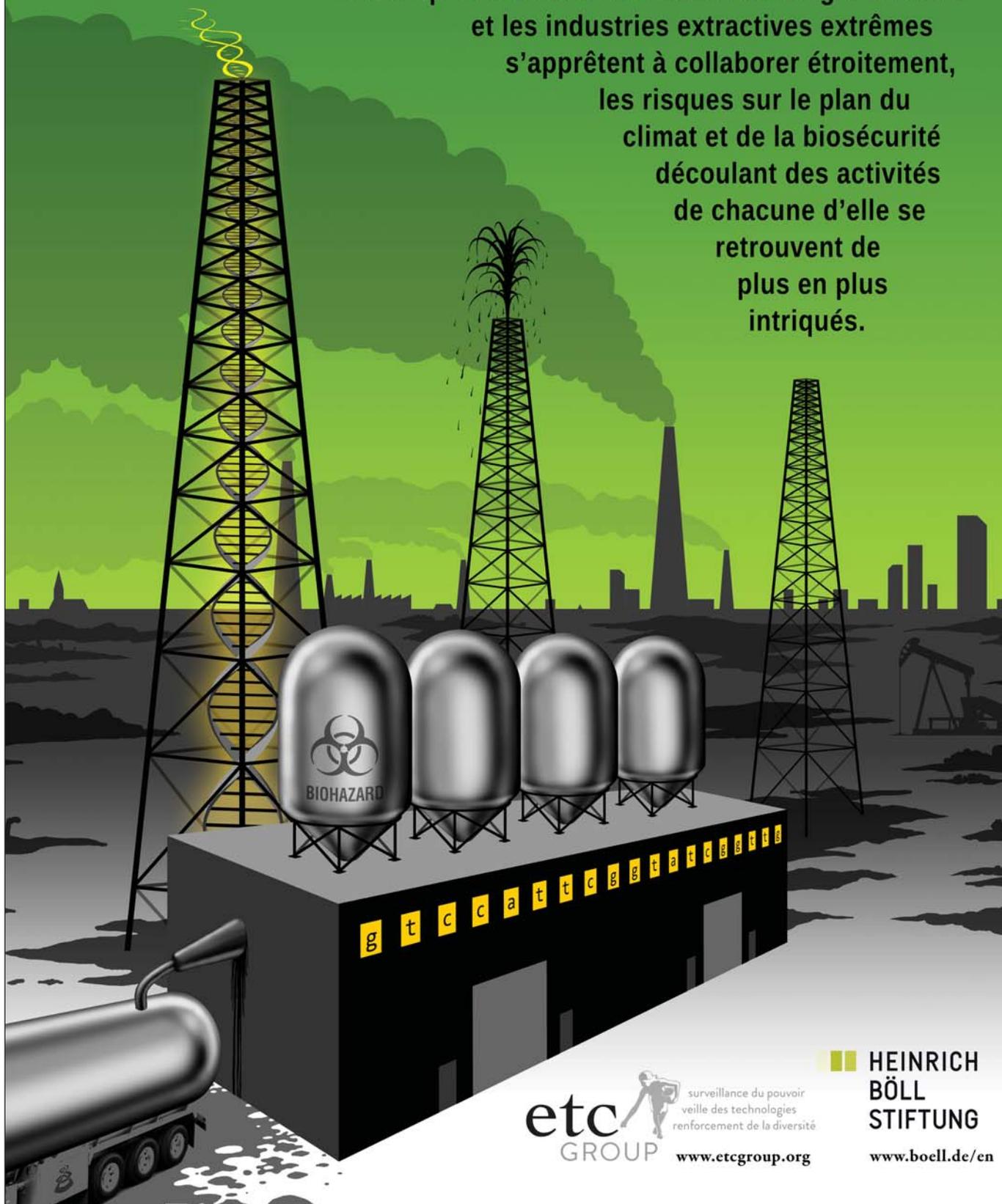


La rencontre de la biotechnologie extrême et des énergies extrêmes

Alors que l'industrie de la biotechnologie extrême et les industries extractives extrêmes s'apprêtent à collaborer étroitement, les risques sur le plan du climat et de la biosécurité découlant des activités de chacune d'elle se retrouvent de plus en plus intriqués.



etc 
GROUP www.etcgroup.org

surveillance du pouvoir
veille des technologies
renforcement de la diversité

 HEINRICH
BÖLL
STIFTUNG
www.boell.de/en

ETC Group

...est une organisation de la société civile internationale. Nous travaillons sur les enjeux socioéconomiques et écologiques mondiaux reliés aux nouvelles technologies, en portant une attention particulière à leurs impacts sur les peuples autochtones, les communautés rurales et la biodiversité. Nos recherches portent sur l'érosion écologique (y compris l'érosion des cultures et des droits humains) et le développement des nouvelles technologies. Nous assurons également une veille sur les enjeux de la gouvernance mondiale, dont la concentration des entreprises et le commerce des technologies.

Nous opérons à un niveau politique internationale et travaillons en étroite collaboration avec d'autres organisations de la société civile et des mouvements sociaux, particulièrement en Afrique, en Asie et en Amérique latine.

www.etcgroup.org

La rencontre de la biotechnologie extrême et des énergies extrêmes est le Communiqué 113 du Groupe ETC.

La recherche originale a été réalisée par le Groupe ETC avec la collaboration et le soutien financier de la Fondation Heinrich Böll. Le rapport a été publié initialement en anglais en Novembre 2015 sous le titre « Extreme Biotech Meets Extreme Energy ». Traduction en français de Nicolas Soumis Design et dessins de Stig

Heinrich Böll Stiftung

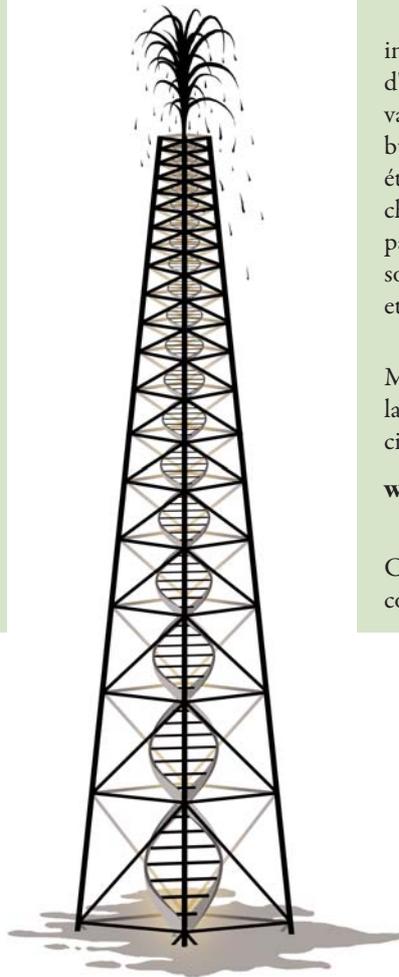
Promouvoir la démocratie et le respect des droits humains, prendre des mesures pour empêcher la destruction de l'écosystème mondial, promouvoir l'égalité entre les femmes et les hommes, assurer la paix par la prévention de conflits dans les zones de crise, et défendre la liberté des individus contre les excès des États et du pouvoir économique - ce sont les objectifs qui animent les idées et les actions de la Fondation Heinrich Böll. Nous entretenons des liens étroits avec le Parti Vert allemand (Alliance 90 / Les Verts) et contribuons à un réseau international réunissant plus de 100 projets de partenaires dans environ 60 pays en tant que laboratoire d'idées pour des visions et des projets respectueux de l'environnement.

La Fondation Heinrich Böll fonctionne indépendamment et nourrit un esprit d'ouverture intellectuelle. Nous opérons un vaste réseau international comprenant 32 bureaux régionaux. Nous coopérons étroitement avec 16 fondations Böll dans chacun des Länder allemands et soutenons particulièrement les étudiants et diplômés socio-politiquement engagés en Allemagne et à l'étranger.

Nous suivons avec plaisir l'exhortation de M. Heinrich Böll à s'engager activement dans la politique et espérons inspirer tous les citoyens à faire de même.

www.boell.de

CC-BY-NC-ND Attribution-Non commerciale-Pas de modifications 3.0



Le problème

L'industrie de la biologie synthétique, qui procède à des manipulations génétiques extrêmes, se distancie rapidement de ses prétentions initiales de nous mener vers un avenir propre, respectueux de l'environnement et sans pétrole. Nombre de cadres et d'entreprises en démarrage du domaine de la biologie synthétique tentent plutôt de s'allier avec des entreprises qui ont des intérêts dans la fracturation hydraulique, le schiste bitumineux et le gaz de schiste. Cette situation renforcera vraisemblablement le modèle économique extractif basé sur les combustibles fossiles, déjà responsable des changements climatiques qui accablent la planète de même que d'autres problèmes environnementaux et sociaux. La nouvelle technique de biologie synthétique appelée « fermentation gazeuse » permet de convertir le gaz naturel en différents carburants, produits chimiques, plastiques, et même en protéines. Elle accroît ainsi la valeur ajoutée du gaz provenant des champs pétrolifères et de la fracturation hydraulique. Elle pourrait également rendre économiquement viable l'exploitation des 40 à 60 % des réserves mondiales de gaz qui sont actuellement perdues ou « délaissées » (c.-à-d. le gaz dont l'extraction est actuellement prohibitive). Au même moment, les producteurs sont de plus en plus attirés par la possibilité d'utiliser des microorganismes synthétiques dans les puits et les gisements de charbon existants, car celle-ci pourrait leur donner accès à une plus grande fraction des deux à quatre milliards de barils de pétrole actuellement considérés comme inaccessibles. Injecter des microorganismes dans les champs pétrolifères constitue en soi un pari technologique. Si cette approche s'avère rentable, elle pourrait faire augmenter les réserves pétrolières mondiales de 150 % et également permettre d'extraire plus de gaz des réserves de charbon. Alors que les industries de la biotechnologie extrême et de l'extraction extrême s'apprentent à collaborer plus étroitement, les risques sur le plan du climat et de la biosécurité découlant des activités de chacune d'elle se retrouvent de plus en plus intriqués.

Les acteurs

Encouragées et subventionnées par le ministère de l'Énergie des États-Unis, nombre d'entreprises de biologie synthétique, jeunes et plus anciennes, fabriquant des carburants et des produits chimiques se détournent de la biomasse à titre de matière première (la matière que consomment les bactéries synthétiques) pour adopter le gaz naturel. Les entreprises plus anciennes impliquées dans cette « ruée vers le gaz » comprennent Calysta, Intrexon, Coskata et Lanzatech. NatureWorks, un important fabricant de bioplastiques, se tourne également vers une usine alimentée au gaz naturel faisant appel aux bactéries synthétiques. Pendant ce temps, le nouvel intérêt de la part de l'industrie pétrolière d'injecter des organismes synthétiques dans les sites d'extraction semble être dirigée par BP et DuPont, mais des acteurs de moindre envergure explorent eux aussi ce domaine. Ces derniers comprennent Synthetic Genomics Inc., entreprise dirigée par Craig Venter, de même que l'entreprise californienne Taxon Biosciences. Jusqu'à présent, l'application des techniques de la biologie synthétique à l'extraction de minéraux non fossiles n'a pas suscité autant d'intérêt. Ce type d'application n'en est toutefois qu'au stade embryonnaire, l'entreprise sanfranciscaine Universal Mining prenant les devants dans la précommercialisation de cette dernière.

Les forums

Au palier national, le ministère de l'Énergie des États-Unis organise et finance activement la recherche dans le domaine de la biologie synthétique au profit de l'industrie des combustibles fossiles. Sur le plan de la politique internationale, toutefois, aucune discussion n'a eu lieu quant aux implications de la nouvelle tendance de cette industrie à assister l'extraction de combustibles fossiles. Notamment, les défis sociétaux et environnementaux découlant de l'appui biotechnologique à l'industrie vieillissante des combustibles fossiles n'ont pas été abordés dans le cadre, incontournable, des négociations sur le climat. Cependant, dans le cadre d'un processus entamé depuis quelques années, les 194 pays signataires de la Convention des Nations unies sur la diversité biologique (CDB) ont pris plusieurs décisions de portée internationale fondées sur le principe de précaution qui exigent la mise en place d'une réglementation et d'un processus d'évaluation appropriés. Le thème de la biologie synthétique sera d'ailleurs à nouveau abordé lors de la prochaine rencontre de l'OSASTT (organe scientifique et technique de la CDB) en avril 2016.

Sur le plan politique

Le plus urgent consiste à établir un dialogue entre les mouvements s'opposant à l'extraction et à l'essor des combustibles fossiles (s'opposant à la fracturation hydraulique ou aux oléoducs, par exemple) et ceux qui surveillent les avancées biotechnologiques. Les organisations de la société civile pourraient recommander l'imposition d'un moratoire sur la dissémination dans l'environnement et sur la commercialisation des applications de la biologie synthétique, incluant celles concernant l'industrie extractive. Lors des négociations sur le climat, les représentants de la société civile et les décideurs politiques devraient rester vigilants afin que le captage du gaz délaissé destiné à être transformé par des procédés de biologie synthétique ou le recours à la récupération par action microbienne (RAM) des hydrocarbures ne soient pas fallacieusement promus à titre de solution à la crise climatique. Ils devraient en outre faire en sorte que les risques considérables pour le climat et la biodiversité inhérents à ces techniques soient bien connus de toutes les parties.



Alors que les industries de la biotechnologie extrême et de l'extraction extrême s'apprentent à collaborer plus étroitement, les risques sur le plan du climat et de la biosécurité découlant des activités de chacune d'elle se retrouvent de plus en plus intriqués.

Introduction

Climats altérés et microorganismes fabriqués – la rencontre de deux mauvaises idées

Il y a de cela 25 ans, l'écrivain écologiste Bill McKibben soulignait dans son livre révolutionnaire intitulé *The End of Nature* que les humains interfèrent présentement de deux manières importantes avec la nature². La première « mort de la nature », sujet principal de son livre, est l'altération de l'atmosphère terrestre causée par l'utilisation de carburants fossiles, qui engendre un état climatique planétaire n'ayant rien de naturel. La seconde « mort de la nature » réside dans la transgression, par l'humain, des barrières naturelles entre les espèces par la modification intentionnelle du code génétique des organismes vivants à l'aide du génie génétique.

L'atmosphère de la planète, qui contient dorénavant plus de 400 parties par million de dioxyde de carbone, se réchauffe inexorablement au point de faire hausser dangereusement la température moyenne mondiale de 2°C. Devant cette situation, de plus en plus de représentants de la société civile, de climatologues et de décideurs politiques parviennent à la conclusion logique que le seul moyen sécuritaire d'éviter de graves changements climatiques consiste à se détourner progressivement et véritablement du système économique mondial fondé sur l'extraction de combustibles fossiles. Prévenir l'essor des combustibles fossiles requiert notamment de s'opposer à toute politique, proposition ou technologie qui permettrait d'accroître leur extraction, y compris les nouvelles approches dites « extrêmes » telles que la fracturation hydraulique, la récupération du méthane à partir de gisements de charbon, le forage en eaux profondes, l'extraction du pétrole de schiste et la récupération assistée du pétrole. Considérant l'état actuel du réchauffement planétaire, concevoir et déployer de telles technologies afin d'extraire encore plus de carbone d'origine fossile des entrailles terrestres pour qu'il s'accumule davantage dans l'atmosphère tient presque de la folie.

Aujourd'hui, les risques incontrôlables découlant d'une extraction accrue de combustibles fossiles sont amplement discutés, mais le génie génétique, soit la technologie pouvant engendrer ce que McKibben appelle la seconde « mort de la nature », a beaucoup moins attiré l'attention, même s'il a rapidement progressé. Les techniques transgéniques qu'il redoutait en 1989 sont désormais supplantées par la plateforme beaucoup plus puissante de la biologie synthétique et des manipulations génétiques extrêmes, qui permettent aux techniciens de laboratoire de créer et de fabriquer rapidement et de manière flexible une vaste gamme de génomes artificiels en se servant d'organismes vivants.

Ces techniques ont évolué avec une telle rapidité et tellement profondément qu'il existe actuellement peu de méthodes (sans parler d'instances de régulation) pour évaluer de façon sécuritaire les impacts qu'elles auront sur les génomes naturels

concernés. Des plateformes robotisées permettent maintenant aux entreprises de biologie synthétique de fabriquer des dizaines de milliers de nouvelles espèces d'un seul coup, qui seront ensuite disséminées et cela sans que leurs effets sur l'évolution des formes de vie terrestre soient connus. Cela signifie en d'autres termes d'intervenir sur l'évolution à une échelle et une vitesse jamais égalées.

Et maintenant, ces deux scénarios de « mise à mort de la nature » entrent en synergie. Alors que l'industrie multimilliardaire de la biologie synthétique est à la recherche de produits viables, de nouveaux marchés et de nouvelles sources de financement, un certain nombre d'entreprises privées et même certains gouvernements se sont saisis de l'idée de recourir aux manipulations génétiques extrêmes permises par la biologie synthétique pour promouvoir l'extraction d'énergies extrêmes. Il s'agit là d'une synergie à la fois puissante et potentiellement létale alors qu'elle combine les risques en matière de biosécurité liés à la biologie synthétique aux risques climatiques liés à l'extraction de combustibles fossiles.

Malheureusement, cette nouvelle alliance est porteuse d'excellentes perspectives économiques pour les géants du carbone,³ soient les grandes entreprises charbonnières, gazières et pétrolières qui sont les principales responsables des changements climatiques d'origine anthropique. À la fois extrêmement puissantes et riches, ces entreprises multinationales doivent constamment faire la démonstration de leur viabilité à leurs investisseurs en surmontant les obstacles géographiques et technologiques. L'un des aspects alarmants de l'actuelle exploitation des énergies extrêmes réside dans la propension croissante de ces entreprises à prendre des risques – entre autres technologiques – toujours plus grands pour garantir aux investisseurs un flux intarissable de carbone. Se servir de la biologie synthétique comme d'un outil est un exemple de ce comportement de plus en plus téméraire.

Le présent rapport fournit un premier compte rendu des moyens envisagés par les industries extractives afin d'exploiter la biologie synthétique. Il a également pour but d'aider les décideurs, les représentants de la société civile et autres acteurs à agir avec précaution face aux risques que ces applications pourraient comporter.

« Pourquoi cela [les manipulations génétiques] semble-t-il donc si horrible? Parce qu'évidemment, cela représente la seconde mort de la nature. Nous avons déjà, surtout par accident, altéré l'atmosphère d'une manière si grave que la nature telle que nous la connaissons n'existe plus. Mais cette fois-ci ne sera pas par accident – ce sera à dessein. »

- Bill McKibben, *The End of Nature*¹

Se servir de la biologie synthétique comme d'un outil est un exemple de ce comportement de plus en plus téméraire.

Qu'est-ce que la biologie synthétique ?

Surnommée « génie génétique dopé aux stéroïdes »⁴, la biologie synthétique implique généralement l'utilisation du génie biologique assisté par ordinateur pour concevoir et fabriquer des formes de vie, parties vivantes, dispositifs ou systèmes synthétiques qui jusqu'alors, n'existaient pas dans la nature. Ce terme implique également le réaménagement intentionnel d'organismes biologiques existants par l'entremise des mêmes techniques. La biologie synthétique tente d'apporter une *approche d'ingénierie prédictive* aux transformations génétiques d'organismes vivants en utilisant des « parties » génétiques qui sont jugées bien différenciées et qui possèdent un comportement rationnellement prévisible au sein de leur hôte. Elle procède également en « écrivant » les codes génétiques comme s'il s'agissait d'instructions codées imprimées, comme celles employées par exemple en génie mécanique. Bien que ce domaine vise à rendre *prévisible* le génie biologique, il reste encore beaucoup de chemin à parcourir pour atteindre cet idéal. En fait, de nombreux généticiens et microbiologistes (et même des spécialistes de la biologie synthétique lorsqu'ils sont en privé) soutiennent que cela ne sera probablement jamais possible. Les fonctions, l'état de santé et le comportement des organismes vivants dépendent fortement des influences environnementales et du contexte dans lequel ceux-ci évoluent. Ils sont fondamentalement différents de machines, qui demeurent beaucoup plus isolées de leur environnement, et plusieurs études ont démontré qu'il était très difficile d'intervenir de manière fiable sur un organisme comme s'il s'agissait d'un simple mécanisme⁵.

Quelques définitions de la biologie synthétique:

« L'objectif général de la biologie synthétique est de simplifier le génie biologique en appliquant à la biologie des principes et des modèles empruntés au génie – qui proviennent du génie électronique et informatique. »

– Jay Keasling et Chris Paddon, spécialistes de la biologie synthétique, mai 2014

« La biologie synthétique est un perfectionnement et une nouvelle dimension de la biotechnologie moderne combinant la science, la technologie et le génie pour faciliter et accélérer la compréhension, la conception, le réaménagement, la fabrication ou la manipulation de matériel génétique, d'organismes vivants et de systèmes biologiques. »

- définition opérationnelle élaborée par le Groupe spécial d'experts techniques sur la biologie synthétique de la Convention des Nations unies sur la diversité biologique, Montréal, septembre 2015

Étant, à l'origine, un terme d'investisseur plutôt qu'une discipline bien circonscrite, le terme fourre-tout de « biologie synthétique » est maintenant employé pour désigner un ensemble de techniques génétiques de deuxième génération qui surpassent les méthodes du génie génétique classique (également connu sous le terme de transgénèse) à l'origine des cultures génétiquement modifiées présentes sur le marché. Jusqu'à présent, les produits commerciaux de la biologie synthétique se sont limités aux biocarburants et aux produits chimiques, de même qu'à la fabrication de microorganismes tels que les levures et les algues capables d'excréter des versions synthétiques d'ingrédients alimentaires, aromatiques, cosmétiques et fragrances. L'arôme de vanille, les édulcorants et les huiles essentielles de patchouli et de rose produits artificiellement en sont des exemples⁶.

Les organismes de régulation se démènent pour s'ajuster à cet ensemble de nouvelles techniques génétiques et pour déterminer la manière d'évaluer et de contrôler ces nombreux produits qui les submergent. L'Union européenne et les Nations unies (par l'entremise de leur Convention sur la diversité biologique) sont en train d'élaborer une définition formelle de la biologie synthétique⁷. Dans le présent rapport, nous utilisons ce terme pour désigner les techniques biotechnologiques actuelles qui surpassent les capacités du génie génétique classique, et nous l'utilisons de manière plus particulière pour faire référence aux microorganismes qui sont fabriqués et déployés.

1 Bill Mckibben, *The End of Nature*, Random House, 1989.

2 *Ibid.*

3 Voir www.carbonmajors.org

4 www.techcentral.co.za/synthetic-biology-genetic-engineering-on-steroids/30351/

5 Craig Holdredge, « When engineers take hold of life ». In *Context*, The Nature Institute, www.natureinstitute.org/pub/ic/ic32/synbio.pdf

6 Voir www.etcgroup.org/tags/synbio-case-studies

7 Les différentes étapes du processus de la CDB en cours sont archivées à: <https://bch.cbd.int/synbio>

Un discours qui change:

voulant initialement se substituer à l'industrie pétrochimique, la biologie synthétique veut maintenant se mettre à son service

Il fut un temps où les pionniers du domaine de la biologie synthétique se présentaient comme des opposants et des concurrents de l'industrie des combustibles fossiles, affirmant alors qu'ils faisaient partie de la solution à la crise climatique. En 2008, devant un auditoire influent constitué de dirigeants d'entreprises technologiques et de politiciens, Craig Venter, le controversé entrepreneur en génomique, a affirmé la chose suivante: « Nous poursuivons les modestes objectifs de remplacer la totalité de l'industrie pétrochimique et de devenir une source majeure d'énergie⁸ ». Par cette affirmation, il voulait dire que la biologie synthétique produirait des biocarburants à partir de sucre, de cellulose et d'algues transformés par des microorganismes synthétiques. La même année, Venter a indiqué à la BBC que « le problème le plus important auquel l'humanité fait actuellement face est que nous extrayons du sol des milliards et des milliards de gallons de pétrole et des milliards de tonnes de charbon pour les brûler et émettre tout ce carbone dans notre atmosphère. Or, si la population ne réalise pas les dangers découlant de ces activités et si nous ne trouvons pas rapidement de produits de remplacement, nous subissons de très graves conséquences qui n'auront rien à voir avec des hypothèses avancées par la science-fiction.⁹ »

Positionner les entreprises de biologie synthétique à titre de nouveaux messies de l'environnement prêts à faire crouler le monopole de l'industrie des combustibles fossiles est une stratégie que nombre de chefs de file de la biologie synthétique ont continuellement répétée et renforcée entre 2007 et 2013. Alan Shaw, chef de la direction de Codexis, une entreprise de biologie synthétique produisant des biocarburants, a affirmé que la technologie mise au point par son entreprise allait « permettre la transition d'une économie fondée sur le pétrole vers ce qu'il est convenu d'appeler l'économie du sucre ».

Et que « la biotechnologie est le principal moteur de cette transition d'une dépendance au pétrole datant du 20^e siècle vers ce qui sera une dépendance au sucre aux 21^e et 22^e siècles¹⁰ ». Alors qu'à cette époque, environ les deux tiers des investissements de la biologie synthétique étaient dirigés vers les biocarburants et les produits chimiques d'origine biologique, ce domaine était de plus en plus présenté comme étant garante d'une économie post-pétrolière « verte » – une « bioéconomie », qui pourrait prétendument débarrasser la planète des combustibles fossiles¹¹. Il faut cependant noter que dans une perspective de protection du climat, la bioéconomie pose plusieurs problèmes considérables. L'extraction de biomasse nécessaire à la production de biocarburants ou de produits chimiques d'origine biologique implique un changement d'affectation des terres, qui aurait fort probablement mené à l'émission de dioxyde de carbone et à la perte de puits de carbone. En raison de la perte de fertilité des sols qu'il occasionne, le prélèvement de la biomasse aurait également nécessité un usage accru de fertilisants, qui sont eux-mêmes source de gaz à effet de serre durant leur production et leur utilisation.¹²

Quelques années plus tard, toutefois, ce scénario précaire a changé, et le discours public sur la manière dont la biologie synthétique aurait supplanté l'industrie pétrolière s'est pour ainsi dire évaporé. Ayant renoncé à leur position anti-pétrole, les dirigeants d'entreprises de biologie synthétique vendent aujourd'hui leurs services aux entreprises de combustibles fossiles ou cherchent à « donner une valeur ajoutée » aux ressources fossiles. Shaw, qui affirme maintenant s'être « trompé » et admet que sa conception de l'« économie du sucre » n'a jamais vraiment été concrète, est aujourd'hui le chef de la direction de Calysta, une autre entreprise de biologie synthétique qui transforme le gaz naturel (surtout constitué de méthane) obtenu par fracturation hydraulique en carburants liquides et autres produits.¹³

« La biomasse ne permet pas de s'en débarrasser... Les sucres ne se substituent pas au pétrole. Je me suis trompé sur ce point, et je l'admets. Cela ne remplacera jamais le pétrole parce que ce n'est pas rentable. Vous ne pouvez pas convertir les sucres en hydrocarbure d'une manière rentable. »

– Alan Shaw, chef de la direction de Calysta, et précédemment de Codexis¹⁵

8 www.dailygalaxy.com/my_weblog/2009/04/gucci-genes--de.html

9 www.icis.com/blogs/icis-chemicals-confidential/2008/01/biology-will-replace-the-petro-1/

10 Shaw Alan, Clark General Wesley, MacLachlan Ross, et Bryan Paul. « Roundtable: Replacing the whole barrel of oil ». *Industrial Biotechnology*, avril 2011, 7(2): 99-110. doi:10.1089/ind.2011.7.099.

11 Market Research Report, « Synthetic Biology: Emerging Global Markets ». Bio066b, BCC Research, novembre 2011.

12 Pour une analyse des risques climatiques reliés à l'extraction de la biomasse dans le cadre de la bioéconomie (incluant des références), consulter: ETC Group. *Biomassacre: La biologie synthétique menace la biodiversité et les modes de subsistance*. Juin 2011, p. 19-21.

13 www.bloomberg.com/news/articles/2013-04-30/biofuel-pioneer-forsakes-renewables-to-makegas-fed-fuels

Edward Dineer, anciennement chef de la direction de LS9, une entreprise de biologie synthétique productrice de biocarburants, est maintenant à la tête de Siluria Technologies Inc. Cette entreprise a recours à une technologie qui emploie des virus synthétiques pour convertir le méthane en produits chimiques tels que l'éthylène. Dominant le marché de l'éthanol cellulosique, l'entreprise Coskata n'utilise plus aucun type de sucre comme matière première ; elle se tourne dorénavant exclusivement vers le méthane. Solarzyme, une entreprise située dans la région de la baie de San Francisco qui, grâce à sa rhétorique écologiste axée sur la production de biocarburant algal, a réussi à amasser des milliards de dollars provenant du secteur privé, du domaine militaire et de gouvernements, tire la majeure partie de ses revenus actuels en vendant des fluides de forage à l'industrie de la fracturation hydraulique.

En réalité, même au moment où Craig Venter faisait son allocution sur les dangers des changements climatiques à la BBC en 2008 l'encre de sa signature apposée sur un contrat conclu avec BP était déjà sèche. Ce contrat octroyait à BP le droit d'utiliser les microorganismes créés par l'entreprise de Venter afin d'augmenter le débit de puits de pétrole par l'entremise de la technique de récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes¹⁴. Manifestement, même si l'industrie de la biologie synthétique est encore associée au discours sur la bioéconomie post-pétrolière, force est d'admettre que les spécialistes de ce domaine, loin de damer le pion aux entreprises de combustibles fossiles, espèrent de plus en plus devenir des acteurs clés de l'économie fondée sur l'extraction de combustibles fossiles.

L'attrait des fossiles

Qu'est-ce qui a bien pu motiver ces entreprises à changer leur fusil d'épaule ? Au cours de ces quelques années, l'industrie de la biologie synthétique a dû rapidement atteindre la maturité et se diversifier, restant ainsi constamment à la recherche de nouveaux marchés. Pour ce domaine en expansion dont la principale application reste encore à trouver, il est fort probablement devenu plus avantageux de plaire aux entreprises les plus riches de la planète que de prétendre à leur disparition.

En contrepartie, les entreprises de combustibles fossiles entrevoient des avantages à exploiter les puissantes technologies de la biologie synthétique dans le cadre de leurs activités. Ce revirement est moins inédit qu'il n'y paraît; en fait, le premier organisme génétiquement modifié à être breveté (le fameux arrê Diamond c. Chakrabarty) était destiné au nettoyage de déversements pétroliers¹⁷. Les industries extractives ont toujours eu un œil sur les avancées (et les occasions d'affaires) des biotechnologies.

Le principal motif de ce revirement réside probablement dans le fait que le paysage énergétique mondial s'est transformé depuis la naissance de cette industrie, ce qui a forcé les dirigeants d'entreprises de biologie synthétique à réorganiser le type de « propositions de valeur » (c.-à-d. le produit permettant de faire des profits) qu'ils peuvent offrir aux investisseurs et aux clients.

En 2008, elles ont interprété la flambée des prix du pétrole et la rumeur croissante de pic pétrolier de la manière suivante: devant l'envolée des prix, et pour une brève fenêtre de temps, les biocarburants pourraient être présentés aux investisseurs comme des produits potentiellement très lucratifs. Toutefois, lorsque les prix du pétrole se sont remis à baisser, cet argument de vente a perdu son pouvoir de conviction. D'autres facteurs ont contribué à effriter cet argument: l'essor subséquent du gaz naturel rendu possible par la fracturation hydraulique, de même que l'ouverture de gisements de gaz de schiste et de houille où il est possible d'extraire du méthane. Bien que la chute des prix du pétrole et l'actuel boom gazier aient marginalisé les biocarburants au sein du marché énergétique, ces phénomènes sont également venus exacerber les pressions sur l'industrie fossile. Les ressources fossiles non conventionnelles, comme le bitume lourd extirpé des sables bitumineux canadiens, demeurent coûteuses à extraire, et les acteurs de ce secteur cherchent des moyens de réduire les coûts d'exploitation par l'entremise de technologies novatrices et efficaces. En conséquence, pour les acteurs du secteur en difficulté de l'exploitation des sources non conventionnelles de pétrole et pour les producteurs de gaz naturel qui sont aux prises avec un excédent de produit, les entreprises de biologie synthétique apparaissent dorénavant comme des partenaires attirants, capables d'offrir des solutions révolutionnaires à tous leurs problèmes.

« On semble être en mesure de trouver de plus en plus de gaz de par le monde, alors je suis très à l'aise avec la matière première employée ici. »

– Edward Dineer, chef de la direction de Siluria, et précédemment de l'entreprise de biocarburants LS9¹⁶

14 www.syntheticgenomics.com/130607.html

15 Andrew Hearndon. « Biofuel Pioneer Forsakes Renewables to Make Gas-Fed Fuels ». *Bloomberg News*, 30 avril 2013. <http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-04-30/biofuel-pioneer-forsakes-renewables-to-make-gas-fed-fuels>

16 *Ibid.*

17 Décision de la Cour suprême de États-Unis, arrê Diamond c. Chakrabarty, 447 U.S. 303 (1980).

Comment la biologie synthétique peut-elle prêter main-forte aux fabricants de carburants et aux industries extractives?

La biologie synthétique peut intervenir lors de la production et de l'utilisation des ressources fossiles, de même que lors des opérations de réhabilitation des milieux contaminés par celles-ci. Elle peut également se révéler utile pour récupérer les métaux des minerais. Une façon de concevoir les activités de la biologie synthétique et d'expliquer partiellement en quoi la technologie est utile aux « géants du carbone » est de considérer celle-ci comme une plateforme qui, à l'aide d'organismes vivants, rend possible la transformation d'un composé organique en un autre. Il s'agit en quelque sorte de l'équivalent biologique du « craquage pétrolier » – soit le procédé thermo-chimique à la base de toute l'industrie pétrochimique –, qui permet d'obtenir une foule de produits utiles. À ses débuts, l'industrie de la biologie synthétique avait ciblé le carbone contenu dans la biomasse – notamment le sucre et la cellulose – à titre de matière première pour alimenter ses formes de vie synthétiques. Les entreprises chimiques et énergétiques ont alors créé des partenariats avec des entreprises en démarrage du secteur de la biologie synthétique afin d'explorer différentes options leur permettant de produire des biocarburants liquides et des produits chimiques issus de la biologie. Toutefois, pour les grandes entreprises fossiles, dont la principale activité consiste à produire et à raffiner des composés organiques en abondance et à coût relativement faible, il a toujours été plus attrayant d'appliquer la biotransformation aux hydrocarbures (pétrole, charbon et gaz) plutôt qu'aux sucres (plantes).

Le type de « craquage » que rend possible la biologie synthétique permet de se détourner de la chaleur et des procédés chimiques du raffinage, pour plutôt adopter ce qu'il serait convenu d'appeler des organismes vivants capables de « biopirater », qui sont génétiquement programmés pour libérer les ressources chimiques contenues dans les hydrocarbures fossiles. Le craquage pétrolier classique nécessite l'exploitation d'énormes raffineries coûteuses et consommant de grandes quantités d'énergie. Au contraire, le biopirater est léger, flexible et ne nécessite qu'une cuve de fermentation remplie d'une poignée de microorganismes.

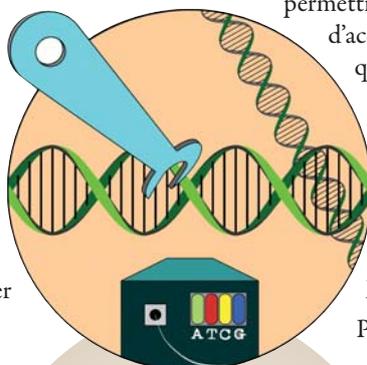
Voilà ainsi l'aspect le plus appétissant des nouvelles « propositions de valeur » que les entreprises de biologie synthétique font miroiter aux géants du carbone; elles permettraient dorénavant à cette gigantesque industrie d'accroître à moindre coût la valeur des hydrocarbures qu'elle extrait, notamment le gaz naturel, en transformant ces produits bruts en une gamme de biens prêts à l'emploi: carburants, plastiques, cosmétiques et même ingrédients alimentaires – tout cela en évitant les importantes conséquences sociales et les coûts astronomiques imputables à la construction et à l'exploitation de raffineries classiques.

Par ailleurs, les formes de vie synthétisées pour servir à des fins industrielles sont perçues comme de nouveaux remèdes technologiques potentiels permettant de pallier d'autres problèmes et procédés inefficaces lors de l'extraction, du raffinage et de l'élimination des ressources fossiles et minérales. À tout le moins en théorie, les organismes synthétiques, s'ils sont adéquatement conçus, pourraient réaliser plusieurs tâches: contribuer à accroître le débit de pétrole des réserves existantes; produire des fluides de forage; décomposer les minéraux et les minerais métalliques; de même que stimuler la libération du gaz naturel. Toujours en théorie (parce que malgré des décennies de tentatives, ce type d'application tarde à voir le jour), ces organismes synthétiques pourraient également être déployés dans les opérations de nettoyage afin de dégrader les polluants chimiques persistants ou de séquestrer les déchets chimiques et les gaz tels que le CO₂. Main dans la main avec les industries extractives, les entreprises de biologie synthétique sont en train d'explorer toutes ces approches.

Le reste du présent rapport aborde les deux plus importants champs d'application dans lesquels l'industrie de la biologie synthétique élabore des stratégies axés sur les combustibles fossiles et, plus généralement, l'extraction minière.

Approche 1) « Raffiner » les combustibles fossiles bruts par l'entremise de la « fermentation gazeuse » (un procédé de nature biologique) pour ensuite les utiliser (notamment sous la forme de méthane et de gaz de synthèse) comme matières premières pour la production de carburants raffinés ou de substitution, de plastiques ou d'aliments

Approche 2) Exploitation minière à l'aide de microorganismes – techniques d'extraction directe



[Les industries extractives pourront] accroître à moindre coût la valeur des hydrocarbures qu'elle extrait, notamment le gaz naturel, en transformant ces produits bruts en une gamme de biens prêts à l'emploi: carburants, plastiques, cosmétiques et même ingrédients alimentaires – tout cela en évitant les importantes conséquences sociales et les coûts astronomiques imputables à la construction et à l'exploitation de raffineries classiques.

Approche 1

Bactéries méthanotrophes et « fermentation gazeuse » : « raffiner » les combustibles fossiles par des procédés biologiques

Au cours du dernier siècle, les procédés de « craquage » et de reformage du pétrole ont assuré la puissance et la richesse de l'industrie pétrochimique, soit la plus riche du monde. Les énormes usines thermochimiques (ces raffineries si familières) raffinent le pétrole brut ou le gaz naturel pour les fractionner en différents composés chimiques, qui sont à leur tour les composants de base de milliers de produits à valeur ajoutée tels que les plastiques, les fertilisants, les ingrédients alimentaires, les cosmétiques et les textiles.

Les recherches dont il est question dans le présent rapport tentent d'établir si certaines approches issues de la biologie synthétique ou de la biotechnologie industrielle pourraient être en mesure de fournir, à l'avenir, un moyen plus abordable, plus simple et plus flexible de raffiner le pétrole, le charbon et le gaz, en remplaçant les raffineries par des microorganismes. Cette avenue a fait l'objet d'une exploration particulièrement poussée dans le cas du gaz naturel, car un certain groupe de bactéries dites méthanotrophes est naturellement en mesure d'utiliser le méthane (le principal composant du gaz naturel) pour se nourrir et de normalement le transformer, en le digérant, en méthanol puis en formaldéhyde. Pour le dire en des termes plus grossiers, elles sont capables de manger un produit chimique pour en déféquer un autre, un talent naturel d'un intérêt certain aux yeux des ingénieurs du vivant.

En reprogrammant le génome des bactéries méthanotrophes, les spécialistes de la biologie synthétique croient être en mesure de prendre le contrôle de ce processus de conversion de manière à ce que celles-ci puissent consommer du méthane provenant des puits de pétrole et de gaz et excréter le produit chimique qu'ils désirent et qui servira ensuite à la fabrication, par exemple, de plastiques, de carburants liquides ou d'arômes alimentaires. Ce procédé est appelé « fermentation gazeuse¹⁸ ». Il s'agit essentiellement d'un processus de fermentation, soit celui qu'utilisent les levures pour transformer le sucre en bière, sauf que dans le cas présent, c'est plutôt le méthane qui est transformé en produits chimiques à forte valeur ajoutée comme du carburéacteur ou des plastiques. Il existe d'autres approches, dont la conversion du méthane ou du charbon en gaz de synthèse (un mélange de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone et d'hydrogène), qui est ensuite utilisé pour alimenter des microorganismes synthétiques. Une troisième approche consiste à utiliser des microorganismes synthétiques pour produire de puissantes enzymes (biocatalyseurs) qui réagiront avec le méthane pour créer de nouveaux composés.

La transformation du méthane contenu dans le gaz naturel en produits à forte valeur ajoutée à l'aide d'organismes synthétiques possède plusieurs avantages commerciaux et industriels:

- 1) Le gaz naturel constitue actuellement une matière première (soit l'aliment dont ont besoin les microorganismes synthétiques) abondante et relativement peu coûteuse. Si le procédé de fermentation gazeuse fonctionne, il pourrait se révéler plus fiable que de garantir un quelconque approvisionnement en biomasse (résidus agricoles, par exemple). Il s'agit en outre d'un marché concentré, où les revenus et la prolifération de nouveaux microorganismes seraient immenses si seulement l'une des nombreuses entreprises qui ont le contrôle sur le gaz et le pétrole décidait d'adopter un produit.
- 2) Selon Calysta Energy, transformer le méthane en carburants est moins coûteux, nécessite moins d'énergie et est plus efficace que les procédés servant à fabriquer des biocarburants. Le sucre et la biomasse contiennent seulement 40 % de carbone ; conséquemment, ce ne sont théoriquement que 30 à 40 % de ces matières premières qui peuvent être transformées, en biocarburants par exemple. Les algues ont quant à elles une teneur en carbone encore plus faible. Les promoteurs de la biologie synthétique affirment que puisque le méthane contient 75 % de carbone, jusqu'à 59 % de cette matière première peut être convertie en biodiesel¹⁹. Les fondateurs d'Industrial Microbes soulignent du reste que le carbone extrait du méthane revient quatre fois moins cher que celui extrait du sucre²⁰.
- 3) Si les spécialistes de la biologie synthétique peuvent transformer d'une manière économiquement viable le gaz naturel en produits à forte valeur ajoutée tels que des cosmétiques, des carburants ou des ingrédients alimentaires, la valeur du méthane à titre de marchandise s'en retrouve globalement *augmentée*. Cela contribuerait à justifier des coûts d'extraction plus élevés (par ex., pour la fracturation hydraulique, le gaz de schiste et le gaz de houille), ce qui stimulerait davantage l'exploration et l'exploitation gazière. De manière similaire, si le charbon peut être transformé en gaz de synthèse ou en méthane, qui sera à son tour transformé en produits à forte valeur ajoutée, il deviendrait conséquemment plus tentant d'exploiter les gisements de charbon.

18 Voir, par exemple,

<http://calystaenergy.com/technology/gaseous-fermentation/>

19 Josh Silverman. *BioGTL Platform for the Conversion of Natural Gas to Fuels and Chemicals*.

http://calysta.com/pdfs/AIChE_final_33114.pdf

20 Yarrow Madrona. « Scientists Seek to Engineer Microbes to Make Simple Chemicals ». *Synapse*.

<http://synapse.ucsf.edu/articles/2015/01/09/scientists-seek-engineer-microbes-make-simple-chemicals>

4) Plus important encore, la flexibilité du procédé de transformation biologique pourrait permettre de résoudre le problème du « gaz délaissé » que connaît actuellement l'industrie pétrolière et gazière, ce dernier devenant dès lors un avantage en termes industriel et de relations publiques. Est qualifié de « délaissé » le gaz qu'il n'est pas rentable d'extraire ou de mettre en marché, et qui est habituellement perdu – par exemple, le gaz qui s'échappe des puits de pétrole en mer, les champs gazéifères qui sont trop éloignés, ou le « gaz associé » qui est un sous-produit de la production de pétrole. La majeure partie du gaz délaissé est généralement dégazé vers l'atmosphère ou torché (c.-à-d. brûlé à l'aide d'une torche), ce qui engendre une importante pollution atmosphérique. Les quantités estimées de gaz délaissé sont élevées, allant de 40 à 60 % des réserves mondiales prouvées en gaz²¹. En raison de leur petite taille, de leur flexibilité et de leur portabilité, les installations de fermentation employées en biologie synthétique pourraient être déployées pour capter le gaz délaissé à la source, puis le transformer en un produit plus facile à expédier, à manipuler et à vendre (ex. carburants liquides). Il peut également s'agir d'une aubaine pour l'industrie de la fracturation hydraulique dont les opérations ne sont habituellement en mesure d'extraire qu'une fraction du gaz contenu dans les puits, et qui doit en outre transformer ce gaz en un produit pouvant être expédié. Bien entendu, l'industrie fossile présente le captage et l'utilisation du gaz délaissé comme un bénéfice environnemental puisqu'ainsi, ce dernier ne s'échappe plus dans l'atmosphère ou il n'est plus nécessaire de le torcher. Le méthane émis vers l'atmosphère constitue une importante source d'émissions de gaz à effet de serre, celui-ci ayant un impact climatique de 28 à 35 fois plus élevé que celui du CO₂. Toutefois, remplacer le torchage du méthane par sa conversion à l'aide de techniques issues de la biologie synthétique pourrait avoir de bien plus graves conséquences sur le climat. En effet, le gaz délaissé converti en carburants sera brûlé, produisant une quantité beaucoup plus grande de CO₂ que ne l'aurait fait son torchage direct, avec conséquemment un plus lourd impact sur le climat (voir l'encadré ci-dessous). Bien évidemment, le torchage du méthane constitue un grave problème en soi, notamment pour les communautés situées à proximité des puits ou des sites d'extraction. Le secrétaire à l'Énergie des États-Unis, Ernest Moniz, a affirmé que de telles technologies de conversion du gaz naturel « pourraient être utilisées de manière répartie pour éviter le torchage du gaz naturel aux puits de pétrole qui, comme nous le savons, représente autant un problème qu'une occasion²² ». De plus, faire du gaz délaissé une nouvelle source de revenus pour les entreprises pétrolières leur fournirait vraisemblablement une mesure incitative supplémentaire pour explorer et exploiter des champs pétrolifères et gazéifères qui autrement, auraient été marginalisés – avec une fois de plus pour effet de faire augmenter la consommation de combustibles fossiles et d'exacerber les changements climatiques.

Définitions

Méthanotrophe: Se dit d'un organisme qui consomme du méthane comme principale source de carbone et d'énergie.

Gaz de synthèse (parfois aussi appelé « syngaz »): Mélange gazeux composé de monoxyde de carbone, de dioxyde de carbone et d'hydrogène, qui est produit par le traitement thermique du charbon ou de la biomasse (un procédé appelé Fisher-Tropsch).

Gaz délaissé: Gaz provenant des champs pétrolifères et gazéifères qui est perdu ou laissé sur place en raison du coût prohibitif qu'impliquerait son captage et sa mise en marché.

Torchage et dégazage: Désignent respectivement le brûlage de l'excès de gaz provenant des activités industrielles d'extraction et de raffinage, de même que la libération de ce gaz, sous forme de méthane, dans l'atmosphère.

Biomasse: Matériel issu du vivant, notamment des plantes, qui est collecté afin de servir de matière première pour certains procédés de production industrielle.

Biosécurité: Un terme qui fait référence aux risques naturels et directs induits par les organismes vivants, souvent employé dans les discussions sur les risques directs reliés aux organismes génétiquement modifiés qui ont lieu aux différents paliers de gouvernance, notamment aux Nations unies.

5) Des souches bactériennes synthétiques capables de convertir le méthane ou le gaz de synthèse en produits à valeur ajoutée peuvent également être alimentées par du méthane provenant de sites d'enfouissement ou d'élevages confinés d'animaux. Pour préserver leur image publique, les entreprises de biologie synthétique qui convertissent le méthane en produits chimiques ou en carburants parlent plus souvent du captage et de la transformation du gaz issu des sites d'enfouissement qu'elles présentent sous une perspective écologique, même si la fracturation hydraulique ou le gaz délaissé des champs pétrolifères et gazéifères représentent des marchés beaucoup plus gros.

21 David Biello. « Can Methane Leaks from Fracking Be Turned into Valuable Gasoline? » *Scientific American*, 5 mars 2014.

22 *Stranded Gas Utilization—Methane Refineries of the Future*. Rapport, février 2002, ChemSystems, San Francisco. Voir aussi: Chabrelié, M.-F. et Rojey, A. Prospects for Exploiting Stranded Gas Reserves. Présentation à Gastech, Houston, 14–17 novembre 2000.

23 *ELA voluntary reporting of greenhouse gases program fuel carbon dioxide emission coefficients*. www.eia.doe.gov/oiaf/1605/coefficients.html

24 Kevin Bullis. « Biofuels companies drop Biomass and turn to Natural Gas ». *Energy News*, 30 octobre 2012. Voir aussi: Chad A. Haynes et Ramon Gonzalez. « Rethinking Biological Activation of Methane and Conversion to Liquid Fuels ». *Nature Chemical Biology*. Vol. 10, mai 2014.

Risques liés aux bactéries méthanotrophes sur le plan de la biosécurité

Manipuler génétiquement un organisme peut mener à des effets imprévisibles, jamais observés auparavant et qui souvent ne sont pas immédiats. La complexité accrue de la biologie synthétique ne peut qu'accroître ce risque. Parce que de tels organismes peuvent se reproduire par leurs propres moyens et se répandre partout sur la biosphère, leur libération dans l'environnement (même accidentelle) augmente les risques qui planent sur les plantes, les animaux et les microorganismes naturels. De tels risques peuvent devenir importants si des bactéries méthanotrophes synthétiques capables de produire ces produits chimiques (qui peuvent être toxiques pour les autres formes de vie) sont libérées dans un environnement riche en méthane et y trouvent une niche à laquelle elles s'adaptent ou un avantage sur le plan de la sélection – par exemple, si ces bactéries méthanotrophes synthétiques se retrouvent dans un milieu humide ou un sol riche en matière en décomposition produisant du méthane. Certains animaux, comme les ruminants, sont d'importants émetteurs de méthane. Ainsi, si les bactéries méthanotrophes trouvent une niche chez les ruminants et s'y reproduisent, elles pourraient, selon un scénario du pire cas, produire une substance telle que du carburant pour automobile ou du plastique au sein de l'animal hôte – cela pourrait nuire à la santé des autres organismes ou encore altérer la production de lait et de viande. Bien entendu, il peut encore exister une foule de conséquences sanitaires et environnementales mal connues.

Accroître les risques climatiques

L'industrie fossile présente le méthane comme une source d'énergie plus « propre » dont les émissions de carbone restent moindres que d'autres combustibles fossiles tels que le charbon et le pétrole. Lorsqu'il n'est pas brûlé et que sa molécule reste intacte, le méthane possède un plus fort potentiel de réchauffement planétaire que le dioxyde de carbone, mais lorsqu'il est brûlé, il émet moins de CO₂ par unité d'énergie produite que n'importe quel autre type de carburant (y compris les biocarburants tels que l'éthanol)ⁱ. Recourir à la fermentation gazeuse pour transformer le méthane en carburants et en d'autres produits à forte valeur ajoutée pourrait toutefois annuler ce dernier avantage.

D'abord, le processus de fermentation nécessite une certaine quantité d'énergie et génère du CO₂ ; du reste, les bactéries méthanotrophes ne transforment actuellement pas de manière efficace le méthane en carburants. L'intensité des émissions de carbone du produit final (par ex., un carburant de substitution qui peut être employé directement dans les voitures ou les avions) sera similaire à celle des carburants classiques à base de pétrole, et lorsque brûlé, il émettra plus de gaz à effet de serre que du méthane non converti²³. Selon certaines études, produire un carburant à partir de méthane à l'aide de bactéries méthanotrophes constitue actuellement un procédé qui génère plus d'émissions de gaz à effet de serre que la production de carburant à partir de pétrole classique dû au fait qu'il est nécessaire de considérer les impacts liés à la production.

Le programme REMOTE (voir l'encadré ci-dessous) tente justement de surmonter ce problème d'émissions plus élevées, mais n'y est pas encore parvenu²⁴. Néanmoins, s'engager encore plus profondément sur la voie d'une économie fondée sur le méthane constitue potentiellement le problème le plus sérieux. Le méthane imbrûlé possède de lourds impacts sur le climat. Les fuites accidentelles de méthane à partir de puits, de sites de fracturation hydraulique et de réseaux de distribution sont chose du quotidien ; or, ces fuites ne peuvent qu'augmenter lorsque les nouveaux utilisateurs de méthane contribueront grandement à l'essor de cette industrie.

La biologie synthétique en guise de stratégie de captage, d'utilisation et de stockage du carbone (CUSC)

L'approche axée sur le captage du méthane torché et dégazé afin de le transformer en carburants fait partie intégrante des stratégies de l'industrie fossile visant à promouvoir les technologies de captage du carbone. L'industrie fossile réclame de plus en plus un « découplage » entre les sources d'énergie fossiles et les émissions de gaz à effet de serre, en argumentant que de nouvelles technologies peuvent permettre à la planète de continuer à extraire et à consommer des énergies à forte intensité d'émissions de carbone tout en parvenant à réduire les émissions globales. Leur argumentaire promeut toutefois des technologies qui ont à peine vu le jour et qui n'ont pas été éprouvées. La principale stratégie technologique brandie pour promouvoir cette proposition pour le moins paradoxale réside dans le captage et le stockage du carbone (CSC) – où le CO₂ rejeté par la combustion (ex., à partir de centrales au charbon) est prétendument capté et séquestré dans des formations géologiques. Toutefois, le CSC ne peut être pleinement efficace qu'à forts coûts ; il n'existe d'ailleurs qu'une seule usine de CSC opérationnelle dans le monde. Les défenseurs de l'industrie fossile font également de plus en plus la promotion d'une approche différente : plutôt que de payer pour séquestrer le carbone capté, celui-ci permettrait de générer des profits s'il servait de matière première pour la fabrication de carburants, de plastiques, de ciment et d'autres matériaux. Cette approche est appelée « captage, utilisation et stockage du carbone » (CUSC) – il faut toutefois noter que dans le cas de la conversion des gaz rejetés en carburants, il n'y a pas vraiment de stockage puisqu'en définitive, ces derniers sont brûlés et le carbone qu'ils contiennent est retourné à l'atmosphère. Capter le méthane et le transformer en carburants à l'aide de la biologie synthétique au lieu de le torcher constitue un exemple type de projet de captage et d'utilisation du carbone. Bien que cette stratégie soit présentée comme avantageuse sur le plan écologique, il s'agit en réalité d'une fausse solution qui, ultimement, profitera à l'industrie fossile et pourrait bien mener à une augmentation nette des émissions atmosphériques plutôt qu'à leur diminution.

Les entreprises de biologie synthétique mettent la main sur le gaz

À l'heure actuelle, il semble régner un certain climat de « ruée vers le gaz » au sein de l'industrie de la biologie synthétique alors qu'un important nombre d'acteurs de ce secteur sont manifestement en train de s'outiller pour utiliser le méthane ou le gaz de synthèse comme matières premières pour leurs organismes synthétiques:

Calysta – Basée dans le Menlo Park au cœur de la Silicon Valley, Calysta est l'entreprise la plus en vue œuvrant à transformer directement le méthane en carburants, en aliments et en autres produits chimiques. Se servant de sa plateforme de génie biologique nommée « BioGPS » qui permet de convertir biologiquement le gaz en produits chimiques ou en carburants liquides, Calysta fabrique des souches bactériennes appartenant au genre *Methylococcus* (des bactéries méthanotrophes) afin qu'elles puissent s'alimenter de méthane et produire une variété de composés. Les microorganismes sont confinés dans des bioréacteurs pour donner cours à la fermentation gazeuse, le processus de digestion décrit ci-dessus. Calysta affirme que sa plateforme de biologie synthétique est en mesure de produire différentes classes importantes de produits chimiques industriels tels que les alcools, les esters, les oxydes et les alcènes, cette dernière classe incluant les carburants liquides²⁵. Outre quelques ententes de collaboration avec le département de l'Énergie des États-Unis par l'entremise du programme REMOTE et avec des laboratoires énergétiques nationaux des États-Unis (voir l'encadré ci-dessous), Calysta a établi un partenariat d'une valeur de 2,5 millions de dollars avec le chef de file des bioplastiques, l'entreprise NatureWorks, pour produire de l'acide polylactique (APL) à partir du méthane plutôt que de l'amidon de maïs²⁶. Le projet en est encore à sa phase de développement, mais les deux entreprises ont déjà annoncé en juin 2013 qu'elles avaient réussi à concevoir les bactéries capables de convertir le méthane en acide lactique, le précurseur de l'APL.

Calysta possède également une division « alimentaire » basée à Stavanger en Norvège, qui cultive des microorganismes alimentés au méthane qui serviront de base pour la fabrication d'aliments destinés aux poissons et au bétail. Alors qu'ils consomment le méthane, les microorganismes croissent.

25 <http://calystaenergy.com/materials-and-energy/materials/>. Voir aussi: Josh Silverman. *BioGTL Platform for the Conversion of Natural Gas to Fuels and Chemicals*. http://calysta.com/pdfs/AICHe_final_33114.pdf

26 Communiqué de presse de NatureWorks. *Calysta Energy and Natureworks Announce an R&D Collaboration to Transform Methane into the Lactic Acid Building Block for Bioplastics*, 18 juin 2013.

Dotées d'un contenu protéique massique de 70-72%, elles sont récoltées, séchées et employées pour nourrir les animaux. Calysta entend mettre sur le marché sa protéine FeedKindMC destinée à l'industrie aquacole en 2018, puis ce sera le tour d'un aliment commercial destiné aux industries du bétail écossaise et norvégienne²⁷. L'entreprise affirme que les microorganismes qu'elle utilise dans ses aliments destinés au bétail et aux poissons ne sont pas modifiés et qu'ils « se retrouvent normalement dans la nature »; d'ailleurs, ils recevront la mention « non-OGM » (comme il se doit si elles veulent trouver leur place sur le marché européen). Calysta a maintenant l'intention de construire une usine de production d'une valeur de plusieurs millions de dollars pour accueillir sa plateforme permettant de convertir le méthane en produits chimiques. Le lieu d'implantation de l'usine n'a pas été divulgué, mais certaines hypothèses ont déjà été émises, comme l'illustre le quotidien spécialisé *Biofuels Digest*: « Où la construiront-ils? Tout près d'une source abordable de méthane. Pensez aux endroits suivants: le Brunei, les Émirats arabes unis, le Qatar, l'Arabie saoudite, ou encore, dans un haut lieu de l'extraction du méthane comme la formation de Bakken, de Marcellus, ou de Niobrara aux États-Unis ou au Canada²⁸. »

Intrexon – Au cours des dernières années, l'entreprise étasunienne Intrexon dirigée par Randal Kirk, un biotechnologue milliardaire, est devenue l'une des entreprises de biologie synthétique les plus agressives et ayant la plus forte croissance, notamment en faisant l'acquisition de plusieurs entreprises en démarrage plus petites capables de produire virtuellement n'importe quoi, s'agissant de poissons ou de pommes génétiquement modifiés ou encore de produits pharmaceutiques ou de carburants. Tout comme Calysta, Intrexon vante sa « plateforme de bioconversion du méthane ». Elle a également recours à la biologie synthétique pour créer le génome de bactéries méthanotrophes capables de produire des carburants, des produits chimiques et d'autres composés à forte valeur ajoutée dont possiblement des produits pharmaceutiques.

27 « Voici comment cela fonctionne. Calysta crée des bactéries méthanotrophes non-GM – il s'agit de créatures microscopiques qui utilisent le méthane comme source d'énergie (un peu comme nous obtenons du carbone [...] à partir des aliments que nous mangeons). Comme vous, elles croissent lorsqu'elles consomment de l'énergie et des aliments – mais dans le cas présent, elles engendrent un nombre très élevés de nouvelles bactéries méthanotrophes. Les cellules contiennent 70-72 % de protéines par unité de masse. Ces protéines sont collectées, séchées, pulvérisées et distribuées par BioProtein comme un substitut d'aliment pour poissons. » www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/05/20/goodbye-fuel-from-foodhello-food-from-fuel/see-also-20140520 www.economist.com/news/science-and-technology/21649441-feedingfarmed-salmon-protein-made-methane-gas-guzzlers

Pour reprendre les termes d'un communiqué de l'entreprise: « Grâce à de nouveaux circuits génétiques, nous avons permis aux bactéries méthanotrophes de convertir le carbone qu'elles soutirent de leur source naturelle d'alimentation, le méthane (C1), en produits finaux plus précieux²⁹. » Intrexon a notamment démontré sa capacité à produire deux carburants à partir du méthane: l'isobutanol et le farnésène. Entrant dans la fabrication du diésel, le farnésène est également le précurseur chimique d'une vaste gamme de produits chimiques et naturels courants dont certaines colles, nettoyants, savons, solvants et fragrances. Afin de commercialiser sa technologie permettant de convertir le méthane en carburants et en lubrifiants, Intrexon a créé une coentreprise nommée Intrexon Energy Partners (IEP) ; à cette fin, IEP a obtenu 75 millions de dollars de ses partenaires en mars 2014.

Coskata – Grâce aux millions de dollars de subvention en R et D versés par General Motors, Total, le gouvernement des États-Unis et nombre de grandes firmes d'investissement, Coskata est parvenu durant plusieurs années à se maintenir dans le peloton de tête de la course à la production de biocarburants celluloseux à partir de copeaux de bois et d'autres formes de biomasse. Aujourd'hui, toutefois, Coskata affirme se concentrer principalement sur la transformation du gaz de synthèse en éthanol à l'aide de ses propres microorganismes synthétiques. Coskata exploite une usine semi-commerciale située en plein cœur de la formation de Marcellus, une région de la Pennsylvanie riche en gaz de schiste où se concentre la fracturation hydraulique. L'entreprise convertit du gaz naturel en éthanol depuis 2012, et demeure d'ailleurs honnête quant aux raisons économiques qui motivent son recours à la biologie synthétique pour transformer le gaz de synthèse en carburants. Elle indique ainsi:

« Le prix du gaz naturel étant de 4 \$/mmBtu, nous espérons atteindre des coûts de production non subventionnés bien en deçà de ceux des carburants de transport courants tels que l'essence, le diésel et l'éthanol-mais. En fait, même si le prix du gaz naturel atteignait quatre fois sa valeur actuelle, nous pourrions encore concurrencer le coût de production actuel de l'éthanol-mais. [...] En utilisant le gaz naturel comme matière première, nous produisons non seulement des carburants de transport à un prix capable de créer de la valeur pour les consommateurs, mais nous pouvons également bâtir de plus grosses usines, car nous ne serons pas limités par la quantité de biomasse disponible dans un rayon donné. En produisant à l'échelle industrielle, nous pouvons avoir un impact important sur l'approvisionnement en carburants de transport dans ce pays³⁰. »

28 Jim Lane. « Goodbye Fuel from food, hello food from Fuel ». *Biofuels Digest*. 20 mai 2014. www.biofuelsdigest.com/bdigest/2014/05/20/goodbye-fuel-from-food-hello-food-from-fuel/

[...] « **le gaz naturel est le nouveau sucre** » et vantent les avantages du méthane comme matière première, le carbone extrait de cette molécule étant quatre fois moins cher que celui extrait du sucre.

Coskata affirme que son procédé peut également servir à produire de l'éthylène à partir du gaz naturel, l'éthylène étant un précurseur pour la fabrication de plusieurs plastiques.

Industrial Microbes – Fondée par trois anciens employés de l'entreprise LS9, chef de file de la biologie synthétique, Industrial Microbes est installée à Emeryville en Californie. Cette entreprise crée des microorganismes qui convertiront un mélange de méthane et de dioxyde de carbone en acide malique³¹, un produit chimique industriel largement employé comme additif pour donner un goût acidulé aux aliments. À l'instar de Coskata, les fondateurs d'Industrial Microbes proclament que « le gaz naturel est le nouveau sucre » et vantent les avantages du méthane comme matière première, le carbone extrait de cette molécule étant quatre fois moins cher que celui extrait du sucre. Industrial Microbes présente son procédé comme une approche de « captage et d'utilisation du carbone », car celui-ci consommera du dioxyde de carbone et du méthane. Les sommes initiales ayant servi au démarrage de l'entreprise provenaient de la Climate Change and Emissions Management Corporation (CCEMC)³². Située en Alberta au Canada (haut lieu de la très polluante industrie des sables bitumineux), cette dernière est un organe de financement quasi gouvernemental dirigé par l'industrie. La CCEMC a pour mandat de trouver des solutions technologiques permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Industrial Microbes reçoit également des fonds de l'US Environmental Protection Agency.

Newlight – Cette entreprise décrit sa technologie comme un procédé de production ayant un « bilan de carbone négatif » capable de transformer le méthane et d'autres gaz à effet de serre en plastique, qui sera à son tour utilisé dans la fabrication de meubles et d'autres biens. Contrairement aux autres entreprises de biologie synthétique, Newlight n'utilise aucun procédé direct de « fermentation gazeuse » pour fabriquer son plastique appelé AirCarbon. Pour ce faire, l'entreprise utilise plutôt un biocatalyseur synthétique (une enzyme produite par un organisme issu du génie biologique), qui réagit avec le méthane et le dioxyde de carbone présents dans l'air pour leur soutirer leur carbone.

29 Communiqué de presse d'Intrexon. *Synbio company Intrexon and Dominion partner to commercialize bioconversion of natural gas to isobutanol in Marcellus and Utica Basins*. 20 août 2015. www.greencarcongress.com/2015/08/20150820-intrexon.html

30 Jim Lane. « Coskata: Biofuels Digest's 2014 5-Minute Guide ». *Biofuels Digest*. 25 mars 2014.

31 Voir www.imicrobes.com

32 Communiqué de presse de CCEMC/Industrial Microbes. *Industrial Microbes Wins \$500,000 Grant to Turn Greenhouse Gases into Valuable Materials*. mai 2014. www.imicrobes.com/news/2014%2005%2019%20Industrial%20Microbes%20CCEMC.pdf

Newlight, qui a reçu différents prix à titre d'« entreprise verte », affirme « travailler avec des partenaires du Fortune 500 et les plus grandes marques sur le marché afin que l'AirCarbon soit utilisé comme matériau dans différents produits au bilan de carbone négatif destinés à divers secteurs du marché: automobile, électronique, construction, vêtements et autres³³ ». Son plastique AirCarbon est déjà employé par KI, le principal fabricant de meubles aux États-Unis, qui en fait des chaises et d'autres meubles destinés aux écoles, aux établissements de santé et au gouvernement³⁴.

Kiverdi – Cette entreprise se sert d'organismes synthétiques qui transforment le méthane en carburants de substitution, en huiles et en produits chimiques préparés selon des besoins spécifiques, en biomatériaux et en additifs alimentaires. Comme mentionné précédemment, les carburants « de substitution » peuvent être employés dans les voitures ou acheminés par oléoducs sans devoir subir de modifications préalables ou nécessiter de nouvelles infrastructures, contrairement à l'éthanol, qui doit être adapté au moteur des voitures, ou au bitume, qui nécessite des infrastructures de transport et de manutention différentes. Bien que Kiverdi mette l'accent sur le captage du méthane à partir de « déchets organiques » (ex., matières issues de sites d'enfouissement, paille, etc.) dans ses communications publiques, l'entreprise se sert également de gaz « délaissé ». Financée par le gouvernement des États-Unis, Kiverdi est encore au stade de développement³⁵.

Lanzatech – Originaire de la Nouvelle-Zélande, mais maintenant basée aux États-Unis, Lanzatech se sert depuis quelques années de microorganismes synthétiques pour transformer par fermentation les « gaz carbonés résiduels » (du gaz de synthèse) provenant de l'industrie sidérurgique en carburants de substitution et en produits chimiques. Par ailleurs, l'entreprise explore actuellement la possibilité d'appliquer sa technologie à la transformation du gaz délaissé provenant d'installations de fracturation hydraulique et de mines de charbon en produits à forte valeur ajoutée. Lanzatech a reçu quatre millions de dollars de la part du gouvernement des États-Unis par l'entremise du programme REMOTE (voir l'encadré ci-dessous) afin de transformer le méthane en carburants et en produits chimiques, en se servant du gaz de synthèse comme intermédiaire. Lanzatech se présente comme étant une entreprise procédant au « captage et à la réutilisation du carbone »³⁶.

[...] des virus synthétiques réarrangent des minéraux pour créer un puissant catalyseur capable de transformer le méthane en éthylène.

GreenLight Biosciences – Entreprise de biologie synthétique basée à Boston, GreenLight Biosciences a reçu des fonds de 4,5 millions de dollars du programme étasunien REMOTE (voir l'encadré) pour son projet de conversion du méthane en produits chimiques. GreenLight Biosciences utilise un système « sans cellules »; il s'agit d'un bioréacteur qui a recours à des processus génétiques synthétiques se déroulant à l'extérieur de la cellule vivante afin de convertir d'importantes quantités de méthane en carburant en une seule étape. Bien que GreenLight Biosciences affirme que sa vision remet en question l'extraction de combustibles fossiles, elle entrevoit clairement que son système pourrait fonctionner sur les sites gazeifères exploités par fracturation hydraulique. Comme l'explique l'entreprise, « le procédé se sert du gaz naturel et de la pression de tête de puits pour fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement des installations. Tout le dioxyde de carbone qui est émis en cours de processus est capté, condensé et retourné au puits par pompage afin de maintenir la pression du réservoir et de réduire les émissions. Cette technologie pourrait rendre possible la construction d'une installation adaptable et mobile, pouvant au besoin être transportée sur le site de puits de gaz naturel éloignés³⁷ ».

Siluria – À l'instar de ses homologues, Siluria, qui est basée à San Francisco, se présente aux investisseurs et aux entreprises pétrolières comme étant capable de transformer le gaz naturel en produits chimiques à forte valeur ajoutée. Siluria a notamment perfectionné un procédé permettant de convertir le méthane en éthylène, qui représente probablement le produit chimique le plus utilisé. Siluria se distingue de ses homologues par sa technologie centrale qui au lieu de recourir à la fermentation gazeuse, emploie des virus synthétiques pour confectionner des nanostructures qui agissent comme des catalyseurs très efficaces. La scientifique à l'origine de cette technologie, Angela Belcher du MIT, est perçue comme une vedette dans le monde des nanobiotechnologies en raison de son travail qui permet d'exploiter et de programmer les bactéries et les autres microorganismes. Dans le cas présent, des virus synthétiques réarrangent des minéraux pour créer un puissant catalyseur capable de transformer le méthane en éthylène. Siluria a reçu plus de 120 millions de dollars de la part d'investisseurs qui comptent notamment le géant pétrolier saoudien Aramco et l'ancien directeur de la technologie chez Microsoft, Paul Allen³⁸.

33 Newlight. *Our Technology: Greenhouse Gas to Plastic*. <http://newlight.com/technology/>

34 Communiqué de presse de KI. *KI to Unveil World's First Carbon-Negative Chair Made with Revolutionary Thermoplastic AirCarbon at Greenbuild*. 20 novembre 2013.

35 Jim Lane. « Kiverdi: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide ». *Biofuels Digest*. 11 mai 2015.

36 Jim Lane. « LanzaTech: Biofuels Digest's 2015 5-Minute Guide ». *Biofuels Digest*. 13 janvier 2015.

37 GreenLight Biosciences. *Highly Productive Cell-Free Bioconversion of Methane*. Description de l'ARP-E en ligne à <http://arpa-e.energy.gov/?q=slick-sheet-project/cell-free-bioconversion-natural-gas>

38 « Upstart Siluria Technologies Turns Shale Gas Into Plastics And Gasoline ». *Forbes*. 14 avril 2014. http://siluria.com/Newsroom/In_the_News?Upstart_Siluria_Technologies_Turns_Shale_Gas_Into_Plastics_And_Gasoline#0

En avril 2015, Siluria a ouvert au Texas une usine de démonstration qui cohabite avec les installations de Braskem, un important fabricant brésilien de produits chimiques. Cette usine traite déjà des lots d'essai de méthane pour les convertir en éthylène, et Siluria espère démarrer l'exploitation d'usines commerciales en 2017-2018³⁹.

Zuvasyntha – Basée au Royaume-Uni, Zuvasyntha est une jeune entreprise de biologie synthétique qui synthétise des microorganismes capables de transformer le gaz de synthèse en produits de plus forte valeur ajoutée. Le gaz de synthèse peut provenir de procédés faisant appel au méthane, de la gazéification du charbon ou d'autres sources. Le premier projet de l'entreprise consiste à créer des organismes capables de convertir le gaz de synthèse en 1,3-butadiène, qui servira à la fabrication de caoutchouc peu coûteux et renouvelable. Le butadiène est une composante importante du caoutchouc, des plastiques et des copolymères comme l'acryliques⁴⁰.

Knipbio – Basée à Boston, Knipbio est une entreprise de biologie synthétique en démarrage qui a synthétisé une bactérie méthanotrophe entrant dans la composition d'un aliment destiné aux poissons. Selon l'entreprise, ses microorganismes contiennent environ 60 % de protéines et ont été synthétisés pour répondre étroitement aux besoins en protéines des poissons. « Au lieu de brasser de la bière, nous brassons des protéines », indique le chef de la direction de l'entreprise, Larry Feinberg.

Alors que le saumon est présentement surtout nourri de soya, Knipbio souligne que produire des aliments pour poissons à partir de méthane réduit l'occupation des sols... Knipbio fait partie d'une poignée d'entreprises en démarrage qui tentent de vendre leurs technologies à titre de « solution » à la pénurie de protéines.

L'aliment pour poissons fabriqué à partir du méthane de Knipbio contient également le pigment communément donné au saumon, mais l'entreprise affirme que son aliment peut être adapté aux besoins de différentes espèces de poisson. L'entreprise semble cibler particulièrement le saumon, capable de convertir efficacement l'aliment en chair. Alors que le saumon est présentement surtout nourri de soya, Knipbio souligne que produire des aliments pour poissons à partir de méthane réduit l'occupation des sols: « Dans une usine de 100 acres, nous pouvons égaler la production de 10 000 acres de soya », a confié Feinberg au *National Geographic*⁴¹. Knipbio fait partie d'une poignée d'entreprises en démarrage qui tentent de vendre leurs technologies à titre de « solution » à la pénurie de protéines.

Arzeeda – Basée à Seattle, cette entreprise emploie des outils empruntés à la biologie synthétique pour concevoir de nouvelles enzymes. Ayant reçu un million de dollars en subvention du programme REMOTE (voir l'encadré), Arzeeda a entrepris un programme visant à développer des enzymes capables de transformer le méthane, par l'entremise de la fermentation, en produits chimiques complexes et en carburants liquides⁴².

MOgene – Basée à St-Louis au Missouri, ce fabricant de produits chimiques écologiques qui travaille avec les Sandia National Laboratories a reçu 2,4 millions de dollars du programme REMOTE (voir l'encadré) pour fabriquer une cyanobactérie (également appelée algue bleu-vert) capable de transformer efficacement le gaz naturel en butanol, un carburant, à l'aide de l'énergie du soleil⁴³.

39 Joe Fisher. « Methane-to-Ethylene Plant Comes Online in Texas ». *Natural Gas Intelligence*. 6 avril 2015. http://siluria.com/Newsroom/In_the_News?MethanetoEthylene_Plant_Comes_Online_in_Texas#2

40 « ZuvaSyntha: Recycling Cheap Carbon And Waste Into Commodity Chemicals ». *Synbiobeta*. 6 février 2015. <http://synbiobeta.com/zuvasyntha-carbon-chemicals/>

41 Tamar Haspel. « Finding ways to feed the fish that feed us ». *National Geographic*. 13 mai 2015. <http://theplate.nationalgeographic.com/2015/05/13/finding-ways-to-feed-the-fish-that-feed-us/>

42 <http://arzedda.com>

43 <http://mogene.com>

Le programme REMOTE (*Reducing Emissions using Methanotrophic Organisms for Transportation Energy*)

L'un des éléments communs à de nombreuses entreprises et équipes universitaires travaillant à mettre au point la bioconversion du méthane en carburants et en produits chimiques est un programme de subvention de 35 millions de dollars de l'Advanced Energy Projects Agency (ARPA-E) rattachée au département de l'Énergie des États-Unis. Connu sous l'acronyme REMOTE (Reducing Emissions using Methanotrophs Organisms for Transportation Energy), ce programme vise à concevoir des moyens de capter le « gaz délaissé » par la fracturation et les autres opérations d'extraction de pétrole et de gaz⁴⁴.

Ce gaz pourrait ensuite être employé comme matière première alimentant des procédés de biologie synthétique ou d'autres biotechnologies qui convertissent le méthane en carburants et en produits chimiques.

Le nom du programme fait allusion à une réduction d'émissions, car l'intention de ce dernier est de capter et d'utiliser le gaz délaissé aux fins de la fermentation gazeuse, un procédé que l'ARPA-E souhaiterait voir remplacer le torchage et le dégazage du gaz. Le programme REMOTE vise en outre à ce que les futurs moyens issus de la biologie synthétique permettant de transformer le gaz en carburants liquides produisent moins d'émissions carbonées que les moyens classiques de conversion. Ce programme est administré par Ramon Gonzalez, un spécialiste de la biologie synthétique rattaché à l'Université Rice au Texas.

44 <http://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/remote>

45 Mike Williams. « The clean, green gas of home ». *Rice News*. 6 février 2014. <http://news.rice.edu/2014/02/06/the-clean-green-gas-of-home-2/#sthash.HuRIJMM4.dpuf>

[...] ce programme vise à concevoir des moyens de capter le « gaz délaissé » par la fracturation et les autres opérations d'extraction de pétrole et de gaz.

Lors d'une entrevue portant sur le programme REMOTE, Gonzalez a expliqué que les technologies que ce programme tentait de développer sont particulièrement adaptées au marché en plein essor du gaz de fracturation puisque celles-ci « appuieront des installations de bioconversion du gaz naturel à petite échelle exigeant de faibles dépenses d'immobilisation qui, en retour, pourront éventuellement permettre d'utiliser n'importe quelle source de gaz naturel, y compris celles qui sont fréquemment torchées, dégazées ou émises⁴⁵ ».



Si la biologie synthétique permet à l'industrie gazière et pétrolière de transformer l'utilisation du gaz « délaissé » en activité économique, ceci augmentera les revenus qu'on pourra tirer des gisements de charbons et des champs pétrolifères et gazéifères.

Photo de gaz torché (cc) Kristian Dela Cour

Approche 2

Exploitation minière à l'aide de microorganismes – techniques d'extraction directe

À une époque où surviennent d'importants changements dans les industries extractives, les entreprises pétrolières, gazières et minières ont développé un certain intérêt à explorer la biologie synthétique et les domaines connexes au génie biologique afin de les employer directement à des fins d'extraction. Il ne s'agit là de rien de nouveau. Menée en 1981 par le gouvernement des États-Unis, une analyse des perspectives dans le domaine du génie génétique relevait déjà certaines approches faisant usage d'ADN recombinant dans les secteurs pétrolier et minier – ces approches étant d'ailleurs toujours à l'étude⁴⁶. Bien que les auteurs de ce rapport n'aient relevé aucune utilisation commerciale de microorganismes synthétiques pour traiter les combustibles fossiles ou les minéraux, des travaux de recherche impliquant des essais sur le terrain sont en cours afin d'appliquer les nouvelles biotechnologies à l'extraction, notamment de pétrole de schiste et de gaz naturel. Quelques-uns des principaux domaines d'application sont décrits ci-dessous.

Récupération assistée des hydrocarbures et du pétrole à l'aide de microorganismes

Alors que le volume de la production pétrolière mondiale accuse un déclin, les entreprises pétrolières s'intéressent de plus en plus à des moyens qui permettraient d'accroître le rendement des puits existants. La majeure partie du pétrole d'un réservoir naturel est en réalité du « pétrole résiduel », qui demeure en grande partie inaccessible parce qu'emprisonné dans la matrice rocheuse ou minérale qui compose le champ pétrolifère. Normalement, l'extraction dans un champ pétrolifère s'effectue en deux ou trois étapes distinctes. La première consiste à récupérer le pétrole facilement accessible alors qu'il jaillit en raison de la pression naturelle qui règne dans le réservoir. Lors de la seconde étape, de l'eau est injectée dans les formations géologiques afin d'expulser davantage de pétrole de la réserve. Puis intervient la troisième étape appelée « récupération assistée du pétrole » (RAP), où plusieurs techniques de récupération, comme le chauffage ou encore l'injection de CO₂ ou de produits chimiques, sont employées.

Alors que le pétrole devient de moins en moins accessible, les étapes secondaire et tertiaire sont de plus en plus incontournables.

Le département de l'Énergie des États-Unis estime que la première étape ne permet d'extraire que 10 % du pétrole contenu dans un réservoir; la seconde étape permet de récupérer entre 10 et 20% de plus; et la troisième permet d'en récupérer entre 40 et 60% de plus⁴⁷. Selon certaines estimations, le volume de « pétrole résiduel » totalise entre deux et quatre milliards de barils, ce qui représente 67% des ressources pétrolières mondiales⁴⁸. Selon les conditions du marché et les technologies disponibles, une certaine fraction de ce pétrole résiduel peut être prise en compte dans les estimations officielles des réserves prouvées de pétrole. Cependant, la majeure partie de ce pétrole n'est probablement pas prise en compte, et peut alors être considérée comme une source additionnelle de pétrole n'attendant que d'être exploitée. Le pétrole résiduel fait ainsi l'objet d'intenses tentatives de la part de l'industrie pétrolière afin de le libérer. Ces tentatives font appel à des techniques variées rassemblées sous l'acronyme RAP. Par exemple, BP suppose que si elle peut augmenter la récupération du pétrole à partir des réserves existantes de seulement 1%, le volume recouvré représenterait deux milliards de barils – qu'elle pourrait ensuite vendre. Or, BP considère qu'il est possible d'atteindre jusqu'à 5% d'augmentation⁴⁹.

En matière de récupération assistée du pétrole, ce sont les techniques consistant à injecter des gaz et des produits chimiques dans les champs pétrolifères qui captent le plus d'attention. Néanmoins, l'utilisation de microorganismes pour stimuler l'extraction des ressources fossiles génère également un certain intérêt. Ce type de techniques en élaboration est appelé « récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes » ou « récupération assistée du pétrole à l'aide de microorganismes ». Des approches similaires font l'objet d'essais visant à accroître le rendement de l'extraction du gaz naturel (récupération assistée du gaz naturel à l'aide de microorganismes) ou du méthane retrouvé dans les gisements de charbon (récupération assistée du méthane sur lit de charbon à l'aide de microorganismes). Il a été estimé que jusqu'à 50 % du pétrole résiduel pouvait théoriquement être extrait par l'entremise de telles méthodes⁵⁰. Si cela se révélait être exact, les réserves mondiales de pétrole s'en trouveraient alors augmentées de 150%.

L'idée d'utiliser des microorganismes dans la récupération assistée du pétrole et des hydrocarbures remonte à 1926, lorsque le géologue étatsunien C. E. Zobell commença à étudier le rôle que ceux-ci jouent sous la surface du sol pour libérer les hydrocarbures (pétrole et gaz) du roc.

46 *Impact of Applied Genetics - Micro-Organisms, Plants and Animals*. US Government Office of Technology Assessment, April 1981.

47 Voir: <http://energy.gov/fe/science-innovation/oil-gas-research/enhanced-oil-recovery>

48 Présentation par Jimoh, I. A., Rudyk, S.N. et Sogaard, E.G. *Microbial Enhanced Oil Recovery: A Technology Tool for Sustainable Development of Residual Oil*. Université d'Aalborg.

49 *Energy Biosciences Institute Adds Microbially Enhanced Hydrocarbon Recovery Project*. Green Car Congress. 1er avril 2009. <http://www.greencarcongress.com/2009/04/energy-biosciences-institute-addsmicrobially-enhanced-hydrocarbon-recovery-project.html>

50 Biji Shibulal *et coll.* « Microbial Enhanced Heavy Oil recovery by The Aid of Inhabitant Spore forming Bacteria: An Insight review ». *The Scientific World Journal*, vol. 2014; identifiant de l'article: 309159.

Zobell commença à identifier des bactéries naturelles capables de dégrader le pétrole et de le faire couler plus facilement. Depuis lors, plus de 400 brevets rattachés à des techniques de récupération assistée des hydrocarbures et du pétrole à l'aide de microorganismes ont été émis, bien que peu d'entre elles aient dépassé la phase exploratoire. L'une de ces techniques consiste, par exemple, à injecter une souche de bactérie avec de la mélasse et d'autres nutriments dans les puits de pétrole. Alors qu'elles se nourrissent de ces matières, les bactéries excrètent des substances qui agissent sur le pétrole. Elles pourront, par exemple, valoriser le pétrole lourd en le transformant en pétrole plus léger, ou simplement excréter des surfactants (qui agissent un peu comme du savon) qui aident à déloger le pétrole du roc. Jusqu'à présent, plus de 322 essais de récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes ont été rapportés. D'ailleurs, les entreprises pétrolières comme BP, Shell et Statoil investissent de plus en plus dans la mise au point d'approches faisant appel aux microorganismes ; si elles gagnent leur pari, leurs coûts d'exploitation pourraient éventuellement être moindres que si elles utilisaient d'autres approches de RAP. Au moins une entreprise, nommée Statoil, est prête à utiliser la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes sur ses concessions au large de la mer de Norvège, mais sa technique n'emploie pas de microorganismes synthétiques⁵¹.

Les approches actuelles de récupération assistée des hydrocarbures et du pétrole à l'aide de microorganismes consistent essentiellement à isoler, à cultiver et à injecter des souches de microorganismes qui existent déjà à l'état naturel. Cependant, les chercheurs des domaines pétrolier et gazier souhaitent de plus en plus faire intervenir la biologie synthétique dans ces approches. En octobre 2007, un atelier organisé au Berkeley's Energy Biosciences Institute (EBI) a rassemblé 18 scientifiques et ingénieurs issus d'entreprises privées et d'universités ; Genome Alberta, un organisme subventionnaire provincial du Canada, était également présent. La rencontre avait pour but la préparation d'un livre blanc visant à établir les priorités en matière de recherche sur la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes⁵². Les participants à cette rencontre comprenaient quatre scientifiques du géant BP et un représentant de l'entreprise de biologie synthétique Synthetic Genomics Inc. Bien que la priorité consistait à mieux caractériser les microorganismes retrouvés dans les champs pétrolifères et gazéifères, le groupe a également discuté de recherche en biologie synthétique, car à ses yeux, elle demeure porteuse d'une promesse particulièrement emballante. Ils ont ainsi écrit : « Alors que la science progresse, il est possible de recourir aux outils de la biologie synthétique pour améliorer l'efficacité de la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes. »

51 *Microbial enhanced oil recovery (MEOR)*. [www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/OptimizingRecovery/RecoveryMethods/WaterAssistedMethodsImprovedOilRecoveryIOR/Pages/MicrobialEnhancedOilRecovery\(MEOR\).aspx](http://www.statoil.com/en/TechnologyInnovation/OptimizingRecovery/RecoveryMethods/WaterAssistedMethodsImprovedOilRecoveryIOR/Pages/MicrobialEnhancedOilRecovery(MEOR).aspx)

52 *Research priorities in Microbially Enhanced Hydrocarbon Recovery (MEHR)*. Rapport de l'atelier de l'EBI sur la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes. 24 octobre 2007, Energy Bioscience Institute, Université de la Californie à Berkeley.

Ils ont par ailleurs fourni des exemples précis, dont la création d'une souche de microorganisme qui, à elle seule, serait capable d'effectuer plusieurs processus métaboliques interreliés qui, dans la nature, auraient nécessité le travail collaboratif de plusieurs espèces. Ils ont également suggéré d'utiliser la biologie synthétique pour « améliorer » les enzymes et ainsi rendre les microorganismes plus résistants aux différentes contraintes rencontrées en milieu souterrain (par exemple, la capacité de survivre avec moins de nutriments)⁵³. Ces possibilités devraient préoccuper les écologistes, car si elles conféraient aux nouveaux microorganismes un avantage sur le plan de la sélection, ils pourraient alors survivre et se reproduire dans l'environnement.

De même qu'ils se servent de microorganismes comme de minuscules foreurs capables d'extraire le pétrole du roc souterrain, les chercheurs comptent également en faire des raffineurs afin qu'ils puissent traiter le pétrole et l'« adoucir » directement sous terre ou après avoir quitté le puits. L'objectif consiste ici à transformer le « pétrole brut lourd », comme le bitume extrait des sables bitumineux, en pétrole plus léger, ce dernier étant plus facile et moins coûteux à transporter. L'Agence internationale de l'énergie rapporte qu'environ 66 % du pétrole brut qui reste dans les réserves est de type « lourd »⁵⁴.

Récupération assistée du méthane sur lit de charbon à l'aide de microorganismes

Il existe une technique similaire nommée « récupération assistée de méthane sur lit de charbon à l'aide de microorganismes », par laquelle les chercheurs tentent d'identifier des organismes méthanogènes capables de collaborer afin de transformer le charbon en gaz naturel. Ces chercheurs introduisent ensuite ces microorganismes dans les gisements de charbon, ou fournissent des nutriments à ceux qui sont déjà sur place. La découverte du fait que 20 % du gaz naturel provient de l'activité de microorganismes ayant grandement stimulé l'intérêt pour la récupération assistée de méthane sur lit de charbon à l'aide de microorganismes, une poignée d'entreprises commerciales teste cette approche sur le terrain depuis l'an 2000⁵⁵. Jusqu'à présent, les essais sur le terrain semblent n'avoir été menés qu'avec des bactéries naturelles. Toutefois, au moins une entreprise, Synthetic Genomics Inc., a l'intention (en plus de détenir le brevet nécessaire) de mener des essais impliquant possiblement des bactéries synthétiques (voir l'encadré).

53 Rapport du projet. *Bio-engineering High performance Microbial Strains for MEOR by Directed Protein-Evolution Technology*. National Energy Technology Laboratory/département de l'Énergie des États-Unis. Décembre 2008.

54 www.taxon.com/applications.php

55 Ritter, Daniel. « Enhanced Microbial Coalbed Methane Generation: A Review of Research, Commercial Activity, and Remaining Challenges ». *International Journal of Coal Geology*. Mai 2015.

Recherche commerciale visant à appliquer la biologie synthétique à la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes

Bien que nous ne soyons pas en mesure de relever une quelconque application prouvée de la biologie synthétique, qu'elle soit actuelle ou encore imminente, à la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes, les projets de recherche en cours présentés ci-dessous concernent ce genre d'activités:

Le projet de Synthetic Genomics Inc. et de BP

Synthetic Genomics Inc. (SGI) est une entreprise privée de biologie synthétique fondée par le controversé entrepreneur en génomique J. Craig Venter. Cette entreprise a été mise sur pied pour commercialiser les fruits des recherches menées par le J. Craig Venter Institute, une organisation apparemment sans but lucratif avec laquelle elle partage ses installations. En juin 2007, le géant pétrolier BP a pris une participation en capital d'un montant non divulgué dans SGI, celle-ci étant accompagnée de ce qui était décrit comme « une importante entente de recherche et développement sur le long terme » entre SGI et BP afin d'explorer la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes⁵⁶. Bien que peu de détails sur collaboration entre SGI et BP aient été divulgués, l'entente aurait compris deux étapes, la première étant le profilage génomique des microorganismes retrouvés dans les champs pétrolifères et gazéifères de même que les gisements de charbon contenant du méthane⁵⁷. L'étape de profilage aurait été suivie d'études pilotes menées sur le terrain permettant de tester les approches de bioconversion les plus prometteuses, puis d'une éventuelle commercialisation conjointe. Lors de l'annonce de cette collaboration, Ari Patrino, le président de SGI, avait indiqué au *Technology Review* que son entreprise et BP étaient particulièrement intéressés par la découverte de microorganismes capables de valoriser les pétroles lourds (comme le bitume extrait des sables bitumineux) pour les rendre plus légers et moins denses en vue de leur transport, de même que par le déploiement de microorganismes capables de convertir les gisements de charbon en méthane. À l'origine, le projet de SGI et de BP devait en outre se concentrer sur la caractérisation de microorganismes naturels. Pourtant, une demande de brevet faite en 2011 par SGI aux États-Unis mentionne clairement l'existence de droits de propriété sur des microorganismes capables de produire du méthane à partir du charbon: « dans lequel lesdits microorganismes exprimant ladite enzyme sont des microorganismes synthétiques ». Le brevet couvre l'utilisation de ces microorganismes dans diverses réserves d'hydrocarbures qui comprennent « le charbon, la tourbe, le lignite, le pétrole de schiste, les formations de pétrole, l'huile noire classique, les hydrocarbures visqueux, les sables pétrolifères et les sables bitumineux⁵⁸ ».

[...] SGI et BP étaient particulièrement intéressés par la découverte de microorganismes capables de valoriser les pétroles lourds (comme le bitume extrait des sables bitumineux) pour les rendre plus légers et moins denses en vue de leur transport, de même que par le déploiement de microorganismes capables de convertir les gisements de charbon en méthane.

Le projet de récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes de l'EBI (financé par BP)

En avril 2009, l'Energy Biosciences Institute (EBI) de l'Université de Californie à Berkeley, qui est financé par BP, a instauré, en collaboration avec des scientifiques de BP de même que de chercheurs du Lawrence Berkeley National Laboratory (rattaché au département de l'Énergie des États-Unis) et de l'Université de l'Illinois à Urbana-Champaign, un nouveau programme visant la mise au point d'approches de récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes⁵⁹. L'EBI est l'un des principaux centres de biologie synthétique au monde. Outre le suivi et l'analyse de populations microbiennes naturelles, il a été rapporté que le projet de l'EBI visait également la mise au point d'un « cadre modèle que les futurs chercheurs de l'EBI pourront utiliser pour synthétiser des microorganismes destinés à assister la récupération des hydrocarbures, [et] pour effectuer des manipulations biologiques *in situ* ». Le projet a également permis de mettre sur pied des « laboratoires souterrains naturels » qui servent de sites d'essai, et qui comprennent un puits d'injection nouvellement foré sur la propriété d'Archer Daniels Midland à Decatur en Illinois.

Taxon Biosciences et DuPont

En avril 2015, le géant de la chimie et de la biotechnologie DuPont a fait l'acquisition de Taxon Biosciences, une entreprise de biotechnologie californienne spécialisée dans la modification de microbiocénose (c.-à-d. des communautés de microorganismes). Taxon Biosciences fait état de nombreux axes de développement et d'application dans les champs pétrolifères et gazéifères, qui incluent notamment la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes.

56 Communiqué de presse de Synthetic Genomics Inc. Synthetic Genomics Inc. and BP to Explore Bioconversion of Hydrocarbons into Cleaner Fuels. 13 juin 2007.

57 Emily Singer. « Building a Bug to Harvest Oil ». *Technology Review*. 27 juin 2007.

58 Synthetic Genomics Inc. Brevet étasunien no US8448702 B2. Methods of enhancing biogenic production of methane from hydrocarbon-bearing formations.

59 *Energy Biosciences Institute Adds Microbially Enhanced Hydrocarbon Recovery Project*. Green Car Congress. 1er avril 2009. www.greencarcongress.com/2009/04/energy-biosciences-institute-addsmicrobially-enhanced-hydrocarbon-recovery-project.html

Leur principale technologie consiste en de soi-disant « consortiums de bactéries synthétiques ». L'entreprise combine artificiellement différents groupes de bactéries dotées de fonctions spécifiques et capables de collaborer entre elles lors de la biotransformation du pétrole, du charbon et d'autres hydrocarbures. Taxon Biosciences travaille actuellement à créer ces « consortiums synthétiques » qui, une fois injectés dans les réservoirs fossiles, seront capables de transformer le charbon en méthane, de convertir le pétrole lourd en pétrole léger, ou encore de dégrader le pétrole afin de pouvoir le récupérer plus facilement.

60 Voir: <http://www.taxon.com/applications.php>

« ...de nouveaux microorganismes dotés de propriétés améliorées pour recouvrer le pétrole résiduel sont en cours d'élaboration. Ces découvertes garantissent la transformation de champs pétrolifères économiquement non viables en ressources rentables à exploiter, ce qui permettra de prolonger la vie des champs pétrolifères matures ».

- Taxon Biosciences.

Bien qu'elle ne soit pas une entreprise de biologie synthétique en tant que telle – elle ne fait que restructurer des communautés naturelles selon de nouveaux arrangements plutôt que de synthétiser leurs gènes –, Taxon Biosciences gère une imposante banque de séquences génétiques qui semblent adaptées à la récupération assistée d'hydrocarbure à l'aide de microorganismes. L'entreprise affirme fièrement que « de nouveaux microorganismes dotés de propriétés améliorées pour recouvrer le pétrole résiduel sont en cours d'élaboration. Ces découvertes garantissent la transformation de champs pétrolifères économiquement non viables en ressources rentables à exploiter, ce qui permettra de prolonger la vie des champs pétrolifères matures⁶⁰ ».

La recherche non commerciale sur les microorganismes synthétiques destinés à la récupération assistée des hydrocarbures et du pétrole

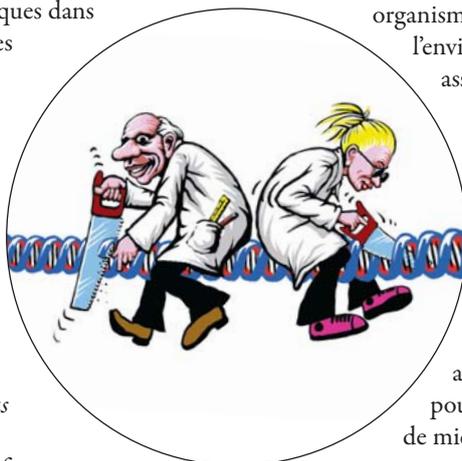
Il semble exister des travaux de recherche non commerciale, universitaire ou à des fins purement scientifiques dans le domaine de la création de microorganismes destinés à la récupération assistée des hydrocarbures et du pétrole, certains de ces travaux faisant appel à la biologie synthétique:

Rhamnolipides

Entre 2004 et 2007, des chercheurs du California Institute of Technology (CIT) fondé par le département de l'Énergie des États-Unis sont parvenus à fabriquer de nouvelles souches d'*E. coli* et de *Pseudomonas aeruginosa* capables de produire des « rhamnolipides », qui agissent comme un surfactant. Cette équipe a démontré que l'ajout de ces organismes à l'eau couramment injectée dans les puits de pétrole pouvait accroître le volume de pétrole récupéré. Elle affirme qu'à la suite de l'injection d'eau, elle peut ainsi récupérer 42 % du pétrole restant. Dans son rapport destiné au gouvernement des États-Unis, l'équipe du CIT est parvenue à la conclusion suivante: « l'intégration de cette capacité de produire du surfactant chez des microorganismes adaptés permet d'appliquer un procédé de récupération assistée du pétrole à l'aide de microorganismes qui nécessitent peu de maintenance de la part de l'opérateur ». De plus, ce rapport indique clairement que le processus de fabrication de ces microorganismes a fait appel à la « biologie synthétique ».

61 Rapport du projet. *Bio-engineering High performance Microbial Strains for MEOR by Directed Protein-Evolution Technology*. National Energy Technology Laboratory/département de l'Énergie des États-Unis. Décembre 2008.

Il s'agit donc d'un cas documenté évident d'utilisation d'un organisme synthétique ayant été libéré dans l'environnement pour des fins de récupération assistée du pétrole⁶¹.



Une étude menée en 2011 par d'autres chercheurs chinois portant sur le réaménagement de souches bactériennes appartenant aux genres *Enterobacter* et *Geobacillus* qui, une fois injectées dans les champs pétrolifères, produisent un polymère appelé « exopolysaccharide ». Les chercheurs ont conclu que « cette approche a un bon potentiel d'application pour la récupération assistée du pétrole à l'aide de microorganismes⁶² ».

Une nouvelle étude publiée en 2014 par des chercheurs chinois fait également mention de microorganismes communément retrouvés dans les environnements pétrolifères qui, grâce au génie biologique, sécrètent des rhamnolipides destinés aux opérations de récupération assistée du pétrole à l'aide de microorganismes. Ce projet de recherche a été financé par l'entreprise Daqing Oilfield situé dans la province du Heilongjiang. Les chercheurs sont parvenus à la conclusion qu'ils avaient « démontré la faisabilité potentielle de [la souche dotée du gène] Rhl, qui reste prometteuse pour assister la récupération du pétrole par la production anaérobie de rhamnolipides⁶³ ».

62 Sun, S. « Exopolysaccharide production by a genetically engineered *Enterobacter cloacae* strain for microbial enhanced oil recovery ». *Bioresource Technology*, 102(10): 6153-6158. Mai 2011.

63 Zhao, F. *et coll.* « Heterologous production of *Pseudomonas aeruginosa* rhamnolipid under anaerobic conditions for microbial enhanced oil recovery ». *Journal of Applied Microbiology*, 118 (2): 379-389. Février 2015.

L'Oil Sands Leadership Initiative (OSLI) – la biologie synthétique en visite dans les sables bitumineux

L'Oil Sands Leadership Initiative (OSLI) est un réseau collaboratif d'entreprises pétrolières actives dans la région des sables bitumineux au Canada. Elles collaborent afin de redorer l'image publique et de soutenir les activités de cette industrie. Le réseau comprend ConocoPhillips Canada, Nexen, Shell, Statoil, Suncor Energy et Total E & P. Depuis 2010, l'OSLI soutient la recherche dans le domaine de la biologie synthétique qui permet de « relever les défis associés aux sables bitumineux », commanditant les équipes d'étudiants qui s'affrontent lors de l'International Genetically Engineered Machine Competition (iGEM) – une sorte de Jeux olympiques annuels destinés aux étudiants en biologie synthétique.

Sur la base de son programme de commandite pour l'iGEM, l'OSLI a organisé en 2012 un atelier sur les applications potentielles de la biologie synthétique aux sables bitumineux ; celui-ci s'est déroulé dans les bureaux de ConocoPhillips Canada à Calgary en Alberta. Les participants ont rapporté que le but de cet atelier était de rassembler des représentants de l'industrie et des chercheurs afin qu'ils puissent discuter de l'état actuel de la recherche dans les domaines de la microbiologie pétrolière et de la biologie synthétique, et de cerner des domaines d'intérêt commun en vue de collaborer.

« Afin de rendre les sables bitumineux vraiment durables, l'industrie a besoin de techniques d'extraction, de valorisation et de raffinage plus efficaces sur le plan énergétique, plus rentables sur le plan économique et moins dommageables sur le plan environnemental. Pour cela, il est nécessaire d'investir dans une nouvelle technologie telle que la biologie synthétique, qui a le potentiel de transformer l'industrie des sables bitumineux et de réduire de manière importante son empreinte environnementale. »
– OSLI⁶⁵

Plus particulièrement, l'objectif consistait « à déterminer les obstacles que doit éliminer la biologie synthétique ou à établir les conditions minimales auxquelles elle doit répondre afin que les entreprises exploitant les sables bitumineux considèrent recourir à ce domaine pour ses opérations ». Les participants de cet atelier ont conclu de manière consensuelle que « les plateformes technologiques les plus susceptibles d'offrir rapidement des avantages à l'industrie pétrolière sont les systèmes de dégradation et de conversion faisant appel aux microorganismes [c.-à-d. la récupération assistée des hydrocarbures et du pétrole à l'aide de microorganismes] et les systèmes de biocapteurs⁶⁴ ». Le programme de l'OSLI commanditant l'iGEM reflète bien ces dernières priorités alors qu'il se concentre sur l'utilisation de microorganismes synthétiques pour transformer le bitume lourd en pétrole brut plus léger et plus facile à transporter, agir à titre de biocapteurs capables d'évaluer les conditions des réserves de pétrole, et participer aux opérations de nettoyage environnemental.

64 Calgary iGEM. *The Oil sands Leadership Initiative*. <http://2012.igem.org/Team:Calgary/Project/HumanPractices/Collaborations>

65 OSLI. *Biological Solutions For the oil Sands*. Accessible en ligne à http://2010.igem.org/User:Meagan/Oil_Sands

La bioprospection minière et la biolixiviation à la mode synthétique

Outre les géants de l'industrie des combustibles fossiles, d'autres industries extractives, dont l'industrie minière, lorgnent elles aussi du côté de la biologie synthétique, et cet intérêt est particulièrement manifeste dans le domaine de l'extraction des métaux. La bioprospection minière (de même que la biolixiviation) réfère au traitement de minerais métalliques par des microorganismes dans le but d'augmenter l'efficacité de l'extraction de métaux. Une solution acide contenant des microorganismes capables de dégrader le roc est ajoutée à une halde de minerai. Les microorganismes se répandent ensuite dans la halde et facilitent la lixiviation des métaux qui deviennent alors plus faciles à récupérer. L'utilisation de microorganismes naturels à cette fin est une technique éprouvée, et la biolixiviation, qui est employée dans une vingtaine de mines sur la planète, est actuellement à l'origine d'environ 20 % du cuivre extrait mondialement. La biooxydation, une technique associée qui est également employée commercialement, est à l'origine de 5 % de l'or extrait mondialement. Les techniques de bioprospection minière sont présentées comme étant plus environnementalement durables que les techniques classiques, qui font appel à la pression et à la chaleur pour traiter les minerais métalliques, parce qu'elles requièrent moins d'énergie.

Elles sont également perçues comme un moyen de rendre les petites mines économiquement viables et plus faciles à faire démarrer, en plus d'accroître la valeur des mines existantes. Les minerais à faible teneur en métaux qui, autrement, auraient été rejetés ou délaissés peuvent être exploités grâce à ces techniques. Cela implique que des régions historiquement exemptes d'activités minières pourraient devenir attirantes pour cette industrie aux lourdes conséquences environnementales. Des équipes de spécialistes de la biologie synthétique explorent actuellement des moyens d'améliorer l'efficacité des techniques de bioprospection minière à l'aide d'organismes synthétiques⁶⁶. La biolixiviation faisant appel aux microorganismes synthétiques pourrait poser d'importants risques écologiques alors qu'elle implique la libération de ces créatures dans l'environnement.

Universal BioMining

Universal BioMining (UBM) est une entreprise de biologie synthétique en démarrage située à San Francisco aux États-Unis. Elle se décrit comme étant « axée sur l'application de la biologie synthétique et du génie biologique à l'industrie minière ».

66 MIT. *Mission 2015, Biodiversity*. « Bioleaching: Making Mining Sustainable ». <http://web.mit.edu/12.000/www/m2015/2015/bioleaching.html>

UBM a mis au point des microorganismes synthétiques qui, affirme-t-elle, amélioreront les procédés de biolixiviation et de biooxydation appliqués au cuivre et à l'or. UBM propose principalement une méthode de récupération de l'or à partir de résidus provenant de mines d'or; elle affirme que cette dernière permet de récupérer des milliards de dollars d'or supplémentaire. En ce qui concerne ses plans en regard de l'application de la biologie synthétique au cas du cuivre, UBM cible les 70 % de minerai de cuivre appauvri qui ne peuvent pas être traités à l'aide des méthodes de biolixiviation existantes. L'entreprise affirme que sa technologie pourrait annuellement permettre d'extraire jusqu'à deux milliards de dollars de cuivre supplémentaire à partir de minerais à faible teneur qui autrement, auraient été considérés comme des résidus de faible valeur économique. UBM admet sans ambages qu'une des contraintes au déploiement de sa technologie réside dans la libération d'organismes synthétiques dans l'environnement. Elle se dit toutefois persuadée que le gouvernement des États-Unis lui délivrera les permis nécessaires pour le faire, et ce, malgré l'absence de protocoles ou de gouvernance en matière de réglementation pour analyser et procéder au suivi de la libération de tels microorganismes dans l'environnement. En 2014, le procédé de biolixiviation d'UBM a été testé dans le cadre d'un exercice mené par le Woodrow Wilson Center for Scholars qui visait à étudier les implications écologiques de la biologie synthétique⁶⁷. En 2012, UBM a également établi un partenariat avec l'institut SETI (qui se sert de données informatiques fournies par des bénévoles pour la recherche de vie extraterrestre), et a reçu 125 000 dollars de la NASA (l'agence spatiale des États-Unis) afin d'étudier l'application de la biologie synthétique à la bioprospection minière de régolithes (poussière, sol et roc provenant d'autres planètes, y compris la Lune)⁶⁸.

International Genetically Engineered Machine Competition (iGEM)

Comme mentionné ci-dessus, l'iGEM est une compétition annuelle destinée aux étudiants de la biologie synthétique où ceux-ci conçoivent de nouvelles applications pour la biologie synthétique. Quelques équipes de concurrents à l'iGEM ont conçu certaines applications pour la bioprospection minière:

- Équipe iGEM de Stanford Brown, 2012 – a tenté de synthétiser une bactérie permettant de récupérer les ions métalliques à partir d'appareils électroniques ou de sols en vue d'une utilisation lors de missions spatiales⁶⁹.
- Équipe iGEM de l'Université de la Colombie-Britannique, 2014 – a synthétisé une bactérie du genre *Caulobacter* capable de procédés de bioprospection minière permettant d'extraire la chalcopryrite, soit le principal minerai d'où provient le cuivre⁷⁰.
- Équipe iGEM de l'Université de Hunan (Chine), 2014 – a synthétisé une souche de levure agissant comme un agent de bioprospection minière⁷¹.

67 *Creating a Research Agenda for The Ecological Implications of Synthetic Biology*. Woodrow Wilson Center. 2015. www.wilsoncenter.org/sites/default/files/SYNBIO_create%20an%20agenda_v4.pdf

Conclusions et prochaines étapes

Comme l'indique clairement le présent rapport, l'image d'elle-même que tente de projeter l'industrie émergente de la biologie synthétique, en tant que secteur commercial propre et respectueux de l'environnement prêt à nous catapulter dans une ère exempte de carburants fossiles, est de plus en plus intenable – et il en a d'ailleurs probablement toujours été ainsi. À l'instar de n'importe quelle autre technologie puissante, les intérêts en place façonnent le nouveau domaine et tirent parti de la technologie pour protéger et faire fructifier leurs profits, tout en poursuivant l'extraction de combustibles fossiles et de minéraux.

De l'injection d'organismes synthétiques dans les puits de pétrole à la mise au point de moyens de transformer différentes sources non conventionnelles de gaz naturel en composés à plus forte valeur ajoutée, les industries extractives ont intégré la biologie synthétique à leurs stratégies de R et D afin de livrer davantage de ressources à l'exploitation commerciale. De leur côté, les entreprises de biologie synthétique lient de plus en plus étroitement leur destin à celui de l'économie extractive, apparemment heureuses de se rééquiper pour se mettre au service des géants du carbone. Bien que certaines approches, comme la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes, aient encore un long chemin à parcourir avant d'être commercialisées, d'autres, comme la bioconversion du gaz naturel en d'autres carburants, progressent rapidement. Il se pourrait donc un jour que nous nous retrouvions à acheter des plastiques, des carburants, des aliments et même des produits pharmaceutiques concoctés par des bactéries méthanotrophes synthétiques, bref, de nouveaux produits dont les effets sur la santé et l'environnement sont actuellement à peine concevables, encore moins étudiés. L'industrie tentera en outre de nous faire croire que ces produits sont « écologiques » parce que leur production permet de capter et d'utiliser du méthane qui, autrement, aurait été torché ou dégazé.

La nouvelle alliance inavouable entre la biologie synthétique et les grandes industries extractives mérite d'être scrutée à la loupe par quiconque est préoccupé par les conséquences de l'essor de l'industrie fossile sur le climat, ou encore, inquiété par les conséquences de l'essor de la biologie synthétique sur la biosécurité et la justice. Il serait constructif, même urgent, à cette étape-ci, d'instaurer un dialogue entre le mouvement revendiquant une justice climatique et celui s'opposant aux biotechnologies.

68 *Biomining of regolith simulants for biological in situ resource utilization*. <http://sbir.gsfc.nasa.gov/content/biomining-regolith-simulants-biological-situ-resource-utilization>

69 <http://2012.igem.org/Team:Stanford-brown/Biomining/Introduction>

70 http://2014.igem.org/Team:British_Columbia/ProjectBiomining

71 http://2014.igem.org/Team:HNU_China

Action climatique

Avis à tous ceux qui disent non à l'essor des carburants fossiles en s'opposant à la fracturation hydraulique, en protestant contre les oléoducs ou en dénonçant l'exploration pétrolière et gazéifière dans les zones écologiquement sensibles: il est vital de débattre de la manière dont la « fermentation gazeuse », la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes et la bioprospection minière sont en train de changer les règles du jeu. En augmentant potentiellement la valeur du gaz de schiste et du pétrole de schiste, en accroissant l'intensité des émissions de carbone des produits dérivés du méthane de même qu'en libérant 40 à 60 % plus de carburant des réserves prouvées, cette nouvelle stratégie industrielle comporte de réelles conséquences climatiques. La société doit également prendre en compte les effets économiques, sanitaires, environnementaux et planétaires découlant de la possibilité que les approches de récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes prolongent et stimulent la production de carburants fossiles en exploitant tout ce qui reste de pétrole, de gaz de schiste et de gisements de charbon sur la planète, rejetant ainsi des milliards de tonnes de CO₂ dans l'atmosphère. De telles discussions devraient avoir lieu afin d'aider la société civile et les gouvernements à adopter des stratégies de réponse permettant d'encadrer adéquatement ces nouvelles menaces et de démontrer qu'elles constituent de fausses solutions. Si des microorganismes synthétiques sont un jour déployés dans des champs pétrolifères et gazéifières, ou employés dans des installations de fermentation situées à proximité de sites de production, des risques d'un tout nouveau genre pourraient survenir à l'échelle locale, des risques que les travailleurs, les communautés et les écologistes voudront mieux comprendre. Même à cette étape relativement précoce, il serait certainement avisé, conformément au principe de précaution, de demander l'imposition d'un moratoire qui interdit sans plus tarder aux entreprises de combustibles fossiles de recourir à des approches de biologie synthétiques dans leurs produits commerciaux ou leurs opérations se déroulant sur le terrain, jusqu'à ce que soit menée une évaluation complète qui tienne compte de tous les acteurs en jeu et qui demeure à l'abri des influences économiques directes.

Alors que la 21^e Conférence des Parties qui se tiendra à Paris approche à grands pas, ceux qui suivent le processus de négociation doivent s'attendre à ce que l'industrie pétrolière et gazière tente d'obtenir des appuis politiques pour ses procédés de « fermentation gazeuse » et de bioconversion du gaz en carburants liquides et autres produits.

Il se pourrait donc un jour que nous nous retrouvions à acheter des plastiques, des carburants, des aliments et même des produits pharmaceutiques concoctés par des bactéries méthanotrophes synthétiques, bref, de nouveaux produits dont les effets sur la santé et l'environnement sont actuellement à peine concevables, encore moins étudiés.

L'OSASTT pourrait notamment recommander l'instauration de mesures préventives interdisant la libération de bactéries méthanotrophes synthétiques dans l'environnement

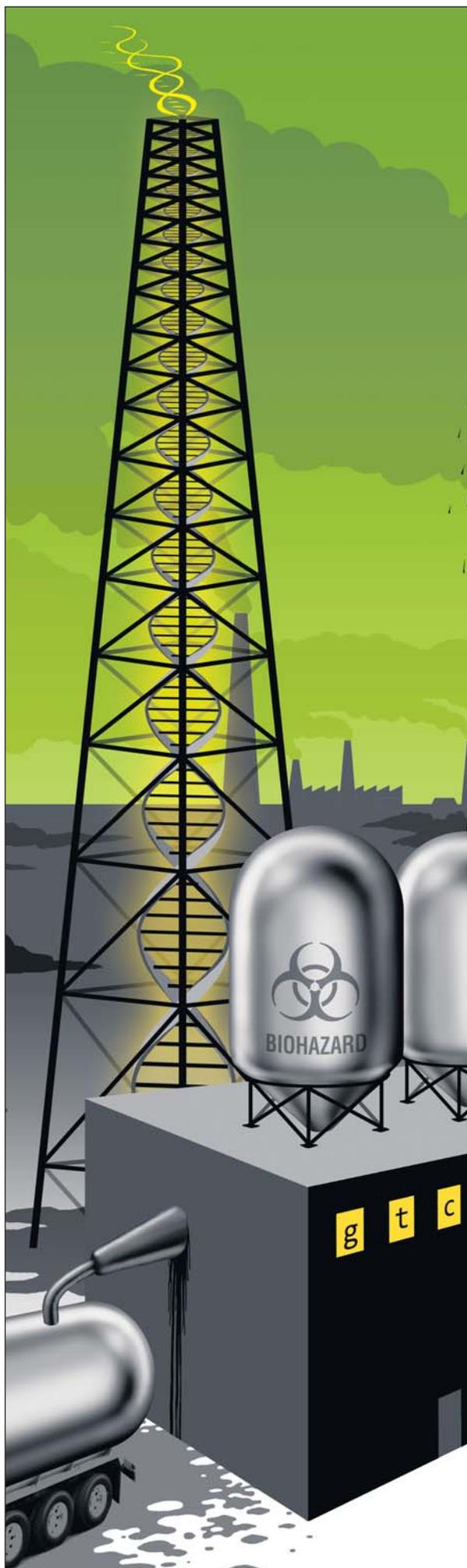
L'industrie met déjà l'accent sur l'application de techniques visant à mitiger le torchage et le dégazage, qu'elle considère comme des éléments clés de sa stratégie de lutte aux changements climatiques, et qu'elle tentera de faire passer à titre de mesures « écologiques permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre ». Elle prétendra également que le captage du gaz délaissé par les opérations d'extraction et sa transformation en produits

commerciaux par l'entremise de la biologie synthétique constitue une stratégie de « captage, d'utilisation et de stockage du carbone » (CUSC). Les groupes issus de la société civile ont déjà émis une mise en garde contre la possibilité que le captage et le stockage du carbone (de même que le captage et l'utilisation du carbone) soient inclus dans l'entente qui sera conclue à Paris, car ces stratégies permettent aux pays d'esquiver de réels engagements de réduire leurs émissions pour plutôt se conformer à des cibles « nettes nulles » permettant l'usage de technologies de séquestration non démontrées. De plus, certaines parties signataires de la CCNUCC font montre d'un appui politique croissant pour la récupération assistée du pétrole, prétextant qu'il s'agit d'une stratégie

de captage et de stockage du carbone. Cet enthousiasme grandissant pour la récupération assistée du pétrole de même que le captage et le stockage du carbone ne doit pas servir de prétexte fallacieux pour soutenir politiquement et socialement la récupération assistée de pétrole à l'aide de microorganismes synthétiques, considérant les risques associés à ces organismes artificiels.

Protection de la biodiversité

En parallèle, les procédures en cours à l'OSASTT (organe rattaché à la Convention des Nations unies sur la diversité biologique – CDB) visant à évaluer la biologie synthétique et à adopter une posture appropriée par rapport à celle-ci devraient tenir compte des risques sur le plan du climat et de la biosécurité qui pourraient survenir à la suite de l'application des fruits de ce domaine aux techniques permettant d'extraire plus de ressources fossiles et à celles de bioprospection minière. L'OSASTT pourrait notamment recommander l'instauration de mesures préventives interdisant la libération de bactéries méthanotrophes synthétiques dans l'environnement ou la récupération assistée des hydrocarbures à l'aide de microorganismes synthétiques.



L'industrie de la manipulation génétique extrême appelée biologie synthétique se détourne rapidement de sa prétention initiale de nous mener vers un avenir propre, une économie post-pétrolière, respectueuse de l'environnement. Maintenant, les acteurs de cette industrie s'allient plutôt avec les plus grandes entreprises pétrolières, gazières, minières et de charbon. Alors que l'industrie de la biotechnologie extrême et les industries extractives extrêmes s'apprêtent à collaborer étroitement, les risques sur le plan du climat et de la biosécurité découlant des activités de chacune d'elle se retrouvent de plus en plus intriqués. Le présent rapport décrit cette alliance émergente entre biotechnologie et industrie fossile.

etc
GROUP

HEINRICH
BÖLL
STIFTUNG

www.etcgroup.org

www.boell.de/en