



Gouvernement
du Canada
Horizons de politiques
Canada

Government
of Canada
Policy Horizons
Canada

Canada
ISSP



uOttawa



L'avenir appartient à l'histoire

Jeremy Geelen PhD et Monica Harvey¹

L'Institut de recherche sur la science, la société et la politique publique

L'avenir est arrivé – et il est là pour rester



Les technologies qui, il y a seulement quelques années, n'étaient que fiction pour les futuristes sont désormais une réalité. Elles sont garantes de progrès profonds en médecine, en développement économique et en gestion environnementale. Mais elles pourraient aussi présenter des défis politiques importants.

Ce rapport met en évidence 10 des progrès technologiques les plus avant-gardistes d'aujourd'hui et donne un aperçu des répercussions politiques possibles.

1 Une médecine plus rapide, plus économique grâce à la biologie synthétique

« Le manque d'accès aux médicaments essentiels dans les pays en développement est l'un des problèmes de santé les plus urgents dans le monde. S'attaquer à ce problème pourrait sauver des millions de vies chaque année. » [Ministère britannique du Développement international, 2004]

Les progrès de la biologie synthétique – la reprogrammation ou la création de cellules — peuvent rendre le problème de l'accès aux médicaments essentiels chose du passé. Déjà en 2008, des chercheurs de l'Université de Californie ont converti une cellule de levure en usine de médicaments antipaludisme, beaucoup plus rapidement et économiquement que la méthode habituelle d'extraction du médicament à partir des plantes d'absinthe (Interlandi, 2008). Ces mêmes chercheurs ont également reprogrammé des bactéries d'E. coli pour produire des médicaments tels que le taxol, un médicament anticancéreux, et la prostratine, un médicament potentiellement contre le VIH (Bower, 2005). La biologie synthétique offre la possibilité de produire de meilleurs médicaments. L'herceptine, par exemple, s'est avérée efficace pour réduire la réapparition du cancer du sein, améliorant de manière importante les chances de survie. (Komarova et coll., 2011)

Répercussions politiques possibles

Bien que les avantages éventuels de la biologie synthétique soient remarquables, la technologie pourrait également être utilisée pour produire des armes biologiques personnalisées et des supervirus reprogrammés qui pourraient constituer de graves menaces pour la santé humaine.

La normalisation des méthodes et des éléments de l'ADN ont permis aux méthodes de biologie synthétique de devenir simples et relativement faciles à recréer, permettant à quiconque de modifier et de manipuler la biologie pour le meilleur ou pour le pire.

1. Les auteurs souhaitent remercier Marc Saner (Professeur agrégé, Faculté des Arts et directeur, ISSP) pour ses suggestions et ses conseils utiles.

2 Des organes sur demande avec l'impression 3D

« Plus de 4 000 Canadiens sont en attente d'une greffe d'organe pour sauver leurs vies. L'an dernier, seulement 1 803 greffes ont été réalisées. Bon nombre de patients restent sur les listes d'attente. Malheureusement, 195 Canadiens sont morts en attendant une greffe d'organe. » [La Société canadienne de transplantation, 2013]

L'avènement de l'impression 3D pourrait résoudre certains des problèmes les plus pressants auxquels fait face le don d'organes — comme la disponibilité et le rejet par le corps du patient. Au lieu de cracher de l'encre, ces « imprimantes » d'organes déposent un mélange de cellules vivantes (« encre-bio »), couche par couche, pour former des tissus humains. Comme les organes sont imprimés avec les cellules du patient, elles ne sont pas rejetées par le corps du patient. Le succès de l'impression d'organes humains utilisables semble prometteur. Des bioingénieurs de l'Université Cornell ont déjà imprimé à l'essai des cartilages de genou, des valves cardiaques et des implants osseux (Thompson, 2012). Des chercheurs de la **Wake Forest School of Medicine** ont collaboré avec l'Armed Forces Institute for Regenerative Medicine sur un projet visant à imprimer des cellules de peau sur des brûlures (Thompson, 2012). Et la société australienne **Invetech** a créé une imprimante qui est capable de faire croître des artères (Quick, 2009).

Répercussions politiques possibles

L'impression d'organes a le potentiel d'être une nouvelle industrie de pointe. Les gouvernements seront mis au défi d'appuyer l'industrie tout en tenant compte des implications éthiques et en la réglementant efficacement.

L'autorisation des organes « imprimés » dans une juridiction pourrait exercer une pression sur d'autres pays d'emboîter le pas.

3 La géoingénierie du climat

« Le changement climatique se déroule sous nos yeux, et continuera de le faire en raison de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, qui ont augmenté constamment et ont encore atteint de nouveaux records. » [Michel Jarraud, chef de l'Organisation météorologique mondiale, 2012]

La géoingénierie implique « la manipulation délibérée à grande échelle d'un processus environnemental qui affecte le climat de la terre, dans une tentative de contrecarrer les effets du réchauffement de la planète » (Oxford English Dictionary). Certains chercheurs croient qu'elle pourrait être un outil efficace dans la lutte contre le changement climatique. Bien que la plupart des recherches dans ce domaine n'ont été que purement théoriques – une étude récente menée par le *US Government Accountability Office* a conclu que les technologies de géoingénierie sont « actuellement immatures, plusieurs ont des conséquences potentiellement négatives » (2011) – en 2012, une expérience de géoingénierie indirecte (et controversée) a eu lieu au large de la côte de la Colombie-Britannique (Hume, 2012). Elle a été menée par la **Haida Salmon Research Corporation**, l'expérience a déversé de grandes quantités de fer dans l'océan pour augmenter la croissance du plancton, principalement dans le but d'augmenter les populations décroissantes de saumon, mais aussi pour retirer le dioxyde de carbone de l'atmosphère (Biello, 2012b). Quant à savoir si le projet est en mesure d'enterrer du carbone en mer, c'est toujours indéterminé, mais plusieurs scientifiques sont sceptiques. D'autres propositions de géoingénierie incluent la réflexion du rayonnement solaire de la Terre par diverses méthodes (p.ex., peindre les toits de couleur pâle, blanchir les nuages avec des embruns ou diffuser des aérosols dans l'atmosphère) et projeter le nuage de poussière d'un astéroïde pour ombrager la terre.

Répercussions politiques possibles

La géoingénierie deviendra probablement plus controversée à mesure que la recherche se poursuit et que d'autres expériences sont proposées.

La **Dixième réunion de la Conférence des Parties à la Convention sur la diversité biologique** a adopté la **Décision X/33**, qui restreindrait le type de projets de géoingénierie qui pourraient être mis en œuvre.² Toutefois, les intervenants critiquent la décision de ne pas aller assez loin et l'opposition à la géoingénierie demeure véhémente parmi certains groupes (p.ex., le **ETC Group**, qui a son siège à Ottawa).

4

Des voitures vraiment intelligentes

« Derrière chaque volant se cache le stress du conducteur. Il s'installe lorsque les automobilistes sont coincés dans la circulation discontinue, ou qu'ils sont talonnés, ou qu'ils doivent freiner brusquement pour éviter un accident, ou qu'ils voient les automobilistes qui ne respectent pas les règles, ou qu'ils doivent faire face à des détours ou un stationnement qui manque d'égard, ou... » [Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique, 2012]

Stressé au volant? Alors, laissez la voiture vous conduire. Google développe une voiture autoconduite qui a déjà parcouru 480 000 kilomètres sans accident, et la compagnie espère que ses voitures sans conducteur seront commercialisées d'ici cinq ans (Casey, 2013). En 2011, les législateurs du Nevada ont adopté la première loi américaine autorisant les essais de voitures sans conducteur dans les rues et les autoroutes; en 2012 Google a reçu la première licence pour faire l'essai de ces voitures (Ryan, 2012). Des chercheurs de **l'Université d'Oxford** mettent actuellement au point un appareil qui pourrait éventuellement coûter aussi peu que 150\$ US, qui peut être installé sur n'importe quelle

voiture pour lui donner des capacités d'autoconduite (Clayton, 2013). Et au Canada, des chercheurs de l'Université McMaster sont en train de développer des logiciels pour les voitures autoconduites (Cheney, 2012).

Répercussions politiques possibles

Les véhicules autonomes pourraient rendre les routes plus sécuritaires en supprimant la possibilité d'erreur humaine. Ils pourraient également fournir un moyen de transport très pratique pour les personnes âgées ou d'autres qui ne peuvent conduire.

La responsabilité pourrait être encore diffuse. Si une voiture autonome avait un accident, qui serait fautif : le propriétaire ou le fabricant?

5

Les biocarburants de troisième génération

« La croissance, la prospérité et la croissance démographique vont inévitablement augmenter les besoins énergétiques au cours des prochaines décennies. Mais nous ne pouvons continuer de compter sur des utilisations d'énergie qui sont peu sûres et insoutenables du point de vue de l'environnement. » [Maria van der Hoeven, directrice exécutive de l'Agence internationale de l'énergie, 2011]

Les biocarburants générés par des techniques de biologie synthétique — « les biocarburants de 3e génération » — ont le potentiel de fournir une énergie propre et abondante. Le **Joint Bioenergy Institute** du Département américain de l'Énergie a triplé sa production de biodiésel provenant du glucose par des techniques de biologie synthétique (Yarris, 2012). Des chercheurs du **Bio Architecture Lab**, Inc. et de l'Université de Washington ont modifié génétiquement la bactérie *E. coli* pour convertir des algues en éthanol — un progrès qui pourrait résoudre plusieurs problèmes associés à la production de biocarburant, comme l'utilisation des terres et le débat « carburant

2. La décision stipule « qu'aucune activité de géoingénierie liée au climat pouvant affecter la biodiversité ne peut avoir lieu, jusqu'à ce qu'il y ait une base scientifique adéquate pour justifier ces activités et une réflexion appropriée sur les risques associés pour l'environnement et la biodiversité et les impacts sociaux, économiques et culturels associés, à l'exception des études scientifiques à petite échelle qui seraient menées dans un environnement contrôlé et conformément à l'article 3 de la Convention, et seulement si elles sont justifiées par la nécessité de recueillir des données scientifiques et sont soumises à une évaluation préalable approfondie des impacts potentiels sur l'environnement. » (traduction)

vs aliments » (Biello, 2012). Et **Synthetic Genomics**, l'entreprise dirigée par le pionnier de la biotechnologie, Craig Venter, et qui a annoncé la création de la « première cellule synthétique autoreproductrice » en 2010, vise à utiliser la biologie synthétique pour la fabrication de biocarburants à partir d'algues (Biello, 2011).

Répercussions politiques possibles

Cette industrie, potentiellement transformatrice, pourrait comporter des résultats mitigés pour le Canada (et d'autres pays producteurs de pétrole) si la demande de pétrole était considérablement réduite.

6

L'ascension du supersoldat

« Le soldat est l'armée. Aucune armée n'est meilleure que ses soldats. » [George S. Patton, Jr., 1947]

Si le soldat est l'armée, alors une armée équipée de supersoldats serait sûrement une force supérieure. Et les supersoldats arrivent bientôt. **Lockheed Martin** a développé des exosquelettes qui pourraient permettre aux soldats de transporter jusqu'à 90 kg à une vitesse maximale de 16 km/h (Bland, 2009). Le *US National Intelligence Council* prévoit créer des exosquelettes avec des interfaces cerveau-machine d'ici 2030, et les chercheurs espèrent développer des soldats « mutants » à l'aide de diverses modifications biologiques, y compris des injections de produits chimiques antistress, des traitements par électrochocs pour amplifier la pensée et de la thérapie génique pour améliorer la vitesse, l'intelligence, la mémoire et la capacité à travailler sous pression (Axe, 2012).

Répercussions politiques possibles

Les législateurs pourraient être confrontés à des questions juridiques et d'éthique concernant les soldats génétiquement modifiés, p.ex., si les soldats devraient

consentir à être biologiquement modifiés ou la possibilité que les soldats génétiquement modifiés soient considérés comme des armes, en violation du droit international humanitaire (Lin, 2013). Les exosquelettes pourraient fournir des prestations à l'extérieur des applications militaires, tels que le soutien pour les personnes ayant un handicap physique. **Argo Medical Technologies** a déjà vendu son exosquelette ReWalk aux patients qui ont perdu l'usage de leurs jambes (Black, 2013).

7

Stoker des données volumineuses dans l'ADN

« Au cours des cinq prochaines années, nous allons générer plus de données, comme humanité, que nous en avons générée dans les 5000 années précédentes. » [Eron Kelly, directeur général de la commercialisation des produits, Microsoft, 2012]

Le stockage de données dans l'ADN offre la possibilité de résoudre un problème au cœur de la société de l'information – où conserver toutes les données. Les chercheurs George Church et Ed Regis de l'Université de Harvard ont déjà enregistré 70 millions de copies de leur livre *Regenesis in DNA* – c'est plus de trois fois le nombre total combiné de copies des 200 prochains livres les plus populaires dans le monde (Paramaguru, 2012). Et des chercheurs du Royaume-Uni ont récemment indiqué qu'ils ont codé en ADN des sonnettes de Shakespeare et le discours « I have a dream » de Martin Luther King Jr. (Service, 2013). Bien que l'ADN soit capable de stocker d'incroyablement grandes quantités d'information pour de très longues périodes de temps – en théorie des dizaines de milliers d'années (indyposted, 2013) –, le coût élevé de cette technologie limite son utilité.

Répercussions politiques possibles

Plus il devient facile de stocker des quantités volumineuses de données, plus les problèmes

vont surgir quant à la sécurité des systèmes de données volumineuses ainsi que la récupération et la propriété de l'information.

8 Résoudre des problèmes profonds avec une intelligence artificielle « d'apprentissage en profondeur »

« Au lieu d'essayer de créer un programme pour simuler l'esprit d'adulte, pourquoi ne pas essayer d'en créer un qui simule l'esprit de l'enfant? Si celui-ci était alors soumis à un programme éducatif approprié, on obtiendrait le cerveau adulte. » [Alan Turing, pionnier de l'intelligence artificielle, 1950]

Les récents progrès en informatique ont produit des machines qui peuvent réellement apprendre. Des chercheurs de Google ont conçu un réseau de neurones articulé autour de logiciel qui a appris lui-même à reconnaître des images numériques de chats (Markoff, 2012b). Une équipe d'étudiants dirigée par Geoffrey E. Hinton, chercheur en informatique de l'Université de Toronto, a récemment développé un logiciel d'apprentissage en profondeur si impressionnant qu'il a remporté le premier prix dans un concours parrainé par le géant pharmaceutique **Merck**. Les étudiants ont conçu un logiciel qui a balayé un ensemble de données contenant la structure chimique de milliers de molécules et qui a déterminé quelle molécule serait probablement un agent médicamenteux efficace – et ils ont conçu ce logiciel avec peu de connaissance de la manière dont les molécules se comportent réellement (Markoff, 2012).

Répercussions politiques possibles

Les ordinateurs « cognitifs » pourraient aider les humains à mieux faire leur travail et à accroître leur productivité – mais il y a aussi le risque qu'ils puissent supplanter les travailleurs humains. À long terme, alors que la technologie de l'IA se développe

davantage, on pourrait être appelé à reconnaître les machines « pensantes » comme des personnes, dignes des mêmes droits que n'importe qui d'autre.

9 Des matériaux sur demande avec l'impression 3D (et 4D)

« Du thé, Earl Grey, chaud. » [Jean-Luc Picard, capitaine du Starship Enterprise, commandant un breuvage à son « répliqueur »]

Bien que les récents progrès dans l'impression 3D ne puissent rivaliser avec le répliqueur de Star Trek, qui matérialise des aliments, ils sont pourtant innovateurs. Actuellement, les imprimantes 3D créent des plastiques, des métaux et d'autres matériaux, mais des chercheurs de l'Université Cornell travaillent sur l'impression de repas et d'aliments (Hadhazy, 2013). GE compte utiliser l'impression 3D pour fabriquer des pièces d'avions (LaMonica, 2013). La fine pointe de l'impression 3D est d'imprimer à une dimension très petite (p.ex., **la nano-impression**) et à une grande dimension (p.ex., **des maisons**), et plus rapidement. Et l'impression 4D permettrait à des objets de s'adapter à des environnements et de s'assembler – MIT a développé des structures qui font des formes lorsqu'elles sont mises dans l'eau, dont le but ultime étant des objets qui peuvent effectivement s'auto-assembler (Walton, 2013).

Répercussions politiques possibles

Les technologies d'impression 3D (et 4D) pourraient être profondément transformatrices – **peut-être aussi importantes que le moteur à vapeur, l'ordinateur ou Internet.**

Alors que l'impression 3D devient monnaie courante, des questions de propriété intellectuelle peuvent surgir concernant le partage des fichiers numériques pour les objets d'impression (Thompson, 2012).

Avale une pilule et devient une meilleure personne

« C'est l'esprit d'un homme, non son ennemi ou son adversaire, qui l'attire dans les mauvaises voies. »
[Prince hindou Gautama Siddhartha, fondateur du bouddhisme, 563-483 avant J.-C.]

Bien que les paroles du Bouddha soient vraies pour toujours, les progrès de la médecine moderne peuvent fournir à une personne le regain moral dont son esprit a souvent besoin. La recherche suggère que l'hormone commune ocytocine, peut augmenter la fidélité, la confiance et la communication conjugales (Tandos, 2012). Un chercheur de l'Université de Bristol suggère que des médicaments psychotropes peuvent être administrés pour freiner la conduite illicite (Hill, 2011). Et certains médicaments pourraient même nous rendre plus intelligents. Il est prouvé que Provigil (aussi appelé modafinil) accroît la vigilance, la concentration et l'énergie, même s'il est seulement homologué pour le traitement de la narcolepsie (Harris et coll., 2012). D'autres soi-disant « neurostimulants » incluent les ampakines qui, dans une étude de 16 volontaires âgés, réalisée en 2007, a amélioré leur mémoire à court terme, et le donépézil, qui dans une étude a amélioré la performance des pilotes dans des simulateurs de vol et, dans une autre étude de 30 jeunes adultes de sexe masculin, a amélioré la mémoire verbale et la mémoire épisodique visuelle (Talbot, 2009).

Répercussions politiques possibles

Les responsables de l'élaboration des politiques pourraient faire face à diverses questions d'éthique, quant à savoir si la prise de stimulants cognitifs donnerait lieu à un avantage injuste au travail ou à l'école, et quant à savoir si l'on devrait administrer des médicaments aux criminels pour freiner leurs tendances violentes.

Horizons de politiques Canada est une organisation de prospective dynamique du gouvernement du Canada dont le mandat a pour but d'aider à anticiper les défis et les possibilités de politique émergents, à explorer de nouvelles connaissances et idées et à expérimenter les méthodes et les technologies visant à appuyer l'élaboration de politiques résilientes. Les opinions qui y sont exprimées dans les documents d'Horizons de politiques Canada ne sont pas nécessairement celles du gouvernement du Canada ou de ministères ou d'organismes en particulier.

Le présent document est disponible en version électronique sur le site web d'Horizons de politiques Canada à l'adresse suivante : www.horizons.gc.ca

Les publications d'Horizons de politiques Canada sont accessibles à des fins personnelles ou publiques mais non commerciales, et peuvent être reproduites, en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sans frais ni autre permission. Nous vous demandons seulement de citer Horizons de politiques Canada comme étant le ministère source de la publication.

PH4-138/2013F-PDF
978-0-660-20903-6

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2013.

Références

- Axe, D. 2012. [This scientist wants tomorrow's troops to be mutant-powered](#). Wired.
- Biello, D. 2011. [Can algae feed the world and fuel the planet? A Q&A with Craig Venter](#). Scientific American.
- Biello, D. 2012. [Genetically engineered stomach microbe converts seaweed into ethanol](#). Scientific American.
- Biello, D. 2012b. [Can controversial ocean iron fertilization save salmon?](#) Scientific American.
- Black, T. 2013. [Businesses bet on Iron Man-like exoskeletons](#). Bloomberg Businessweek.
- Bland, E. 2009. [New exoskeleton gives soldiers super strength](#). Discovery News.
- Bower, A. 2005. [Using fake plants to halt a real killer](#). Time.
- Ministère des Transports et de l'Infrastructure de la Colombie-Britannique. 2012. [7 Secrets to taming driver stress](#). TranBC.ca.
- Société canadienne de transplantation. 2013. [Dons d'organes et de tissus](#).
- Casey, J. 2013. [Self-driving car closer to reality](#).
- Cheney, P. 2012. [The digital age of automobiles](#). The Globe and Mail.
- Clayton, N. 2013. [Oxford University tests inexpensive self-driving car system](#). The Wall Street Journal.
- Hadhazy, A. 2013. [Will 3D printers manufacture your meals?](#) Popular Mechanics.
- Harris, D.,L. Zak, M. Abdelmalek. 2012. [Provigil: the secret to success?](#) ABC News.
- SantéCanada. 2010. [Le Canada joue un rôle clé dans le renforcement de la santé mondiale](#).
- Hill, A. 2011. [Manipulating morals: scientists target drugs that improve behaviour](#). The Guardian.
- Hume, M. 2012. [Ocean fertilization experiment alarms marine scientists](#). The Globe and Mail.
- Indyposted. 2013. [Researchers store data on DNA strands](#).
- Interlandi, J. 2008. ["Jay Keasling: saving the world, one molecule at a time."](#) Revue Newsweek.
- Agence internationale de l'énergie. 2011. [The world is locking itself into an unsustainable energy future which would have far-reaching consequences, IEA warns in its latest World Energy Outlook](#).
- Komarova, TV, VS. Korsoruko, OY. Frolova, IV. Petrunia, KA. Skrypnik. 2011. [Plant-made trastuzumab \(Herceptin\) inhibits HER2/Neu+ Cell proliferation and retards tumor growth](#). PLoS ONE.
- LaMonica, M. 2013. [Additive Manufacturing, GE, the world's largest manufacture, is on the verge of using 3-D printing to make jet parts](#). MIT Technology Review.

Law, MR., L. Cheng, IA. Dhalla, D. Heard, & SG. Morgan. 2012. [The effect of cost on adherence to prescription medications in Canada](#). Canadian Medical Association Journal, 184(3), 297-302.

Lin, P. 2013. [Could human enhancement turn soldiers into weapons that violate international law?](#) Yes. The Atlantic.

Markoff, J. 2012. [Scientists see advances in deep learning a part of artificial intelligence](#). New York Times.

Markoff, J. 2012b. [How many computers to identify a cat?](#) 16,000. New York Times.

Nowak, P. 2013. [Toyota unveils self-driving Lexus at CES 2013](#). CBC News.

Orbinski, J. 2009. An Imperfect Offering: Humanitarian Action in the Twenty-First Century. Doubleday Canada.

Paramaguru, K. 2012. [The first book to be encoded in DNA](#). Time.

Patton Jr., G. S. 1947. War As I Knew It. New York. NY. Bantam Books.

Quick, D. 2009. [3D bio-printer to create arteries and organs](#). Gizmag.

Ryan, C. 2012. [Nevada issues Google first license for self-driving car](#). Las Vegas Sun.

Smith, A. 2011. [Oil Versus Light: the Jeremy Leggett interview transcript](#). Echoshock Radio.

Service, RF. 2013. [Half a million DVDs of data stored in gram of DNA](#). ScienceNOW.

Talbot, M. 2009. [The underground world of "neuroenhancing drugs"](#). The New Yorker.

Tandos, T. 2012. [New research suggests oxytocin may promote marital fidelity](#). Examiner.

The UK Department of International Development. 2004. [Increasing access to essential medicines in the developing world: UK Government policy and plans](#).

Thompson, C. 2012. [How 3D printers are reshaping medicine](#). TechEdge : un rapport spécial de CNBC.

United States Government Accountability Office. 2011. [Climate Engineering: Technical Status, Future Directions, and Potential Responses](#).

Walton, Z. 2013. [4D printing is the future of 3D printing and it's already here](#). WebPro News.

Organisation météorologique mondiale. 2012. [2012 : fonte record des glaces de l'Arctique, multiplication des extrêmes, et températures torrides](#). Communiqué de presse No. 966.

Yarris, L. 2012. [New synthetic biology technique boosts microbial production of diesel fuel](#). Berkeley Lab News Centre.