

SCIENCE & PSEUDO-SCIENCES

JANVIER / MARS 2019 - 5 €

Association pour l'information scientifique - Afis

OGM : 20 ans de progrès, 20 ans de controverses



Traces de produits dangereux dans l'alimentation
Faut-il s'en inquiéter ?

De l'éсотérisme à la raison
Une ancienne gourou témoigne

Former les médecins à l'esprit critique

COMITÉ DE RÉDACTION

Jean-Paul Krivine - Rédacteur en chef
Brigitte Axelrad, Ariane Beldi, Yves Brunet, Martin Brunschwig,
Thierry Charpentier, Hervé Le Bars, Frédéric Lequèvre,
Philippe Le Vigouroux, Kévin Moris, Antoine Pitrou,
Émeric Planet, Sébastien Point, Jérôme Quirant

Corrections, illustrations : **Yves Brunet** (secrétaire de rédaction), **Jessica Arroyo,**
Brigitte Axelrad, Martin Brunschwig
Conception graphique et mise en page : **Tanguy Ferrand**

SCIENCE
& **PSEUDO-SCIENCES**

Imprimé : Rotimpress (Espagne)
N° commission paritaire : 0421 G 87957
ISSN 0982-4022. Dépôt légal : à parution
Directeur de la publication : Roger Lepeix

PARRAINAGE SCIENTIFIQUE

Jean-Pierre Adam (archéologue, CNRS, Paris). **Jean-Claude Artus** (professeur émérite des universités, ancien chef de service de médecine nucléaire). **André Aurengo** (professeur des universités, praticien hospitalier de biophysique et médecine nucléaire, membre de l'Académie nationale de médecine, Paris). **Philippe Boulanger** (physicien, fondateur de la revue *Pour la science*). **Jacques Bouveresse** (philosophe, professeur émérite au Collège de France). **Yves Bréchet** (physico-chimiste, membre de l'Académie des sciences). **François-Marie Bréon** (climatologue, chercheur au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement). **Jean Bricmont** (professeur de physique théorique, université de Louvain-la-Neuve, Belgique). **Henri Broch** (professeur de physique et de zététique, Nice). **Gérald Bronner** (sociologue, professeur à l'université de Paris Diderot). **Henri Brugère** (docteur vétérinaire, professeur émérite de physiologie thérapeutique à l'École nationale vétérinaire d'Alfort). **Suzy Collin-Zahn** (astrophysicienne, directeur de recherche honoraire à l'Observatoire de Paris-Meudon). **Yvette Dattée** (directeur de recherche honoraire de l'Inra, membre de l'Académie d'agriculture de France). **Jean-Paul Delahaye** (professeur à l'université des Sciences et Technologies de Lille, chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille). **Marc Fellous** (professeur de médecine, Institut Cochin de génétique moléculaire). **Nicolas Gauvrit** (enseignant-chercheur en psychologie). **Marc Gentilini** (professeur émérite des maladies infectieuses et tropicales Pitié Salpêtrière, Paris, président honoraire de l'Académie nationale de médecine). **Léon Guéguen** (nutritionniste, directeur de recherche honoraire de l'Inra, membre de l'Académie d'agriculture de France). **Catherine Hill** (épidémiologiste). **Louis-Marie Houdebine** (biologiste, directeur de recherche honoraire à l'Inra). **Bertrand Jordan** (biologiste moléculaire, directeur de recherche émérite au CNRS). **Philippe Joudrier** (biologiste, directeur de recherche à l'Inra). **Jean de Kervasdoué** (professeur au Conservatoire national des arts et métiers, membre de l'Académie des technologies). **Marcel Kuntz** (biologiste, directeur de recherche au CNRS). **Hélène Langevin-Joliot** (physicienne nucléaire, directrice de recherche émérite au CNRS). **Guillaume Lecointre** (professeur au Muséum national d'histoire naturelle, directeur du département Systématique et évolution). **Jean-Marie Lehn** (professeur émérite à l'université de Strasbourg et professeur honoraire au Collège de France, prix Nobel de chimie). **Hervé Maisonneuve** (médecin en santé publique). **Gérard Pascal** (nutritionniste et toxicologue, directeur de recherche honoraire de l'Inra, membre des Académies d'agriculture et des technologies). **Jean-Claude Pecker** (professeur honoraire d'astrophysique théorique au Collège de France, membre de l'Académie des sciences). **Anne Perrin** (docteur en biologie). **Franck Ramus** (directeur de recherche au CNRS, Institut d'études de la cognition, École normale supérieure, Paris). **Jean-Pierre Sauvage** (professeur émérite à l'université de Strasbourg, membre de l'Académie des sciences, prix Nobel de chimie). **Arkan Simaan** (professeur agrégé de physique, historien des sciences). **Alan Sokal** (professeur de physique à l'université de New York et professeur de mathématiques à l'University College de Londres). **Hervé This** (physico-chimiste Inra, AgroParisTech, directeur scientifique de la Fondation Science & Culture Alimentaire, membre de l'Académie d'agriculture de France). **Virginie Tournay** (politologue, directeur de recherche au CNRS, CEVIPOV, Sciences Po). **Jacques Van Rillaer** (professeur de psychologie, Belgique).

Science & pseudo-sciences
est édité par l'Afis



Toute correspondance :
secretariat@afis.org
Afis, 4 rue des Arènes 75005 Paris
Site Internet : afis.org

Association française pour l'information scientifique

CONSEIL D'ADMINISTRATION : **Roger Lepeix** (président), **Brigitte Axelrad** (vice-présidente), **François-Marie Bréon, Jean-François Chevalier** (secrétaire général), **Laurent Dauré, Christophe de la Roche Saint André, Samuel Demeulemeester, André Fougeroux, Jacques Guarinos, Jean-Jacques Ingremeau** (trésorier-adjoint), **Jean-Paul Krivine, Hervé Le Bars, Igor Ziegler** (trésorier).

ANCIENS PRÉSIDENTS : **Michel Rouzé** (fondateur, 1968-1999), **Jean-Claude Pecker** (1999-2001), **Jean Bricmont** (2001-2006), **Michel Naud** (2006-2012), **Louis-Marie Houdebine** (2012-2014), **Anne Perrin** (2014-2018).

Image couverture : photomontage Laurie de Brondeau (Ib-illustrations),
image © bonetta, chengyuzheng, onurdongel (istockphoto) et Dmitry Kotin (Dreamstime.com)

OGM : une source de progrès pour la santé (*One Health*)



Catherine Regnault-Roger est professeur émérite à l'université de Pau et des Pays de l'Adour (UMR 5254), membre de l'Académie d'agriculture de France et membre correspondant de l'Académie nationale de pharmacie.



© Lestertairpolling - Dreamstime.com

Dans un contexte de défiance du grand public vis-à-vis des OGM (organismes génétiquement modifiés), il nous semble utile de rappeler les progrès que ces derniers apportent aujourd'hui et peuvent apporter dans le futur pour la santé¹, prise dans une approche globale, telle que définie par l'initiative internationale *One Health* : santé humaine, animale, végétale et environnementale.

Notons qu'au-delà des OGM, apparaissent aujourd'hui des organismes génétiquement édités (OGE) issus des nouvelles technologies, qui mettent en jeu des mécanismes innovants de transformation du génome (voir encadré). Avec plusieurs de ces techniques, il devient impossible de distinguer si le génome de la plante ainsi produite est l'œuvre d'une évolution naturelle dans le biotope (par exemple une mutation spontanée provoquée par le rayonnement

ambiant d'UV) ou d'une manipulation de laboratoire. Quelles opportunités ces organismes génétiquement édités ouvrent-ils pour notre planète et pour l'humanité ?

Progrès en santé humaine

L'utilisation des OGM à des fins thérapeutiques fait l'objet d'un large consensus, à tel point que l'opinion publique n'est plus consciente que le traitement de certaines maladies a été amélioré par des OGM issus des biotechnologies. Les organismes génétiquement édités, plus récents, ouvrent également des perspectives immenses en santé publique, qui pourraient aboutir à sauver de nombreuses vies. Ces progrès résultent de différentes approches : production de protéines pharmaceutiques, adaptation d'organes animaux pour une transplantation chez l'Homme, lutte contre les vecteurs de maladies infectieuses et thérapie génique pour des maladies génétiques rares.

Dès le début des années 2000, des progrès thérapeutiques apportés par les OGM étaient établis [2]. Citons par exemple la synthèse d'in-

¹ On trouvera dans [1] un travail de synthèse réalisé par les trois académies américaines de sciences, technologies et médecine, reposant sur l'analyse de plus de 1 000 publications scientifiques portant sur des plantes cultivées obtenues par génie génétique.

suline humaine pour soigner le diabète, le traitement du nanisme par l'hormone de croissance ou la production de vaccins. Ils résultent de la modification génétique de micro-organismes ou de cellules, cultivés ensuite en incubateur pour une production industrielle d'hormones humaines (voir encadré).

Des protéines humaines thérapeutiques produites par les animaux GM²

On peut aujourd'hui obtenir des protéines d'intérêt pharmaceutique à partir de lait d'animaux génétiquement modifiés. Ainsi, depuis 2006, un facteur anticoagulant est obtenu à partir du lait de chèvre et utilisé dans certains traitements pour les accidents thromboemboliques ou en prévention des thromboses veineuses. En 2010, une protéine utilisée dans la prise en charge de l'angioœdème héréditaire, une maladie génétique rare, a été produite dans du lait de lapine. Plus récemment, en 2017, c'est une protéine ayant des effets contre le choc septique qui l'a été dans le lait du même animal [3].

Des plantes GM produisant des médicaments

Il existe également des plantes génétiquement modifiées productrices de molécules médicamenteuses. Elles sont cultivées dans des serres ou en plein champ. On utilise aussi des cellules végétales transformées en fermenteur.

² Génétiquement modifiés

Ainsi la maladie de Gaucher, une maladie rare due à un déficit enzymatique, est traitée par une protéine recombinante (la taliglucérase alfa) produite par des cultures cellulaires de carotte transgénique. Un autre exemple est la production d'anticorps anti-Ebola produits à partir du tabac [4].

Mais l'exemple le plus médiatisé est celui du « riz doré », une variété de riz génétiquement modifiée pour produire du β -carotène, permettant de compenser les avitaminoses A et de lutter contre la xérophtalmie qui se caractérise par une perte de la vision. Au cœur d'une controverse, victime de saccages d'essais expérimentaux aux Philippines, le riz doré a été l'objet d'une large campagne de dénigrement. En réaction, 107 lauréats du prix Nobel se sont adressés à l'ONU pour désavouer la campagne de *Greenpeace* à son encontre. Depuis le début 2018, l'Australie et la Nouvelle-Zélande, suivies par le Canada, autorisent la commercialisation du riz doré pour une consommation alimentaire [5].

Au-delà des OGM, les nouvelles technologies d'édition du génome sont actuellement explorées pour l'adaptation d'organes animaux à des fins de transplantation chez l'Homme. En effet, le nombre de patients qui ont besoin d'une transplantation d'organe croît plus vite que la disponibilité des organes humains. La greffe

Les nouvelles techniques de modification du génome (NBT)

Les nouvelles techniques d'édition du génome sont incluses dans un ensemble de techniques appelées NBT (*New Breeding Techniques*) qui améliorent le ciblage moléculaire des modifications génétiques. Ces techniques aux noms peu évocateurs (mutagenèse dirigée par oligonucléotides et nucléases, cisgenèse, intragenèse, nucléases à doigt de zinc ou ZFN, etc.) sont très variées dans leurs mécanismes d'action et quelques-unes sont déjà dépassées car trop chères et pas assez précises. Plusieurs mettent en œuvre des enzymes qui

coupent le génome en des endroits très précis et ont obtenu des succès dans le domaine de la santé (la plus médiatisée étant CRISPR-Cas9). Certaines d'entre elles permettent la réécriture d'une partie du génome : on parle alors d'édition du génome. Le Haut Conseil des biotechnologies a publié en 2016 et 2017 des fiches techniques et émis un avis sur ces nouvelles biotechnologies [1].

Références

[1] Avis du HCB sur les NPBT, 2 novembre 2017. Sur hautconseil-des-biotechnologies.fr

d'organes de porc pourrait être un palliatif. Toutefois, de nombreux antigènes déclenchent des rejets avec une intensité variable chez le patient. L'utilisation de la technique CRISPR-Cas9 [6] permet de diminuer considérablement les antigènes porcins responsables du rejet des organes de porc.

Thérapie génique

Ces nouvelles technologies d'édition du génome permettent également de soigner des maladies génétiques héréditaires. Jean-Yves le Déaut, qui a été président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques pendant près de 30 ans, souligne que 80 % des 8 000 maladies génétiques rares étant considérées comme monogéniques, « *il suffirait de corriger le seul gène défectueux pour faire disparaître la maladie.* » [7] La thérapie génique constitue ainsi un espoir. Déjà des essais cliniques sont en cours. En Angleterre, deux jeunes enfants de 11 et 18 mois atteints d'un cancer, une leucémie lymphoblastique aiguë incurable, ont reçu des injections de cellules immunitaires modifiées par édition du génome et ne développent plus de signes de la maladie ; leur état de santé s'est amélioré [8].

D'autres essais anticancéreux sont en cours en Chine et aux États-Unis, utilisant des cellules génétiquement éditées par CRISPR-Cas9. En France, l'Institut des maladies génétiques *Imagine* développe une nouvelle approche thérapeutique avec la technique CRISPR-Cas9 pour deux anomalies génétiques de l'hémoglobine (la bêta-thalassémie et la drépanocytose) qui affectent cent millions de personnes porteuses saines ou malades dans le monde [9]. En Californie, des essais d'injection de cellules génétiquement éditées par la technique des nucléases à doigts de zinc ont été menés en septembre 2018 sur des patients atteints du syndrome de Hunter, une maladie génétique dégénérative rare et orpheline (c'est-à-dire sans traitement) caractérisée par un déficit enzymatique qui cause une accumulation de sucres complexes dans les tissus pulmonaires, cérébraux et cardiaques et les endommagent [10]. Ces études très récentes en sont, pour la plupart, au stade du laboratoire et des essais de recherche cliniques ; les résultats obtenus doivent être examinés en fonction des bénéfices (régression de la maladie) et des risques (effets secondaires indésirables).

Fin novembre 2018, une thérapie génique germinale expérimentale a été révélée en Chine : des embryons ont été traités par CRISPR-Cas9 dans le but d'augmenter leur résistance au sida (voir encadré « La naissance des "bébés CRISPR" »).

Maladies transmises par les moustiques

Enfin, les techniques d'édition du génome sont également prometteuses pour les maladies transmises par les moustiques – paludisme, dengue, chikungunya, zika –, qui touchent plusieurs centaines de millions de personnes. En 2016, selon l'OMS, 216 millions de personnes ont été atteintes de paludisme et 445 000 en sont mortes. Récemment, la technique CRISPR-Cas9 associée au forçage génétique a été utilisée pour modifier le génome de moustiques qui transmettent un parasite, agent du paludisme : ils ne peuvent plus se reproduire et les populations testées ont disparu en sept à onze générations [11]. Ce premier succès de laboratoire doit s'accompagner de recherches ultérieures d'adaptation sur le terrain en conditions réelles, et ne manquera pas de susciter un débat éthique sur la nécessité d'éradiquer des populations de moustiques pour lutter contre le paludisme.

Progrès en santé animale

Les applications de la transgénèse chez les animaux restent modestes. Les différences biologiques entre espèces animales rendent difficiles les transferts de gènes spécifiques, par ailleurs d'expression variable selon l'hôte receveur, ce qui explique qu'un faible nombre de projets (une quarantaine environ) ait vu le jour entre 1985 et 2015 [3]. Ainsi, en pisciculture, il aura fallu plus de 25 ans à la société américaine *Aquabounty Technologies* pour mettre au point un saumon transgénétique contenant une quantité accrue d'hormone de croissance permettant une croissance accélérée de l'animal et moins de consommation de nourriture.

En revanche, les nouvelles technologies d'édition du génome permettent d'obtenir des modifications génétiques ciblées, plus précises et, surtout, des résultats plus rapides pour améliorer la santé animale. Un exemple représentatif est celui de la peste porcine africaine qui contamine les troupeaux de porcs de plusieurs pays. Un gène conférant une résistance à cette

La naissance des « bébés CRISPR »

He Jiankui, chercheur chinois, a annoncé la naissance de deux jumelles porteuses d'un ADN modifié pour les rendre résistantes au virus du sida. Nées d'un père atteint de la maladie mais d'une mère séronégative, ces « bébés CRISPR » n'étaient pas infectés. Pour Jennifer Doudna, l'une des chercheuses ayant mis au point la technique CRISPR-Cas9 qui a été utilisée, « *il est impératif que les scientifiques responsables de ces travaux expliquent clairement pourquoi ils ont rompu le consensus mondial voulant que la technique CRISPR-Cas9 ne soit pas appliquée à l'heure actuelle à des lignées germinales humaines* ». Elle rappelle que « *le rapport clinique n'a pas fait l'objet d'une publication dans la littérature scientifique évaluée par les pairs* » et qu'en conséquence, « *l'exactitude du processus d'édition des gènes ne peut pas être évaluée* ». Enfin, elle s'inquiète d'un éventuel impact négatif de cette initiative sur « *les nombreux importants essais cliniques [en cours] pour traiter et guérir les maladies chez les adultes et les enfants* »¹.

En France, deux académies ont réagi dans le même sens².

Déclaration commune de l'Académie nationale de médecine et de l'Académie des sciences

« *Ayant pris connaissance de l'annonce faite par le Dr He Jiankui de la naissance de deux enfants après modification du gène CCR5 à l'état embryonnaire, l'Académie nationale de médecine et l'Académie des sciences condamnent l'initiative de ce scientifique qui ne protège*

pas d'une éventuelle infection par le VIH et qui suscite de nombreuses questions scientifiques, médicales et éthiques non résolues à ce jour.

De nouveaux outils moléculaires ouvrent des espoirs pour prévenir ou traiter des pathologies. Leur utilisation chez l'être humain ne doit être envisagée qu'avec la plus grande prudence.

La modification du génome d'embryons humains suscite des interrogations majeures dans la mesure où elle sera transmise à la descendance et aux générations suivantes. Elle ne saurait être mise en œuvre quand le but recherché peut être atteint par d'autres moyens comme c'est le cas pour la prévention d'une infection par le VIH.

Dans l'état actuel des connaissances, les conditions ne sont pas réunies pour ouvrir la voie à la naissance d'enfants dont le génome a été modifié à l'état embryonnaire.

Si cette démarche était entreprise dans l'avenir ce ne devrait l'être qu'après approbation du projet par les instances académiques et éthiques concernées et un débat public approfondi.

L'Académie nationale de médecine et l'Académie des sciences tiennent néanmoins à réaffirmer l'importance pour l'être humain des recherches responsables faisant appel aux technologies modifiant l'ADN, y compris quand elles sont menées chez l'embryon, et leur apportent leur soutien. »

SPS

¹ Doudna J, "Update: CRISPR co-inventor responds to claim of first genetically edited babies", 26 novembre 2018. Sur news.berkeley.edu

² « Une déclaration de l'Académie nationale de médecine et de l'Académie des sciences à propos de l'annonce faite par le Dr He Jiankui », 28 novembre 2018. Sur academie-sciences.fr/

maladie a été identifié chez des lignées de porcs africains. On aurait pu tenter, par croisements successifs, de transférer le gène de résistance aux porcs sensibles, mais cela aurait nécessité au moins une dizaine d'années de sélection génétique conventionnelle : c'était trop long et trop coûteux. En 2013, les techniques TALEN et

ZFN ont permis de modifier en une seule opération le gène sensible en incorporant l'allèle du gène résistant à la maladie, apportant ainsi une réponse à cette maladie porcine [3].

La technique TALEN a aussi été utilisée pour inhiber le gène responsable de la production d'un

Exemples de progrès thérapeutiques apportés par les OGM

- **Synthèse d'insuline humaine pour traiter le diabète.** L'insuline de synthèse a été commercialisée en 1982. Auparavant, les diabétiques devaient recourir à de l'insuline de porc extraite du pancréas de l'animal qui, bien que très semblable à l'insuline humaine, en diffère par un acide aminé et pouvait provoquer des accidents thérapeutiques. L'insuline humaine d'origine bactérienne est synthétisée par une bactérie très répandue, *Escherichia coli*, génétiquement modifiée par génie génétique pour y inclure le gène humain codant cette hormone. Cette insuline, totalement identique à celle que produit le corps humain, réduit considérablement les risques d'allergie chez les patients.



© Pogonici | Dreamstime.com

- **Production d'hormone de croissance pour traiter le nanisme.** Longtemps extraite des hypophyses de cadavres humains, cette hormone de croissance pouvait être infectée par divers virus ou prions. C'est par exemple le cas avec un prion responsable de la maladie de Creutzfeldt-Jakob, une encéphalopathie spongiforme subaiguë, maladie neurodégénérative qui engendre des troubles psychiques évoluant vers la démence (chez l'animal, on parle de tremblante du mouton ou de maladie de la vache folle - encéphalopathie spongiforme bovine). Ces maladies ont fait l'actualité particulièrement dans les années 1985-2004 dans ce qu'on a appelé « la crise de la vache folle ». Depuis 1988, l'hormone de croissance prescrite en France n'est plus extraite des cadavres humains, mais produite par génie génétique à partir de micro-organismes génétiquement modifiés, limitant les contaminations indésirables.

- **Production d'érythropoïétine pour les patients souffrant d'anémie et d'insuffisance rénale.** L'érythropoïétine (ou EPO) est bien connue dans certains milieux sportifs où le dopage est répandu. C'est une hormone naturelle rénale qui agit sur la moelle osseuse pour stimuler la fabrication

de l'hémoglobine et des globules rouges et améliorer ainsi le transport de l'oxygène. Son administration est indiquée chez les patients souffrant d'anémie et d'insuffisance rénale. Depuis 1983, les méthodes de génie génétique permettent de produire en laboratoire cette protéine recombinante¹ humaine qui fait aujourd'hui partie de l'arsenal thérapeutique hospitalier.

- **La production de vaccins.** Le génie génétique a aussi révolutionné la façon dont sont obtenus les vaccins. Pendant longtemps, on a vacciné par administration d'agents pathogènes affaiblis ou tués, ou des fragments de pathogènes ou d'anticorps actifs contre l'agent infectieux ciblé, de manière à ce que le corps puisse réagir dès la phase d'invasion du pathogène. La mise au point de ces vaccins était compliquée et longue. Depuis 1983, plusieurs vaccins, celui de l'hépatite B ou contre la grippe mais aussi contre la variole, l'hépatite A et la poliomyélite, le tétanos ou le vaccin HPV (contre le papillomavirus humain agent de cancers), sont produits par génie génétique à partir de cultures cellulaires ou de levures.

¹ Produite par une cellule dont l'ADN a été modifié par génie génétique.

Le maïs Bt MON 810

Le maïs Bt MON 810¹ est génétiquement modifié pour synthétiser une protéine à caractère insecticide qui perturbe le fonctionnement digestif de deux ravageurs majeurs de cette culture, la pyrale du maïs et la sésamie. Dans les parcelles ainsi cultivées, les populations de ces insectes sont réduites de plus de 90 %. Outre la limitation des dégâts sur les épis et les tiges de maïs, on observe un autre effet bénéfique avec la réduction de la présence de champignons pathogènes agents de fusarioses et à l'origine de mycotoxines extrêmement délétères, source de troubles digestifs chez les jeunes porcelets

¹ Appelé ainsi car transformé par une transgénèse opérée avec la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt) ; MON 810 est le nom de code de la transformation.

d'élevage [1], voire de troubles endocriniens et de cancers potentiellement mortels chez l'Homme. Ce risque est émergent en Europe et aggravé par le réchauffement climatique, propice à l'installation de champignons qui prolifèrent normalement dans les pays tropicaux comme les *Aspergillus* qui secrètent les très dangereuses aflatoxines [2].

Références

- [1] Rossi F, Morlacchini M, Fusconi G, Pietri A, Piva G. "Effects of insertion of Bt gene in corn and different fumonisin content on growth performance of weaned piglets", *Italian Journal of Animal Science*, 2011, 10:19.
- [2] Regnault-Roger C, « Comment prévenir le risque de mycotoxines dans la production agricole ? », *SPS*, n° 322, octobre 2017. Sur afis.org.

facteur (la myostatine) qui limite la croissance des tissus musculaires et permet d'augmenter la masse musculaire des animaux traités. Et le système CRISPR-Cas9 a permis d'introduire chez le porc un gène manquant afin d'obtenir ainsi une meilleure thermorégulation permettant à l'animal de mieux faire face au froid, ce qui réduit la mortalité des porcelets en hiver et augmente le bien-être animal [12].

Mais les recherches les plus spectaculaires en matière de bien-être animal sont celles qui portent sur l'obtention de vaches sans corne. Afin de limiter les blessures des bêtes et des vachers et les pertes qui en résultent, l'écornage se développe. Mais cette pratique est éprouvante pour les animaux et les hommes. Or il existe des races de vaches sans corne, par exemple les Angus dont le génome est porteur d'un gène dominant sans corne qui se transmet aux descendants. À l'inverse, une des races les plus prisées en raison de sa forte productivité laitière, la race Holstein, est pourvue de cornes. Si les sélections génétiques classiques s'opèrent sur une vingtaine d'années, la technique TALEN, a permis d'obtenir rapidement des vaches Holstein sans corne, et les perspectives ouvertes représentent une amélioration significative du bien-être animal. Cependant, les promoteurs de

ces études agissent avec prudence dans la diffusion de leurs résultats afin de ne pas être la cible d'activistes anti-biotechnologies [13].

Progrès en santé végétale

C'est en 1983, dans un laboratoire belge, que fut obtenue la première plante transgénique, un tabac. Aujourd'hui, ce sont plus de 189,8 millions d'hectares répartis dans 24 pays qui sont cultivés avec des variétés transgéniques [14]. Quatre principales espèces dominent : le maïs, le cotonnier, le soja et le canola ou colza de printemps. Elles ont été modifiées pour permettre de mieux résister aux attaques des insectes ravageurs (13 % des surfaces cultivées) ou d'être désherbées plus facilement (47 % des surfaces) ; 41 % de ces surfaces sont cultivées avec des variétés polyvalentes capables de résister aux insectes ravageurs et d'être en même temps désherbées plus facilement (empilage de gènes) [14]. La santé de ces cultures est améliorée : moins d'adventices (mauvaises herbes) en concurrence pour l'eau et les nutriments sur la parcelle, diminution des blessures causées à la plante par les insectes ravageurs, ce qui limite les possibilités d'installation des agents pathogènes et par conséquent des maladies. L'exemple du maïs Bt MON 810, la seule PGM cultivée dans l'Union européenne (en 2017 en Espagne sur

124 227 ha et au Portugal sur 7 308 ha) est, à cet égard, éloquent (voir encadré).

Des travaux ont été réalisés pour élargir le champ de lutte à d'autres ravageurs et d'autres maladies, ainsi que pour protéger de nouvelles espèces végétales. Un maïs a été modifié par transgénèse pour résister aux coléoptères ravageurs des sols comme la chrysomèle, qui affecte les racines de la plante. Cet insecte a été introduit accidentellement en Europe en 1992, et a été détecté en France en 2002 : il est devenu invasif [15]. D'autres études sont conduites pour rendre, par transgénèse à partir d'espèces sauvages plus robustes, des pommes résistantes à la tavelure, le manioc résistant à des virus, le bananier résistant à un *Fusarium* ou encore la pomme de terre résistante au mildiou.

Un des succès remarquables ces dernières années est la plantation à Hawaï de papayers résistants à une maladie causée par un virus (le *Papaya ringspot virus*). Des pruniers génétiquement modifiés ont été développés pour lutter contre la sharka, la maladie virale la plus dévastatrice du genre *Prunus*. D'autres études sont en cours pour que les variétés puissent répondre aux changements climatiques avec une meilleure adaptation au déficit en eau (sécheresse), à un taux élevé de salinité des sols ou au gel.

Au-delà de la transgénèse, les nouvelles technologies évoquées précédemment ont également démontré leur fort potentiel en amélioration des plantes et en santé du végétal. Ainsi, une mutation chez le riz est obtenue (par la technique TALEN) pour le rendre résistant aux bactéries pathogènes du genre *Xanthomonas*. D'autres cultures sont également concernées : à côté des colza, soja et maïs, les tomates, pommes de terre, l'orge, la cameline et le blé font ainsi l'objet de recherches. Les caractères étudiés concernent l'amélioration des rendements, la résistance aux maladies (virales, fongiques et bactériennes) et aux stress environnementaux (froid, sel, sécheresse) [4].

Progrès pour l'environnement

Logiquement, en leur conférant par amélioration génétique une plus grande résistance aux effets de leurs bioagresseurs, on permet une diminution de l'usage des outils de protection

des plantes que sont les traitements phytopharmaceutiques. Pour le maïs Bt MON 810 par exemple, il est possible de ne plus pulvériser d'insecticides contre la pyrale et la sésamie : la plante se protège elle-même à tous les stades de son développement. Ainsi, une réduction spectaculaire de la quantité d'insecticides a été documentée aux États-Unis dans le cas du maïs génétiquement modifié pour une résistance à des insectes [16]. La diminution du nombre de passages d'engins agricoles associés aux techniques culturales simplifiées est en outre de nature à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, une augmentation de la biodiversité de l'entomofaune (insectes) a été observée en Chine sur des parcelles agricoles de cotonnier génétiquement modifié [17]. La création d'espèces transgéniques résistantes à des fléaux qui menaçaient de disparition les espèces conventionnelles (exemples : les pruniers et papayers d'Hawaï) est aussi un facteur de préservation de la biodiversité agricole.

Conclusion

Les applications des techniques de modification génétique des organismes se révèlent multiples et permettent déjà de mieux préserver la santé humaine, animale, la santé des végétaux agricoles et le biotope. Dans un monde soumis aux contraintes du changement climatique et de l'essor démographique, les défis auxquels l'Homme doit faire face en ce début de XXI^e siècle nécessitent de ne pas se priver d'outils biotechnologiques susceptibles d'apporter des solutions nouvelles pour préserver la santé du monde (*One Health*). //

Catherine Regnault-Roger

L'auteur déclare ne pas avoir de conflit d'intérêt en rapport avec cet article. Les opinions exprimées n'engagent nullement les instances auxquelles elle appartient.

Références

- [1] "Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects", National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, USA, 2016.
- [2] Houdebine L-M, *OGM – Le vrai et le faux*, éditions Le Pomnier, 2003.
- [3] Houdebine L-M, « Les nouveaux outils des biotechnologies animales », in Regnault-Roger C, Houdebine L-M, Ricroch A (dir),

Au-delà des OGM, Science-Innovation-Société, Presses des Mines, 2018, 67-92.

[4] Ricroch A, « Biotechnologies végétales : applications et perspectives agricoles », in Regnault-Roger C, Houdebine L-M, Ricroch A (dir), *Au-delà des OGM*, Science-Innovation-Société, Presses des Mines, 2018, 93-114.

[5] « Et si un OGM aidait à sauver des vies ? » (dossier), *SPS* n° 307, janvier 2014. Sur afis.org.

[6] Kaplan J-C, « CRISPR-Cas9 : un scalpel génomique à double tranchant », *SPS* n° 320, avril 2017. Sur afis.org.

[7] Le Déaut J-Y, Procaccia C, « Une réflexion parlementaire pour l'avenir », in Regnault-Roger C, Houdebine L-M, Ricroch A (dir), *Au-delà des OGM*, Science-Innovation-Société, Presses des Mines, 2018, 181-196.

[8] Le Page M, "Gene editing has saved the lives of two children with leukaemia", *New scientist*, 27 janvier 2017. Sur newscientist.com

[9] « Découverte d'une thérapie d'avenir pour les hémoglobino-pathies », communiqué de presse de l'Inserm, 26 avril 2018.

[10] Ledford H, "First test of in-body gene editing shows promise", *Nature news*, 5 septembre 2018. Sur nature.com.

[11]. Kyrou K et al., "A CRISPR-Cas9 gene drive targeting *doublesex* causes complete population suppression in caged *Anopheles gambiae* mosquitoes", *Nature Biotechnology*, 2018, 36:1062-1066.

[12] Zheng Q et al., "Reconstitution of UCP1 using CRISPR/Cas9 in the white adipose tissue of pigs decreases fat deposition and improves thermogenic capacity", *PNAS*, 2017, 114:E9474-E9482.

[13] Regalado A, "On the Horns of the GMO Dilemma", *MIT Technology Review*, 2 septembre 2014. Sur technologyreview.com

[14] "Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017: Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years", ISAAA Brief 53. Sur isaaa.org

[15] Derridj S, Zagatti P, « La chrysmèle du maïs est en France », *Insectes*, 2002, 127:5-7.

[16] Perry ED et al., "Genetically engineered crops and pesticide use in U.S. maize and soybeans", *Sci Adv*, 2016, 2:e160085.

[17] De Lacour G, « Le coton GM favorise la biodiversité, selon une étude chinoise », *Journal de l'environnement*, 15 juin 2012. Sur journaldelenvironnement.net

AU-DELÀ DES OGM - Science – Innovation – Société

Sous la direction de Catherine Regnault-Roger,
Louis-Marie Houdebine et Agnès Ricroch

Presses des mines, 2018, 213 pages, 25 €



Depuis une vingtaine d'années, les biotechnologies, tout spécialement les organismes génétiquement modifiés (OGM) agricoles, sont au cœur d'une controverse sociétale particulièrement vive

dans l'Union européenne. Elle a conduit à ce que la presque totalité de ses États membres refuse la mise en culture des variétés transgéniques alors que le reste du monde les cultive de manière croissante.

Au-delà de ce constat, cet ouvrage aborde l'avenir des biotechnologies à travers les nouvelles techniques d'édition du génome qui créent des OGE (organismes génétiquement édités) et dont la plus emblématique est le CRISPR-Cas9. En quoi ces nouvelles techniques, qui provoquent des changements contrôlés

dans le génome des organismes de manière beaucoup plus précise, sont-elles différentes des techniques utilisées pour l'obtention d'OGM ? Quelles sont leurs applications en productions animales et végétales et quelles perspectives ouvrent-elles dans une agriculture mondialisée ? Quels sont les termes du débat sociétal et éthique qu'elles suscitent et les enjeux de la réglementation qui leur sera appliquée ? Comment faire porter ces travaux dans la décision publique à un moment où la rationalité scientifique est de moins en moins audible ?

Dix auteurs d'horizons différents issus de la philosophie, de la sociologie, de la biologie et des sciences politiques, s'expriment en toute pluridisciplinarité sur ce sujet d'actualité en élargissant leur propos à la place qui est dévolue aujourd'hui à la science dans la société et dans la parole publique.

Présentation de l'éditeur



L'Association française pour l'information scientifique (Afis), créée en 1968, se donne pour but de promouvoir la science et d'en défendre l'intégrité contre ceux qui, à des fins lucratives ou idéologiques, déforment ses résultats, lui attribuent une signification qu'elle n'a pas ou se servent de son nom pour couvrir des entreprises charlatanesques.

L'Afis considère que la science ne peut résoudre à elle seule les problèmes qui se posent à l'Humanité, mais qu'on ne peut le faire sans avoir recours aux résultats de la science. Ainsi, elle assure la promotion de l'esprit critique et de la méthode scientifique et s'oppose aux tendances obscurantistes traversant la société.

L'Afis s'intéresse à tous les sujets aux interfaces entre science et société. Elle dénonce également les pseudo-sciences et leurs promoteurs (astrologie, paranormal, médecines fantaisistes, etc.) et les charlatans pourvoyeurs de l'irrationnel.

L'Afis appelle à une séparation claire entre l'expertise scientifique (ce que dit la science) et la décision (ce que la société choisit de faire). La prise de décision, qui intègre des jugements de valeur, est affaire de choix démocratiques ; elle est hors du champ d'action de l'association.

L'Afis est une association d'intérêt général ouverte à tous. Elle est indépendante et sans lien d'intérêt financier ou idéologique avec quelque entité que ce soit : gouvernement, parti politique, entreprise, etc. Ses comptes et sa gouvernance, soumis chaque année à l'approbation de ses adhérents en assemblée générale, sont présentés sur son site Internet en toute transparence.



Science et pseudo-sciences est la revue éditée par l'Afis. Elle est réalisée par une équipe de rédaction entièrement bénévole et publie des textes provenant d'auteurs très variés, scientifiques ou non-scientifiques, issus du monde académique, de la sphère économique ou, plus largement, de la société civile. Chaque auteur est présenté quant à ses activités professionnelles ou associatives en lien avec le contenu de son article. Aucun contributeur n'est rémunéré.

Des enjeux économiques et sociaux, politiques et moraux, et d'une façon générale sociétaux, conduisent certains acteurs à propager des informations scientifiquement fausses ou déformées, ou à attribuer indûment à des faits scientifiques des implications politiques ou morales. *Science et pseudo-sciences* apporte l'éclairage permettant à ses lecteurs de construire leurs propres opinions.

La science est un processus lent et continu. La rédaction de *Science et pseudo-sciences* se donne le temps pour prendre le recul nécessaire à l'analyse des faits et de leur signification.

Science et pseudo-sciences rejette le relativisme où toute hypothèse devrait se voir reconnue une part de vérité. L'état des connaissances issu d'un consensus est explicitement présenté. Dans les domaines de la santé et de l'environnement, les avis des agences sanitaires ou des institutions académiques sont toujours appelés.

Les faits et les résultats sont séparés, autant que possible, de l'interprétation. Les sources et les références, à l'appui des affirmations présentées dans les articles, sont toujours fournies, permettant aux lecteurs de les vérifier et d'approfondir le sujet. Les articles d'opinions sont clairement indiqués comme tels. Les articles signés ne reflètent pas nécessairement le point de vue de la rédaction.

FRANCE METRO : 5 € - BEL/LUX : 6 € - DOM : 6 € - ESP/PORT.
CONT. : 6 € - D : 6 € - CH : 8 FS - CAN : 7,99 \$ CAD - MAR : 55
MAD - NCAL/S : 950 CFP

