

LE PROGRÈS BIOTECHNOLOGIQUE: UN DÉFI SÉCURITAIRE

Les armes biologiques n'occupent pas une place éminente dans les analyses actuelles des menaces. Les progrès en biotechnologie et en particulier en biologie synthétique pourraient cependant changer cela. Si le développement et la modification de bactéries et virus artificiels devaient devenir réalité, cela rendrait certes possibles de nombreuses applications utiles en médecine, dans la protection de l'environnement et d'autres domaines, mais rendrait aussi par la même occasion les armes biologiques plus faciles à fabriquer et les capacités nécessaires pour ce faire accessibles à un éventail plus large d'acteurs. Une discussion précoce de mesures préventives s'impose.



Les armes biologiques et le bioterrorisme ont perdu de l'importance dans le débat sécuritaire ces dernières années. La menace biologique a certes figuré brièvement tout en haut de l'agenda sécuritaire après les attentats terroristes du 11 septembre 2001 à cause des lettres à l'anthrax. Mais il s'est avéré depuis qu'il est beaucoup plus compliqué d'acquérir l'expertise et les ressources nécessaires et de réaliser avec succès une attaque biologique qu'on ne l'avait supposé.

Jusqu'à présent, les acteurs non étatiques n'ont pas réussi à développer la capacité d'utiliser des agents pathogènes comme armes. La grande majorité des Etats a quant à elle renoncé délibérément à des programmes d'armes biologiques offensives; des doutes persistants concernant la finalité de ces armes jouent, outre les raisons morales, un rôle important dans cette décision (cf. analyse CSS n° 5 [↗](#)). Les débats et controverses concernant les armes de

destruction massive tournent par conséquent aujourd'hui surtout autour des armes nucléaires et de leur prolifération.

Les progrès biotechnologiques attendus ces prochaines décennies pourraient cependant s'accompagner d'une amplification marquée de la menace biologique. Même si les contours possibles et le potentiel d'une révolution biologique pronostiquée par de nombreux experts font encore l'objet de controverses aujourd'hui, une discussion précoce des défis sécuritaires posés par les développements biotechnologiques s'impose.

La biotechnologie: une discipline d'ingénierie

La biotechnologie est actuellement à la tête des tendances technologiques prometteuses. On lui attribue, dans la convergence avec les progrès en nanotechnologie et en informatique ainsi qu'avec les sciences cognitives et les neurosciences, le

potentiel de changer fondamentalement notre société dans le sens d'un «siècle biologique». Aucun développement ne met ceci mieux en lumière que la biologie synthétique dont le dessein avoué est aussi ambitieux que controversé: transformer la biologie, une science naturelle, en discipline d'ingénierie appliquée.

La biologie synthétique désigne un domaine de recherche scientifique dont le but est de développer, conformément aux dispositions en vigueur, des molécules, des cellules et des organismes au moyen de principes d'ingénierie en vue de construire des systèmes biologiques dotés de nouvelles propriétés. C'est d'une certaine façon un perfectionnement de la génétique traditionnelle. Mais, à la différence de la génétique, on ne transfère pas seulement des gènes individuels d'un organisme à l'autre. Les gènes, les modules génétiques ou l'ADN complet sont au contraire produits artificiellement au moyen de matières de départ chimiques – ou justement synthétisés. C'est dans ce contexte qu'est née ces dernières années la synthèse d'ADN à proprement parler. De nombreux chercheurs commandent aujourd'hui à des fournisseurs commerciaux sur Internet des fragments d'ADN à des fins de recherche.

On peut distinguer plusieurs démarches au sein de la biologie synthétique. Une possibilité fondamentale consiste à synthétiser le patrimoine génétique complet (génom) d'un microorganisme connu (bactérie, virus). Des chercheurs ont déjà réussi à reconstituer le virus de la polio, ce qui sert surtout à la recherche fondamentale. On essaie, dans

le cadre d'une démarche menant plus loin dans le sens des sciences d'ingénierie, de construire un génome minimal réduit aux gènes indispensables à la vie qui servira de châssis à l'intégration de modules génétiques. Le développement de modules génétiques standardisés ou «circuits intégrés biologiques» qui pourraient alors être ajoutés au génome minimal pour remplir des tâches prédéfinies – à l'instar du mode de construction modulaire dans de nombreux secteurs industriels comme l'automobile ou l'informatique – fait simultanément l'objet de recherches intensives. Des voies métaboliques spécifiques ou d'autres propriétés souhaitées pourraient ainsi par exemple être produites dans l'organisme-châssis.

Des applications très prometteuses

La biologie synthétique promet de rendre l'exercice de la biotechnologie et en particulier la modification des systèmes biologiques plus simple, plus rapide, plus abordable et plus accessible aux «non-experts» en recourant aux principes d'ingénierie de la standardisation et de la modularisation. Le nombre d'utilisateurs possibles des processus biotechnologiques pourrait augmenter considérablement – tout en réduisant les ressources nécessaires à la modification des systèmes biologiques. La fiabilité de la technologie reposant sur la biologie devrait elle aussi s'améliorer de manière significative. Le temps nécessaire pour arriver des découvertes scientifiques aux applications pratiques serait ainsi réduit de façon appréciable.

Si les progrès actuels se poursuivent, l'échelle à laquelle est pratiquée la biologie moderne devrait s'amplifier massivement, ce qui aurait une influence transformative sur l'ensemble de la société et les secteurs économiques les plus divers. Une multiplicité d'applications potentiellement utiles se dessine déjà aujourd'hui. Mentionnons par exemple l'espoir justifié de pouvoir produire de cette manière des biocarburants ou certaines substances médicinales dans des bactéries – comme produit final de leur métabolisme – ou de faire décomposer des polluants par l'intermédiaire d'un métabolisme bactérien construit. Des chercheurs ont déjà réussi à produire dans des bactéries un antidote contre la malaria. Il est aussi concevable de pouvoir construire des bactéries qui indiquent la présence de certaines substances comme des explosifs ou des substances radioactives, ce qui faciliterait les mesures de protection correspondantes.

Documents et initiatives importants

- **US Presidential Commission for the Study of Bioethical Issues: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies** [↗](#)
- **US National Science Advisory Board for Biosecurity: Addressing Biosecurity Concerns Related to Synthetic Biology** [↗](#)
- **OCDE: Symposium on Opportunities and Challenges in the Emerging Field of Synthetic Biology** [↗](#)
- **Programmes-cadres de recherche de l'UE:**
 - **Synbiosafe (Synthetic Biology Safety and Ethical Aspects)** [↗](#)
 - **SYBHEL (Synthetic Biology for Human Health: Ethical and Legal Issues)** [↗](#)
 - **Synth-Ethics (Ethical and Regulatory Issues Raised by Synthetic Biology)** [↗](#)
- **Institut interrégional de recherche des Nations Unies sur la criminalité et la justice (UNICRI): Synthetic Biology and Nanobiotechnology Risk and Response Assessment** [↗](#)

Une arme à double tranchant

Mais, à l'instar de ce qui s'est par exemple passé lors de la révolution atomique, le progrès biotechnologique n'est pas seulement lié à des avantages sociaux mais aussi à des risques. Le défi central de la biotechnologie du point de vue sécuritaire concerne le problème du double usage. Pratiquement toutes les approches biotechnologiques permettent aussi des applications malveillantes à côté des applications bénéfiques. Tous les développements biotechnologiques susceptibles d'affecter la sécurité peuvent en principe être dérivés d'efforts de recherche absolument légitimes. Leur adaptation à des fins abusives n'exige souvent pas de grands détours.

En ce qui concerne la synthèse de l'ADN, on mentionnera le risque évident posé par l'abus de la technologie pour reproduire des pathogènes dangereux. La séquence génétique nécessaire à cet effet est accessible ouvertement dans des bases de données sur Internet. Se procurer ces pathogènes dans la nature est certes aujourd'hui encore la variante la plus simple et la moins onéreuse. Mais cela pourrait changer. Certains pathogènes comme le virus Ebola ou le virus de Marburg sont en outre difficiles à isoler dans la nature. D'autres pathogènes n'existent quant à eux plus du tout, mais pourraient être reconstruits par synthèse. Le virus de la variole ou le virus de la pandémie de grippe de 1918 font partie des virus éradiqués qui pourraient être utilisés comme armes biologiques efficaces. Ces deux virus ont fait des millions de victimes.

La biologie synthétique pourrait aussi simplifier à long terme la modification des propriétés de pathogènes pour les rendre utilisables comme armes en y «incorporant» des modules génétiques correspondants. Aujourd'hui, la modification des attributs biologiques de virus ou de bactéries n'est suffisamment contrôlable que pour ce qui est de l'attribution de résistances aux médicaments. Les connaissances relatives à la fonction des différents gènes et à leurs interactions sont encore rudimentaires. Mais des propriétés comme le pouvoir infectant, la contagiosité et la stabilité environnementale seront éventuellement elles aussi modifiables à plus long terme.

La possibilité, actuellement encore hypothétique, de modifier à souhait les systèmes biologiques rendrait plus attrayant le développement d'armes biologiques à des fins militaires ou terroristes. Les obstacles tactiques entravant leur utilisation qui existent jusqu'à présent pourraient être en partie écartés en rendant les armes biologiques par exemple contrôlables, c'est-à-dire en les rendant applicables de manière sélective et ciblée. Certaines difficultés opérationnelles de leur utilisation, comme par exemple la désintégration d'un pathogène par différents facteurs environnementaux, pourraient aussi être réduites. Le développement de voies métaboliques bactériennes pourrait à l'avenir permettre non seulement la production de substances utiles mais aussi de toxines, de drogues, de médicaments contrefaits ou de substances se prêtant à des armes chimiques.

Carences des instruments actuels

Le risque d'une utilisation abusive de la biologie synthétique est faible à court et moyen terme et se limite largement aux Etats qui peuvent et veulent investir les ressources nécessaires dans le perfectionnement de cette discipline. Mais si les processus biotechnologiques devaient effectivement devenir à l'avenir plus faciles et moins chers à manipuler, le risque d'abus par d'autres Etats et en particulier par des acteurs non étatiques pourrait augmenter considérablement à long terme. Dans la mesure où la simplification de l'activité biotechnologique entraîne des effets sociaux plus vastes et permet de plus en plus à des individus de faire des dégâts avec des applications biotechnologiques, le problème de la prolifération des capacités d'armes biologiques offensives passera au premier plan. La norme internationale contre l'utilisation des armes biologiques et leur prolifération risque de s'éroder dans ce contexte.

Les sociétés modernes ne sont guère préparées aux défis sécuritaires posés par les progrès biotechnologiques. Aujourd'hui déjà, l'effet de mécanismes de contrôle de l'armement comme les accords internationaux ou les régimes de contrôle à l'exportation nationaux est limité dans le domaine des armes biologiques. En raison du problème du double usage, il est presque impossible d'identifier les activités associées à des armes biologiques et, à plus forte raison, de les contrôler. C'est la raison pour laquelle la communauté internationale n'a pas pu, dans le cadre de la convention sur les armes biologiques, se mettre d'accord jusqu'à présent sur un mécanisme de vérification comme il en existe pour les armes chimiques et nucléaires. Il est possible de dissimuler sans peine la recherche ayant trait à des armes biologiques derrière des activités légitimes et de la mener dans de petits laboratoires civils comme il en existe des centaines de milliers dans le monde. Le nombre colossal d'installations à contrôler ne permettrait guère un régime d'inspection même à moitié crédible.

Des mécanismes de contrôle de l'armement comme la convention sur les armes biologiques vont se heurter encore davantage à leurs propres limites si la menace biologique par des acteurs non étatiques s'amplifie. Il semble plausible qu'on en arrive là puisque qu'il n'est pas possible d'arrêter la propagation des capacités biotechnologiques dans la société. Une restriction du progrès biotechnologique ne serait pas indiquée en raison de l'avantage potentiellement énorme de cette discipline et ne serait pas non plus réalisable dans la pratique. L'expertise, le matériel et l'équipement sont utilisés dans de nombreuses disciplines des biosciences et sont – à des degrés variables – déjà répandus dans le monde entier. Dans ce sens, la prolifération des connaissances et du matériel biotechnologiques est déjà en cours même si des armes biologiques ne sont pas obligatoirement le but recherché. Il se peut que la propagation géographique et sociale sectorielle des connaissances biotechnologiques ne puisse par conséquent plus être arrêtée.

Des approches novatrices sont nécessaires

Il semble, sur cette toile de fond, que seules une réponse complète et des approches novatrices puissent tenir compte des défis sécuritaires posés par les développements biotechnologiques. Au lieu d'essayer de refuser très lourdement l'accès aux connaissances et aux technologies de la manière traditionnelle, il faudrait suivre une approche plus

Initiatives d'autorégulation en biologie synthétique

Industrie de synthèse de l'ADN

Quelques entreprises internationales de synthèse d'ADN se sont réunies en deux consortiums industriels qui ont chacun élaboré un «screening framework» pour passer au crible les commandes et les clients.

▮ **International Association Synthetic Biology (IASB):** Code of Conduct for Best Practices in Synthetic Biology [↗](#)

▮ **International Gene Synthesis Consortium (IGSC):** Harmonized Screening Protocol to Promote Biosecurity [↗](#)

▮ **Le gouvernement américain a aussi rédigé des recommandations de screening sans engagement pour soutenir ces initiatives:** Screening Framework Guidance for Providers of Synthetic Double-Stranded DNA [↗](#)

Concours International Genetically Engineered Machine (iGEM)

iGEM est un concours annuel de biologie synthétique. Les équipes internationales d'étudiants qui y participent sont obligées de documenter les éventuels aspects sécuritaires de leurs projets. Il est aussi prévu d'élaborer un code de conduite.

▮ **Biosafety (libération non intentionnelle)** [↗](#) ▮ **Biosecurity (libération intentionnelle)** [↗](#)

Biologie amateur

En rapport avec la biologie synthétique, on assiste graduellement à la formation d'une communauté de biologistes amateurs ou «biohackers» qui pratiquent la biologie en dehors des installations de recherche traditionnelles – comme aux balbutiements de l'industrie informatique. Les représentants de ce mouvement s'engagent eux aussi dans le discours sécuritaire [↗](#) et travaillent à l'élaboration d'un code de conduite [↗](#).

large incorporant aussi les groupes et acteurs sociaux pertinents et permettant de découvrir et de signaler les abus.

Il faut s'efforcer de mettre sur pied un réseau intégral de mesures politiques de contrôle et de régulation d'une part et des initiatives à caractère ascendant en vue d'autoréguler les groupes d'intérêt d'autre part. Ce «web of prevention» serait composé de mesures, initiatives et activités nationales et internationales à différents niveaux d'intervention incorporant tous les acteurs pertinents, ce qui déplacerait le point de mire dans le sens d'une responsabilité partagée entre politique, science, industrie et la société dans son ensemble. Il faut aussi créer en biotechnologie, à l'instar du serment d'Hippocrate en médecine, une culture de responsabilité et de conscience des risques. Une telle approche intégrale et probablement sans pareille dans l'histoire du contrôle des armes suppose cependant une vision et une stratégie communes quant à la manière d'incorporer systématiquement les différents acteurs et initiatives. Un tel consensus ne peut quant à lui naître que si tous les intervenants pertinents sont sensibilisés à la dimension sécuritaire de la recherche biotechnologique.

Il est encourageant dans ce contexte que les cercles s'occupant de biologie synthétique adoptent une position très proactive concernant les questions éthiques et sécuritaires. Notamment en réaction au scepticisme social vis-à-vis du génie génétique,

de nombreux chefs de file ne redoutent pas ces thèmes et s'engagent activement dans le discours public. Les étudiants, qui choisissent de plus en plus cette filière, sont déjà confrontés très tôt à ces questions dans le cadre de différentes manifestations.

C'est l'industrie de synthèse de l'ADN qui a pris jusqu'à présent les mesures les plus concrètes. Ces entreprises vérifient volontairement et, jusqu'à présent, sans aide significative des Etats, dans le sens d'une autorégulation, si les commandes d'ADN concordent avec la séquence génétique d'un pathogène. Si c'est le cas, le client est passé au crible et la commande déclinée dans la mesure où il n'y a aucune raison légitime pour l'achat de cette séquence.

Le but de ces mesures devrait être de laisser se développer aussi librement que possible la multiplicité d'applications utiles de la biotechnologie et de minimiser simultanément le risque de développements nuisibles. Il faut tenir compte à cet égard du fait que l'effet net des développements biotechnologiques pourrait être très avantageux et qu'il faut donc considérer les applications bénéfiques comme une variable importante dans l'évaluation des risques.

▮ Editeur responsable: Daniel Möckli
analysen@sipo.gess.ethz.ch

▮ Commande d'analyses et abonnement gratuit: www.ssn.ethz.ch