

En quête d'un génome minimal

Un des grands projets de la biologie de synthèse est la création d'un génome minimal – un génome qui ne contiendrait que les gènes nécessaires au fonctionnement de la cellule qui l'héberge, et ceux qui produiront les fonctions biologiques souhaitées.

L'intérêt d'utiliser un génome réduit est multiple. D'une part, cela diminuerait le coût énergétique de la réplication du génome lors de la division cellulaire. D'autre part, l'ADN codant les fonctions synthétiques pourrait être inséré à la place libérée.

Enfin, certaines séquences du génome, dites recombinogènes, sont connues pour favoriser les recombinaisons génétiques. En les retirant, on diminue le risque que le génome subisse des

modifications spontanées. Plusieurs équipes sont impliquées dans la conception et la fabrication de tels génomes réduits. Ainsi, la société américaine *Scarab Genomics* commercialise des souches de colibacille dont l'ADN a été réduit de 15 pour cent, notamment par élimination des séquences recombinogènes. Cette société a été fondée en 2002 par Fred Blattner, dont l'équipe séquença le premier génome de colibacille.

À l'Université Johns Hopkins, aux États-Unis, Jef Boeke (aujourd'hui à l'Université de New York) et Joel Bader ont lancé le projet Sc2.0 d'un génome synthétique d'une cellule eucaryote, la levure de bière *Saccharomyces cerevisiae*. À ce jour, un chromosome a été synthétisé entièrement. Là aussi, les séquences recombinogènes ont été supprimées. En revanche, des séquences ont été introduites pour induire à volonté de nombreux réarrangements aléatoires de morceaux de chromosome. Il est donc possible de disposer d'un génome stable, mais, par un simple stimulus, d'induire son évolution accélérée. Ensuite

les variants issus de cette évolution peuvent être sélectionnés sur un critère quelconque.

En 2010, l'Institut américain J. Craig Venter a publié la synthèse chimique du génome d'une bactérie, un mycoplasme (environ un million de paires de nucléotides). Introduit dans une souche cousine, ce génome était toujours fonctionnel : les cellules obtenues étaient capables de se diviser. Cette prouesse technique ouvre la voie à des génomes totalement synthétiques. En revanche, la séquence synthétisée était une copie quasi identique de la version naturelle. À l'évidence, le chemin sera encore long avant de pouvoir concevoir *de novo* un génome...

d'une dizaine de réactions. C'est le cas du circuit de bioproduction de l'artémisinine. Comment briser ce plafond pour construire des circuits biochimiques plus complexes et augmenter d'autant les possibilités de la biologie de synthèse ?

Pour une part, ce plafond tient à notre incapacité à concevoir un génome complet. Pour étendre fortement la taille et la complexité des circuits, il faudrait pouvoir introduire un nombre arbitraire de gènes qui coopéreraient de façon optimale selon un cahier des charges fixé par avance. Cela sous-entend de connaître l'ensemble des contraintes qui pèsent sur les génomes naturels des hôtes envisagés – une levure ou une bactérie, par exemple. La version modifiée de ce génome devrait non seulement tenir compte de ces contraintes, mais en tirer parti pour optimiser les circuits de synthèse.

Concevoir un génome *ab initio*

Plusieurs équipes se sont ainsi lancées dans des recherches visant à synthétiser ou à réduire des génomes complets d'organismes unicellulaires. C'est le cas, par exemple, de l'équipe de l'Institut J. Craig Venter, à Rockville aux États-Unis, et de celle de Fred Blattner, de l'Université du Wisconsin, à Madison, pour les bactéries,

ou encore de celle de Jef Boeke et Joel Bader, de l'Université Johns Hopkins, à Baltimore, pour la levure (voir l'encadré ci-dessus).

Ces travaux représentent des tours de force techniques. Paradoxalement, ils soulignent aussi les carences dans notre capacité à concevoir *ab initio* un génome. Par exemple, le génome de mycobactérie synthétisé par l'équipe de J. Craig Venter est quasi copié du génome naturel. C'est pourtant bien la conception à l'échelle du génome et non la copie qui permettra d'agrandir la taille et la complexité des circuits biochimiques, la synthèse d'ADN permettant ensuite de réaliser ce génome à façon.

Dans mon équipe, nous cherchons précisément à exploiter les contraintes connues des génomes de micro-organismes pour la conception *ab initio* de génomes porteurs de grands circuits de synthèse. En particulier, nous avons observé que les gènes qui fonctionnent ensemble (par exemple parce qu'ils sont régulés par les mêmes protéines) ne sont pas disposés au hasard le long des génomes. Au contraire, on les retrouve côte à côte ou à intervalles périodiques. Ces schémas semblent optimiser l'expression des gènes. Ce type d'observation conduit à proposer de respecter ces schémas « naturels » lors de l'insertion de gènes co-fonctionnels dans des chromosomes microbiens – une donnée

qui devrait aider à augmenter la complexité des circuits.

On le voit, la biologie de synthèse n'est pas simplement un nouveau domaine de la biologie. Elle apporte un vaste socle méthodologique et conceptuel, ainsi qu'un état d'esprit nouveau en biotechnologie. Construire un système biologique qui fonctionne comme prévu est une façon de s'assurer que l'on a compris les phénomènes sous-jacents. En ce sens, la biologie de synthèse permet de faire progresser les connaissances sur le monde vivant. L'approche de l'ingénieur étant dominante, les applications industrielles ne sont cependant jamais loin.

Le potentiel économique de ces applications est considérable et concerne de nombreux domaines : santé (diagnostic, médicaments), agroalimentaire, environnement (biocapteurs de pollution), énergie (biocarburants), matériaux (biomatériaux « intelligents »), etc. En ouvrant toutes ces possibilités, la biologie de synthèse renouvelle les questions éthiques concernant la responsabilité des hommes à « artificialiser » le vivant. Jusqu'à quel point voulons-nous modifier ou recréer le vivant ? Quelle gouvernance de la biologie de synthèse adopter pour qu'elle corresponde bien à nos attentes ? Il est indispensable que ces questions soient dès maintenant continuellement débattues. ■

Biologie de synthèse et sciences sociales, un dialogue difficile

Pierre-Benoît Joly et Benjamin Raimbault

**Quel sera l'impact de la biologie de synthèse sur la société ?
Comment éviter les dérives ? Les sciences sociales
apporteraient un éclairage décisif si elles n'étaient pas
cantonnées à un rôle inapproprié de médiateur.**

Domaine de recherche en plein essor depuis le début des années 2000, la biologie de synthèse nourrit d'importantes ambitions théoriques puisqu'il s'agit d'appliquer les principes de l'ingénierie à la biologie. Conjointement, en s'annonçant comme la nouvelle révolution industrielle, elle revendique un grand potentiel d'applications et, par conséquent, de profonds changements économiques et sociaux, ses applications devant toucher des domaines aussi variés que la santé, l'agroalimentaire, l'environnement ou la production d'énergie. En pratique, si certains discours laissent entendre que la biologie de synthèse sera la corne d'abondance du début du XXI^e siècle, très peu d'applications sont aujourd'hui disponibles, à l'exception de certains cas emblématiques tels que la semi-synthèse de l'artémisinine, un médicament antipaludéen produit désormais en grande quantité par *Sanofi*.

Néanmoins, la biologie de synthèse alimente déjà plusieurs débats au sein de la société. Par exemple, à la suite de la recommandation de l'Organisation mondiale de la santé d'utiliser des combinaisons thérapeutiques à base d'artémisinine, des milliers de petits producteurs asiatiques

L'ESSENTIEL

- Pour anticiper les conséquences sociales des futures applications de la biologie de synthèse, les biologistes ont développé des collaborations avec les chercheurs en sciences sociales.
- Plusieurs approches ont été utilisées, mais des difficultés sont apparues.
- Les sciences sociales ont un rôle à jouer, mais celui-ci n'est ni de vaincre la contestation ni d'être le porte-parole de la société.
- Il est nécessaire de clarifier l'agenda de recherche et les questions de fond sur la biologie de synthèse et sa gouvernance.

© Seamartin Graphics/shutterstock

et africains ont développé la culture de la plante qui la produit naturellement, l'armoïse annuelle. Après une période alternant surproduction et sous-production d'artémisinine naturelle, une initiative de planification à l'échelle mondiale de médicaments à base d'artémisinine a vu le jour en 2009, permettant de consolider la filière et de répondre aux besoins. Produite au même prix à partir de 2013, l'artémisinine de synthèse vient ainsi concurrencer les petits producteurs et perturber un marché encore fragile sans pour autant constituer un réel progrès médical. Dès lors, comment s'assurer que les applications de la biologie de synthèse seront bien en adéquation avec les besoins sociétaux et environnementaux, et limiter leurs effets négatifs ?

Une des principales originalités de la biologie de synthèse a été de vouloir anticiper les conséquences sociales de ses futures applications en développant de façon systématique une collaboration avec les sciences sociales. Depuis les débuts de la biologie de synthèse, plusieurs approches ont été menées dans ce sens, mais celles-ci ont leurs limites. Quelles sont-elles et comment les dépasser ? C'est ce que nous allons examiner.

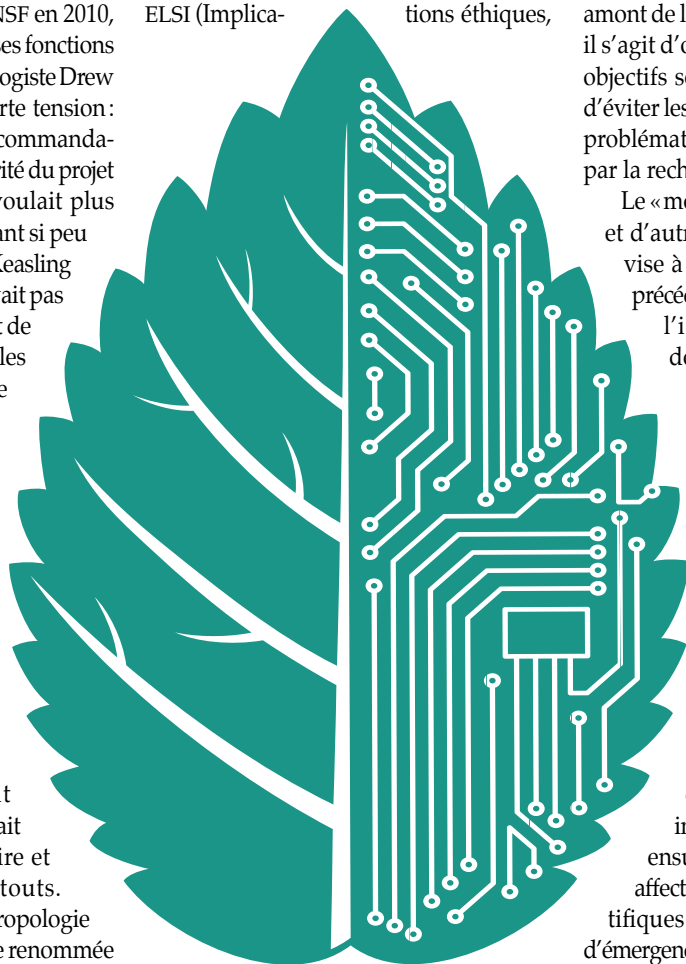
En octobre 2011, le *New York Times* publiait un article sur le conflit qui opposait l'anthropologue américain Paul Rabinow à Jay Keasling, directeur du centre de recherche phare en biologie de synthèse, le SynBERC. Financé par la Fondation américaine de science (NSF), le SynBERC fédère les institutions académiques américaines les plus impliquées en biologie de synthèse, et P. Rabinow y était en charge de l'éthique et de la biosécurité. Son travail ayant été jugé trop descriptif et assez inutile lors de l'évaluation du projet par la NSF en 2010, P. Rabinow avait été démis de ses fonctions et remplacé par l'ingénieur biologiste Drew Endy. S'en était suivie une forte tension : P. Rabinow arguait que ses recommandations visant à améliorer la sécurité du projet étaient ignorées et qu'il ne voulait plus cautionner des chercheurs ayant si peu de sens des responsabilités ; J. Keasling répliquait que P. Rabinow n'avait pas fait le travail que l'on attendait de lui, qu'il ne le ferait pas et que les 700 000 dollars dédiés à l'axe de recherche « *Human practice* » étaient mal utilisés.

Ce conflit emblématique constitue un point de départ intéressant pour analyser les collaborations entre biologie de synthèse et sciences sociales et inscrire cette analyse dans le cadre plus large des interactions interdisciplinaires autour des sciences et techniques émergentes.

Lors de son lancement en 2006, cette collaboration était considérée comme exemplaire et bénéficiait des meilleurs atouts. P. Rabinow, professeur d'anthropologie à Berkeley, est un chercheur de renommée mondiale, spécialiste des sciences de la vie et des biotechnologies. Il avait rejoint le SynBERC pour participer à un programme scientifique original divisé en quatre axes de recherche dont l'un d'eux, l'axe « *Human practice* », était dédié aux sciences sociales. Si son financement était relativement faible (trois pour cent du budget), le projet promettait de renouveler les interactions de la biologie de synthèse et des sciences sociales et, de façon plus allusive, les interactions science-société. P. Rabinow voyait dans sa contribution une collaboration susceptible d'influencer le contenu des recherches de ses collègues biologistes.

Pour P. Rabinow, cette initiative était la troisième et dernière génération des relations interdisciplinaires autour des sciences et techniques émergentes. Une première forme de contribution des sciences sociales, le « mode 1 », date du programme de séquençage du génome humain à la fin des années 1980. Conscientes des implications éthiques, sociales, politiques et économiques de ces recherches, les autorités publiques demandèrent que ce grand programme comporte un volet de recherche nommé ELSI (Implica-

tions éthiques,



légales et sociales) permettant de mieux comprendre ces implications. Depuis lors, la plupart des grands programmes technoscientifiques comportent un tel volet, représentant en général trois à cinq pour cent des budgets. Il s'agit donc de produire une expertise visant à mieux anticiper les conséquences des applications des recherches de façon à éviter les effets négatifs.

Le « mode 2 » est venu en réponse à la contestation des sciences et des techniques dans les années 2000, concernant notamment les organismes génétiquement

modifiés (OGM). Les grandes controverses publiques sont alors vues comme résultant d'un défaut de confiance dans les institutions scientifiques, défaut qu'une plus grande ouverture aux parties prenantes et aux acteurs de la société civile serait susceptible de corriger. Les sciences sociales sont alors considérées pour leur capacité à construire des espaces de dialogue, pour leurs compétences à définir les conditions et les procédures d'une démocratie technique. En consultant « la société » en amont de la production de connaissances, il s'agit d'orienter les recherches vers des objectifs socialement désirables et donc d'éviter les blocages liés à une acceptation problématique des inventions imposées par la recherche (voir l'encadré page 38).

Le « mode 3 », proposé par P. Rabinow et d'autres au milieu des années 2000, vise à dépasser les limites des deux précédents. S'il partage avec le mode 2 l'idée que les sciences sociales doivent contribuer à l'amont des recherches par une meilleure orientation des explorations (et non à l'aval, par la régulation des inventions et la fabrique de l'acceptation de la nouveauté), P. Rabinow en souligne une double limite.

Sur un plan cognitif, d'abord, les parties prenantes ou concernées n'ont, par définition, aucune expérience d'une technologie émergente et manquent donc de ressources cognitives pour intervenir. Sur un plan politique, ensuite, l'identification des acteurs affectés par les développements scientifiques est impossible dans la phase d'émergence ; il est donc nécessaire d'inclure tous les acteurs qui le souhaitent dans le débat, ce qui pose la question de la représentativité des participants. Ainsi, alors que ces espaces de débats sont censés favoriser un dialogue entre science et société, ils sont le plus souvent vivement critiqués et leur légitimité est remise en cause.

Face à ces limites, le mode 3 vise à développer un espace de problématisation et d'enquête permettant de travailler sur l'éthique du futur proche de la biologie de synthèse. Cela requiert un travail collaboratif rassemblant chercheurs en sciences sociales et biologistes autour des concepts et pratiques encore balbutiants

de la nouvelle discipline. Si, depuis la fin des années 1970, des chercheurs en sciences sociales sont accueillis au sein de laboratoires de sciences « dures », l'originalité du programme de P. Rabinow est de considérer ces chercheurs non plus en tant que simples observateurs, mais en tant que collaborateurs. Ils deviennent des « chercheurs embarqués » qui participent à l'orientation des recherches en amont. Il peut s'agir d'expliciter les jugements de valeurs implicites qui orientent des choix de recherche ou de favoriser une plus grande ouverture dans ces choix de recherche. Il s'agit aussi de travailler avec les biologistes sur les questions non seulement éthiques, mais aussi ontologiques, métaphysiques, sociales et politiques posées par leurs recherches (voir l'encadré page 39).

Ces trois modes ne sont pas exclusifs et certains Centres de recherche, tel le Nanocentre de l'Université d'État de l'Arizona, ont développé un programme de « gouvernance anticipatrice » qui associe des éléments relevant de chacun de ces modes.

La biologie de synthèse est souvent présentée comme un domaine propice aux interactions transdisciplinaires. La communauté qui la développe est ouverte aux interactions avec d'autres acteurs et prête à lancer des débats sur ses travaux. Il s'agit

■ LES AUTEURS

Pierre-Benoît JOLY est directeur de recherche à l'INRA (unité Sciences en société, Sens), à Champs sur Marne. Il dirige l'Institut francilien recherche, innovation, société (IFRIS) et le Labex SITES, Université Paris Est.

Benjamin RAIMBAULT est ingénieur agronome et doctorant en sociologie dans l'unité SenS.

■ BIBLIOGRAPHIE

P. Rabinow et G. Bennett, *Designing Human Practices – An Experiment with Synthetic Biology*, Chicago University Press, 2012.

P.-B. Joly et al., *Biologie de synthèse : conditions d'un dialogue avec la société*, Étude pour le MESR, 2011.

■ À ÉCOUTER

Le jeudi 29 mai 2014, de 14h à 15h, Pierre-Benoît Joly reviendra sur le dialogue des sciences sociales et de la biologie de synthèse dans la partie Actualités de l'émission *La marche des sciences*, sur France Culture. www.franceculture.com

d'une communauté émergente, créative et réflexive, qui a une conscience assez forte des opportunités et des dangers liés à ses interactions avec la société. La saga des OGM a laissé chez les biologistes un goût amer et forgé la conviction qu'il faut œuvrer pour éviter que se reproduise un tel rejet d'un nouveau champ technologique. Cette préoccupation est d'autant plus forte pour la biologie de synthèse que la frontière avec le génie génétique, l'ingénierie métabolique ou... les OGM est poreuse ! Néanmoins, au-delà de cette préoccupation, tout est à faire, puisqu'il n'existe pas d'expérience de telles collaborations. De plus, le rôle des sciences sociales pouvant être fort différent (et discuté au sein même des sciences sociales), cette diversité peut être source de quiproquos ou d'incompréhension.

Des rapports de force asymétriques

Prenons un autre exemple, celui du Royaume-Uni où les chercheurs en sciences sociales ont été très tôt associés à la construction des réseaux en biologie de synthèse, à la rédaction de la feuille de route et intégrés comme chercheurs embarqués dans des projets de biologie de synthèse. Forts de cette expérience, ils soulignent que les sciences sociales sont en général attendues sur le front des risques et de l'éthique, et qu'on escompte qu'elles amélioreront l'acceptabilité de la biologie de synthèse. Tout comme P. Rabinow, ils plaident pour un travail collaboratif avec les biologistes afin d'améliorer la compréhension commune de l'émergence de cette nouvelle technologie et de la façon dont elle conditionne les applications. L'enjeu est de promouvoir une recherche et une innovation responsables en intervenant en amont de la production scientifique et technique, et d'améliorer la pertinence sociale des projets de recherche en identifiant les moments et les lieux où les choix sont faits.

Difficile d'être en désaccord avec cet objectif. Mais le moyen préconisé, la recherche collaborative, est-il adéquat pour parvenir à une telle fin ? Probablement pas si l'on se réfère à l'expérience de P. Rabinow et d'autres chercheurs. L'apparente symétrie du programme n'a pas résisté à une profonde asymétrie dans les rapports de force entre chercheurs en sciences sociales et biologistes. Notamment, soumis à une

Un dialogue public au Royaume-Uni

En 2007, pour éviter de répéter la controverse sur les OGM, le gouvernement britannique fonde le *Sciencewise Expert Ressource Centre*, dont la mission est de promouvoir des initiatives de dialogue public sur les sciences et techniques émergentes.

En 2009, un dialogue est ainsi lancé sur la biologie de synthèse. Celui-ci est représentatif des limites de cette approche indifférenciée du public. Conduit par un cabinet de marketing, il comporte une phase d'entretiens avec 41 parties prenantes, suivie d'une phase d'ateliers avec des « membres du public ». Seize groupes de dix personnes représentatives de la diversité socio-économique de la population sont recrutés dans quatre

ville. Chaque groupe se réunit à trois reprises. Un atelier est dédié à l'impact des sciences et des techniques, un second à la perception de la biologie de synthèse et à la gouvernance et un troisième aux impacts potentiels de la biologie de synthèse et aux conditions de son développement.

Les résultats sont consignés dans un rapport de 90 pages publié en 200 exemplaires qui sont distribués aux chercheurs

et autres parties prenantes, aux médias et aux parlementaires. Peu diffusé et lu, il n'a que peu d'influence dans les choix de gouvernance.

Les résultats sont décevants : ils expriment un soutien à la biologie de synthèse, à condition que les débordements éventuels soient évités par une réglementation adéquate – des conclusions qui ressemblent beaucoup à celles formulées par les défenseurs de la biologie de synthèse. Le dialogue ne contribue ni à la définition des objets, ni à celle des programmes et des enjeux, pourtant centrales pour une gouvernance efficace de la biologie de synthèse...

compétition internationale intense, les biologistes n'ont en pratique que peu de temps à consacrer à une réflexion sur leur discipline. On peut aussi s'interroger sur la légitimité des sciences sociales à orienter les choix de recherche en biologie de synthèse.

Comment sortir de l'ornière ? Tout d'abord, il convient de rétablir une plus grande symétrie entre sciences sociales et biologie, de conférer aux premières l'autonomie dans la définition de leur objet de recherche afin d'établir la collaboration sur des bases équilibrées. Les échecs et difficultés témoignent d'une profonde incompréhension de ce que peut être un travail de recherche en sciences sociales. L'éviction de P. Rabinow montre que le chercheur en sciences sociales est considéré avant tout comme l'expert de « la société », capable d'ajuster les recherches afin qu'elles soient acceptables. Or le rôle des sciences sociales n'est pas de prescrire des antidotes contre d'éventuelles contestations ni d'être le porte-parole d'une société plurielle. Anthropologie, sociologie, philosophie, géographie, psychologie... les sciences sociales sont multiples et à chacune d'elles correspondent des théories, hypothèses de recherche et modes d'enquête propres. On peut dès lors imaginer plusieurs objets de recherche passionnants.

Prendre de la distance

Par exemple, dans notre laboratoire, nous travaillons sur le phénomène de l'émergence des champs technoscientifiques. Comment caractériser de tels processus ? Quelles sont les différences entre les émergences des champs scientifiques contemporains et de ceux apparus il y a plusieurs décennies ? Concernant la biologie de synthèse, nous observons deux points essentiels.

D'une part, les biologistes au cœur du processus ont un rôle à la fois de définition des questions de recherche et de structuration sociale de l'environnement de la biologie de synthèse. Par exemple, ils travaillent sur la propriété intellectuelle (en réfléchissant sur le libre accès des recherches – *open source biology*), sur la gestion des risques (avec le concept de sécurité à la conception – *safety by design*) ou sur l'enseignement de la discipline. D'autre part, si elle a des ambitions fondamentales, la biologie de synthèse se constitue autour de promesses d'applications pour résoudre de grands problèmes (énergétiques, médicaux, environnementaux...). La construction de la crédibilité

CHERCHEURS EMBARQUÉS



Le striga est une herbe qui parasite les cultures de riz, de sorgho, de cornille ou de maïs (*ci-dessus*), notamment en Afrique. Au Collège impérial de Londres, Travis Bayer et ses collègues se sont intéressés à la lutte contre cette herbe. Avec l'aide de deux chercheurs en sciences sociales « embarqués », ils se sont rendus au Zimbabwe pour échanger avec des agriculteurs et comprendre leurs besoins : ces petits producteurs n'ont pas les moyens d'acheter des traitements. Les biologistes ont alors conçu une levure qui produit une molécule provoquant une germination anticipée du striga, avant les semences, ce qui entraîne sa mort. Reste à viabiliser le projet et intéresser des investisseurs...

et de la légitimité des promesses conditionne la mobilisation des ressources et donc l'émergence de la biologie de synthèse.

Du fait de ces deux caractéristiques, il est impossible de distinguer les dimensions scientifiques et techniques de celles socio-économiques et politiques ; l'émergence de la biologie de synthèse est hybride, touchant à la fois la connaissance et la société. Cette caractéristique n'est pas inédite. Aussi, plutôt que de mettre l'accent sur une nouveauté radicale, il est primordial d'étudier l'émergence d'un point de vue historique pour identifier des récurrences, concernant par exemple les formes de réglementation de la nouveauté ou la propriété intellectuelle.

Ces observations peuvent aussi inspirer d'autres axes de recherche, notamment sur les conditions et modalités de la gouvernance de la biologie de synthèse. Dire que la biologie de synthèse est hybride, c'est admettre qu'elle ne peut pas être gouvernée par les seuls scientifiques (sciences sociales incluses). Il s'agit donc d'identifier les acteurs, les forces, les rapports de pouvoir. Qui finance la biologie de synthèse ? Comment sont faits les choix d'orientation ? Quelles visions du monde, quels imaginaires les inspirent ?

En même temps, il est nécessaire de ne plus voir la biologie de synthèse comme une évidence. Sa définition elle-même n'est pas stabilisée et unifiée. Se posent alors de nombreuses questions. Pourquoi parle-t-on de biologie de synthèse ? Quelle est l'origine de la notion ? Quels en sont les principes de démarcation ? On ne pourra saisir la spécificité des problèmes de gouvernance suscités par la biologie de synthèse qu'en y répondant.

D'autres objets de recherche sont possibles : comment, par exemple, la biologie de synthèse bouscule-t-elle la notion de frontière entre vivant et inanimé, naturel et artificiel ? L'idée essentielle est que la constitution de tels objets de recherche est une condition nécessaire pour susciter l'intérêt des biologistes à l'égard des sciences sociales. C'est sur cette base que se noueront des collaborations fructueuses et cela passe par une prise de distance par rapport à la démarche de chercheurs embarqués.

Cette prise de recul n'apporte pas la garantie d'un développement sans contestation des technologies émergentes. Mais elle permettra de produire des connaissances essentielles sur les enjeux qui se tissent autour de la biologie de synthèse et sur les relations entre sciences et société. ■

La supersymétrie, une théorie en crise ?

Joseph Lykken et Maria Spiropulu

Les théories supersymétriques promettent une meilleure compréhension du monde des particules élémentaires. Mais aucun indice de supersymétrie n'est apparu dans les expériences récentes réalisées au CERN. Cette idée séduisante risque-t-elle d'être abandonnée ?

Ce matin de l'été 2012, à l'aube, nous en étions déjà à notre troisième expresso quand la liaison vidéo a été établie. Nous pouvions entamer une de nos réunions régulières de l'équipe *Razor*, nous à l'Institut de technologie de Californie et nos collègues au CERN, à Genève. Le groupe est constitué de physiciens chargés d'analyser certaines données du LHC (*Large Hadron Collider*, ou Grand collisionneur de hadrons). L'équipe s'intéresse plus particulièrement aux résultats de collisions de protons de haute énergie au cœur de l'expérience CMS (Solenóide compact à muons, voir la figure 1), à la recherche d'événements dits exotiques qui apporteraient les premières preuves de la supersymétrie. Cette théorie de la matière développée il y a près de 45 ans est censée résoudre certains problèmes fondamentaux du modèle standard de la physique des particules et expliquer la nature de la mystérieuse matière noire de l'Univers. Or malgré des décennies de recherche, aucune preuve expérimentale de la supersymétrie n'est apparue à ce jour.

Au CERN, Maurizio Pierini, le chef de l'équipe *Razor*, montrait un graphique de nouvelles données ; à neuf fuseaux horaires de distance, nous pouvions voir les sourcils froncés de tous les membres présents dans la salle : il y avait une anomalie. « Quelqu'un devrait examiner cet événement », déclara M. Pierini. En quelques minutes, nous avions tous deux récupéré sur un ordinateur portable tout l'enregistrement de cette collision.

1. LE DÉTECTEUR CMS, au grand collisionneur de hadrons (LHC) du CERN, entamera une nouvelle campagne de recherche de preuves de l'existence de la supersymétrie à partir de 2015.

L'ESSENTIEL

- Les théories de la supersymétrie postulent qu'à chaque espèce de particule correspond un « superpartenaire » de masse élevée.
- La supersymétrie résout certains problèmes inhérents au modèle standard de la physique des particules.
- La nature de la matière noire reste inconnue, mais la supersymétrie suggère des candidats.
- Les expériences au LHC, le grand collisionneur de protons du CERN, n'ont pas révélé jusqu'ici d'indices de supersymétrie. Les théoriciens envisagent des alternatives.

CERN