étant biodégradables. Cela est particulièrement vrai dans le cas des plastiques dont les ingrédients, issus de la biomasse, imitent ceux qui sont dérivés du pétrole. Le bioplastique Sorona de **DuPont**, par exemple, ne porte aucune mention de biodégradabilité, pas plus que le chlorure de polyvinyle (PVC) et le polyéthylène issus de la biomasse fabriqués par **Braskem**. Le principal bioplastique, soit l'acide polylactique (PLA) de **Cargill** commercialisé sous la marque Natureworks (ou Ingeo), est l'un des plastiques soi-disant compostables qui ne se dégrade pas dans les composts domestiques, ni dans l'environnement, mais qui doit être acheminé dans les composteurs industriels à haute température.

Il n'est pas clair non plus de savoir dans quelle mesure les bioplastiques biodégradables se décomposent. Des études approfondies portant sur les plastiques soi-disant dégradables ont démontré que certains d'entre eux ne faisaient que se désagréger en particules plus petites et moins visibles, cependant plus faciles à ingérer par les animaux. De tels petits fragments de plastique sont également en mesure d'absorber et de concentrer davantage les polluants comme le DDT et les BPC. Tel que l'a observé une personne de l'industrie, « concevoir des plastiques dégradables sans s'assurer que leurs fragments sont complètement assimilés rapidement par les populations de microorganismes dans les décharges a le potentiel d'affecter davantage l'environnement que s'ils n'étaient pas conçus pour se dégrader³¹⁴. »

Les bioplastiques sont-ils recyclables ?

Les bioplastiques sont théoriquement recyclables, mais en réalité, rares sont les centres de recyclage qui, si toutefois il y en a, sépareront les nouveaux bioplastiques des autres plastiques. Natureworks de Cargill, par exemple, insiste sur le fait que le PLA peut théoriquement être recyclé. En pratique toutefois, ce plastique a de fortes chances d'être confondu avec le polyéthylène téréphtalate (PET) – souvent employé pour la fabrication de bouteilles de plastique – et ainsi nuire au processus de recyclage en contaminant les matières triées. En octobre 2004, un groupe de recycleurs et de défenseurs du recyclage ont conjointement demandé à Natureworks de cesser de vendre du PLA pour en faire des bouteilles jusqu'à ce les questions concernant son recyclage soient réglées. En janvier 2005, l'entreprise a mis un moratoire afin d'empêcher les ventes subséquentes de PLA destiné à la fabrication de bouteilles; elle a toutefois recommencé à en vendre, prétextant que les quantités de PLA retrouvées dans les flux de matières recyclables étaient trop faibles pour être considérées problématiques sur le plan de la contamination. En Amérique du Nord, les emballages faits de bioplastiques sont supposés être identifiés par le chiffre 7, entouré de l'anneau de Moebius fléché (le symbole identifiant les matières recyclables); toutefois, les protocoles industriels stipulent que le symbole doit être suffisamment discret pour ne pas influencer la décision du consommateur d'acheter ou non le produit.³¹⁵

Les bioplastiques sont-ils toxiques ?

L'une des raisons poussant ceux qui militent contre les produits toxiques à encourager activement le développement du secteur des bioplastiques réside dans la possibilité, pour ce secteur, de concevoir de nouveaux polymères à partir d'amidon ou de sucre se dégradant plus facilement dans l'environnement ou l'organisme humain, sans générer de produits de dégradation ou de métabolites toxiques. Cependant, alors que les chimistes et les spécialistes de la biologie synthétique se perfectionnent dans la production de composés identiques à ceux issus du pétrole, nous n'assistons en réalité qu'à la reproduction de ces mêmes composés toxiques, mais qui sont dorénavant produits à partir d'une autre source de carbone (les plantes). Le PVC fabriqué à partir de la biomasse de Solvay constitue un exemple éloquent de cela. Le PVC a été fortement critiqué par les défenseurs de la santé environnementale en raison des phtalates – des plastifiants reconnus pour leurs effets perturbateurs sur le système endocrinien – qui sont nécessaires à sa production et des dioxines qu'il libère lors de sa production, de son recyclage et de son élimination. Tout comme le PVC dérivé du pétrole, le PVC dérivé de la biomasse nécessite lui aussi du chlore pour sa fabrication. Tel qu'a été forcé de le reconnaître un groupe de recherche mandaté par l'European Bioplastics Association, « L'utilisation d'éthylène fabriqué à partir de la biomasse est par conséquent peu susceptible de réduire l'impact environnemental du PVC en ce qui a trait à sa toxicité potentielle³¹⁶. »

Les bioplastiques sont-ils produits à partir de ressources renouvelables ?

Si vous scrutez Internet à la recherche des origines des bioplastiques, il est tout à fait excusable que vous ayez l'impression que l'industrie actuelle du plastique se soit transformée en entreprise de jardinage. Il y a le Mirel d'ADM, par exemple, un bioplastique fabriqué à partir de maïs ou de sucre de canne, et dont le site Web est truffé de photos de plantes aquatiques. Ou encore **Sphere Inc.**, le plus grand producteur européen de biofilm, dont la page d'accueil est ornée de tulipes même si ses plastiques sont fabriqués à partir de pommes de terre. Chez DuPont, la promotion de leur bioplastique vedette, Sorona, est faite à l'aide d'images de collines verdoyantes, alors que le site Web de Natureworks, une entreprise appartenant à Cargill, se sert d'un montage composé de feuilles d'arbres. En vérité, Sorona et Natureworks sont principalement dérivés de maïs génétiquement modifié noyé de pesticides et, dans le cas particulier de Sorona, des cuves remplies d'organismes synthétiques sont également employées. Ainsi, aucune feuille d'arbre ou brin d'herbe en vue... Les bioplastiques fabriqués à partir du maïs soulèvent les mêmes inquiétudes que les biocarburants de première génération en ce qui a trait à la compétition avec la production alimentaire.

Selon Bob Findlen de **Telles**, une coentreprise de **Metabolix/ADM**, « Si l'industrie des bioplastiques se développe au point d'équivaloir à 10 % de l'industrie des plastiques conventionnels, environ 100 milliards de livres d'amidon seront alors nécessaires, et il ne fait aucun doute que cela aura un effet sur les denrées alimentaires³¹⁷. »

S'il est inacceptable de transformer des aliments en carburants en cette époque de grande disette, il devrait alors être doublement inacceptable de transformer les aliments en sacs de plastique.

Comme dans le cas des biocarburants, les fabricants de bioplastiques tentent de se sortir du conflit qui peut subsister entre leurs produits et la production alimentaire en cherchant de nouvelles sources de matières premières. La canne à sucre du Brésil a notamment attiré

leur attention. **Dow Chemical**, soit le plus grand producteur mondial de polyéthylène, a établi un partenariat avec le géant brésilien du sucre **Crystalsev** et débutera en 2011 la production de polyéthylène – le plastique le plus utilisé au monde – à partir de la canne à sucre dans une usine dont la capacité de production sera de 317 000 tonnes métriques par année³¹⁸. L'usine consommera 7,2 millions de tonnes métriques de canne à sucre par année, requérant au moins 1 000 kilomètres carrés de terres³¹⁹. En octobre 2010, la plus importante entreprise pétrochimique du Brésil, **Braskem**, a inauguré une usine de 278 millions de dollars conçue pour produire annuellement 181 000 tonnes métriques de polyéthylène à partir d'éthanol issu de la canne à sucre. Braskem a déjà conclu des contrats

d'approvisionnement avec **Johson & Johnson**, **Proctor & Gamble**, l'entreprise de cosmétiques **Shiseido** et **Toyota Group**³²⁰. Pendant ce temps, le tiers de la fameuse PlantBottle de **Coca-Cola** est composé de PET fabriqué à partir de la canne à sucre brésilienne – une initiative qui s'est valu l'appui enthousiaste du World Wide Fund for Nature du WWF et pour laquelle son directeur général a déclaré « encore un autre bel exemple de leur leadership en matière d'environnement³²¹. »

Tel que mentionné précédemment, les plantations brésiliennes de canne à sucre sont fortement critiquées pour les impacts sociaux et environnementaux dont elles sont responsables. Même les plastiques faits à partir de la modeste pomme de terre, tels que le *Bioplast* de Stanelco, soulèvent également des inquiétudes quant à leur production. Le chien de garde étasunien Environmental Working Group considère que la pomme de terre est l'un des aliments présentant les plus fortes concentrations de résidus de pesticides³²².

Les cultures d'OGM, la biologie synthétique et la nanotechnologie

Les liens reliant le génie génétique aux bioplastiques sont nombreux. En mars 2010, la première culture d'OGM approuvée en Europe en plus d'une décennie était une pomme de terre à haut contenu en amidon conçue par **BASF** ciblant directement le marché des bioplastiques³²³. Au même moment, le maïs, soit la principale matière première pour la fabrication des bioplastiques, provient presque exclusivement de cultures d'OGM. En fait, seuls trois importants fabricants de bioplastiques – soit **Novamont** (Italie), **Pyramid Bioplastics** (Allemagne) et **EarthCycle** (Canada) – annoncent leurs produits comme étant exempts d'OGM, bien que Natureworks, propriété de **Cargill**, offre une option pour le moins bizarre où les acheteurs peuvent *compenser* l'utilisation d'OGM dans leurs produits en payant Cargill pour qu'elle achète une quantité donnée de maïs non OGM. Le génie génétique est également employé pour développer la prochaine génération de bioplastiques, où le plastique sera produit dans la plante elle-même. Située à Boston, **Metabolix Inc.** a eu recours à la biologie synthétique pour manipuler une variété de panic érigé produisant du polyhydroxybutyrate (PHB), un bioplastique, dans ses tissus foliaires à raison d'une concentration de 3,7 %. Metabolix Inc. indique que les feuilles devront produire 5 % de PHB pour que le projet soit commercialement viable. Le panic érigé modifié synthétiquement est déjà à la phase d'essais dans des serres³²⁴. Les risques de contamination des sources alimentaires par les cultures de plastique soulèvent pertinemment des inquiétudes sur les plans de l'environnement et de la santé. Entretemps, les mêmes séquences de gènes manipulées sont introduites dans des microorganismes transformant le maïs pour produire 50 000 tonnes métriques du bioplastique Mirel dans une usine en Iowa (États-Unis) opérée par une coentreprise créée par **Metabolix** et **ADM**. Le bioplastique Sonora de DuPont est produit d'une manière similaire par une levure qui contient de l'ADN synthétique. En collaboration avec M&G, soit le plus important producteur de bouteilles de plastique au monde, Amyris Biotechnologies utilise également une levure synthétique pour transformer la canne à sucre en PET pour en faire des bouteilles.

***Bioplastiques :
propriété d'entreprises
privées, faisant compétition à la
production alimentaire, non
biodégradables, soutenant l'agriculture
industrielle et nous entraînant encore plus
profondément dans le monde du génie
génétique, de la biologie synthétique et de la
nanotechnologie. Difficile de
s'enthousiasmer quant au prétendu
avenir écolo que l'industrie des
bioplastiques tente de nous
vendre.***

La nanotechnologie est également au rendez-vous dans le merveilleux monde des bioplastiques. Tracassés par le fait que les polymères issus de la biomasse puissent s'avérer être d'une piètre étanchéité (autrement dit, ils peuvent laisser fuir l'air ou les liquides), les fabricants de bioplastiques ajoutent des nanoparticules à la matrice de leurs plastiques afin de régler le problème. Par exemple, Cereplast, qui fabrique des ustensiles de table, des pailles pour boire, des assiettes et des tasses faits de bioplastique, ajoute des nanoparticules à son PLA pour améliorer sa résistance à la chaleur³²⁵.

Les bioplastiques peuvent-ils être produits d'une manière adéquate ?

Bioplastiques : propriété d'entreprises privées, faisant compétition à la production alimentaire, non biodégradables, soutenant l'agriculture industrielle et nous entraînant encore plus profondément dans le monde du génie génétique, de la biologie synthétique et de la nanotechnologie. Difficile de s'enthousiasmer quant au prétendu avenir écolo que l'industrie des bioplastiques tente de nous vendre. Certaines initiatives tentent toutefois de remettre les bioplastiques sur le droit chemin. L'une de celles-ci est le Sustainable Biomaterials Collaborative (SBC), un réseau de 14 organisations de la société civile et d'entreprises socialement responsables qui travaillent à définir ce qu'est un bioplastique vraiment durable. L'un des fondateurs du SBC, Tom Lent du Healthy Building Network, explique que ce réseau a vu le jour parce que « les bioplastiques ne tenaient pas leurs promesses. » Sa collègue au SBC, Brenda Platt de l'Institute for Local Self Reliance, reconnaît que le terme *plastique durable* constitue davantage un oxymore qu'un fait, mais reste néanmoins optimiste quant à la possibilité de changer cela. « Il ne fait aucun doute que nous devons parcourir un long chemin, mais nous avons été très actifs et je crois que nous changeons déjà les choses », dit-elle³²⁶. Le SBC a défini des lignes directrices exhaustives concernant les bioplastiques. Pouvant être consultées en ligne, celles-ci sont fondées sur une douzaine de principes demandant notamment d'éviter l'emploi des cultures d'OGM, des pesticides et des nanoparticules, de même que de soutenir les modes de subsistance des agriculteurs. Ces principes négligent toutefois certains aspects, dont les conséquences sur la justice mondiale, la compétition avec la production alimentaire, les droits fonciers, ainsi que la propriété et la concentration des entreprises. L'utilisation d'organismes synthétiques dans les bioraffineries est également jugée acceptable par le SBC³²⁷.

Conclusion : Mainmise sur la planète !

Contradictions. Ceux qui soutiennent qu'un amalgame de matières premières issues de la biomasse et de nouvelles technologies permettra de dénouer les crises sur les plans de l'énergie, de la sécurité alimentaire et de l'environnement devraient être plus réalistes ou, à tout le moins, devraient reconsidérer leur discours. La chimère qu'a engendrée la biomasse jouit d'un appui inconditionnel et massif de la part des mêmes agences et groupes de réflexion qui nous ont répété sans relâche que d'ici 2050, la population pouvait augmenter de moitié et que la demande alimentaire pouvait quant à elle doubler. Ils sonnent l'alarme (à raison) à l'effet qu'au mieux, les changements climatiques rendront les récoltes incertaines et qu'au pire, ils diminueront la production alimentaire industrielle de 20 à 50 % partout dans le monde, prescrivant (à tort) que nous devons utiliser plus d'intrants chimiques dans nos champs pour que les terres marginales et les habitats menacés échappent à l'expansion des cultures. Pourtant, au même moment, ces responsables politiques indiquent que des technologies qui sont encore au stade expérimental ne feront pas qu'arranger les choses, mais qu'il sera acceptable d'imposer de nouvelles et colossales demandes sur les sols et l'eau sous prétexte de remplacer les matières fossiles par la biomasse.

L'illusion de la bioéconomie ? N'ayant pas réussi à prévoir le crash de la bulle technologique, la crise des prêts hypothécaires, la flambée des prix des aliments et l'effondrement du système bancaire – tout cela en une seule décennie –, les pays membres de l'OCDE annoncent maintenant l'avènement d'une nouvelle *économie verte* comme étant le *prochain miracle* qui va sauver leurs industries. En se comportant de la sorte, ils entretiennent le mythe selon lequel la biomasse vivante peut être mise à contribution dans le cadre d'une nouvelle révolution industrielle afin de maintenir les niveaux actuels de production et de consommation sans porter préjudice à la planète. Ce colonialisme plus doux a besoin des terres et de l'eau des pays du Sud. Il est mené de manière à ressembler à un cadeau technologique qui permettra à l'Afrique, à l'Asie et à l'Amérique latine de tirer profit des changements climatiques. Toutefois, en se basant sur une ressource qui peut s'épuiser si elle est surexploitée, la bioéconomie a le potentiel de déstabiliser les marchés des produits de base – et d'accroître le pouvoir de l'OCDE.

Parier sur la biologie synthétique. L'absurdité devient évidente lorsque nous considérons la solution technologique qui est proposée. La biologie synthétique prétend pouvoir modifier l'ADN pour créer de nouvelles espèces présentant potentiellement des caractéristiques jamais observées dans la nature. Tenant pour acquis que cela soit possible, il nous est demandé de croire que ces organismes expérimentaux n'engendreront aucune menace pour notre économie ou les écosystèmes.

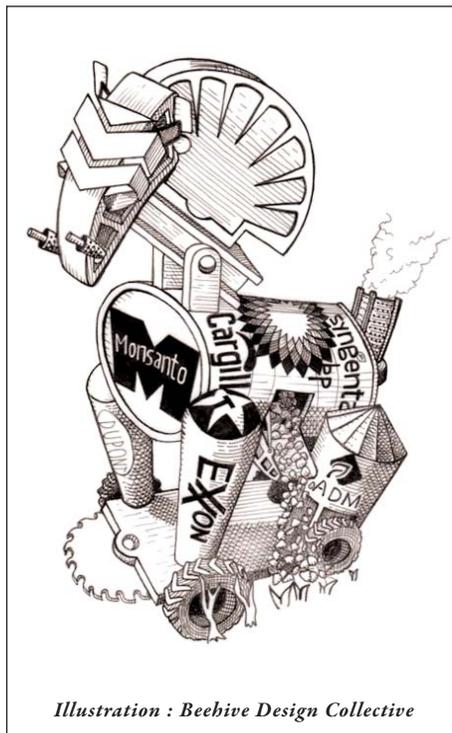


Illustration : Beehive Design Collective

Si ces organismes sont confinés dans des bioraffineries, et nonobstant la prolifération de leur nombre et des quantités en jeu, il nous est expliqué que ces bioraffineries peuvent être alimentées de manière durable et que les risques pour l'environnement sont faibles. Avec la même arrogance, certains nous ont dit que l'énergie nucléaire était suffisamment sécuritaire et bon marché pour ne pas avoir besoin d'être surveillée; que l'industrie chimique mettrait un terme à la faim et à la maladie et que la biotechnologie mettrait elle aussi un terme à ces deux fléaux, sans contamination; certains nous ont même dit plus récemment que les changements climatiques étaient le fruit de notre imagination.

En d'autres termes, ces gens se moquent du sort de Gaïa, notre planète (et de nos petits-enfants), en jouant avec des formes de vie expérimentales sans avoir testé leurs hypothèses de base. Il s'agit là de bien plus qu'une simple mainmise sur la biomasse ou sur les terres. Il s'agit d'une mainmise sur la planète.

Recommandations : Vers la gouvernance mondiale

Dans l'immédiat

- 1. La société civile.** Plusieurs composantes de la société civile, et plus particulièrement les mouvements sociaux – qui sont ou seront affectés par la nouvelle bioéconomie –, doivent s'unir. Cela s'applique aux communautés autochtones et aux agriculteurs qui combattent l'expansion de l'agroalimentaire au sein du mouvement de souveraineté alimentaire, et à tous ceux qui sont préoccupés par la conservation des forêts, les aspects éthiques entourant les changements climatiques, les produits chimiques toxiques, la conservation des océans, la protection des déserts, les droits relatifs à l'eau, etc. Il est urgent que ces mouvements se rallient, discutent et forment une coalition qui permettra d'analyser et de répondre à la situation, en plus de confronter les nouveaux maîtres du vivant.
- 2. Programmes, cibles et subventions.** Les gouvernements nationaux doivent reconsidérer la manière dont ils soutiennent les biocarburants, la biotechnologie industrielle et, de manière plus vaste, la bioéconomie à la lumière des conséquences sur les pays du Sud, la biodiversité et les autres engagements en matière de développement international. Les programmes, cibles et subventions actuels qui visent les biocarburants, la production basée sur la biomasse et la génération de bioélectricité devraient être abandonnés au profit d'objectifs visant la réduction de l'ensemble de la production et de la consommation. Les fonds publics investis dans la recherche devraient être réorientés dans l'évaluation des coûts sociétaux et environnementaux de la bioéconomie, particulièrement ceux se rattachant aux biocarburants de la prochaine génération (algorcarburants, carburants celluloseux et carburants d'hydrocarbure) et à la biologie synthétique.

- 3. Définition juridique.** L'utilisation de la biomasse n'est pas *carbonéutre* et rarement renouvelable dans une perspective écosystémique. En conséquence, elle ne devrait pas être présentée comme telle. Les règles de comptabilisation du carbone, autant aux niveaux national qu'international, doivent être révisées afin de refléter les coûts réels – sur le plan de la biodiversité et celui du carbone – du prélèvement, de la transformation et de l'utilisation de la biomasse, ce qui inclut les émissions de gaz à effet de serre engendrées par le changement de l'utilisation des terres et le temps nécessaire au recaptage de ces émissions. Il s'agit également de mettre en lumière et de prendre en compte les pertes subies par les communautés qui dépendent déjà des formes de vie végétales exploitées par la nouvelle bioéconomie.
- 4. Changements climatiques.** La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) devrait faire volte-face par rapport au soutien institutionnel et financier qu'elle accorde à la bioénergie et à la marchandisation de la biomasse. La CCNUCC devrait également réviser les règles de comptabilisation du carbone du Protocole de Kyoto afin de mieux refléter le fait que les stratégies industrielles impliquant la biomasse ne sont pas carbonéutres (voir le troisième point ci-dessus). Des actions doivent également être entreprises afin de soustraire les projets de biomasse des méthodes approuvées du Mécanisme de développement propre (MDP), de l'initiative REDD+ et de la Climate Technology Initiative du programme PFAN. Les nouvelles technologies de la biomasse et les nouveaux usages de la biomasse ne devraient pas être éligibles à un soutien financier, qu'il s'agisse d'un soutien dans le cadre d'un mécanisme de lutte contre les changements climatiques ou d'un mécanisme de protection de la biodiversité mobilisant des fonds de manière innovante.
- 5. Biodiversité.** La Convention sur la diversité biologique des Nations Unies devrait être saluée pour son rôle précoce dans le suivi de la biologie synthétique et de l'économie de la biomasse. Elle devrait de plus jouer un rôle de premier plan dans l'évaluation de leurs conséquences potentielles sur la diversité biologique. S'inspirant du principe de précaution, la Convention devrait imposer un moratoire de fait sur la dissémination dans l'environnement et l'usage commercial de nouvelles formes de vie synthétique, en attendant des études plus complètes et la mise en place de modalités de gouvernance transparentes et prudentes.
- 6. Alimentation, foresterie, agriculture et utilisation de l'eau.** L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), et plus particulièrement la Commission des ressources génétiques pour l'alimentation et l'agriculture et le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture, devraient s'attarder aux effets que comportent la biologie synthétique et l'appropriation accélérée de la biomasse sur la sécurité alimentaire en matière de cultures, de bétail, d'espèces aquatiques et de forêts. De concert avec la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED), la FAO devrait également examiner les implications sur les marchés des matières premières et les monopoles.
- 7. Droits humains.** Les procédures spéciales du Conseil des droits de l'homme des Nations Unies, incluant les rapporteurs spéciaux sur le droit à l'alimentation, les droits concernant la ressource eau, et les droits des peuples autochtones, de même que le Représentant spécial du Secrétaire général chargé de la question des droits de l'homme et des sociétés transnationales et autres entreprises et l'expert indépendant sur la question des droits de l'homme et de l'extrême pauvreté devraient entreprendre une enquête conjointe portant sur les implications de la biologie synthétique et de la nouvelle bioéconomie sur la pleine jouissance des droits humains. Cette enquête devrait particulièrement cibler les individus, les communautés et les pays dont les terres seront affectées par la quête de nouvelles sources de biomasse.
- 8. Propriété.** L'Organisation mondiale de la propriété intellectuelle (OMPI) devrait immédiatement lancer une enquête sur la portée et les implications des récents brevets et demandes de brevets s'appliquant à la biologie synthétique, en se basant sur les préoccupations de l'ordre public.
- 9. L'Économie verte.** Les gouvernements doivent examiner avec circonspection le prétendu rôle et les retombées potentielles de l'initiative *Économie verte*, lors de sa présentation à la Conférence des Nations Unies sur le développement durable (Rio+20) qui se tiendra au Brésil en 2012. Le processus préparatoire de cette conférence devrait encourager un débat public mondial sur l'ensemble des aspects socioéconomiques, environnementaux et éthiques reliés à l'utilisation de la biomasse, à la biologie synthétique et à la gouvernance en matière de technologies nouvelles et émergentes.
- 10. Gouvernance environnementale.** Le Groupe pour la gestion de l'environnement des Nations Unies devrait entreprendre une importante étude portant sur les implications de la nouvelle bioéconomie, particulièrement en ce qui a trait aux modes de subsistance, à la biodiversité et aux droits des communautés touchées. L'étude devrait impliquer activement tous les gouvernements et le plus grand nombre possible de parties concernées, dont notamment les peuples autochtones ainsi que les communautés forestières et agricoles.

Par la suite

- 11. Gouvernance technologique.** Les nouveaux outils permettant de transformer la biomasse, tels que la biologie synthétique, ne sont qu'une partie d'un ensemble de nouvelles technologies puissantes qui interviennent à l'échelle nanométrique et qui possèdent de nombreuses applications économiques et environnementales. Par conséquent, les gouvernements qui se rassembleront lors de la Conférence Rio+20 devraient adopter un processus de négociation qui mènera à une convention internationale pour l'évaluation des nouvelles technologies qui soit juridiquement contraignante. Cette convention devrait permettre la surveillance des principales nouvelles technologies par les gouvernements et les personnes touchées par celles-ci.

Annexe : Liste des producteurs de biocarburants de la prochaine génération

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
Abengoa Bioenergy	Usines de bioénergie en Espagne, au Brésil et aux États-Unis	Céréales incluant blé, paille de blé, tiges de maïs	Éthanol cellulosique	CIEMAT (Espagne), Université de Lund, NREL (États-Unis), Université d'Auburn
AE Biofuels	Montana (États-Unis)	Panic érigé, semences et tiges de graminées, tiges de maïs, bagasse, maïs, canne à sucre		Éthanol cellulosique
AlgaeLink N.V.	Yerseke (Pays-Bas)	Algues	Biobrut	KLM (projet de production de carburéacteur à partir d'algues)
Algafuel	Lisbonne (Portugal)	Algues	Biobrut	INETI (Institut national portugais de la technologie, de l'énergie et de l'innovation)
Algasol Renewables	Baléares (Espagne)	Algues	Biobrut	
Algenol Biofuels	Floride (États-Unis), Mexique	Algues	Éthanol cellulosique	BioFields, Dow Chemical Company, Valero Energy, Linde Gas, Georgia Tech, Florida Gulf Coast University
Amyris Biotechnologies, Inc., (Amyris Brasil S.A. et Amyris Fuels, LLC)	Sao Paulo (Brésil), Californie (États-Unis)	Sucres fermentescibles, canne à sucre	Hydrocarbures (farnésène)	Crystalsev, Santelisa Vale, Votarantim, Total, Mercedes Benz, Proctor & Gamble, Département de la défense des États-Unis, Bunge, Cosan, M&G Finanziaria
Aurora Algae	Californie (États-Unis), Perth (Australie)	Algues	Biobrut	Noventi Ventures, Gabriel Venture Partners
BBI BioVentures LLC	Colorado (États-Unis)	Flux de déchets de matières premières existantes demandant peu de traitement, pas de traitement (en développement)	Éthanol cellulosique	Fagen, Inc.
BFT Bionic Fuel Technologies AG	Gross-Gerau (Allemagne)	Granules de paille	Hydrocarbures : diésel, huile à chauffage	OFT Aarhus (Danemark)

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
BioFuel Systems SL	Alicante (Espagne)	Algues	Biobrut	
BioGasol	Ballerup (Danemark)	Diverses herbacées, déchets de jardin, paille, fibres de maïs	Éthanol, biogaz, méthane-hydrogène	Siemens, Alfa Laval, Grundfos, Université d'Aalborg, Ostkraft, Tate & Lyle, Agro Tech AS, NNE Pharmaplan
BioMCN	Delfzijl (Pays-Bas)	Glycérine brute	Méthanol	Waterland, Econcern, Teijin, NOM
BioMex, Inc.	Californie (États-Unis)	Copeaux de bois, panic érigé	Halogénures de méthyle, bioessence	
BlueFire Ethanol	Californie (États-Unis), Izumi (Japon)	Copeaux de bois	Éthanol cellulosique	
Borregaard Industries, LTD	Sarpsborg (Norvège)	Liqueur résiduaire au sulfite tirée de la mise en pâte du bois d'épinette	Cellulose, lignine, bioéthanol	
BP Biofuels	Louisiane, Californie, Texas (États-Unis), Brésil	Miscanthus	Éthanol cellulosique	En 2010, BP Biofuels a acquis l'entreprise de biocarburants de Verenium, Galaxy Biofuels LLC et Vercipia Biofuels; BP Biofuels détient une coentreprise avec DuPont (voir Butamax Advanced Biofuels)
Butamax Advanced Biofuels	Delaware (États-Unis)	Herbacées, tiges de maïs	Biobutanol	Coentreprise de BP Biofuels et de DuPont; Kingston Research Ltd (Hull, Royaume-Uni) est aussi une coentreprise de BP et de DuPont fabricant du biobutanol
Carbona, Inc.	Finlande, États-Unis	Résidus forestiers	Carburants obtenus à partir de la synthèse Fischer-Tropsch	GTI (Gas Technology Institute), UPM-Kymmene (usines de pâtes et papiers)
Catchlight Energy	Washington (États-Unis)	Bois de charpente complété d'herbacées pérennes, résidus	Éthanol cellulosique	Coentreprise de Chevron et de Weyerhaeuser
Cellana	Hawaii (États-Unis)	Algues	Biocarburants et aliments pour animaux	Coentreprise de Royal Dutch Shell et de HR BioPetroleum; diverses universités étasuniennes et Collège universitaire de Bodø (Norvège)

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
Chemrec AB	Pitea (Suède)	Sous-produits de pâtes et papiers	BioDME (éther méthylique)	Volvo, Haldor Topsøe, Preem, Total, Delphi, ETC
CHOREN Technologies GmbH	Freiberg (Allemagne)	Copeaux de bois secs et résidus forestiers à partir de la biomasse	Carburants synthétiques liquides fabriqués	Shell, Daimler, Volkswagen
Colusa Biomass Energy Corporation	Californie (États-Unis)	Paille et enveloppes de riz et de blé, tiges et rafles de maïs, copeaux et sciure de bois	Éthanol cellulosique, silice, oxyde de sodium, lignine	
Coskata, Inc.	Pennsylvanie, Floride, Illinois (États-Unis)	Résidus agricoles et forestiers, copeaux de bois, bagasse, résidus solides municipaux	Éthanol cellulosique	GM, Globespan Capital Partners, Blackstone Group, Sumito, Arancia Industrial, Khosla Ventures, Total
CTU (Clean Technology Universe)	Winterthur (Suisse); usine de démonstration à Güssing (Autriche)	Bois, maïs, herbacées, culture d'ensilage	Gaz de synthèse	Université technique de Vienne, Institut Paul Scherrer (Suisse), Repotec (Autriche)
Cutec-Institut GmbH	Clausthal-Zellerfeld (Allemagne)	Paille, bois, ensilage séché, résidus organiques	Carburants obtenus à partir de la synthèse Fischer-Tropsch	
DuPont Danisco Cellulosic Ethanol, LLC (DDCE)	Tennessee (États-Unis)	Tiges, rafles et fibres de maïs, panic érigé	Éthanol cellulosique	Genera Energy (Université du Tennessee)
Dynamic Fuels,	Louisiane (États-Unis)	Graisses animales, graisses de cuisson usées	Diésel, carburéacteur	Coentreprise à parts LLC égales de Syntroleum Corporation et de Tyson
ECN (Energy Research Centre of the Netherlands)	Alkmaar, Petten (Pays-Bas)	Copeaux de bois	Gaz naturel de synthèse, substitut de gaz naturel	HVC
Energem	Usines commerciales situées en Alberta, au Québec (Canada) et au Mississippi (États-Unis)	Déchets municipaux, résidus forestiers et agricoles	Éthanol, bioéthanol	Braemar Energy Ventures, Département de l'énergie des États-Unis, Greenfield Ethanol, Inc.
Envergent	Illinois (États-Unis)	Résidus forestiers et agricoles	Huile de pyrolyse améliorée pouvant servir d'essence, de diésel et de carburéacteur	Coentreprise Technologies d'Ensyn et d'UOP (Honeywell)

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
EtanolPiloten (usine pilote d'éthanol)	Örnsköldsvik (Suède)	Résidus forestiers	Éthanol cellulosique	Université d'Umeå, Université technologique de Luleå et Université suédoise de sciences agronomiques
Flambeau River LLC	Wisconsin (États-Unis)	Écorce, sciure de bois, bois, résidus forestiers	Électricité, vapeur et chaleur, diésel, cire	Département de Biofuels, l'énergie des États-Unis
Frontier Renewable Resources, LLC	Michigan (États-Unis)	Copeaux de bois lignine	Éthanol,	Filiale de Mascoma
Fulcrum BioEnergy	Californie (États-Unis)	Déchets municipaux solides	Éthanol cellulosique	US Renewables Group et Rustic Canyon Partners
Gevo	Californie (États-Unis)	Maïs	Bio-isobutanol	Cargill, Total, Virgin Group, Lanxess
Green Star Products, Inc.	Californie (États-Unis),	Algues	Biodiésel	De Beers Fuel Ltd. Naboomspruit (Afrique du Sud)
Gulf Coast Energy, Inc.	Floride (États-Unis)	Copeaux de bois	Éthanol	
HR Biopetroleum	Hawaii (États-Unis)	Algues	Biodiésel	Royal Dutch Shell (voir Cellana)
IMECAL	Valencia (Espagne)	Rejets d'agrumes (pelure, pépins et pulpe)	Bioéthanol	CIEMAT, Ford Espagne et AVEN
Inbicon (filiale de DONG Energy)	Kalundborg (Danemark)	Paille de blé, granules de bois	Éthanol	Genencor (Danisco), Novozymes et Statoil
Iogen	Idaho (États-Unis), Ontario et Saskatchewan (Canada)	Paille de blé, d'orge, et de riz, tiges de maïs, panic érigé	Éthanol cellulosique	Royal Dutch Shell, Pétro-Canada et Goldman Sachs
Joule Biotechnologies	Massachusetts (États-Unis)	Algues convertissant la lumière du soleil et CO2	Diésel	
Karlsruhe Institute of (KIT)	Karlsruhe (Allemagne)	Paille	Gaz de synthèse	Lurgi GmbH Technology
KL Energy Corporation	Wyoming (États-Unis)	Bois (pin ponderosa), bagasse de canne à sucre	Éthanol cellulosique	Petrobras America, Inc.
LanzaTech New Ltd.	Auckland (Nouvelle-Zélande); usines en Chine, en Nouvelle-Zélande et aux États-Unis	Gaz de déchets industriels	Éthanol	Henan Coal et Zealand Chemical Industrial Corporation, Boasteel (Chine), Qiming Ventures, Softbank China Venture Capital, Khosla Ventures, K1W1

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
Lignol Energy Corporation	Colombie-Britannique (Canada) et Colorado (États-Unis)	Bois et résidus agricoles	Éthanol, lignine	Département de l'énergie des États-Unis, Novozymes, Kingspan Group PLC
LS9	Californie et Floride (États-Unis)	Sirup de canne à sucre, copeaux de bois, résidus agricoles, sorgho	Bioessence, biodiésel	Chevron, Procter & Gamble, Khosla Ventures
Mascoma	New Hampshire et New York (États-Unis)	Copeaux de bois, panic érigé, résidus agricoles	Éthanol, lignine	Flagship Ventures, General Motors, Khosla Ventures, Atlas Venture, General Catalyst Partners, Kleiner Perkins Caufield & Byers, VantagePoint Venture Partners, Marathon Oil
M&G (Gruppo Mossi & Ghisolfi)/Chemtex	Rivalta (Italie)	Tiges de maïs, paille, enveloppes de céréales, biomasse ligneuse	Éthanol cellulosique	
M-real Hallein AG	Hallein (Autriche)	Liqueur résiduaire au sulfite tiré de la mise en pâte du bois d'épinette	Éthanol cellulosique	
Neste Oil	Porvoo (Finlande), Rotterdam (Pays-Bas), Tuas (Singapour)	Huiles de palme et de colza, graisses animales	Biodiésel	Singapore Economic Development Board
NSE Biofuels Oy	Varkaus, Parvoo et Imatra (Finlande)	Résidus forestiers	Carburants obtenus à partir de la synthèse Fischer-Tropsch	Coentreprise de Neste Oil et de Stora Enso, JV; Foster Wheeler, Centre de recherche technique de Finlande (VTT), Ministère de l'industrie de Finlande
Pacific Ethanol	Oregon (États-Unis)	Paille de blé, tiges de maïs, résidus de lignine peuplier	Éthanol, biogaz,	BioGasol, LLC, Département de l'énergie des États-Unis (DOE), Joint Bioenergy Institute (Lawrence Berkeley National Laboratory et Sandia National Laboratories)
PetroAlgae	Floride (États-Unis)	Algues	Biobrut	Aseorias e Inversiones Quilicura (Chili), EcoFrontier (Corée du Sud), Foster Wheeler (États-Unis)

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
Petrosun	Arizona (États-Unis)	Algues	Huile, éthanol	
POET	Dakota du Sud (États-Unis)	Rafles de maïs	Éthanol cellulosique	Novozymes
Procethol 2G	Marne (France)	Biomasse de sources diverses	Éthanol cellulosique	Membres du consortium : Agro industrie Recherches et Développements (ARD), Confédération générale des betteraviers (CGB), Champagne Céréales, Crédit agricole du Nord-Est, Institut français du pétrole (IFP), Institut national de la recherche agronomique (INRA), Lesaffre, Office national des forêts (ONF), Tereos, Total et Unigrains
Qteros, Inc.	Massachusetts (États-Unis)	Déchets municipaux	Éthanol cellulosique	Camros Capital, LLC, BP, Soros Fund, Long River Ventures, Valero Energy Corporation, Venrock Associates, Battery Ventures
Range Fuels	Colorado, Géorgie (États-Unis)	Pin des marais, bois de feuillus et pin bleui du Colorado	Éthanol cellulosique, méthanol	Khosla Ventures, Départements de l'énergie et de l'agriculture des États-Unis, Passport Capital, BlueMountain, Leaf Clean Energy Company, Morgan Stanley, PCG Clean Energy & Technology Fund (Géorgie)
Sapphire Energy	Arizona (États-Unis)	Algues	Biobrut	ARCH, Wellcome Trust, Cascade Investment (Bill Gates), Venrock Associates
SEKAB Industrial	Örnsköldsvik (Suède)	Copeaux de bois et bagasse de canne à sucre	Éthanol cellulosique	Development AB

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
SGC Energia	Portugal, Autriche et Nouveau-Mexique (États-Unis)	Algues		Global Green Solutions, Oxford Catalysts Group PLC
Syngenta Sugarcane Biofuels Development	Centre for Brisbane (Australie)	Bagasse de canne à sucre	Éthanol cellulosique	Université de technologie du Queensland (QUT), Farmacule Bioindustries, gouvernement fédéral et du Queensland, Syngenta
Synthetic Genomics, Inc.	Californie, Maryland (États-Unis)	Algues, sucre	Biobrut, bioessence, carburéacteur	ExxonMobil, BP, Genting Group, Life Technologies, Novartis, Draper Fisher Juvetson, Meteor Group, Biotechnomy, Plenus, Asiatic Centre for Genome Technology
Solazyme	Californie (États-Unis)	Algues	Biobrut, bioessence, carburéacteur	Chevron, Unilever, US Navy, Bunge, Virgin Group, San El Gen, Harris & Harris Group, Braemar Energy Ventures, Lightspeed Venture Partners, VantagePoint Venture Partners, Roda Group
Solix Biofuels	Colorado (États-Unis)	Algues	Biobrut	Los Alamos National Laboratory, Valero Energy Corp., Hazen Research
Southern Research Institute	Caroline du Nord (États-Unis)	Pin taeda	Huiles, lignine, sucres fermentescibles	HCL CleanTech (Israël)
SunDrop Fuels	Colorado (États-Unis)	Paille de riz et de blé, miscanthus, sorgho, panic érigé, bois	Essence, diésel, carburants pour l'aviation	Kleiner Perkins Caufield & Byers and Oak Investment Partners
SynGest, Inc.	Iowa (États-Unis)	Tiges de maïs	Bio-ammoniac	Iowa Power Fund et Iowa Office of Energy Independence
Tembec, Groupe des produits	Québec (Canada)	Liqueur résiduaire au sulfite (sous-chimiques produit des usines de pâte à papier)	Éthanol cellulosique	

Entreprise	Localisation	Matières premières employées et prévues	Produits actuels et futurs	Partenaires et investisseurs
Terrabon, Inc.	Texas (États-Unis)	Déchets solides municipaux, boues d'épuration, fumier, Résidus agricoles	Éthanol, alcools mélangés, divers produits chimiques	Université Texas A&M, Valero Energy Corp.
TetraVita Bioscience	Illinois (États-Unis)	Matières premières celluloseuses	Biobutanol	
TMO Renewables, Ltd.	Surrey (Royaume-Uni)	Initialement du maïs, puis diverses matières premières celluloseuses	Éthanol cellulosique	Fiberight, LLC
TransAlgae, Ltd.	Texas (États-Unis), Ashdod (Israël)	Algues poissons, huiles	Aliments pour	Raanan, Endicott Biofuels, Israeli Electric Company
United States Envirofuels, LLC	Floride (États-Unis)	Sorgho sucrier, canne à sucre	Éthanol cellulosique	
Université de technologie du Queensland	Brisbane (Australie)	Bagasse de canne	Éthanol cellulosique	Mackay Sugar Ltd., Sugar Research Ltd., Viridian Pty Ltd., (QTU) Hexion
Université technique du Danemark (DTU)	Copenhague (Danemark)	Paille de blé, fibre de maïs	Éthanol, biogaz, lignine	BioSystems, Cambi A/S, Novozymes
Verenium	Massachusetts (États-Unis)	(En juillet 2010, BP a acquis l'entreprise de carburants celluloseuses de Verenium, mais cette dernière continue de vendre des enzymes aux producteurs de biocarburants)	Enzymes	BASF, Bunge, Corporation Cargill, Danisco
Verdezyne, Inc.	Californie (États-Unis)	Panic érigé, chanvre, tiges de maïs, bois	Éthanol cellulosique	Novozymes, Genecor, Syngenta, Lallemand Ethanol Technology, OVP Venture Partners, Monitor Ventures, Tech Coast Angels et Life Science Angels
Université technique de Vienne	Güssing (Autriche)	Gaz synthétique pour gazéifieur	Carburants obtenus à partir de la synthèse Fischer-Tropsch	Repotec GmbH, Biomasse Kraftwerk Güssing
Virent Energy Systems	Wisconsin (États-Unis)	Sucres et amidons	Essence, carburéacteur, diesel	Shell, Cargill
Weyland AS	Blomsterdalen (Norvège)	Bois de conifères, sciure de bois, paille de riz, rafles de maïs et bagasse	Éthanol cellulosique	Le Conseil norvégien de la recherche, Fana Stein & Gjenvinning AS, Sarsia Seed, Collège universitaire de Bergen
Xethanol Corporation	Floride (États-Unis)	Pelures d'agrumes	Éthanol cellulosique	Renewable Spirits, LLC
ZeaChem Inc.	Oregon et Colorado (États-Unis)	Arbres, canne à sucre	Éthanol cellulosique, divers produits	GreenWood Resources, Département de l'énergie des États-Unis, Stark Venture Investors, Cargill, Honda, Advantage Capital

Notes en fin de document

1. Le montant de 17 trillions de dollars constitue la meilleure estimation des marchés en cause, obtenue à partir des estimations combinées des ventes des secteurs suivants : dépenses alimentaires mondiales = 8,5 trillions de dollars; marché énergétique mondial = 5 trillions de dollars; marché mondial des produits chimiques = 3 trillions de dollars; marché mondial des textiles = 577 milliards de dollars; marché mondial des produits du papier = 100 milliards de dollars; échange mondiale de droits d'émission de carbone = 144 milliards de dollars; marché mondial des additifs alimentaires pour animaux = 15,4 millions de dollars.
2. U.S. government's Bioenergy Feedstock Information Network, Bioenergy and Biomass. Foire aux questions. Disponible à <http://bioenergy.ornl.gov/faqs/index.html#resource>
3. H. Haberl, et al., 2007, "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104, pp. 12942-12947.
4. Témoignage de David K. Garman devant le Committee on Agriculture, Nutrition, and Forestry, United States Senate Department of Energy's Biomass Program, 6 mai, 2004. Disponible en ligne à http://www1.eere.energy.gov/office_eere/congressional_test_050604.html
5. Michael Graham Richard, "Geneticist Craig Venter Wants to Create Fuel from CO2", *Treehugger*, 29 février 2008. Disponible en ligne à <http://www.treehugger.com/files/2008/02/craig-venter-fuel-co2-tedconference.php>
6. US Energy Information Administration, "International Petroleum (Oil) Consumption", *Independent Statistics and Analysis, International Energy Annual 2006*. Table 3.5 "World Apparent Consumption of Refined Petroleum Products, 2005" Disponible en ligne à <http://www.eia.doe.gov/emeu/international/oilconsumption.html>
7. International Energy Agency, *Key World Energy Statistics*, IEA, Paris, 2008. Document disponible à http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/key_stats_2008.pdf
8. H. Danner, et R. Braun. "Biotechnology for the Production of Commodity Chemicals from Biomass", *Chemical Society Review*, 28: 395-405, 1999.
9. Stan Davis, et Christopher Meyer, "What Will Replace the Tech Economy?" *Time Magazine*, 22 mai 2000. Disponible en ligne à <http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,997019,00.html>
10. Timothy Gardner, "U.S. ethanol rush may harm water supplies: report", *Reuters*, 10 octobre 2007. Disponible en ligne à <http://www.reuters.com/article/idUSN1036472120071010>
11. Voir par exemple, *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Edited By Pushpam Kumar. An output of TEEB: *The Economics of Ecosystems and Biodiversity*, Earthscan Oct. 2010
12. Glossary of Climate Change Terms, US Environmental Protection Agency. Disponible en ligne à www.epa.gov/climatechange/glossary.html
13. Glossary, Biotechnology Industry Association (BIO). Disponible en ligne à www.bio.org/speeches/pubs/er/glossary_b.asp
14. Simonetta Zarilli, éd. "The Emerging Biofuels Market: Regulatory, Trade and Development Implications", UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). New York, 2006. Disponible pour téléchargement au www.unctad.org/templates/webflyer.asp?docid=7754&intItemID=2068&lang=1&mode=downloads
15. Planet Ark, "UK builds 5th power plant to burn cattle carcasses", 27 février 2001. Disponible en ligne à <http://www.planetark.org/dailynewsstory.cfm?newsid=9931>
16. Williams Haynes, *Cellulose: The Chemical that Grows*, New York: Doubleday and Company, 1953.
17. Klemm, D., *et al.*, "Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material", *Angewandte Chemie*, 2005, 44(22), pp. 3358-3393.
18. Mariam B. Sticklen, "Plant genetic engineering for biofuel production: towards affordable cellulosic ethanol", *Nature Reviews Genetics*, 9 juin 2008, pp. 433-443.
19. Klemm, D. *op. cit.*, pp. 3358-3393.
20. Theodore H. Wegner, Philip E. Jones, "Advancing cellulose-based nanotechnology", *Cellulose*. vol. 13, 2006, pp. 115-118.
21. US Department of Energy Office of Science, "Breaking the Biological Barriers to Cellulosic Ethanol: A Joint Research Agenda, A Research Roadmap Resulting from the Biomass to Biofuels Workshop", 7-9 décembre 2005. Disponible en ligne à <http://genomicscience.energy.gov/biofuels/b2bworkshop.shtml>
22. Jeff Caldwell, "Bioeconomy development key to future of Iowa, the world", *High Plains/Midwest AG Journal*, 4 avril 2004. Disponible au www.hpj.com/archives/2004/apr04/Bioeconomydevelopmentkeytof.CFM
23. Dr. Jeffrey Sirola, "Vignettes on Energy Challenges", PowerPoint presentation, AIChE Energy Forum, Cincinnati, OH, USA, 30 octobre 2005. Disponible en ligne au www.aiche.org/uploadedFiles/Energy/Forum_Vignettes.pdf
24. Rosalie Lober, "Big oil and Biofuels. Are you out there?" *Biofuels Digest*, 21 septembre 2010. Disponible en ligne à <http://biofuelsdigest.com/bdigest/2010/09/21/big-oil-and-biofuels-%E2%80%93-are-you-out-there/>
25. Richard Brenneman, "BP Chief Scientist Named Undersecretary of Energy", *Berkeley Daily Planet*, 25 mars 2009.
26. David King, "The Future Of Industrial Biorefineries", *Forum économique mondial*, 2010.
27. Aaron Ruesch, et Holly K. Gibbs, "New IPCC Tier-1 Global Biomass Carbon Map For the Year 2000", *Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. Disponible en ligne à http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/global_carbon/carbon_documentation.html

28. Kisaburo Nakata, "Characterization of Ocean Productivity Using a New Physical-Biological Coupled Ocean Model Global Environmental Change in the Ocean and on Land, from Global Environmental Change in the Ocean and on Land", Éd., M. Shiyomi et al., Terrapub, 2004, pp. 1-44. Disponible en ligne à <http://www.terrapub.co.jp/elibrary/kawahata/pdf/001.pdf>
29. David King, *op. cit.*
30. Antonio Regalado, "Searching for Biofuel's Sweet Spot", Technology Review, avril 2010. Disponible en ligne à <http://www.technologyreview.in/energy/24979/>
31. *Ibid.*
32. John Melo, Nasdaq CEO Shareholder series, entrevue sur vidéo, septembre 2010. Disponible en ligne à <http://www.shareholder.com/visitors/event/build2/mediapresentation.cfm?companyid=NSDSIG&mediaid=44068&mediauserid=4760447&player=2>
33. L'expression "Arabie Saoudite de la biomasse" est fréquemment rencontrée, généralement pour souligner les intérêts de l'industrie forestière locale. Voir à cet effet les propos de Joe Belanger dans "Canada poised to become the Saudi Arabia of biomass energy", London Free Press, 11 mars 2009. Disponible en ligne à <http://checkbiotech.org/node/25081>
34. Voir Elizabeth A. Nelson, *et al.*, "Combating Climate Change Through Boreal Forest Conservation: Resistance, Adaptation, and Mitigation", Rapport déposé à Greenpeace Canada par le Département de foresterie de l'Université de Toronto, 2008, 52 p. Disponible en ligne au www.greenpeace.org/canada/en/campaigns/boreal/resources/documents/combating-cc-boreal-forestpreservation
35. Jeremy Hance, "Monoculture tree plantations are 'green deserts' not forests, say activists", Mongabay.com, 19 septembre 2008. Disponible en ligne à http://news.mongabay.com/2008/0919-plantations_hance.html
36. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), "World Agriculture: Towards 2015/2030", Disponible en ligne à <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e06.htm>
37. Michael P. Russelle, *et al.*, commentaire sur l'article "Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass" paru dans Science, vol. 316. no. 5831, 15 juin 2007, p. 1567. Disponible en ligne au www.sciencemag.org/cgi/content/full/316/5831/1567b
38. FAO, "World Agriculture: Towards 2015/2030", *op. cit.*
39. Ann Dornfeld, "Company Turns Toxic Blooms into Alternative Energy", VOA News, 10 novembre 2008. Disponible en ligne à <http://www.voanews.com/english/news/a-13-2008-11-10-voa30-66735142.htm>
40. Steven Koonin *et al.*, "Industrial Biotechnology: Sustainable Climate Change Solutions, Summary proceedings of the 5th Annual World Congress on Industrial Biotechnology and Bioprocessing", Chicago, 27-30 avril 2008.
41. David Morris, "The Once and Future Carbohydrate Economy", The American Prospect, 19 mars 2006. Disponible en ligne à <http://www.prospect.org/cs/articles?articleId=11313>
42. David Morris et Irshad Ahmed, "The Carbohydrate Economy: Making Chemicals and Industrial Materials from Plant Matter", The Institute for Local Self Reliance, 1993.
43. Neil McElwee, "Products from Petroleum", Oil 150, 2008. Disponible en ligne à <http://www.oil150.com/essays/2008/04/products-from-petroleum>
44. David Morris et Irshad Ahmed, *op. cit.*
45. IEA (International Energy Agency), 2010. Key World Energy Statistics, Paris, 2010, p. 37. Disponible en ligne au www.iea.org/textbase/nppdf/free/2010/key_stats_2010.pdf
46. Alfred Nordmann, *et al.*, "Converging Technologies. Shaping the Future of European Societies", Interim report of the Scenarios Group, High Level Expert group, 2004, p. 3. Disponible en ligne à http://ec.europa.eu/research/conferences/2004/ntw/pdf/final_report_en.pdf
47. USDA, "U.S. Biobased Products: Market Potential and Projections Through 2025", Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses, U.S. Department of Agriculture, 2008.
48. David King, *op. cit.*
49. Pike Research, "Market Value of Biomass-Generated Electricity to Reach \$53 Billion by 2020", communiqué de presse, 27 juillet, 2010.
50. David King, *op. cit.*
51. Alex Salkever, "Global biofuels market to hit \$247 billion by 2020", Daily Finance, 24 juillet 2009. Disponible en ligne à <http://srph.it/9WK10g>
52. Clay Boswell, "Bio-based chemicals take a steadily increasing portion of the chemical market as environmental issues come to the fore", ICIS.com, 5 février 2007. Disponible en ligne à <http://www.icis.com/Articles/2007/02/12/4500686/bio-based-chemicals-sales-climb-with-environmentalissues.html>
53. BIOtech-Now.org, "Green Is Good: Industrial Biotechnology Makes Headway with Renewable Alternatives", 18 août 2010. Disponible en ligne à <http://biotech-now.org/section/industrial/2010/08/18/green-good-industrial-biotechnology-makes-headway-renewable-alternatives>
54. "U.S. Biobased Products, Market Potential and Projections Through 2025", Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses, U.S. Department of Agriculture. Préparé conjointement par l'Office of Energy Policy and New Uses, le Center for Industrial Research and Service de l'Université d'État de l'Iowa, Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute, et The Windmill Group. OCE-2008-1.
55. "Bio-renewable Chemicals Emerge as the Building Blocks of the Chemical Industry, Finds Frost & Sullivan", communiqué de presse, Frost & Sullivan, 17 mars 2009. Disponible en ligne à <http://www.frost.com/prod/servlet/presentation.pag?docid=162155942>
56. David King, *op. cit.*
57. Helmut Kaiser, "Bioplastics Market Worldwide 2007-2025", Helmut Kaiser Consultancy, étude de marché effectuée par hkc22.com. Disponible en ligne à <http://www.hkc22.com/bioplastics.html>
58. Simon Upton, "Subsidies to biofuels: A time to take stock", Global Subsidies Initiative, octobre 2007. Disponible en ligne à <http://www.globalsubsidies.org/en/subsidy-watch/commentary/subsidies-biofuels-a-time-take-stock>
59. Gobvinda R. Timilsina, "Biofuels in Developing Countries: Policies and Programs", Banque mondiale – présentation à la Third Berkeley Conference on the Bioeconomy, Université de Californie, Berkeley, 24-25 juin

2010. Disponible en ligne à <http://www.berkeleybioeconomy.com/presentations-2/govinda-biofuel-policiesand-programs>
60. Mark Bunger et Samhitha Udupa Webinar “Lux Research Biosci State of the Market: Finding Exits for Biofuels and Biomaterials Investors”, présentation, 17 novembre 2009.
61. Jim Carlton, “Investment in Clean Technology Suffers Steep Quarterly Decline”, Wall Street Journal Technology Blog, 7 janvier 2009.
62. Rebecca Buckman, “Betting on Green”, Wall Street Journal, 11 février 2008.
63. REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), “Renewables 2010: Global Status Report”, Paris: REN21 Secretariat, 2010.
64. David King, *op. cit.*
65. Jeff Caldwell, *op. cit.*
66. Gary Hutton, *et al.*, “Evaluation of the costs and benefits of household energy and health interventions at global and regional levels”, World Health Organization (WHO), 2006. Disponible en ligne au www.who.int/indoorair/publications/household_energy_health_intervention.pdf
67. Joe DeCapua, “UN. Report says 1.6 Billion Still Lack Access to Electricity”, VOA News, 28 avril 2010. Disponible en ligne à <http://www.voanews.com/english/news/africa/decapua-un-energy-28apr10-92323229.html>
68. Paul Starkey, “Animal Power in Development: Some Implications for Communities”, Community Development Journal, 1987, 22(3): 219-227. Disponible en ligne à <http://cdj.oxfordjournals.org/content/22/3/219.extract>
69. Gaia Foundation, *et al.*, “Agrofuels and the Myth of Marginal Lands”, séance d’information, septembre 2008. Disponible en ligne au www.watchindonesia.org/Agrofuels&MarginalMyth.pdf
70. *Ibid.*
71. Goran Berndes, *et al.*, “The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies”, Biomass and Bioenergy, 28 octobre 2002, vol. 25, pp. 1-28. Disponible en ligne à <http://www.chem.uu.nl/nws/www/publica/Publicaties2003/E2003-40.pdf>
72. Gaia Foundation, *op. cit.*
73. Edward Smeets, *et al.*, “A quickscan of global bio-energy potentials to 2050”, Bio-EnergyTrade, mars 2004. Disponible en ligne au www.bioenergytrade.org/downloads/smeetsglobalquickscan2050.pdf
74. John Melo, *op. cit.*
75. GRAIN, “Seized: The 2008 land grab for food and financial security”, séance d’information de GRAIN, octobre 2008. Disponible en ligne à <http://www.grain.org/briefings/?id=212>
76. Banque mondiale, “Rising Global Interest in Farmland: Can It Yield sustainable and equitable benefits?” Washington DC, septembre 2010, p. 35. Disponible en ligne à http://www.donorplatform.org/component/option,com_docman/task,doc_view/gid,1505
77. GRAIN, *op. cit.*
78. Friends of the Earth Europe, “Africa: up for grabs”, FOE, août 2010. Disponible en ligne au www.foeeurope.org/agrofuels/FoEE_Africa_up_for_grabs_2010.pdf
79. Banque mondiale, *op. cit.*, p. 35.
80. Banque mondiale, *op. cit.*, p. 8.
81. Les amis de la Terre International, “Biofuels for Europe driving land grabbing in Africa”, communiqué de presse, Les amis de la Terre International, 30 août, 2010.
82. Heinrich Unland, cité dans “Old Wood is New Coal as Polluters Embrace Carbon-Eating Trees”, Bloomberg News, 1er juin 2009. Disponible en ligne à <http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=newsarchive&sid=ardNIC7rNzQE>
83. Econ Poyry, “Global Aspects of Bioenergy Imports”, commandé par Nordic Energy Research, rapport 2008-056. Disponible en ligne au www.nordicenergy.net/_upl/report_6_r-2008-056.pdf
84. Gero Becker, *et al.*, “Mobilizing Wood Resources: Can Europe’s Forests Satisfy the Increasing Demand for Raw Material and Energy under Sustainable Forest Management?” Geneva Timber and Forest, document de travail no. 48, Nations Unies, actes de conférence, janvier 2007. Disponible en ligne à <http://www.uncece.org/timber/docs/dp/dp-48.pdf>
85. Stephen Leahy, “Trees: Out of the Forest and Into the Oven”, IPS (Inter Press News Agency), 24 septembre 2009. Disponible en ligne à <http://ipsnews.net/news.asp?idnews=48574>
86. John Cary, “The Biofuel Bubble”, Business Week, Bloomberg, 16 avril 2009. Disponible en ligne au www.businessweek.com/magazine/content/09_17/b4128038014860.htm
87. *Ibid.*
88. Lynn Grooms, “Corn Stover to Ethanol: No Slam Dunk” Corn and Soybean Digest, 30 novembre 2008. Disponible en ligne à http://cornandsoybeandigest.com/corn/corn_stover_ethanol_1108/
89. “Add invasive species to list of biofuels concerns”, Mongabay.com. Disponible en ligne à <http://news.mongabay.com/2006/0922-invasive.html>
90. Invasive Species Advisory Committee, “Biofuels: Cultivating Energy, not Invasiveness”, adopté le 11 août 2009. Disponible en ligne à http://www.doi.gov/NISC/home_documents/BiofuelWhitePaper.pdf
91. Hilda Diaz-Soltero, “U.S. Department of Agriculture Report to the Invasive Species Advisory Council”, Département de l’agriculture des États-Unis, 22 avril 2010. Disponible en ligne au www.invasivespeciesinfo.gov/docs/resources/usdaisac2010apr.doc
92. George Monbiot, “Woodchips with everything. It’s the Atkins plan of the low-carbon world”, The Guardian, 24 mars 2009. Disponible en ligne au www.guardian.co.uk/environment/2009/mar/24/george-monbiot-climatechange-biochar
93. Gregory Morris, “Bioenergy and Greenhouse Gases”, Green Power Institute, Renewable Energy Program du Pacific Institute, mai 2008. Disponible en ligne à www.pacinst.org/reports/Bioenergy_and_Greenhouse_Gases/Bioenergy_and_Greenhouse_Gases.pdf
94. Université d’État de l’Oregon, “Old Growth Forests Are Valuable Carbon Sinks”, Science Daily, 14 septembre 2009. Disponible en ligne à www.sciencedaily.com/releases/2008/09/080910133934.htm

95. World Resources Institute, "Global Carbon Storage in Soils", EarthTrends: The Environmental Information Portal. Voir la légende sous la carte. Disponible en ligne à <http://earthtrends.wri.org/text/climate-atmosphere/map-226.html>
96. National Archives, "Stern Review final report", HM Treasury. Disponible en ligne à http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/+/http://www.hm-treasury.gov.uk/stern_review_report.htm. See also page 1 in Annex 7.f available online at: http://www.hm-treasury.gov.uk/d/annex7f_land_use.pdf
97. *Ibid.*
98. Tiges de maïs : les résidus laissés au sol suite à la récolte sont essentiels afin de fournir des nutriments et de protéger le sol contre les perturbations naturelles et anthropiques. Le prélèvement inconsidéré de ces résidus à des fins industrielles peut affecter de manière négative la fertilité et la productivité des sols. À ce sujet, voir l'article "Corn Stover Removal for Expanded Uses Reduces Soil Fertility and Structural Stability", par Humberto Blanco-Canquia et R. Lal, publié dans *Society of American Soil Science Journal*, 73: 418-426 (2009). Cet article a étudié les impacts sur quatre années du prélèvement systématique des tiges de maïs sur des sols sélectionnés, ayant évalué différents indicateurs de fertilité et la stabilité structurelle sur trois types de sols distincts en Ohio. Dans le cas du sol de type loam limoneux, le prélèvement complet des tiges de maïs a engendré une réduction moyenne du réservoir d'azote de 820 kg par hectare. La quantité de phosphore (P) disponible a chuté de 40 %. Le prélèvement des tiges de maïs a également affecté la capacité d'échange ionique. Chez les sols de type loam limoneux, la quantité d'ions potassiques (K+) échangeables a diminué de 15 % suite au prélèvement de 75 % des tiges de maïs; la diminution de ces mêmes ions était de 25 % suite au prélèvement complet des tiges de maïs. Ce sont les sols inclinés et ceux susceptibles à l'érosion qui ont subi les impacts les plus néfastes du prélèvement des tiges de maïs.
99. GRAIN, "The climate crisis is a food crisis: Small farmers can cool the planet", GRAIN, novembre 2009. Diapositives multimédia disponibles au www.grain.org/o/?id=93
100. Selon le GIEC (2007), l'indice de potentiel de réchauffement de la planète (GWP pour global warming potential) de l'oxyde nitreux (N₂O) est de 298 eqCO₂ pour un horizon temporel de 100 ans. Pour plus de détails concernant les indices de réchauffement de la planète mis à jour par le GIEC, consultez le http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2.html
101. Keith Bradsher, et Andrew Martin, "Shortages Threaten Farmers' Key Tool: Fertilizer", *New York Times*, 30 avril 2008.
102. G. Kongshaug, "Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions in Fertilizer Production", IFA (International Fertilizer Industry Association) conférence technique, Marrakech, Maroc, 28 septembre au 1er octobre, 1998.
103. Science Daily, "Land Clearing Triggers Hotter Droughts", *Australian Research Shows*, *ScienceDaily*, 31 octobre 2007. Disponible en ligne au www.sciencedaily.com/releases/2007/10/071027180556.htm
104. GIEC, IPCC Third Assessment Report: Climate Change 2001, WG III Section 3.6.4.3, Energy Cropping. Disponible en ligne pour téléchargement au www.grida.no/publications/other/ipcc%5Ftar/?src=/climate/ipcc_tar/
105. GIEC, IPCC Fourth Assessment Report, WGII, p. 13, point 11.
106. Marshal Wise, *et al.*, "Implications of Limiting CO₂ Concentrations for Land Use and Energy", *Science*, AAAS, 29 mai 2009, vol. 324. no. 5931, pp. 1183-1186. Disponible en ligne au www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/324/5931/1183
107. Timothy Searchinger, *et al.*, "Fixing a Critical Climate Accounting Error", *Science*, vol. 326, 23 octobre 2009. Disponible en ligne au www.princeton.edu/~tsearchi/writings/Fixing%20a%20Critical%20Climate%20Accounting%20ErrorEDITEDtim.pdf
108. Université de Princeton, "Study: Accounting Error undermines climate change laws", communiqué de presse, 22 octobre 2009.
109. Jutta Kill, "Sinks in the Kyoto Protocol. A Dirty Deal for Forests, Forest Peoples and the Climate", *Sinkswatch*, juillet 2001.
110. Scénario de référence et méthodologies de suivi approuvées de la CCNUCC. Disponible en ligne à <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>
111. Jorgen Fenhann, "The UNEP Riso CDM Pipeline", mis à jour le 1er janvier 2011. Disponible en ligne à <http://cdmpipeline.org/cdm-projects-type.htm#3>
112. Le 30 septembre 2010, les réductions certifiées des émissions se sont échangées à 13,70 euros l'unité. Source : "EEX Trading Results For Natural Gas And CO₂ Emission Rights In September", Disponible en ligne à <http://www.mondovisione.com/index.cfm?section=news&action=detail&cid=93324>
113. Oscar Reyes, "Carbon market 'growth' is mainly fraudulent, World Bank report shows", *Carbon Trade Watch*, 20 juillet 2010. Disponible en ligne à <http://www.carbontradewatch.org/articles/carbon-market-growth-is-mainly-fraudulent-world-bank-report.html>
114. Chris Lang, "REDD: An Introduction REDD Monitor". Disponible en ligne à <http://www.redd-monitor.org/reddan-introduction/>
115. CTI PFAN Development Pipeline: Project Summary. Mai-juillet 2010
116. "Carbon mapping breakthrough", communiqué de presse, Carnegie Institute, Université Stanford, 6 septembre 2010.
117. Rhett A. Butler, "Peru's rainforest highway triggers surge in deforestation, according to new 3D forest mapping", *Mongabay.com*, 6 septembre 2010.
118. Au sujet de l'initiative Économie verte, voir <http://www.unep.org/greeneconomy/AboutGEI/tabid/1370/Default.aspx>
119. HSBC Global Research, "A Climate for Recovery: The colour of stimulus goes green", 25 février 2009. Disponible en ligne à http://www.globaldashboard.org/wp-content/uploads/2009/HSBC_Green_New_Deal.pdf
120. Département de l'énergie des États-Unis, "Basic Research Needs for Solar Research Energy". Disponible en ligne à http://www.sc.doe.gov/bes/reports/files/SEU_rpt.pdf
121. Vaclav Smil, "Global Catastrophes and Trends: The Next Fifty Years", Boston, MIT Press, 2008, p. 83.
122. Saul Griffith, "Climate Change Recalculated", *Shoulder High Productions*, DVD, 2009, 90 minutes.
123. Daniel G. Nocera, "On the future of global energy", *Daedalus*, automne 2006, vol. 135, no. 4, pp. 112-115. Disponible en ligne au www.mitpressjournals.org/toc/daed/135/4

124. Christopher B. Field, *et al.*, "Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components", *Science*, 10 juillet 1998, vol. 281, no. 5374, pp. 237-240.
125. Bioenergy Feedstock Information Network. Disponible en ligne à <http://bioenergy.ornl.gov/faqs/index.html#resource>
126. Helmut Haberl, *et al.*, "Quantifying and mapping the human appropriation of net primary production in earth's terrestrial ecosystems", *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA)*, 104, 12942-12947. Disponible en ligne au www.pnas.org/content/104/31/12942.abstract
127. Brent Sohngen, *et al.*, "Forest Management, Conservation, and Global Timber Markets", *American Journal of Agricultural Economics*, vol. 81, no. 1, février 1999.
128. Chris Lang, "Banks, Pulp and People: A Primer on Upcoming International Pulp Projects", *Urgewald EV*, juin 2007. Disponible en ligne au www.greenpressinitiative.org/documents/BPP_A_FIN_2.pdf
129. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), "African forests: a view to 2020", *Forestry Outlook Study for Africa*, 2003. Disponible en ligne au www.fao.org/forestry/outlook/fosa/en/
130. Haberl *et al.*, "Global human appropriation of net primary production (HANPP)", *The Encyclopedia of the Earth*, 29 avril 2010. Haberl note que l'utilisation de la biomasse nécessite des conditions préalables considérables. La quantité de biomasse qui est effectivement soumise au processus socioéconomique (6,07 Pg C/a) pour ensuite être transformée en produits issus de la biomasse tels que les aliments, les fourrages ou l'énergie ne représente qu'un peu plus du tiers (soit 39 %) de l'appropriation humaine de la production primaire nette. En fait, les données présentées dans Kraumann *et al.* suggèrent même qu'en moyenne, mondialement, la consommation finale d'une tonne courte de biomasse nécessite de récolter 3,6 tonnes courtes de biomasse primaire, cela étant associé à un NPPLC de 2,4 tonnes courtes. Prises ensemble, et considérant l'ensemble des régions du monde et la totalité des produits dérivés de la biomasse, ces données suggèrent qu'en moyenne, l'utilisation d'une tonne courte de biomasse correspond à une appropriation humaine de la production primaire nette de 6 tonnes courtes (poids sec). L'article est disponible en ligne au [www.eoearth.org/article/Global_human_appropriation_of_net_primary_production_\(HANPP\)](http://www.eoearth.org/article/Global_human_appropriation_of_net_primary_production_(HANPP))
131. Worldwatch Institute, "Biofuels for Transport: Global Potential and Implications for Sustainable Energy and Agriculture Energy in the 21st Century", août 2007, p. 79. Disponible en ligne au <http://www.worldwatch.org/bookstore/publication/biofuels-transport-global-potential-and-implications-sustainable-agriculture-a>
132. Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report (2005), "Ecosystems and Human Well Being : Biodiversity Synthesis." World Resources Institute. Disponible en ligne à <http://www.maweb.org/en/Synthesis.aspx>
133. WWF, "Living Planet Report 2006", Zoological Society of London et Global Footprint Network, 2006. Disponible en ligne à http://assets.panda.org/downloads/living_planet_report.pdf
134. IUCN, "Red List of Threatened Species", Union internationale pour la conservation de la nature, 2008. Liste disponible en ligne au www.iucnredlist.org/
135. Millenium Ecosystem Assessment, "Ecosystems and Human Well-Being", World Resources Institute, 2005.
136. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture), "State of the World's Forests 2007", Rome 2007. Disponible en ligne au www.fao.org/docrep/009/a0773e/a0773e00.HTM
137. Site Web du Global Footprint Network, section "At a Glance". Voir le www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/at_a_glance/
138. Global Footprint Network, op. cit.
139. MSNBC, "Humans will need two Earths: Global footprint left by consumption is growing, conservationists argue". Disponible en ligne au www.msnbc.msn.com/id/15398149/ (dernier accès au site Web le 8 octobre 2010).
140. Vaclav Smil, op. cit.
141. Lettre rédigée par des groupes populaires destinée à Henry Waxman et Edward Markey, présidents au Congrès étasunien. 23 avril 2009.
142. DC Nepstad, *et al.*, "Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, février 2008.
143. TN Chase, *et al.*, "Teleconnections in the Earth System", *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, Royaume Uni, John Wiley and Sons, 2007, pp. 2849-2862.
144. Johan Rockstrom, *et al.*, "A Safe Operating Space for Humanity", *Nature*, vol. 461, pp. 472-476, 24 septembre 2009.
145. Almuth Ernsting, et Deepak Rughani, "Climate Geoengineering With Carbon Negative Bioenergy: Climate saviour or climate endgame?", site Web de Biofuelwatch. Disponible en ligne à <http://www.biofuelwatch.org.uk/docs/cnbe/cnbe.html>
146. Université Purdue, "GM Tree Could be Used for Cellulosic Ethanol, Fast-Growing Trees Could Take Root as Future Energy Source", communiqué de presse, 24 août 2006. Disponible en ligne à <http://news.mongabay.com/2006/0824-purdue2.html>
147. Jessica Hancock, *et al.*, "Plant growth, biomass partitioning and soil carbon formation in response to altered lignin biosynthesis in *Populus tremuloides*", *New Phytologist*, 2007, 173(4): 732-742.
148. Demande de brevet WO2010034652A1, Transgenic Plants with Increased Yield, BASF, mai 2010.
149. Phil McKenna, "Emission control", *New Scientist*, 25 septembre 2010.
150. Debora McKenzie, "Supercrops: fixing the flaws in photosynthesis", *New Scientist*, 14 septembre 2010.
151. *Ibid.*
152. "Hydrogen from Water in a Novel Recombinant Cyanobacterial System", J Craig Venter Institute. Disponible en ligne à <http://www.jcvi.org/cms/research/projects/hydrogen-from-water-in-a-novel-recombinant-cyanobacterial-system/overview/>
153. Demande de brevet WO07140246A2, METHODS AND COMPOSITIONS FOR INCREASING BIOMASS IN GENETICALLY MODIFIED PERENNIALS USED FOR BIOFUEL, Board of Governors for Higher Education, État du Rhode Island, juin 2009.
154. Betsy Cohen, "URI professor turns on biofuel 'switch'", *The Good 5 Cigar*, University of Rhode Island Student Newspaper, 13 juin 2009. Voir aussi : "Switchgrass research aims to create ethanol to power vehicles for 14 per gallon", site Web de l'Université du Rhode Island, 4 décembre 2006. Disponible en ligne à <http://www.uri.edu/news/releases/?id=3793>

155. ETC Group, "Gene Giants Stockpile Patents on 'Climate-ready' Crops in Bid to become 'Biomasters'", communiqué #106, août/septembre 2010.
156. Courriel rédigé par Stuart Strand, adressé à la liste de diffusion Geoengineering, 17 septembre 2010. Disponible en ligne à <http://www.mail-archive.com/geoengineering@googlegroups.com/msg03809.html>
157. Rebecca Lindsay, "Global Garden Gets Greener", NASA Earth Observatory, article de fond, 5 juin 2003. Disponible en ligne à <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalGarden/>
158. Université de Washington, "Global Warming Fix? Some Of Earth's Climate Troubles Should Face Burial At Sea, Scientists Say", ScienceDaily, 29 janvier 2009. Disponible en ligne à <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/01/090128212809.htm>
159. Miriam Goldstein, "Will dumping cornstalks into the ocean sequester carbon?" The Oysters Garter, site Web, mis en ligne le 11 février 2009. Disponible en ligne à <http://theoystersgarter.com/2009/02/11/will-dumping-cornstalks-into-the-ocean-sequester-carbon/>
160. Courriel rédigé par Gregory Benford, adressé à la liste de diffusion Geoengineering, 10 septembre 2010. Disponible en ligne à <http://www.mail-archive.com/geoengineering@googlegroups.com/msg03777.html>
161. Pour de l'information de base sur la fertilisation des océans, voir le communiqué d'ETC Group intitulé "Geopiracy: The case against Geoengineering", communiqué #103, octobre 2010.
162. A. Strong, J. Cullen, et S. W. Chisholm. "Ocean Fertilization: Science, Policy, and Commerce", *Oceanography*, vol. 22, no. 3, 2009, pp. 236-261.
163. Almuth Ernsting, et Deepak Rughani, op. cit.
164. Peter Read, "Biosphere Carbon Stock Management", *Climatic Change*, vol. 87, no. 3-4, 2007, pp. 305-320.
165. La spagyrie désigne la production d'herbes médicinales à l'aide de méthodes alchimiques.
166. Peter Aldhous, "Interview: DNA's messengers", *New Scientist*, no. 2626, 18 octobre 2007.
167. Pour une introduction à la biologie synthétique, voir "Extreme Genetic Engineering : an Introduction to Synthetic Biology", préparé par ETC Group, janvier 2007. Disponible en ligne au www.etcgroup.org/en/node/602
168. Sur l'introduction de gènes bactériens dans le maïs, voir Ric Bessin, "Bt Corn: What it is and How it Works", Collège agronomique de l'Université du Kentucky, janvier 2004. Disponible en ligne au www.ca.uky.edu/entomology/entfacts/ef130.asp. Sur l'introduction de gènes humains dans le riz, voir Bill Freese, *et al.*, "Pharmaceutical Rice in California: Potential Risks to Consumers, the Environment and the California Rice Industry", California Department of Health Services, juillet 2004. Disponible en ligne au www.consumersunion.org/pdf/rice04.pdf
169. Tucker, J. B., et Zilinskas, R. A., "The Promise and Perils of Synthetic Biology", *New Atlantis*, printemps 2006.
170. Pour une introduction aux domaines de la théorie fondamentale de la biologie moléculaire et de l'épigénétique, voir Jason Scott Robert, *et al.*, "Bridging the gap between developmental systems theory and evolutionary developmental biology", *Bio-Essays*, 23: 954-962, 2001.
171. Voir, par exemple, W. Wayt Gibbs, "Synthetic Life", *Scientific American*, mai 2004.
172. Holger Breithaupt, "The Engineer's approach to biology", *EMBO reports*, vol. 7, no.1 (2006), pp. 21-23.
173. *Ibid.*
174. Erik Millstone, *et al.*, "Beyond Substantial Equivalence", *Nature*, 7 octobre 1999. Disponible en ligne à <http://www.mindfully.org/GE/Beyond-Substantial-Equivalence.htm>
175. Roger Highfield, "Malaria drug to be made from 'synthetic biology' organism", *The Daily Telegraph*, Royaume Uni, 3 juin 2008.
176. M. Garfinkel, *et al.*, "Synthetic Genomics: Options for Governance", octobre 2007.
177. Tucker, J. B., et Zilinskas, R. A., op. cit.
178. Michael Rodemeyer, "New Life in old bottles: Regulating first-generation products of synthetic biology", rapport publié par le Woodrow Wilson Centre for Scholars, mars 2009. Voir note en bas de page à la p. 28 du rapport.
179. European group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission, *Ethics of Synthetic Biology: Opinion no 25*, 17 novembre 2009.
180. Robert Sanders, "Keasling and Cal: A perfect fit", *UC Berkley News*, 13 décembre 2004. Disponible en ligne à http://berkeley.edu/news/media/releases/2004/12/13_keasling.shtml
181. David Roberts, "LS9 Promises Renewable Petroleum", *Huffington Post*, 30 juillet 2007.
182. Craig Rubens, "DOE Cultivating Cellulosic Biofuels", *GigaOm*, 27 février 2008. Disponible en ligne à <http://gigaom.com/cleantech/doe-cultivating-cellulosic-biofuels/>
183. Mascoma, "What is Consolidated Bioprocessing (CBP)?" Disponible en ligne au www.mascoma.com/pages/sub_cellethanol04.php. Pour plus d'information sur l'entreprise LS9, voir www.ls9.com/technology/
184. Susanna Retka Schill, "UCSF engineers microbes to produce methyl halides", *Biomass Magazine*, avril 2009. Disponible en ligne à http://www.biomassmagazine.com/article.jsp?article_id=2582
185. Anna Austin, "Cutting-Edge Co-Culture", *Biomass Magazine*, juillet 2009. Disponible en ligne au www.biomassmagazine.com/article.jsp?article_id=2815&q=&page=all
186. Holmes, M. T., E. R. Ingham, J. D. Doyle et C. W. Hendricks, "Effects of *Klebsiella planticola* SDF20 on soil biota and wheat growth in sandy soil", *Applied Soil Ecology*, vol. 11, 1999, pp. 67-78.
187. Sharon Kennedy, "No risk from microbrewery to winemaker", *ABC News*, 31 mars 2010. Disponible en ligne à <http://www.abc.net.au/local/stories/2010/03/31/2861391.htm>
188. "Biofuel enzyme developer Verenum achieves technical milestone, receives \$500,000 from Syngenta", *Biopact*, 8 janvier 2008. Disponible en ligne à <http://news.mongabay.com/bioenergy/2008/01/biofuel-enzyme-developer-verenum.html>
189. "Agrivida and Codon Devices to partner on third-generation biofuels", *Biopact*, 3 août 2007. Disponible en ligne à <http://news.mongabay.com/bioenergy/2007/08/agrivida-and-codon-devices-to-partner.html>
190. Daphne Preuss, "Synthetic Plant Chromosomes", *Chromatin, Inc.*, présentation à *Synthetic Biology 4.0*, Université des sciences et technologie de Hong Kong, 10 octobre 2008.

191. Pacific Northwest National Laboratory, "Live Wires: Microbiologist Discovers Our Planet Is Hard-Wired With Electricity-Producing Bacteria." Science Daily, 10 juillet 2006. Disponible en ligne au www.sciencedaily.com/releases/2006/07/060710181540.htm
192. Yuri Gorby, biographie, J. Craig Venter Institute. Disponible en ligne à <http://www.jcvi.org/cms/about/bios/ygorby/>
193. Pour un aperçu du projet de bactricité, voir : <http://2008.igem.org/Team:Harvard/Project>
194. Michael Specter, "A Life of Its Own", The New Yorker, 28 septembre 2009. Disponible en ligne au www.newyorker.com/reporting/2009/09/28/090928fa_fact_specter?currentPage=2
195. Profil de l'entreprise Amyris Biotechnologies à artemisininproject.org (n'existe plus). Disponible en ligne à <http://web.archive.org/web/20061011032357/http://www.artemisininproject.org/Partners/amyris.htm>
196. Pour un bon exposé sur l'artémisinine, voir : <http://www.amyrisbiotech.com/markets/artemisinin>
197. Voir, par exemple, cet article publié par Rob Carlson, partisan de la bioéconomie : "Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues", Synthesis (site Web de Rob Carlson), 8 juillet 2010. Disponible en ligne à <http://www.synthesis.cc/2010/07/presidential-commission-for-the-study-of-bioethical-issues.html>
198. Willem Heemskerk, *et al.*, "The World of Artemisia in 44 Questions", Ministère des affaires étrangères hollandais (DGIS), Pays-Bas, Royal Tropical Institute, 2006. Disponible en ligne au www.kit.nl/smartsite.shtml?id=5564
199. Rob Carlson, op. cit.
200. ETC Group, "Extreme Genetic Engineering : An Introduction to Synthetic Biology", janvier 2007, pp. 40-41. Disponible en ligne au www.etcgroup.org/en/node/602
201. "Genencor and Goodyear to co-develop renewable alternative to petroleum-derived isoprene", communiqué de presse émis par Genencor, 16 septembre 2008. Disponible en ligne au www.genencor.com/wps/wcm/connect/genencor/genencor/media_relations/news/frontpage/investor_265_en.htm
202. *Ibid.* En particulier : "Goodyear wrote BioIsoprene. can be used for the production of synthetic rubber, which in turn is an alternative to natural rubber and other elastomers."
203. Katherine Bourzac, "Rubber from Microbes: A plant enzyme improves the yield of renewable rubber made by bacteria", Technology Review, 25 mars 2010. Disponible en ligne au www.technologyreview.com/biomedicine/24862/
204. Toshiya Muranaka, "Replicating the biosynthetic pathways in plants for the production of useful compounds", Innovations Report, 28 septembre 2009. Disponible en ligne à http://www.innovationsreport.de/html/berichte/biowissenschaften_chemie/replicating_biosynthetic_pathways_plants_production_140571.html
205. Craig Rubens, "Venter's Synthetic Genomics Adds \$8M for Palm Oil Research", GigaOm, 20 octobre 2008. Disponible en ligne à <http://gigaom.com/cleantech/venters-synthetic-genomics-adds-8m-for-palm-oil-research/>
206. J. Craig Venter, capsule télévisée intitulée "Creating Synthetic Life: Your Questions Answered", coproduit par ABC et Discovery Channel, diffusé pour la première fois jeudi le 3 juin 2010 à 20h (heure de l'Est), Discovery Science Channel, États-Unis.
207. Paul Sonne, "To Wash Hands of Palm Oil Unilever Embraces Algae", Wall Street Journal, 7 septembre 2010.
208. Philip Ball, "Yarn spun from nanotubes", Nature News, 12 mars 2004. Disponible en ligne au www.nature.com/news/2004/040312/full/news040308-10.html
209. Michael Postek et Evelyn Brown, "Sustainable, renewable nanomaterials may replace carbon nanotubes", SPIE Newsroom, 17 mars 2009. Disponible en ligne à <http://spie.org/x34277.xml?ArticleID=x34277>
210. "Innventia: nanocellulose plant to be built in Stockholm, Sweden", Lesprom.com, communiqué de presse, Moscou, 20 mai 2010. Disponible en ligne à <http://wood.lesprom.com/news/44275/>
211. Michael Berger, "Truly green battery is algae powered", Nanowerk News, 16 septembre 2009. Disponible en ligne à <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=12645.php>
212. GBEP (Global Bioenergy Partnership), "A Review of the Current State of Bioenergy Development in G8 +5 Countries", Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2007.
213. REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century), Renewables 2010: Global Status Report, Paris: REN21 Secretariat, 2010.
214. *Ibid.*
215. La carte mise à jour de l'organisation Energy Justice Network recensant les usines de biomasse est disponible en ligne à <http://www.energyjustice.net/map/biomassproposed>
216. Global Data, "The US Biomass Power Market Analysis and Forecasts to 2015", 18 mai 2010. Disponible en ligne à <http://www.articlesbase.com/business-articles/the-us-biomass-power-market-analysis-and-forecaststo-2015-2395476.html>
217. Foire aux questions de l'US Biomass Power Association. Disponible en ligne au www.usabiomass.org/pages/facts.php
218. Jim Carlton, "(Bio)Mass Confusion", Wall Street Journal, 18 octobre 2010.
219. REN21, op. cit.
220. Innovative Natural Resource Solutions, Biomass Availability Analysis Springfield, Massachusetts: "Renewable Biomass from the Forests of Massachusetts", rapport préparé pour la Massachusetts Division of Energy Resources et le Massachusetts Department of Conservation and Recreation, janvier 2007. Disponible en ligne au www.mass.gov/Eoea/docs/doer/renewables/biomass/bio-08-02-28-spring-assess.pdf
221. Josh Schlossbert, "Here is a Bad Idea: Biofuel Gas from Trees", The Register-Guard, Eugene (Oregon), 27 avril 2008. Disponible en ligne au www.grassrootsnetroots.org/articles/article_11861.cfm
222. Graham Mole, "Who says it's green to burn woodchips?" The Independent, 25 octobre 2009.
223. M.I. Asher, *et al.*, "International Study of Asthma and Allergies in Childhood, (ISAAC): rationale and methods", International Study Protocol, European Respiratory Journal, Salzburg, 1995, vol. 8, pp. 483-491.

224. Carlos Corvalan, *et al.*, "Health and Environment in Sustainable Development: Identifying Links and Indicators to Promote Action", Department of Protection of the Human Environment, Organisation mondiale de la santé, 1999, p.242.
225. Washington State Department of Ecology, "The Health Effects of Wood Smoke", Department of Ecology, Air Quality Program, March 1997.
226. Dr. Joellen Lewtas, "Contribution of Source Emissions of the Mutagenicity of Ambient Urban Air Particles", Agence de protection de l'environnement des États-Unis, #91-131.6, 1991.
227. Jane Koenig et Timothy Larson, "A Summary of Emissions Characterizations and Non-Cancer Respiratory Effects of Wood Smoke", Agence de protection de l'environnement des États-Unis, #453/R-93-036, 1992.
228. John A. Cooper, "Environmental Impact of Residential Wood Combustion Emissions and Its Implications", APCA Journal, vol. 30, no. 8, août 1980.
229. Voir : "Dioxin From Wood Burning, Burning Issues". Disponible en ligne à <http://www.burningissues.org/dioxin.htm>
230. REN21. 2010. op. cit.
231. Melinda Wenner, "The Next Generation of Biofuels", Scientific American, 20 avril 2009.
232. Philip New, "World market for Biofuels: An acceptable and positive impact", BP Biofuels, Theme 10, World Market for Biofuels, 2006. Disponible en ligne au www.conservacao.org/publicacoes/files/13_Biofuels_Phil_New.pdf
233. OilWakeUpCall.com, "Wake Up America!" Disponible en ligne au www.oilwakeupcall.com/alt_fuels.html
234. Tony Philpott, "World Bank finally releases 'secret' report on biofuels and the food crisis", Grist, 31 juillet 2008. Disponible en ligne au www.grist.org/article/biofuel-bombshell/
235. Mark W. Rosegrant, "Biofuels and Grain Prices: Impacts and Policy Responses", International Food Policy Research Institute, 7 mai 2008.
236. Ian MacKinnon, "Palm oil: the biofuel of the future driving an ecological disaster now", The Guardian, 4 avril 2007.
237. Voir la page de Wikipédia (anglais) portant sur le carburant éthanol au Brésil : http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_fuel_in_Brazil
238. William Lemos, "Brazil ethanol exports to drop 30 % on closed US arb", article and video posted on ICIS.com, 23 mars 2010. Disponible en ligne au www.icis.com/Articles/2010/03/23/9345185/brazil-ethanol-exports-todrop-30-on-closed-us-arb.html
239. Dr Rosalle Lober, "Big Oil and Biofuels: Are you out there?", Biofuels Digest, 21 septembre 2010. Disponible en ligne à <http://biofuelsdigest.com/bdigest/2010/09/21/big-oil-and-biofuels-%E2%80%93-are-you-out-there/>
240. Matilda Lee, "Will sugar be the oil of the 21st century?", The Ecologist, 1er décembre 2009.
241. Eduardo Barretoo de Figueiredo, *et al.*, "Greenhouse gas emission associated with sugar production in Southern Brazil", Carbon Balance and Management, juin 2010.
242. Maggie L. Walser, éd., "Greenhouse gas emissions: perspectives on the top 20 emitters and developed versus developing nations", Encyclopedia of Earth, 2 septembre 2009.
243. Voir : <http://climateandcapitalism.com/?p=209>
244. Winnie Gerbens-Leenes, *et al.*, "The water footprint of bioenergy", Proceedings of the National Academy of Science and of the United States of America, 12 décembre 2008.
245. Helen Burley et Hannah Griffiths, "Jatropha: Wonder crop? Experience from Swaziland", Les amis de la Terre, mai 2009.
246. John Carey, "The Biofuel Bubble", Bloomberg Businessweek, 16 avril 2009.
247. Bill Kovarik, "Solar, wind, water, bioenergy", The Summer Spirit. Disponible en ligne au www.radford.edu/~wkovarik/envhist/RenHist/
248. Lisa Gibson, "RFS2 reduces 2010 cellulosic ethanol requirement", Biomass Magazine, mars 2010.
249. Robert Rapier, "Diminishing Expectations from Range Fuels", Forbes Blogs, 25 février 2010. Disponible en ligne à <http://blogs.forbes.com/energysource/2010/02/25/diminishing-expectations-from-range-fuels/>
250. Green Car Congress, "BlueFire Renewables Signs 15-Year Off-Take Agreement for Cellulosic Ethanol", 20 septembre 2010. Disponible en ligne au www.greencarcongress.com/2010/09/bluefire-20100920.html
251. "BP and Verenium Form Leading Cellulosic Ethanol Venture to Deliver Advanced Biofuels", communiqué de presse émis par BP, 18 février 2009. Disponible en ligne au www.bp.com/genericarticle.do?categoryId=2012968&contentId=7051362
252. Matylda Czarnecka, "BP Buys Verenium's Biofuel Business for \$98 Million", GreenTech, 15 juillet 2010. Disponible en ligne à <http://techcrunch.com/2010/07/15/bp-biofuel-verenium-98-million>
253. Iogen Corporation, Iogen Energy Saskatchewan Plant Community Information Sessions, 2009. Plus d'information à http://www.ioegen.ca/news_events/events/2009_06_27.html
254. "Mascoma, General Motors Enter Biofuels Pact", Boston Business Journal, 28 mai 2008. Disponible en ligne à <http://boston.bizjournals.com/boston/stories/2008/04/28/daily45.html>
255. Boston Globe, "Marathon Invests in Mascoma, Which Raises \$61 M." Business Updates, Boston.com. Disponible en ligne au www.boston.com/business/ticker/2008/05/marathon_invest.html
256. Royal Nedalco, "Mascoma Royal Nedalco Signs Agreement to License Technology to Mascoma for Lignocellulosic Ethanol", communiqué de presse émis par Mascoma, mars 2007. Disponible en ligne à <http://www.mascoma.com/download/3-1-07%20-%20NedalcoMascomaNewsRelease%20Final.pdf>
257. "Stellenbosch Biomass Technologies forms to commercialize Mascoma technology in South Africa", Biofuels Digest, 14 juillet 2010.
258. Emma Ritch, "Total dives further into biofuels with Coskata investment", Cleantech Group, Cleantech Forum, 11-13 octobre 2010. Article mis en ligne le 27 avril 2010. Disponible en ligne à <http://cleantech.com/news/5787/total-biofuel-investment-cleantech-coskata>
259. "DuPont and Genencor Create World-Leading Cellulosic Ethanol Company", communiqué de presse émis par Genencor, 14 mai 2008. Disponible en ligne au www.danisco.com/wps/wcm/connect/genencor/genencor/media_relations/investor_257_en.htm
260. POET, Cellulosic Ethanol Overview. Mis en ligne sur le site Web de POET : <http://www.poet.com/innovation/cellulosic/>

261. Anna Lynn Spitzer, "Building a Better Biofuel", CALit2, Université de Californie à Irvine, 30 avril 2009. Disponible en ligne à <http://www.calit2.uci.edu/calit2-newsroom/itemdetail.aspx?cguid=372f1edb-dd0d-4fc0-815d-671b153fd74>
262. "Verdezyne Lands Gene Optimization Contract with Novozymes", communiqué de presse, Green Car Congress, 13 avril 2009. Disponible en ligne au www.greencarcongress.com/2009/04/verdezyne-lands-geneoptimization-contract-with-novozymes.html
263. Voir le site Web de Catchlight Energy : www.catchlightenergy.com/WhoWeAre.aspx
264. Jim Lane, "Portrait of a Transformative Technology: Qteros and its Q Microbe", Biofuels Digest, 24 juin 2010.
265. David Roberts, *et al.*, "4 Technologies on the Brink", Wired Magazine, no. 15-10, 24 septembre 2007.
266. Robert Rapier, "A Visit to the New Choren BTL Plant", The Oil Drum, 6 mai 2008. Disponible en ligne au www.theoil Drum.com/node/3938
267. Hank Daniszewski, "Green gem goes bust", Lfp (London Free Press), 9 juillet 2010. Disponible en ligne au www.lfpress.com/news/london/2010/07/08/14651701.html
268. Camille Ricketts, "Biofuel leader LS9 buys demo plant to churn out renewable diesel", Venture Beat, 3 février 2010. Disponible en ligne à <http://venturebeat.com/2010/02/03/biofuel-leader-ls9-buys-demo-plant-tochurn-out-renewable-diesel-2/>
269. Katie Fehrenbacher, "What You Need to Know from Gevo's IPO Filing", GigaOm, 13 août 2010. Disponible en ligne à <http://gigaom.com/cleantech/what-you-need-to-know-from-gevos-s-1/>
270. Pour un profil à jour de l'entreprise Amyris Biotech, voir : "Synthetic Solutions to the Climate Crisis: The Dangers of Synthetic Biology for Biofuels Production", Les amis de la Terre (branche des États-Unis), septembre 2010. Disponible en ligne à <http://www.foe.org/healthy-people/synthetic-biology>
271. Dennis Bushnell, "Algae: A Panacea Crop? World Future Society", The Futurist, mars-avril 2009. Disponible en ligne au www.wfs.org/index.php?q=node/665
272. Alok Jha, "UK announces world's largest algal biofuel project", The Guardian, 23 octobre 2008.
273. Ann Dornfeld, op. cit.
274. Katie Howell, "NASA bags algae, wastewater in bid for aviation fuel", New York Times, Greenwire, 12 mai 2009. Disponible en ligne à <http://www.nytimes.com/gwire/2009/05/12/12greenwire-nasa-bags-algaewastewater-in-bid-for-aviation-12208.html>
275. Saul Griffith, op. cit.
276. Andres F. Clarens, Eleazer P. Resurreccion, Mark A. White et Lisa M. Colosi, "Environmental Life Cycle Comparison of Algae to Other Bioenergy Feedstocks", Environmental Science & Technology, 2010.
277. Université de Virginie, "Engineers find significant environmental impacts with algaebased biofuel", ScienceDaily, 25 janvier 2010. Disponible en ligne au www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100121135856.htm
278. Chris Rhodes, "Could Peak Phosphate be Algal Diesel's Achilles Heel?", Energy Balance, 6 avril 2008. Disponible en ligne à <http://ergobalance.blogspot.com/2008/04/peak-phosphate-algal-diesels-achilles.html>
279. Bioethics.gov, "Benefits and Risks of Synthetic Biology", The Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues, transcription, 8 juillet 2010. Disponible en ligne au www.bioethics.gov/transcripts/syntheticbiology/070810/benefits-and-risks-of-synthetic-biology.html
280. "Possible Fix for Global Warming ? Environmental Engineers Use Algae to Capture Carbon Dioxide", Science Daily, capsule vidéo scientifique, 1er avril 2007. Disponible en ligne au www.sciencedaily.com/videos/2007/0407-possible_fix_for_global_warming.htm
281. Zach Patton, "States Test Algae as a Biofuel", Governing, octobre 2010. Disponible en ligne au www.governing.com/topics/energy-env/states-test-algae-biofuel.html
282. Déclaration d'Emil Jacobs d'Exxon Mobil faite à la conférence de presse sur les algues synthétiques organisée par Synthetic Genomics, Inc. et Exxon Mobil, 14 juillet 2010, Torrey Pines Mesa, San Diego, Californie.
283. Déclaration de J. Craig Venter de Synthetic Genomics, Inc. faite à la conférence de presse sur les algues synthétiques organisée par Synthetic Genomics, Inc. et ExxonMobil, 14 juillet 2010, Torrey Pines Mesa, San Diego, Californie.
284. J. Craig Venter, discours préparé présenté à au Comité sur l'énergie et le commerce de la Chambre des représentants des États-Unis, 27 mai 2010.
285. Katie Fehrenbacher, "Investors Fuel Solazyme With \$52M for Algae", GigaOm, 9 août 2010. Disponible en ligne à <http://gigaom.com/cleantech/investors-fuel-solazyme-with-52m-for-algae/>
286. Sapphire Energy, "Top Industries Converge on Sapphire Energy's Algae-Fuel Plans", communiqué de presse, 5 avril 2010.
287. Karin Kloosterman, "TransAlgae Seed a Need for Green Feed", Green Prophet, 16 mai 2010. Disponible en ligne au www.greenprophet.com/2010/05/transalgae-biofuel-algae-seed/
288. *Ibid.*
289. Demande de brevet, US20090215179A1, Transgenically preventing establishment and spread of transgenic algae in natural ecosystems, John Dodds and Associates, mars 2003.
290. Dana Hull, "Solazyme to announce Navy contract for algae-based fuel", San Jose Mercury News, 15 septembre 2010.
291. Marc Gunther, "Gee whiz, algae!" The Energy Collective, 12 septembre 2010. Disponible en ligne à <http://theenergycollective.com/marcgunther/43293/gee-whiz-algae>
292. Matthew L Wald, "Biotech Company to Patent Fuel-Secreting Bacterium", New York Times, 13 septembre 2010.
293. Joshua Kagan, "Valero Invests in Algenol: What's Going On?", Greentech Media, 10 mai 2010. Disponible en ligne au www.greentechmedia.com/articles/read/valero-invests-in-algenol/
294. Voir : <http://www.cellana.com>
295. La Deutsche Bank Research a estimé que les ventes de l'industrie chimique mondiale ont atteint 2,3 trillions d'euros en 2007. Voir : "World chemicals market asia gaining ground", Deutsche Bank Research, 28 juillet 2008. Also, in 2007, the Euro averaged around \$US1.3. Ce montant inclus les ventes du secteur pharmaceutique. Le CEFIC estime le montant des ventes sectorielles (sans tenir compte du secteur pharmaceutique) à 1820 milliards. Source : European Chemical Industry Council. Disponible en ligne à http://www.cefic.org/factsandfigures/level02/profile_index.html

296. Herbert Danner et Rudolf Braun, "Biotechnology for the Production of Commodity Chemicals from Biomass", *Chemical Society Review*, 28: 395-405, 1999.
297. David Morris et Irshad Ahmed, *op. cit.*
298. "U.S. Biobased Products, Market Potential and Projections Through 2025", Office of the Chief Economist, Office of Energy Policy and New Uses, Département de l'agriculture des États-Unis. Préparé conjointement par l'Office of Energy Policy and New Uses, the Center for Industrial Research and Service de l'Université d'État de l'Iowa, Informa Economics, Michigan Biotechnology Institute et The Windmill Group. OCE-2008-1, 293 p. Disponible en ligne au www.usda.gov/oce/reports/energy/index.htm
299. "Amyris: Farnesene and the pursuit of value, valuations, validation and vroom", *Biofuels Digest*, 25 juin 2010. Disponible en ligne au www.biofuelsdigest.com/biotech/2010/06/25/amyris-the-pursuit-of-value-valuations-and-validation/
300. "Amyris Enters into Multi-Products Collaboration and Off-Take Agreements with the Procter and Gamble Company", communiqué de presse émis par Amyris, 24 juin 2010.
301. "Amyris and M&G Finanziaria Enter into Off-Take Agreement", communiqué de presse émis par Amyris, 24 juin 2010.
302. "Goodyear, Genencor Partner on True Green Tire Project", *Tire Review*, 1er avril 2010. Disponible en ligne au www.tirereview.com/Article/72334/goodyear_genencor_partner_on_true_green_tire_project.aspx
303. Peg Zenk, "Biotech's Third Wave", *Farm Industry News*, 1er février 2007. Disponible en ligne à <http://farministrynews.com/biotechs-third-wave>
304. Doris de Guzman, "DuPont Tate & Lyle expands bio-PDO", *ICIS Green Chemicals*, 4 mai 2010. Disponible en ligne au www.icis.com/blogs/green-chemicals/2010/05/dupont-tate-lyle-expands-bio-p.html
305. *Ibid.*
306. Bioamber, Succinic Acid and its Industrial Applications. Site Web : www.bio-amber.com/succinic_acid.html
307. Al Greenwood, "Bio-succinic acid can beat petchems on price", *ICIS.com*, 18 février 2010. Disponible en ligne au www.icis.com/Articles/2010/02/18/9336112/corrected-bio-succinic-acid-can-beat-petchems-onprice.html
308. "Myriant Technologies Receiving Funds under \$50 Million DOE Award for Succinic Acid Biorefinery Project", communiqué de presse émis par Myriant Technologies, 7 avril 2010.
309. *Plastemart.com*, "Newer investments and developments in polymers from renewable resources". Disponible en ligne au www.plastemart.com/upload/Literature/Newer-investments-and-developments-polymers-fromrenewable-%20resources.asp
310. Will Beacham, "Algae-based bioplastics a fast-growing market", *ICIS*, 18 juin 2010. Disponible en ligne à <http://www.icis.com/Articles/2010/06/21/9368969/algae-based-bioplastics-a-fast-growing-market.html>
311. Douglas A. Smock, "Bioplastics: Technologies and Global Markets", *BCC Research*, septembre 2010.
312. IBAW, "Highlights in Bioplastics", IBAW Publication, janvier 2005.
313. L. Shen, "Product Overview and Market Projection of Emerging Bio-Based Plastics", PRO-BIP 2009, rapport final, juin 2009
314. Chandler Slavin, "Bio-based resin report!", *Recyclable Packaging Blog*, 19 mai 2010. Disponible en ligne à <http://recyclablepackaging.wordpress.com/2010/05/19/bio-based-resin-report/>
315. SustainablePlastics.org, "Will Bioplastics Contaminate Conventional Plastics Recycling?". Disponible en ligne au www.sustainableplastics.org/bioplastics/issues-with-recycling
316. L. Shen. *op. cit.*
317. Jon Evans, "Bioplastics get Growing", *Plastics Engineering*, février 2010. Voir : www.4spe.org, p. 19.
318. "Dow and Crystalsev Announce Plans to Make Polyethylene from Sugar Cane in Brazil", communiqué de presse émis par Dow Chemical, 19 juillet 2007. Disponible en ligne à http://news.dow.com/dow_news/prodhub/2007/20070719a.htm
319. Le montant de 8 millions de tonnes métriques provient de *Biofuels Digest* "Dow, Crystalsev in ethanol-to-polyethylene project in Brazil", juin 2008. Disponible en ligne à <http://www.biofuelsdigest.com/blog2/2008/06/05/dow-crystalsev-in-ethanol-to-polyethylene-project-in-brazil/>. La canne à sucre brésilienne a un rendement approximatif de 35 tonnes métriques par acre.
320. Susanne Retka Schill, "Braskem starts up ethanol-ethylene plant", *Ethanol Producer Magazine*, 1er octobre 2010.
321. "New PlantBottle brings eco-friendly packaging to water brands", *Packaging Digest*, 14 mai 2009. Disponible en ligne au www.packagingdigest.com/article/345481-Coca_Cola_Company_introduces_bioplastic_bottle.php
322. Nouvelle liste de 2010 mise à jour de Dirty Dozen Produce, publiée par EWG Wellsphere.com, 29 avril 2010. Disponible en ligne à <http://www.wellsphere.com/healthy-living-article/new-2010-dirty-dozen-produce-list-update-releasedby-ewg/1093286>
323. *GMO Compass*. Disponible en ligne au www.gmo-compass.org/eng/gmo/db/17.docu.html
324. Jerry W. Kram, "Metabolix grows plastic (producing) plants", *Biomass Magazine*, octobre 2008. Disponible en ligne à http://www.biomassmagazine.com/article.jsp?article_id=2054
325. "Sustainable Biomaterials Collective Bioplastics and Nanotechnology". Disponible en ligne à <http://www.sustainableplastics.org/bioplastics/bioplastics-and-nanotechnology>
326. Jim Thomas, "Plastic Plants", *New Internationalist*, no. 415, septembre 2008. Disponible en ligne à <http://www.newint.org/features/2008/09/01/plastic-plants/>
327. Sustainable Biomaterials Collaborative, *Guidelines for Sustainable Bioplastics*, Version 1.0. Mai 2009. Disponible en ligne à <http://www.sustainablebiomaterials.org/index.php?q=bioplastics>

ETC Group

Groupe d'action et de recherche sur l'érosion, la technologie et la concentration

ETC Group est une organisation de la société civile internationale. Il s'intéresse aux enjeux socioéconomiques et écologiques mondiaux qui touchent les nouvelles technologies, en portant une attention particulière à leurs impacts sur les peuples autochtones, les communautés rurales et la biodiversité. Il fait enquête sur l'érosion écologique (de même que l'érosion des cultures et des droits humains) et le développement des nouvelles technologies, et exerce une surveillance au chapitre des enjeux liés à la gouvernance mondiale, notamment la concentration des entreprises et le commerce des technologies. Il exerce ses activités à l'échelon politique mondial et jouit d'un statut consultatif auprès de plusieurs agences et organes de traités des Nations Unies. Il travaille étroitement avec d'autres organisations de la société civile et mouvements sociaux, en particulier en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Le groupe possède des bureaux au Canada, aux États-Unis, au Mexique et aux Philippines.

Les autres publications d'ETC Group portant sur la biologie synthétique sont disponibles en ligne à http://www.etcgroup.org/en/issues/synthetic_biology

Coordonnées :

431, rue Gilmour, 2e étage
Ottawa, Ontario
K2P 0R5
Canada

Téléphone : (613) 241-2267 (heure de l'Est)

Courriel : etc@etcgroup.org

Site Web : www.etcgroup.org

BANG !

En 2008, ETC Group et ses partenaires ont organisé une rencontre internationale rassemblant des militants de la société civile à Montpellier en France. Traitant de la convergence des nanotechnologies, cette rencontre s'intitulait BANG – qui signifie *Bits, Atoms, Neurons and Genes* (soit *particules, atomes, neurones et gènes*). Durant cette rencontre, ETC Group a accepté de préparer une série de documents d'information portant sur les principales nouvelles technologies. Nous espérons que ces documents pourront aider nos partenaires ainsi que les gouvernements des pays du Sud à mieux comprendre le développement de ces nouvelles technologies afin de mieux y répondre. Le présent rapport constitue l'un de ces documents d'information.

La série complète comprend :

Communiqué no. 103 – Géopiraterie : argumentaire contre la géoingénierie

Communiqué no. 104 – Biomassacre. La biologie synthétique menace la biodiversité et les modes de subsistance

Communiqué no. 105 – La grande désillusion ? Géopolitique de la nanotechnologie.

ETC Group a également rédigé un livre intitulé BANG décrivant les impacts des technologies convergentes sur les 25 prochaines années. Bien qu'il ne s'agisse aucunement d'un ouvrage de science fiction, il se sert de la fiction afin de dépeindre quatre scénarios distincts pour le prochain quart de siècle. Ce livre a été publié en allemand par Oekom, sous le titre de Next BANG.

ETC Group vise à rendre l'ensemble de ces rapports disponibles en anglais, en français et en espagnol.



Biomassacre

La biologie synthétique menace la biodiversité et les modes de subsistance

Partout sur la planète, les entreprises des secteurs de l'énergie, de la foresterie, de l'agroalimentaire, de la chimie, de la nanotechnologie et de la biotechnologie collaborent afin de bâtir une nouvelle bioéconomie. Pour ce faire, elles se servent de techniques telles que la biologie synthétique dans le but de transformer la biomasse vivante en carburants, en produits chimiques et en énergie. Attention toutefois : ce qui est présenté comme étant une substitution, prétendument écologique, des carburants fossiles par des produits dérivés des plantes n'est en fait qu'une mainmise agressive sur les terres, les modes de subsistance, les savoirs et les ressources des populations des pays du Sud.

Avec les illustrations de Beehive Design Collective



www.etcgroup.org