

FORCER L'AGRICULTURE

Comment les organismes modifiés par forçage génétique pourraient renforcer l'agriculture industrielle et menacer la souveraineté alimentaire





ETC group s'attache à résoudre les problèmes socio-économiques et écologiques liés aux nouvelles technologies qui pourraient avoir un impact sur les populations marginalisées du monde. Il opère au niveau politique mondial et collabore étroitement avec les organisations de la société civile (OSC) et les mouvements sociaux partenaires, notamment en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Le groupe ETC a son siège à Val David, au Canada, et à Davao, aux Philippines, ainsi que des bureaux à Mexico et à Guelph, au Canada.



ETC Group reçoit des soutiens du fonds coopératif de dons Frontier, du fonds CS, du fonds AgroEcology Fund, du 11th Hour Project, des fondations Threshold et Nell Newman pour son travail en cours sur la biologie de synthèse.

Contactez-nous à : www.etcgroup.org et par courrier électronique à etc@etcgroup.org

Conception du rapport : Cheri Johnson

Design/conception de la couverture/page de garde : Stig

Infographie des fermes génétiques : Garth Laidlaw



Fondation Heinrich Böll : Encourager la démocratie et défendre les droits de l'homme, prendre des mesures pour empêcher la destruction de l'écosystème mondial, faire progresser l'égalité entre les hommes et les femmes, assurer la paix par la prévention des conflits dans les zones de crise et défendre la liberté des individus contre un État et un pouvoir économique excessifs, tels sont les objectifs qui animent les idées et actions de la fondation Heinrich Böll. Nous entretenons des liens étroits avec le parti vert allemand (Alliance 90 / Les Verts) et, en tant que groupe de réflexion sur les visions et les projets verts, nous faisons partie d'un réseau international regroupant plus de 100 projets partenaires dans environ 60 pays. La Fondation Heinrich Böll travaille de manière indépendante et cultive un esprit d'ouverture intellectuelle. www.boell.de/en



Traduit par Yanick Lasica, avec le soutien de Sciences Citoyennes

Forcer L'agriculture

Comment les organismes modifiés par forçage génétique pourraient renforcer l'agriculture industrielle et menacer la souveraineté alimentaire

février, 2019

Table des matières

Résumé	2
1. Introduction	4
2. Une solution technique de déjà-vu	6
3. Derrière les oiseaux rares	8
4. Les perspectives du forçage génétique influent sur l'avenir de l'agriculture	13
a) Mauvaises herbes et parasites	13
i. Mouches à vinaigre – <i>Drosophila suzukii</i>	17
ii. Papillon de nuit	18
iii. Pucerons	19
iv. Cicadelle	19
v. Tribolium rouge de la farine	19
vi. Aleurode	20
vii. Rongeurs	20
viii. Nématodes	21
ix. <i>Candida albicans</i>	21
b) Modifier les nuisibles pour qu'ils évitent les cultures	21
c) Résistance aux herbicides	22
d) Habilitier de nouveaux (et anciens) produits chimiques agrico	22
e) Accélération de la reproduction / propagation des caractères OGM	23
f) Contrôler et diriger les «services écologiques»	24
g) Éliminer la pollution génétique	25
5. Une technologie hors de contrôle ?	25
Menaces de biosécurité et risques écologiques	25
Implications pour l'agriculture agroécologique, biologique et paysanne et nécessité d'un consentement libre, préalable et éclairé	29
6. Agir de manière éthique dans un vide de gouvernance	31
Huit recommandations	32
1. Stop 'driving' - appelez à un moratoire sur la libération du forçage génétique	32
2. Convenir de règles de confinement sûres	32
3. Mettre en place un suivi et une évaluation. Démontrer sa réversibilité	32
4. Garantir le consentement libre, préalable et éclairé de toutes les communautés concernées	33
5. Interdire le «double usage» militaire et protéger le droit à l'alimentation	33
6. Apprendre de l'histoire - permettre à la société de réfléchir sur le passé	33
7. Pratiquer la science de précaution	34
8. Examiner les implications pour la sécurité alimentaire mondiale et le droit à l'alimentation et à la nutrition	34
Références	35

Résumé : Forçage génétique, alimentation et agriculture



PROBLEMATIQUE

La première tentative d'utilisation de technologies de génie génétique dans le domaine agricole a consisté à modifier les cultures courantes pour qu'elles résistent aux parasites ou aux herbicides. Cette approche de culture génétiquement modifiée (GM) a rencontré des problèmes lorsque de nombreux consommateurs n'ont pas acheté d'aliments génétiquement modifiés et que les agriculteurs ont découvert que les avantages promis ne se matérialisaient, tout au plus, qu'à court terme. Les biotechnologistes envisagent maintenant une nouvelle stratégie - mettre au point de nouvelles modifications génétiques invasives pour contrôler les insectes et les mauvaises herbes et créer de nouveaux monopoles. Leur plan consiste à utiliser ce que l'on a appelé le forçage génétique, « gene drive » ou « forceurs génétiques » (voir l'encadré 1). Les expériences sur les organismes modifiés par forçage génétique (GDO) visent à concevoir des créatures qui propagent automatiquement leurs gènes modifiés dans des habitats et des écosystèmes entiers. Ils pourraient, dit-on, faire disparaître certains de nos principaux ravageurs agricoles, réduire le besoin de pesticides et accélérer les programmes de sélection végétale. Selon certains de leurs partisans, le forçage génétique pourrait même être compatible avec l'agriculture non-OGM et biologique.

RISQUE

Le potentiel de création de GDO invasifs capables de propager des gènes manipulés dans la nature prend l'un des pires scénarios envisagés pour les organismes génétiquement modifiés (OGM) et en fait une stratégie industrielle délibérée. Tandis

que les OGM de première génération ont pour la plupart répandu des gènes modifiés par accident, les GDO seront conçus pour effectuer leur propre ingénierie au sein de populations sauvages dans le monde réel. Leur propagation à ces populations serait délibérée. Les scientifiques à l'origine du forçage génétique commencent tout juste à se demander ce qui se passerait si les gènes ne se comportaient pas aussi bien que prévu par leurs modèles mendéliens. Et si les gènes de stérilité féminine, par exemple, dont il a été démontré qu'ils éliminaient les populations de moustiques en laboratoire, étaient transférés à des espèces qui pollinisent nos cultures ou constituent une source de nourriture pour les oiseaux, les reptiles et même les humains? Que se passe-t-il si des gènes bénéfiques deviennent désactivés ou si une perturbation génétique accroît la prévalence ou modifie la structure des maladies?

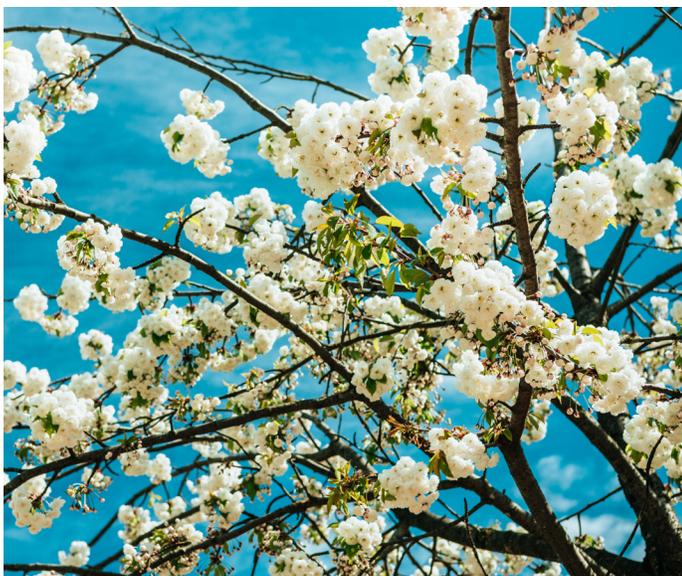
Une fois que le forçage génétique a été sorti de la bouteille, personne n'a réellement trouvé comment le réintroduire.

La logique d'utilisation des GDO en agriculture repose sur la tromperie persistante selon laquelle des problèmes extrêmement complexes du système alimentaire peuvent être résolus par de nouvelles innovations de haute technologie.

ACTEURS

Actuellement, les projets de forçage génétique annoncés publiquement sont financés avec un quart de milliard de dollars provenant de l'agence de recherche militaire du gouvernement des États-Unis (DARPA), la Fondation Bill & Melinda Gates, The Tata Trusts et l'Open Philanthropy Project, soutenu par Facebook. Pourtant les promoteurs du forçage génétique reconnaissent en privé et dans leurs brevets que l'objectif commercial sera l'agroalimentaire.

Il n'est donc pas surprenant qu'un réseau discret de recherche sur le forçage génétique induit par l'agriculture se développe. *Aragene*, la première start-up du monde axée sur le forçage génétique agricole, est rejointe par un groupe de producteurs de produits agricoles tels que le California Cherry



Board et le US Citrus Research Board, ainsi que par des éleveurs de bétail, qui y voient une solution miracle pour leurs défis agricoles. Entre-temps, d'importantes entreprises agroalimentaires telles que Monsanto-Bayer, Syngenta-ChemChina, DowDuPont (actuelle Corteva Agriscience) et Cibus se cachent derrière des discussions sur les politiques relatives aux gènes, conseillées par des scientifiques et des conseillers en relations publiques pour rester discrètes.

POLITIQUES

Le forçage génétique est conçu pour être invasif: persister et se propager. Bien que les développeurs du forçage génétique prétendent qu'il peut exister des moyens de contenir efficacement des organismes forcés génétiquement à l'avenir, ces affirmations et suppositions hypothétiques doivent être examinées et testées de manière rigoureuse. En attendant, la précaution et la justice exigent un moratoire sur toutes les libérations. Des règles strictes en matière de manipulation en laboratoire et de confinement de toutes les recherches sur le forçage génétique doivent être acceptées au niveau international et mises en pratique avant que des recherches ultérieures puissent avoir lieu, même en laboratoire. À l'heure actuelle, il semble possible de développer de nouveaux organismes forcés génétiquement (GDO : Gene Drive Organisms) sans qu'ils soient soumis à une réglementation spécifique en matière de biosécurité. Dans certaines juridictions, telles que

le Brésil, il n'est même pas clairement dit si elles seront soumises aux faibles règles de biosécurité qui contrôlent le développement et l'utilisation des OGM.

Les technologies mises au point en laboratoire, telles que les OGM et, maintenant, les gènes forcés génétiquement, ignorent les injustices profondes et les déséquilibres de pouvoir, qui nécessitent des réponses politiques et un contrôle démocratique plutôt que des solutions techniques rapides. Aux niveaux national et international, les questions d'évaluation technologique et de consentement de la société n'ont pas encore été formellement abordées.

La Convention des Nations Unies sur la diversité biologique a placé la question de la gouvernance du forçage génétique au centre de ses délibérations et le sujet dominera les discussions en Egypte en novembre 2018, où un moratoire sera à l'ordre du jour ainsi que des appels au consentement libre, préalable et éclairé par les populations touchées, y compris les agriculteurs.

Ce rapport est publié pour alerter les gouvernements, les organisations de la société civile et les mouvements populaires. Il montre que le forçage génétique, bien que promu en tant qu'outil de médecine et de conservation, trouvera sa véritable utilisation dans l'alimentation et l'agriculture pour le commerce agroalimentaire. Il appelle à une pause dans la recherche appliquée sur le forçage génétique et à un arrêt des rejets dans l'environnement jusqu'à ce qu'un processus de dialogue approfondi et public ait eu lieu et que des règles soient établies pour garantir un consentement et une défense clairs de la souveraineté alimentaire.

1. Introduction

Il y a un demi-siècle, les bioscientifiques ont procédé à la première coupure délibérée dans le code génétique d'un organisme vivant. En développant des techniques pour retirer et insérer des sections de ruban d'ADN, ils ont lancé une nouvelle phase dans l'industrialisation de la vie, qui a déjà commencé à modifier l'alimentation, le commerce, l'utilisation des terres, les moyens de subsistance, les cultures et les caractéristiques génétiques du monde vivant. L'absorption par les agriculteurs d'organismes génétiquement modifiés (OGM), souvent sans leur consentement éclairé et généralement avec des résultats mitigés, rapporte encore des milliards de dollars à d'énormes entreprises agro-chimiques, telles que Monsanto (désormais Bayer) et Syngenta (désormais Sinochem-ChemChina). Plus récemment, toutefois, l'utilisation des OGM s'est stabilisée à mesure que les risques prévus sont devenus évidents, tels que l'intensification sans limite de l'utilisation de produits chimiques toxiques.¹ Avec l'arrivée des techniques dites «d'édition de gènes», et en particulier de ce que leurs partisans appellent du forçage génétique, Big Ag change de stratégie et espère reprendre le rythme.

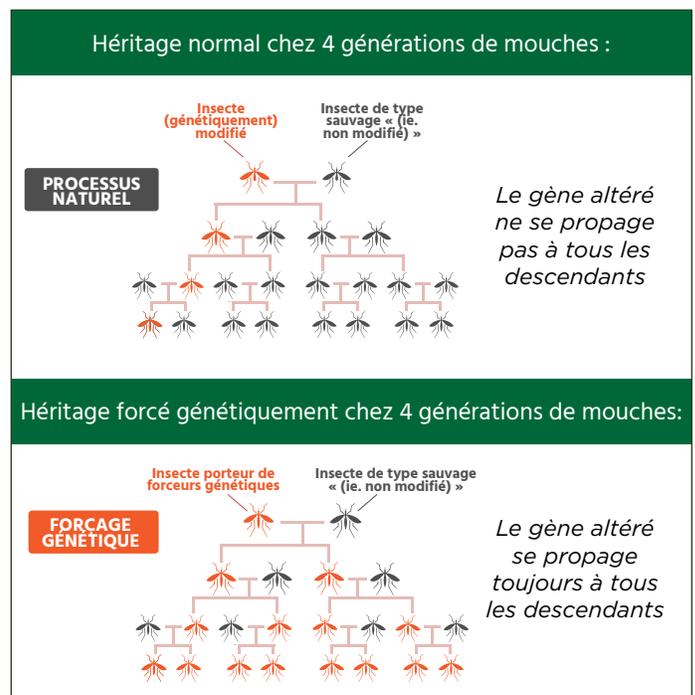
Les organismes modifiés par forçage génétique (GDO : Gene Drive Organisms) sont des organismes censés forcer de manière fiable un ou plusieurs traits génétiques aux générations futures de leur propre espèce. Le terme français pour « gene drive », « forçage génétique », exprime clairement l'intention: imposer un changement génétique créé par l'homme à une population entière, voire à une espèce entière. S'ils fonctionnent, et cela n'est pas garanti pour le moment, les GDO pourraient accélérer la distribution des gènes développés par l'entremise du laboratoire au reste du monde vivant à une vitesse vertigineuse et selon un processus potentiellement irréversible.

Alors que cette technique puissante a fait son entrée dans la science, les citoyens de l'industrie de la biotechnologie se sont efforcés de promettre que les GDO pourraient être exploités au service du bien commun - des grands rêves de lutte contre le paludisme à la sauvegarde des œufs d'oiseaux de mer des rongeurs. Cependant, le domaine d'activité le plus susceptible d'être touché par l'invention du système génétique, avec des

conséquences potentiellement dramatiques, a à peine été mentionnée : l'agriculture et la pêche - la façon dont nous nous nourrissons - peuvent être fondamentalement transformées par le forçage génétique.

En fait, malgré toute la rhétorique de l'utilisation du forçage génétique «à l'état sauvage», l'agriculture domestique peut s'avérer être le paysage dans lequel le forçage génétique a d'abord un impact. Bien qu'elle n'ait pas fait ses preuves en dehors de quelques expériences de laboratoire, cette technologie est si potentiellement puissante et perturbatrice que Big Ag ne peut pas se permettre de ne pas entreprendre de recherche sur son potentiel. En outre, le forçage génétique induit de nouvelles opportunités potentielles pour le secteur agroalimentaire, qui vise à générer des revenus à partir des problèmes rencontrés par les agriculteurs.

Figure 1: Comment le forçage génétique diffère de l'héritage normal (càd Mendélien), en utilisant l'exemple des mouches.



Le forçage génétique ci-dessus est conçu pour changer la couleur des mouches. Une fois qu'il est inséré dans une seule mouche, le système génétique va forcer la progéniture de la mouche à hériter et à exprimer ce trait génétique et à le transmettre de manière fiable à sa progéniture. Avec le temps, le trait coloré de mouche s'étendra à la totalité de la population de mouches. Image: Friends of the Earth

Les brevets fondamentaux du forçage génétique sont en grande partie rédigés avec des applications agricoles à l'esprit. L'une des deux premières start-up travaillant sur le forçage génétique (Aragene) est spécifiquement axée sur l'agriculture. Les agro-géants qui investissent dans la technologie de modification génétique sous-jacente, tels que Bayer, Syngenta-Chemchina et Dow Agrosiences (maintenant Corteva) ont fait pression discrètement sur les décideurs politiques. Les groupes de produits agricoles deviennent plus audacieux et consacrent des fonds publics et privés à des expériences sur ds forçage génétique agricole. Les acteurs de l'agriculture et les laboratoires publics s'unissent pour développer des applications agricoles.

En dépit de ces signes révélateurs, pratiquement personne dans les forums sur les politiques agricoles et alimentaires n'a encore discuté des

GDO en public. Ce rapport est une tentative de corriger cet oubli, en faisant valoir que la technologie ne devrait pas être appliquée sans un processus complet de consentement éclairé du public.

L'absence d'agriculture dans les discussions sur le forçage génétique à ce jour n'est pas un oubli. Conscients de la forte opposition mondiale au génie génétique dans les secteurs de l'alimentation et de l'agriculture, les promoteurs de cette technologie ont déterminé par étapes quelles applications, très limitées, devraient être annoncées au public et aux décideurs en premier lieu, afin que les propositions susceptibles de bénéficier d'un soutien public (celles impliquant des applications médicales ou de conservation) dirigent et façonnent la perception publique de la technologie.

Ne mettre au premier plan que les scénarios optimaux pour une nouvelle technologie permet

ENCADRÉ 1: MOTS CLEFS

Forçage génétique

Le terme forçage génétique ou « gene drive » fait référence à une technique destinée à modifier la constitution génétique de populations ou d'une espèce entière en libérant des «gènes égoïstes modifiés par l'ingénieur». Le terme «égoïste» fait référence à la façon dont un ou plusieurs traits génétiques se propagent automatiquement dans une population à chaque génération successive. L'un des pionniers du forçage génétique, Austin Burt, de l'Imperial College de Londres, a déclaré en 2003² que la technologie envisageait la possibilité de «manipuler des populations naturelles» et potentiellement «éradiquer ou modifier génétiquement des espèces particulières».

Normalement, les descendants d'organismes à reproduction sexuelle ont 50% de chances d'hériter d'un gène de leurs parents. Le forçage génétique est conçu pour être une technologie invasive, garantissant que, dans quelques générations, toute la progéniture de l'organisme portera le gène modifié souhaité (voir Figure 1).

L'intérêt pour l'utilisation de forçage génétique s'est accru avec l'avènement de l'édition de gène CRISPR-Cas9, qui peut être utilisée pour copier une mutation d'un chromosome dans un autre, créant ainsi du forçage génétique synthétique ou fabriqué.

Organismes modifiés par forçage génétique

Les organismes forcés génétiquement (GDO : Gene Drive Organisms) sont des organismes modifiés par forçage génétique. Ils sont conçus, au fil du temps, pour remplacer les organismes non GDO de la même espèce dans une population via une réaction en chaîne non contrôlée. Cette capacité peut en faire un risque biologique bien plus dangereux que les organismes génétiquement modifiés (OGM). Samson Simon et ses collègues de l'Agence fédérale allemande pour la conservation de la nature ont découvert un total de cinq niveaux sur lesquels les GDO diffèrent des OGM actuellement publiés. Leur recherche conclut qu'une «compréhension et une analyse claires de ces différences sont essentielles pour tout régime d'évaluation des risques et une évaluation socialement acceptable et éthique essentielle pour l'application de la technologie [GDO].»³

de bonnes relations publiques mais une mauvaise gouvernance. C'était une douloureuse leçon tirée par les gouvernements à la suite de la résistance mondiale aux OGM. Les agriculteurs et le grand public sont jusqu'à présent tenus dans l'ignorance des recherches sur le forçage génétique, incapables de juger des implications potentielles d'un système alimentaire « forcé génétiquement ».

Si l'on s'attend à ce que les GDO jouent leur rôle le plus important dans l'agriculture et les systèmes alimentaires (ainsi que dans les applications militaires possibles), il s'ensuit que le débat mondial sur le forçage génétique devrait être mené en tenant compte des implications pour l'alimentation et l'agriculture. Les mouvements populaires, les agriculteurs et les personnes qui s'intéressent à l'agriculture, au droit à une alimentation saine et sans danger et à une agriculture durable devraient exiger un débat public urgent sur les GDO.

Il est possible que les recherches sur le forçage génétique n'aboutissent nulle part, du moins pour la prochaine décennie. Le déploiement d'un véritable battage publicitaire permet aux scientifiques de justifier le financement de projets prometteurs,^{4,5} et le forçage génétique correspond certainement au modèle observé auparavant avec la promotion de l'énergie nucléaire trop bon marché, des OGM pour nourrir le monde et des biocarburants pour résoudre le changement climatique mondial. Il se peut même que certains membres de la communauté scientifique qui souhaitent toujours imposer des OGM aux systèmes alimentaires voient un avantage stratégique dans la controverse croissante qui entoure le forçage génétique, estimant que cela peut servir de distraction aux anciennes technologies OGM, option moins « radicale » que les GDO.

Alors que l'attention des médias est désormais centrée sur le potentiel d'action du forçage génétique pour éliminer les espèces de moustiques responsables du paludisme en Afrique de l'Ouest, un autre ensemble d'investissements de plusieurs millions de dollars est axé sur la mise au point de GDO destinés à l'agriculture. Notre rapport a donc pour but de fournir des informations susceptibles de soutenir une forte réaction de précaution des organisations de la société civile et des décideurs politiques face aux menaces qui pèsent sur les

agro-écosystèmes et la santé humaine.

2. Une solution technique de déjà-vu

La technique du forçage génétique n'est que la dernière-née d'une série de « solutions magiques » de haute technologie qui ont été imposées aux systèmes agricoles par les acteurs de l'agriculture industrielle en tant que solutions supposées aux crises alimentaires et agricoles en cours. Dans la foulée des promesses non tenues de semences, de pesticides et d'engrais améliorés dans le cadre de la Révolution verte, une série de cultures génétiquement modifiées ont été produites dans les années 1990 et 2000. Mais les avantages promis ne se sont généralement pas réalisés.

L'idée selon laquelle les sciences de la vie pourraient exploiter ce que l'on appelle maintenant un forçage génétique pour modifier les populations à volonté a été évoquée pour la première fois dans les années 1960.⁶ À présent, les techniques récemment mises au point dans le domaine d'édition de gènes ont permis de réaliser, du moins en laboratoire, ce qui n'était auparavant qu'une possibilité théorique.

La découverte génétique clé qui a transformé le forçage génétique de la théorie en prototypes est venue avec une technique de génie génétique appelée CRISPR-Cas9. À ne pas confondre avec le terme britannique utilisé pour désigner les chips de pomme de terre, les CRISPR sont des constructions génétiques contenant des fragments d'ARN dérivés de bactéries. Constitué d'une molécule directrice appelée ARN guide unique et



des ciseaux moléculaires Cas9, le système peut être programmé pour couper l'ADN à un emplacement précis et ainsi cibler des séquences spécifiques. Jusqu'à présent, CRISPR-Cas9 s'est avéré efficace chez tous les organismes pouvant être transformés avec un ADN étranger. Le processus est ce que certains généticiens appellent l'édition de gènes.

Le système CRISPR-Cas9 d'édition de gènes est maintenant utilisé pour fabriquer de nombreux types d'OGM (et pas seulement des GDO). Cependant, l'application de CRISPR-Cas9 (ci-après CRISPR) à la production de GDO délibérément conçus est l'utilisation de cette technologie avec les conséquences potentiellement les plus lourdes pour l'agriculture.

«Au cours d'une récente intervention à San Francisco, Jennifer Doudna, co-inventrice de CRISPR, a fait une prédiction: si elle devait deviner, le plus grand impact de CRISPR sur la planète se situerait dans l'agriculture, a-t-elle déclaré.»⁷

Les premiers travaux sur le forçage génétique utilisant CRISPR ont été développés en 2014 par Ethan Bier et Valentino Gantz, généticiens des insectes de l'Université de Californie à San Diego. Travaillant avec des mouches à fruits, ils ont conçu, dans leur expérience de laboratoire, un forceur génétique CRISPR opérationnel qui a transformé toutes les mouches et leur progéniture en jaune. Bier et Gantz ont qualifié cette technique de «réaction mutagène en chaîne» (car un changement génétique dans la population déclenche une réaction en chaîne de changements à travers les générations). Ils ont également décrit avec grand intérêt leur percée comme l'aube d'une nouvelle ère de ce qu'ils appellent la «génétique active».⁸ Contrairement aux organismes de génie génétique en laboratoire, la génétique active déplace le site principal de la transformation génétique du laboratoire vers l'environnement naturel, c'est-à-dire que l'organisme parent transforme génétiquement de manière efficace sa progéniture. S'ils fonctionnent, les organismes

forcés génétiquement seraient efficaces car ils modifient activement la génétique des populations lorsqu'elles sont libérées dans l'environnement (c'est-à-dire qu'elles remplacent une population d'un génotype par celle d'un autre génotype).

Les GDO ne sont qu'une partie de la nouvelle vague de technologies génétiques qui modifient et interfèrent activement avec les systèmes génétiques naturels. Un autre exemple est le spray 'RNAi spray' (où de petits brins d'ARN sont pulvérisés sur le terrain pour interférer avec les systèmes génétiques en temps réel).⁹



« Bien que le forçage génétique CRISPR-Cas9 soit fabriqué en laboratoire, les GDO sont conçus pour modifier génétiquement des organismes [qui vivent] dans la nature. En fait, le forçage génétique implique de passer de la publication d'un produit [OGM] fini et testé à la publication d'un outil ajustable de modification génétique, publié dans les écosystèmes. »

—Simon et al. 2018¹⁰

3. Derrière des oiseaux rares et des mammoths laineux - Comment Big Ag cache son rôle

Depuis sa première apparition en 2014, le forçage génétique est devenu le nouvel étendard inoffensif de communication pour le secteur de la biotechnologie. Après le désastre causé en matière de relations publiques par les cultures génétiquement modifiées, cette technologie a été utilisée pour relancer l'image du secteur en matière d'utilité sociale. C'est devenu un moteur d'investissement de plus en plus important, permettant de continuer à drainer/conservé des flux financiers comme des revenus à partir des produits chimiques et des cultures génétiquement modifiées, en risque de déclin à long terme, alors que les marchés sans OGM et les poursuites des consommateurs se multiplient.¹¹

Des subventions de plusieurs millions de dollars de la Fondation Bill et Melinda Gates, de la Fondation de l'institut national de la santé, de l'Open Philanthropy Institute, du Wellcome Trust et des US Defence Research Projects pour le développement du forçage génétique ont inclus de généreuses indemnités pour le test des messages publics, exercices d'engagement du public, activités de lobbying et de communication. Emerging Ag Inc., une société de lobbying agricole clé, a reçu 1,6 million de dollars US de la Fondation Bill et Melinda Gates pour mener des activités de lobbying et de communication visant à promouvoir le développement du forçage génétique et à influencer les réunions de l'ONU, notamment la création d'un «Réseau de proximité du forçage génétique».¹² Curieusement, malgré le nom et le rôle de son hôte (Emerging Ag Inc. administre également la World Farmers Organization - une plate-forme bien connue des géants de l'agroalimentaire), le site web et les fiches d'information du réseau de sensibilisation omettent totalement de mentionner les utilisations agricoles proposées du forçage génétique, en se concentrant uniquement sur les utilisations «santé mondiale» et «conservation».¹³ On promet au public que les œufs d'oiseaux rares peuvent être protégés en réduisant les populations de rongeurs. Ailleurs,

des techniques similaires sont proposées pour signifier que des mammoths laineux, conduits à l'extinction par les premiers humains, pourraient potentiellement être ramenés à la vie.¹⁴

Cette omission des utilisations agricoles dans la promotion des GDO n'est pas accidentelle. Cela correspond parfaitement aux priorités exprimées par les pionniers du forçage génétique tels que Kevin Esvelt du MIT. Esvelt détient l'un des deux brevets fondamentaux sur le forçage génétique. Plus du quart de ses 38 pages de brevet sont utilisées pour décrire les applications agricoles de la technologie. Pourtant, en 2016, Esvelt a confié au groupe ETC que «les applications agricoles devraient attendre des applications de santé publique et de conservation simplement parce que les avantages ne sont pas aussi clairs pour les citoyens ordinaires et nous ne répéterons pas le cafouillage lié aux OGM, si j'ai quelque chose à dire à ce sujet».¹⁵ Lors de son entretien téléphonique, Esvelt a clairement indiqué qu'à son avis, ce serait une mauvaise idée de parler publiquement des utilisations agricoles énumérées dans son brevet, telles que l'inversion de la résistance des herbicides aux mauvaises herbes (voir ci-dessous). Il a expliqué qu'il ne voulait absolument pas toucher à cela car cela profiterait à Monsanto.

Esvelt a déclaré qu'il ne s'opposait pas personnellement à des entreprises privées qui commercialisent le forçage génétique à des fins agricoles. En effet, il s'attend à ce que des entreprises à but lucratif utilisent éventuellement pour l'agriculture. Dans une interview pour ce compte-rendu, Esvelt a déclaré avoir parlé à Monsanto (désormais Bayer), qui avait accepté de 'bien se tenir à l'écart' du développement du forçage génétique jusqu'à sa mise en place dans des applications liées à la santé et à la conservation. Une licence ultérieure sur la technologie CRISPR accordée à Bayer-Monsanto par le Broad Institute, associée aux employeurs actuels et antérieurs d'Esvelt, Harvard et MIT, exclut explicitement l'utilisation commerciale du CRISPR pour les applications portant sur le forçage génétique.¹⁶

Esvelt n'est pas seul. Les documents obtenus grâce au droit d'accès à l'information par une coalition d'organisations de la société civile (dont

le groupe ETC était membre) montrent que les développeurs du forçage génétique mettent en garde sur le fait qu'il serait contre-productif de parler des utilisations agricoles.¹⁷ Dans un courriel adressé à l'équipe du forçage génétique GBIRD (Global Biocontrol of Invasive Rodents) en juillet 2017, Dan Tompkins de Landcare Research (Nouvelle-Zélande) a déclaré qu'il préférerait ne pas mentionner le forçage génétique en relation avec l'agriculture, car «beaucoup considèrent l'utilisation de l'argument conservatoire comme une porte dérobée pour l'adoption à des fins agricoles, ce qui pourrait exposer le centre d'intérêt actuel du GBIRD à une stratégie injustifiée ».

Les développeurs de GDO avertissent peut-être les entreprises agroalimentaires et les autres de faire profil bas en ce qui concerne le forçage génétique, mais l'agro-industrie reste activement engagée sur le sujet. Si Bayer-Monsanto est en train de 'bien se tenir à l'écart' du forçage génétique, il serait instructif de savoir ce que Tom Adams, vice-président de la biotechnologie mondiale de Monsanto, a déclaré lors d'une réunion scientifique militaire tenue à huis clos en juin 2017. Les courriels obtenus via des demandes faites en vertu des lois américaines sur la liberté d'information révèlent qu'un groupe secret de conseillers militaires connu sous le nom de groupe JASON a produit une étude classifiée sur le forçage génétique en 2017 commandée par le gouvernement des États-Unis. Cette étude, qui reste non divulguée au public, avait pour mission de traiter de «ce qui pourrait

être réalisable dans les 3 à 10 prochaines années, notamment en ce qui concerne les applications agricoles».¹⁸ Les courriels montrent que l'étude JASON a été informée par une première réunion de deux jours d'un groupe restreint de douze invités chercheurs sur le forçage génétique à laquelle Tom Adams de Bayer-Monsanto a donné une communication non divulguée sur la science des cultures et le forçage génétique.¹⁹ Greg Gocal, directeur scientifique de Cibus, une entreprise de biotechnologie agricole qui vend du canola et d'autres cultures éditées par gène fait partie des experts appelés à témoigner.

On ne sait pas exactement quel est l'intérêt ou les activités précises de Cibus ou de Bayer-Monsanto dans le domaine du forçage génétique, mais il semble qu'ils ne soient pas les seuls acteurs commerciaux à suivre de près ce champ d'application. Les majors de l'agroalimentaire, notamment Syngenta et Dow AgroSciences (désormais Corteva), ont également été étroitement impliqués dans les discussions sur la politique relatives au forçage génétique aux États-Unis.²⁰ Vers la fin de 2017, la 'start-up du forçage génétique' Agragene a été créée en Californie sous le même leadership que la société de «génétique active» Synbal. Selon le *MIT Technology Review*, Agragene, dont les cofondateurs sont Ethan Bier et Valentino Gantz de l'Université de Californie à San Diego, «a l'intention de modifier les plantes et les insectes» à l'aide du forçage génétique.²¹





Encadré 2 : L'importance commerciale de devenir « local »

Bien que toujours basés dans le laboratoire, les premiers organismes responsables du forçage génétique CRISPR-Cas9 ont été conçus pour se propager et continuer à se propager. Ces GDO basés sur CRISPR sont « globaux » car ils pourraient se répandre indéfiniment, ce qui a suscité beaucoup d'inquiétude. En réponse, un ensemble théorique de GDO « locaux » est en cours de conception et ne devrait se diffuser que de manière limitée ou ciblée. Les promoteurs du « forçage génétique ont à maintes reprises tenu leurs promesses de « forçages génétiques locaux » théoriques en réponse aux préoccupations en matière de biosécurité relatives aux dangers des formes permanentes de dommages écologiques et aux perturbations économiques qui en découlent. Le groupe de recherche « Sculpter l'Evolution » du MIT, dirigé par Kevin Esvelt, travaille sur ce qu'ils appellent un « forçage génétique gentil » pour résoudre ce problème.²² Le laboratoire d'Omar Akbari au California Institute of Technology travaille sur une alternative non-CRISPR.²³ Cependant, à ce jour, aucun « forçage génétique « local » » ou ciblé n'a été signalé et il n'est pas possible de savoir si les GDO CRISPR ou non CRISPR pourraient être localisés de cette manière.

Les techniques très « localisantes » qui, espèrent-ils, rendront le forçage génétique plus acceptable pour le public, auront également pour effet de rendre les GDO beaucoup plus intéressants pour les acteurs tant commerciaux que militaires. Prenons l'exemple d'un forçage génétique qui se propage pour éradiquer un organisme nuisible, une mauvaise herbe ou même améliorer une culture vivrière. S'il se propage par lui-même sans s'arrêter, le développeur ne peut théoriquement le vendre qu'une seule fois, limitant ainsi sa valeur économique. Cependant, si le produit du forçage génétique ne se propage que sur une zone ou dans un temps limité, le développeur peut alors vendre le GDO au même agriculteur à plusieurs reprises, tout comme les pesticides sont actuellement vendus.

Comme le soulignaient récemment des économistes dans le 'Journal of Responsible Innovation' : « Des applications de forçage génétique auto-limitantes sembleraient être une condition préalable au développement et à la maturation d'une industrie de forçage génétique purement commerciale. Avec les technologies à limitation automatique, les versions individuelles auraient des limites spatiales et temporelles, de sorte qu'un marché axé sur le forçage génétique pourrait se développer pour desservir plusieurs sites ou pour fournir plusieurs versions au fil du temps dans la même région. »²⁴

Les mêmes auteurs ont également observé qu'un forçage génétique moins limité pourrait toujours intéresser les groupes commerciaux régionaux : « Les producteurs agricoles d'une région pourraient potentiellement financer une application de forçage génétique avec une combinaison de fonds publics et privés, le déploiement étant géré par les autorités locales, des coopératives ou sociétés à but non lucratif, le tout potentiellement en partenariat avec un organisme gouvernemental ou des entreprises à but lucratif ». En effet, ce modèle semble déjà émerger.

Depuis 2013, le California Cherry Board (un groupe de producteurs) a consacré environ un tiers de son budget à la recherche sur le développement du forçage génétique de synthèse chez la drosophile *Drosophila suzukii* et est en train de créer une société à but lucratif pour gérer le déploiement potentiel de cette technologie. Le US Citrus Research Board (CRB) entreprend de la même manière des recherches sur le forçage génétique des pucerons qui affectent les cultures d'agrumes. Le Screwworm Barrier Maintenance Program in Panama (COPEG) est une autre entité de recherche régionale semi-gouvernementale financée par les États-Unis. Elle expérimente des insectes génétiquement modifiés et s'intéresse aux approches GDO de cet insecte commun qui affecte les troupeaux d'élevage intensif.

Il n'est pas surprenant que les acteurs de l'industrie agroalimentaire s'intéressent à la création de GDO. La technologie étant considérée comme la prochaine étape logique dans l'intensification de l'agriculture, les dirigeants du secteur agroalimentaire peuvent avoir le sentiment qu'ils ne peuvent se permettre de l'ignorer, de peur que leurs concurrents ne prennent une longueur d'avance dans la course à la domination du marché. Un groupe de chercheurs français dirigé par Virginie Courtier-Orgogozo a récemment conclu :

Le cadre temporel de la génération du forçage génétique correspond parfaitement aux stratégies de développement économique dominantes dans l'industrie agroalimentaire, en mettant l'accent sur le retour sur investissement à court terme et le mépris des problèmes à long terme. Le système économique actuel basé sur la productivité, les rendements, la monoculture et l'extractivisme correspond parfaitement au mode de fonctionnement de la conduite du forçage génétique.²⁵

Courtier-Orgogozo et ses collègues suggèrent « qu'à l'avenir, le forçage génétique pourrait devenir une technique de gestion banale pour le secteur agroalimentaire, grand ou petit, afin de

modifier le génome des êtres vivants qui entravent la productivité».²⁶ Les grandes entreprises agroalimentaires sont particulièrement bien placées pour se lancer sur le terrain depuis que la technologie a été développée par des généticiens des insectes - une communauté de recherche ayant une longue et profonde affiliation avec l'industrie des pesticides. Deux insectes génétiquement modifiés, le ver rose du cotonnier et la teigne des crucifères (ou teigne des choux), sont déjà testés commercialement (sans forçage génétique pour l'instant) sur des terres agricoles américaines à des fins agricoles.²⁷



Figure 2 : Sélection des investissements dans le forçage génétique (2017)

Investisseur	Bénéficiaire	Montant (US \$)
Agence pour les projets de recherche avancée de défense	Divers projets incluant "Safe Genes"	65-100 millions
Fondation Gates	Target Malaria	75 millions
Tata Trusts	Center for Active Genetics	70 millions
Open Philanthropy Project	Target Malaria	17,5 millions
Fondation Gates	Fondation des National Institute of Health (Instituts nationaux de la santé)	9,43 millions
Fondation Gates	Massachusetts General Hospital Corporation	2,587 millions
Open Philanthropy Project	NEPAD/Union Africaine	2,35 millions
Fondation Gates	Emerging Ag Inc	1,6 millions
Paul G Allen Frontiers Group	Center for Active Genetics	1,5 millions
California Cherry Board	UC Riverside	Environ 500 000 à ce jour
MaxMind	MIT et Université George Washington (pour la schistosomiase bilharziose)	100 000

Financement pour la recherche sur le forçage génétique, par ordre de valeur

Source : African Center For Biodiversity, ETC Group and Third World Network, « Synthetic Gene Drives : Genetic Engineering Gone Wild » Building International Capacity i Synthetic Biology Assessment and Governance Briefing, 2018.

Encadré 3 : Les génomes utilisés comme spectre (à l'image du spectre électromagnétique dans les industries de la radiodiffusion) : un nouveau modèle économique pour le forçage génétique en agriculture ?

La diffusion d'organismes forcés génétiquement locaux ou ciblés, limités en tant que service, constitue peut-être le modèle commercial le plus évident pour une utilisation agricole, mais il est également possible de gagner de l'argent avec du «forçage génétique global». Certaines des premières propositions de développement de GDO suggèrent un modèle commercial plus radical qui emprunte les images des applications et d'Internet 2.0 au monde des médias audiovisuels. Les éditeurs de logiciels distribuent généralement leurs applications librement en ligne ou associées à des systèmes d'exploitation largement distribués, mais exigent ensuite que les utilisateurs paient pour déverrouiller certaines fonctionnalités ou utilisations utiles. De la même manière, les sociétés de biotechnologie peuvent choisir de diffuser librement et largement leurs applications de biotechnologie sous la forme de GDO s'intégrant dans le génome d'organismes sauvages, mais conçues de telle sorte que tirer parti du GDO nécessite de payer un coproduit exclusif qui leur permet de libérer leur valeur.

Deux exemples illustrent cette approche : Esvelt et d'autres ont proposé que des gènes dits «sensibilisants» puissent être libérés dans des espèces de mauvaises herbes ou de parasites qui les rendent vulnérables à un composé chimique particulier, tel qu'un herbicide ou un pesticide - par exemple, amarante sensibilisante (*Amaranthus palmeri*) au Roundup de Bayer-Monsanto (glyphosate) ou à un nouveau produit chimique breveté. Cette approche permettrait au fabricant du composé (dans ce cas, Bayer-Monsanto) de vendre son produit chimique exclusif parfaitement assorti aux espèces de mauvaises herbes sauvages. Alors que Bayer-Monsanto fabriquait auparavant ses semences «Roundup Ready» (c'est-à-dire résistantes au glyphosate) pour augmenter les ventes de glyphosate, c'est maintenant la mauvaise herbe elle-même qui devient «prête» à se flétrir en réponse au Roundup. Lorsque les mauvaises herbes ne sont pas totalement éradiquées, elles peuvent évoluer pour redevenir résistantes à l'herbicide d'intérêt. Dans une telle situation, le forçage génétique n'est qu'une solution temporaire et devrait être appliqué à plusieurs reprises. Une telle stratégie pourrait faire partie du modèle économique que les sociétés telles que Bayer-Monsanto ont à l'esprit.

Un deuxième exemple dramatique, bien que spéculatif, est un brevet associé à Elwha LLC (voir la section 4f ci-dessous) qui propose de libérer un gène optogénétique (contrôlé par la lumière) via un forçage génétique chez toutes les abeilles mellifères ou chez certaines espèces nuisibles, de sorte que les abeilles ou les nuisibles deviennent sensibles à des fréquences de lumière particulières. Dans un scénario envisageable, les agriculteurs pourraient se voir proposer un faisceau de lumière exclusif pour attirer ces abeilles forcées génétiquement dans leurs champs afin de polliniser les cultures ou, éventuellement, de repousser les ravageurs sauvages équipés de GDO. Plus le gène est répandu dans les populations d'insectes sauvages, plus il a de la valeur pour ceux qui vendent le faisceau lumineux exclusif.²⁸

En réalité, de telles propositions traiteraient les génomes d'organismes sauvages, y compris les mauvaises herbes et les insectes, comme le spectre électromagnétique dans les industries de la radiodiffusion - un moyen de diffusion gratuit que les entreprises commerciales pourraient exploiter pour mettre en œuvre leurs stratégies commerciales. Dans ce scénario, les développeurs du forçage génétique capable de loger leurs «applications» génétiques dans ce «spectre génomique» d'espèces sauvages via le forçage génétique global peuvent détenir un avantage en vendant leurs composés brevetés associés, molécules, molécules génétiques et faisceaux lumineux sur le marché agricole. Si un tel modèle de diffusion s'imposait, il serait possible de prévoir des développeurs concurrents de forçage génétique cherchant 'de la place' sur les génomes de différentes espèces sauvages pour leurs «applications» spéculatives à but lucratif. Il peut s'avérer nécessaire de réglementer et d'octroyer des licences pour le «spectre génomique» sauvage, de la même manière que les régulateurs de la radiodiffusion attribuent le spectre public des fréquences électromagnétiques ou que l'Internet Corporation for Assigned Names and Numbers régit l'octroi de domaines Internet. Les implications écologiques et en matière de biosécurité du brouillage de génomes d'organismes sauvages, avec de multiples «applications» génétiques de forçage génétique concurrentes, risquent d'être alarmantes.

«Compte tenu de l'absence de modélisation fiable, il est raisonnable de supposer que la normalisation de l'utilisation du forçage génétique basée sur CRISPR pourrait conduire à une cacophonie écologique : tous les groupes d'intérêt de l'industrie agro-alimentaire révisent le génome de ceux qu'ils appellent parasites, propageant diverses mutations par le biais du forçage génétique, et entraînant des effets à long terme sur la dynamique des écosystèmes - et sur les populations humaines qui en dépendent »

—Virginia Courtier-Orgogozo *et al.*²⁹

4. Les visions sur le forçage génétique influent sur l'avenir de l'agriculture

Les scientifiques du forçage génétique commencent rapidement à explorer une gamme d'applications GDO, dont plusieurs sont pertinentes pour l'agriculture. La section suivante examine comment les GDO sont perçus comme des solutions aux problèmes de mauvaises herbes et de parasites et décrit brièvement neuf exemples d'organismes illustrant la manière dont l'agroalimentaire peut envisager d'appliquer le forçage génétique dans l'avenir de l'agriculture.

a) Mauvaises herbes et parasites

«Cela ne serait-il pas agréable si nous n'avions pas besoin de pulvériser des herbicides et des pesticides en général, mais que nous pouvions simplement modifier les parasites pour supprimer la population [de nuisibles] locale ou, encore mieux, les modifier afin qu'ils n'apprécient plus le goût ? »

—Kevin Esvelt, responsable du MIT Sculpting Evolution Group³⁰

L'industrie agroalimentaire recherche depuis longtemps des produits susceptibles de supprimer ou d'éliminer les «parasites», les «mauvaises herbes» et d'autres organismes susceptibles

de nuire à l'efficacité de la production agricole industrielle. Les généticiens des insectes ont commencé à rechercher si les insectes GDO pouvaient être porteurs de gènes d'extinction automatique (voir encadré 4) susceptibles de supprimer ou d'éradiquer un «organisme nuisible» agricole ou autre.³¹

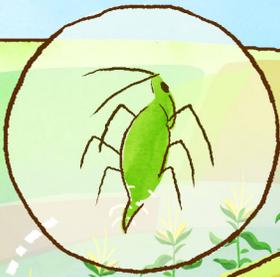
Les options pour utiliser le forçage génétique pour éradiquer les insectes sont les plus avancées car ce sont les généticiens des insectes qui ont effectué le plus de travaux pour développer cette technologie. Les cibles proposées pour l'éradication d'insectes nuisibles à l'aide de GDO partagent bon nombre des mêmes cibles que les programmes utilisant la technique de l'insecte stérile (sterile insect technique, SIT). Ceux qui développent des GDO sont également intéressés par l'éradication des mammifères qui menacent le stockage de produits de la ferme tels que le tribolium rouge de la farine, le vison ou les rongeurs qui pourraient endommager les cultures sur pied et les céréales stockées.



Sauterelles forcées génétiquement pour empêcher l'essaimage



Forçage génétique pour éradiquer les rats, les souris et les dendroctones de la farine infestant les silos à grains



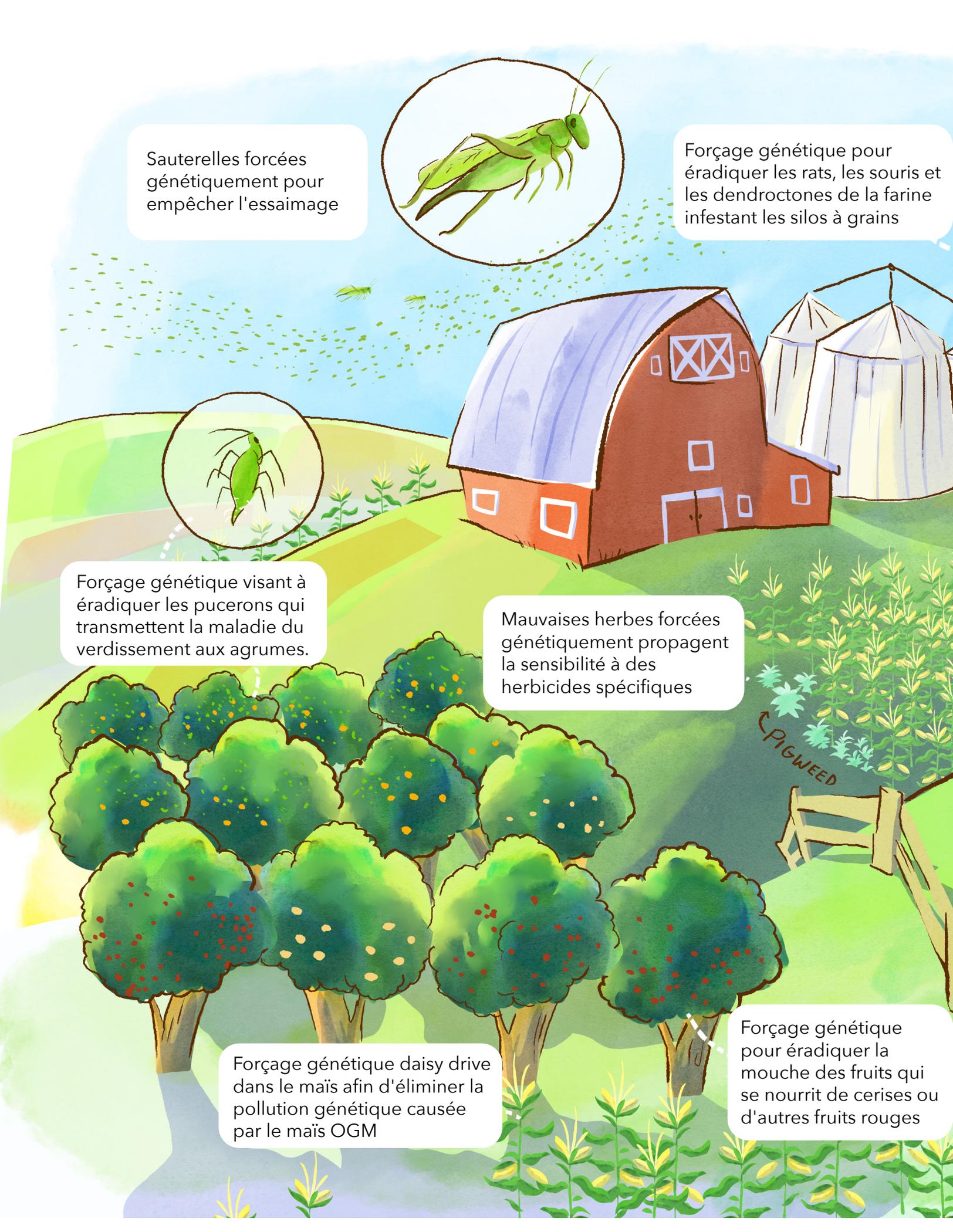
Forçage génétique visant à éradiquer les pucerons qui transmettent la maladie du verdissement aux agrumes.

Mauvaises herbes forcées génétiquement propagent la sensibilité à des herbicides spécifiques

PIGWEEED

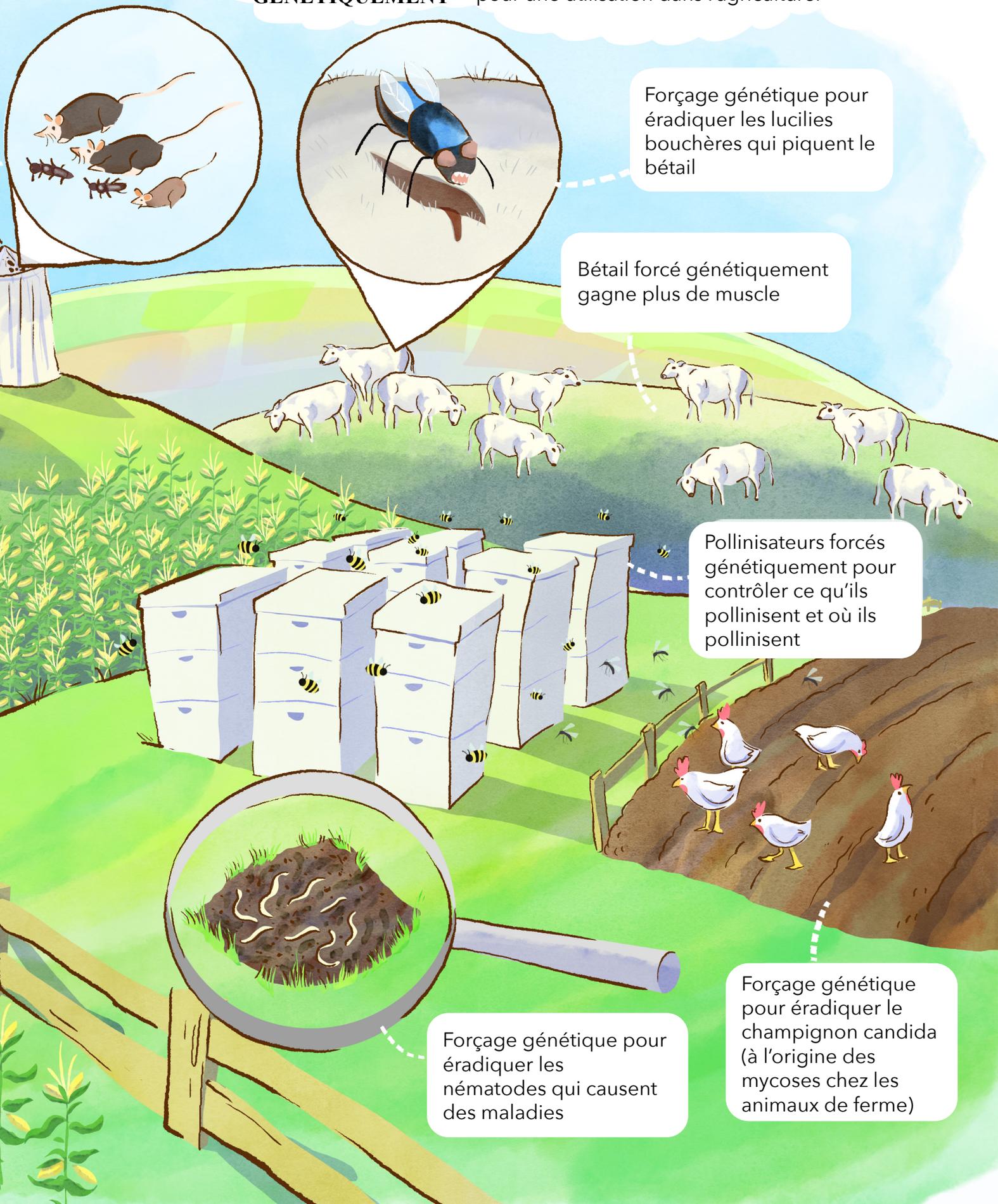
Forçage génétique daisy drive dans le maïs afin d'éliminer la pollution génétique causée par le maïs OGM

Forçage génétique pour éradiquer la mouche des fruits qui se nourrit de cerises ou d'autres fruits rouges



INFOGRAPHIE L'AGRICULTURE FORCÉE GÉNÉTIQUEMENT

L'agriculture forcée génétiquement: Ce graphique illustre certains des domaines dans lesquels le forçage génétique est envisagé ou développé pour une utilisation dans l'agriculture.



Forçage génétique pour éradiquer les lucilies bouchères qui piquent le bétail

Bétail forcé génétiquement gagne plus de muscle

Pollinisateurs forcés génétiquement pour contrôler ce qu'ils pollinisent et où ils pollinisent

Forçage génétique pour éradiquer les nématodes qui causent des maladies

Forçage génétique pour éradiquer le champignon candida (à l'origine des mycoses chez les animaux de ferme)

Bien que le forçage génétique soit en train d'être activement développé chez les insectes et les mammifères, les promoteurs pensent également que le «forçage génétique local» théorique peut offrir la possibilité de supprimer et d'éradiquer les populations de plantes adventices. Bien qu'à ce jour, aucun scientifique n'ait publié la preuve qu'un forçage génétique fonctionne chez une espèce végétale, le scientifique Patrick Tranel, spécialiste des mauvaises herbes, de l'université de l'Illinois, étudie actuellement une telle approche. Tranel a confié au journal *The Western Producer* qu'il était intéressé par l'introduction du forçage génétique pour les mauvaises herbes dioïques (c'est-à-dire les mauvaises herbes dont les parties mâles et femelles sont présentes dans différentes plantes).³² «Nous pourrions (hypothétiquement) contrôler la masculinité et faire des mâles le trait dominant de ces mauvaises herbes. Nous pourrions relâcher des mâles modifiés pour que toutes leurs progénitures soient des mâles », a-t-il déclaré. «Et après quelques générations, vous élimineriez les femelles (mauvaises herbes) de la population. Localement, vous pourriez conduire la population à l'extinction». Tranel a toutefois exprimé des réserves quant à l'application de gènes d'auto-extinction à des espèces de mauvaises herbes. «Peut-être pourrait-on argumenter pour (provoquer) l'extinction d'un moustique, mais je ne suis pas sûr que nous pourrions argumenter en disant que nous voulons la disparition d'une (ou de certaines) espèce de mauvaises herbes », a déclaré Tranel, ajoutant que les oiseaux mangent des graines de mauvaises herbes et que les mauvaises herbes font partie de l'écosystème (voir Encadré 5).

Le brevet fondamental sur le forçage génétique guidé par ARN d'Esvelt répertorie plus de 180 espèces de mauvaises herbes agricoles qui pourraient être ciblées par le forçage génétique CRISPR, ainsi que 160 espèces de parasites d'insectes, de mollusques et de nématodes nuisibles pour l'agriculture.³³ Un brevet de forçage génétique, tout aussi fondamental, déposé par Ethan Bier et Valentino Gantz, recense plus de 600 parasites agricoles comme cibles.³⁴ Ces brevets montrent clairement à quel point les utilisations agricoles occupent une place centrale dans la réflexion des développeurs de forçage génétique.

Encadré 4 : Gènes d'auto-extinction (auto-extinction genes , AEGs)

La libération des GDO, s'ils fonctionnent, déclenche une réaction en chaîne potentiellement irrésistible. La libération d'un GDO contenant des gènes pour éradiquer une espèce particulière (par exemple un organisme nuisible) pourrait entraîner la disparition de cette espèce dans le monde entier. Nous utilisons le terme «gènes d'auto-extinction» (AEG) pour souligner le caractère potentiellement incontrôlable de ce processus. Il est important de reconnaître que l'extinction peut ne pas être le résultat final, même si cela est souhaité. Un phénomène appelé «gene drive resistance» peut émerger pour contrecarrer les projets d'extincteurs potentiels (voir Encadré 6 ci-dessous).

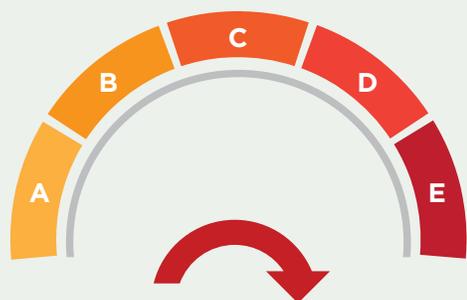
Chacun des neuf organismes possède un compteur 'réalité-mètre' (Figure 3) indiquant approximativement à quel point la technologie a progressé vers sa dissémination dans la nature.



Figure 3: Un compteur 'réalité-mètre' du forçage génétique

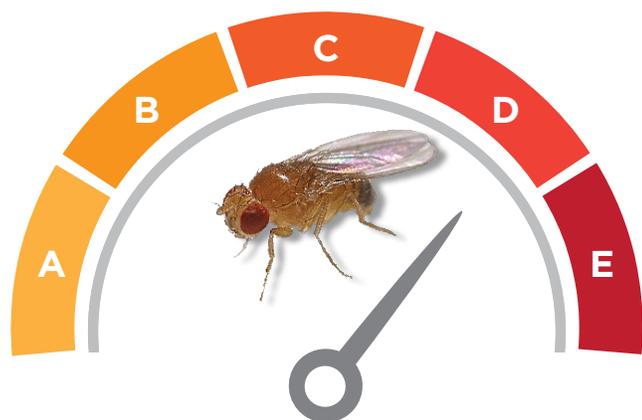
Le compteur 'réalité-mètre' Indique à quel point des organismes forcés génétiquement sont sur le point d'être libérés dans les agro-écosystèmes, sur la base d'informations du domaine public.

EXPLICATION DES ÉTAPES DU CURSEUR :



- A** **Modèle théorique** : Un modèle d'utilisation du forçage génétique chez une ou plusieurs espèces a été publié.
- B** **Financement et / ou brevet** : financement obtenu ou brevet publié.
- C** **Essais en laboratoire commencés** : les expériences pour tester le forçage génétique en laboratoire ont commencé.
- D** **Essais en laboratoire terminés** : des expériences visant à tester le forçage génétique en laboratoire sont terminées.
- E** **Communiqué** : Un organisme responsable de forçage génétique a été libéré dans les agro-écosystèmes

i. *Drosophila*, *Ceratitis* et autres



Avec un budget annuel de 100 000 dollars fourni par le California Cherry Board depuis 2013, des scientifiques de l'Université de Californie à San Diego, dirigés par Anna Buchman, analyste de données de recherche, et Omar Akbari, professeur assistant en entomologie, ont entamé le processus de transformation d'un ravageur invasif, la mouche à vinaigre (*Drosophila suzukii*) dans un GDO. Ils y voient une nouvelle méthode de manipulation des populations de ces ravageurs envahissants, qui, selon Buchman, « n'ont pas sa place ici au départ ».³⁵

Drosophila suzukii est un nuisible qui affecte la productivité des plantations de pêchers, de cerisiers et de pruniers dans les zones d'agriculture industrielle

en Asie de l'Est, en Amérique du Nord et en Europe. Il est devenu une nouvelle espèce nuisible majeure en Amérique du Nord et en Europe.

C'est la première fois qu'une espèce nuisible d'importance commerciale a commencé à être modifiée de cette manière. Akbari affirme que les GDO sont un outil de précision capable d'éliminer une espèce parmi des milliers d'autres.³⁶

Plus récemment, un pas en avant vers la conception d'un forçage génétique a été franchi chez un autre genre de mouche des fruits, la mouche méditerranéenne (*Ceratitis capitata*), originaire de l'Afrique subsaharienne, qui s'est répandue de manière envahissante dans de nombreuses régions du monde, y compris en Australasie et en Amérique du Nord et du Sud. Angela Meccariello et ses collègues rapportent l'adaptation réussie de la perturbation génique basée sur CRISPR-Cas9 dans la mouche méditerranéenne, qui aide «les progrès dans la mise en place de nouvelles stratégies génétiques pour la lutte contre les insectes nuisibles, telles que le forçage génétique ».³⁷

S'appuyant sur des travaux antérieurs sur les dendroctones de la farine et *Drosophila melanogaster*, le laboratoire Akbari affirme avoir modifié le forçage génétique afin de réduire le risque de libération de GDO dans l'environnement, avec le risque d'extinctions non contrôlées qui en découle.³⁸ Il a élevé des mouches à vinaigre

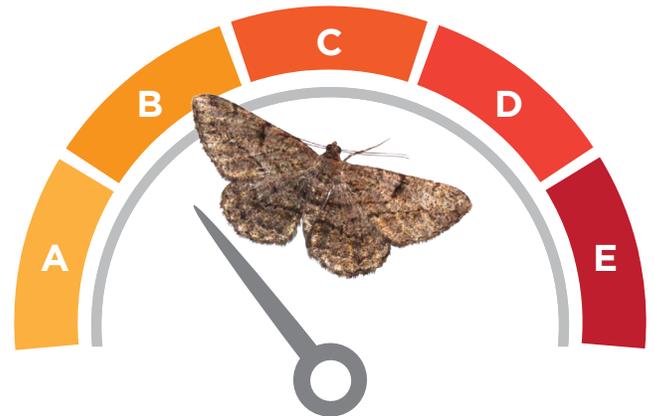
Drosophila suzukii contenant MEDEA (arrêt maternel à effet embryonnaire dominant)/ (Maternal Effect Dominant Embryonic Arrest).³⁹ En théorie, un GDO doté de MEDEA aurait besoin d'un grand nombre d'insectes pour que la réaction en chaîne d'auto-extinction démarre et soit donc moins sujet à l'extinction d'une espèce par suite d'une dissémination accidentelle. Les affirmations d'Akbari concernant MEDEA n'ont été reproduites pour *Drosophila suzukii* dans aucun autre laboratoire. Il n'a pas été démontré non plus qu'un GDO contenant MEDEA chez la *Drosophila suzukii* agirait comme prévu s'il était associé à un gène d'extinction, même en laboratoire.

Akbari a déposé un brevet américain couvrant l'utilisation de MEDEA non seulement pour *Drosophila suzukii*, mais également pour la mouche mexicaine du fruit (*Anastrepha ludens*), la mouche caraïbienne du fruit (*Anastrepha suspense*), la mouche de l'olive (*Bactrocera oleae*, *Dacus oleae*), la mouche antillaise des fruits (*Anastrepha obliqua*), le moustique de la fièvre jaune (*Aedes aegypti*) et le moustique *Anopheles gambiae*, un des principaux vecteurs du paludisme en Afrique subsaharienne.⁴⁰

Un article récent a utilisé une modélisation mathématique pour prédire comment une méthode d'auto-extinction similaire pourrait théoriquement être confinée.⁴¹ Cependant, à ce stade, rien n'indique que de tels mécanismes empêcheraient la réaction d'extinction en chaîne en dehors du laboratoire.

Il y a des raisons de penser qu'un GDO pourrait transmettre des gènes d'auto-extinction (AEG - voir Encadré 4) à des espèces apparentées.⁴² Les limites des espèces ne sont pas claires ou inconnues pour de nombreuses espèces et un croisement entre des espèces étroitement apparentées (également appelées sous-espèces) a été signalé chez certains insectes.^{43,44} Un tel métissage pourrait ne pas avoir d'effet néfaste sur les non-GDO. Cependant, les propriétés d'auto-réplication des GDO et la propagation potentiellement illimitée des AEG dans le temps et dans l'espace augmentent leur potentiel d'extinction des espèces de mouches apparentées, avec des conséquences potentiellement désastreuses pour les écosystèmes et les populations humaines qui en dépendent.^{45,46}

ii. Papillon de nuit



Les stades larvaires (souvent appelés vers) de nombreux papillons nocturnes sont les parasites de nombreuses plantes et cultures cultivées.

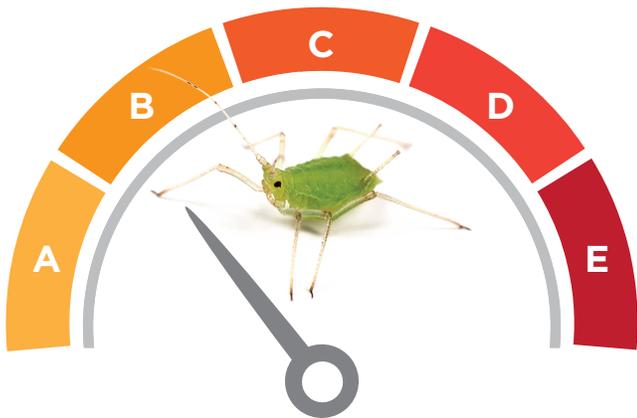
Fotini Koutroumpa et d'autres chercheurs des laboratoires de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) du gouvernement français ont déclaré avoir démontré que le système CRISPR-Cas9 était très efficace pour l'édition du génome du ver du cotonnier (noctuelle méditerranéenne, prodénia) *Spodoptera littoralis*. Cette espèce a été ajoutée sur la liste des nuisibles nécessitant d'être mis en quarantaine par l'Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes et a également été inscrite sur la liste des espèces hautement envahissantes aux États-Unis.

Koutroumpa et al. croient qu'ils ont fait un pas en avant vers un potentiel forçage génétique chez cette espèce.⁴⁷ Une fois que ce processus aura abouti chez une espèce de papillon, il sera plus facile d'adapter la technologie à d'autres parasites, tels que le bombyx disparate, dont les larves consomment les feuilles de plus de 500 espèces d'arbres, d'arbustes et de plantes. Le système olfactif de cette espèce (*Lymantria dispar*) a déjà été mis au point pour le traitement par forçage génétique par le laboratoire Esvelt.⁴⁸ Une autre équipe de l'UC Irvine propose d'utiliser des lecteurs de gènes pour contrôler le légionnaire d'automne ou noctuelle du maïs (*Spodoptera frugiperda*).⁴⁹

La mouche des crucifères (*Plutella xylostella* Linnaeus) est également un ravageur des cultures qui s'attaque au brocoli, au chou-fleur et au chou

de Bruxelles. Aux États-Unis, responsable de près de 5 milliards de dollars de dégâts chaque année, la mouche des crucifères a été proposée comme candidat de choix pour devenir un GDO car c'est un exemple d'organisme nuisible qui est lui-même déjà un sujet de génie génétique.⁵⁰ Cependant, sans une compréhension complète de la relation entre les insectes géo-disséminés et les espèces nuisibles naturelles, il semblerait impossible de limiter le GDO à un seul pays. Les chercheurs ont déjà exprimé leurs préoccupations concernant la contamination liée à la libération d'insectes génétiquement modifiés dans le cadre des stratégies de lutte contre les ravageurs.⁵¹ L'utilisation potentielle de GDO soulève des problèmes encore plus graves liés au risque de contamination transfrontalière des systèmes agricoles à travers le monde.⁵²

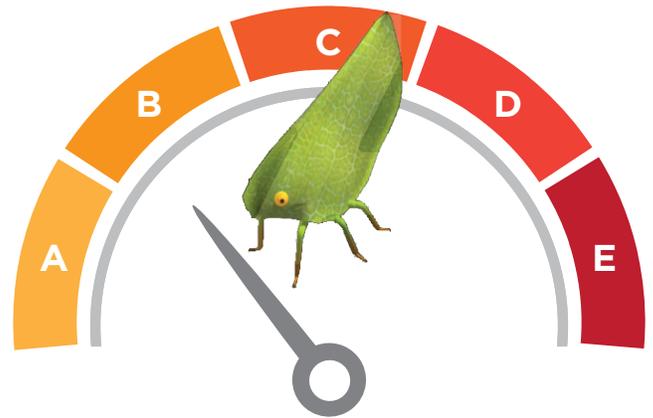
iii. Pucerons



Exemple. Psylle de citrus asiatique (*Diaphorina citri*).

Ce puceron sauteur est un important ravageur des agrumes, car il est l'un des deux seuls vecteurs confirmés de la maladie de verdissement des agrumes de Huanglongbing (HLB). Il est largement répandu dans le sud de l'Asie et s'est maintenant étendu à d'autres régions productrices d'agrumes. En 2018, le US Citrus Research Board a annoncé qu'il tentait d'introduire dans le psylle asiatique des agrumes des systèmes de forçage génétique qui empêcheraient le puceron de transmettre la maladie du verdissement des agrumes.⁵³

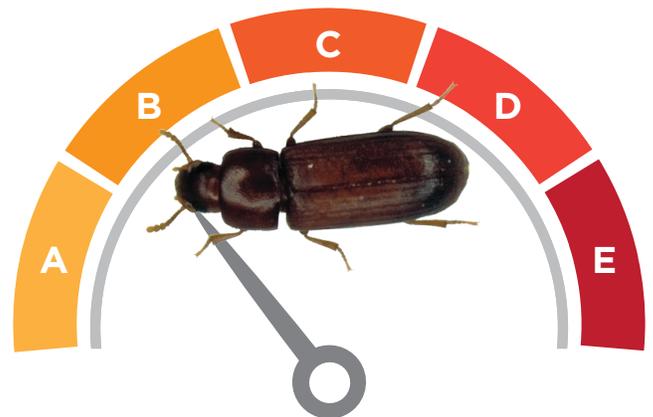
iv. Cicadelle



Exemple. La cicadelle brune (*fulgoride brun*) Brown plant hopper (BPH) *Nilaparvata lugens*

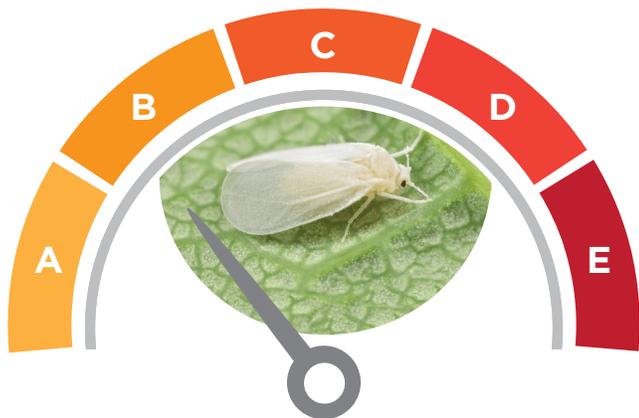
C'est l'un des principaux ravageurs du riz dans le monde en raison des dommages qu'il provoque en se nourrissant de plantes et en transmettant des virus. Maxwell Scott et ses collègues ont indiqué qu'il constituait une cible de choix pour l'utilisation du forçage génétique.⁵⁴

v. Tribolium rouge de la farine



Ce coléoptère a également été proposé pour le développement de GDO par Scott et al. Il s'agit d'un ravageur mondial des céréales et des céréales stockées, particulièrement sujettes aux grandes infestations dans les pays les plus pauvres et dotées d'un système génétique apte à devenir un GDO.⁵⁵

vi. Aleurode

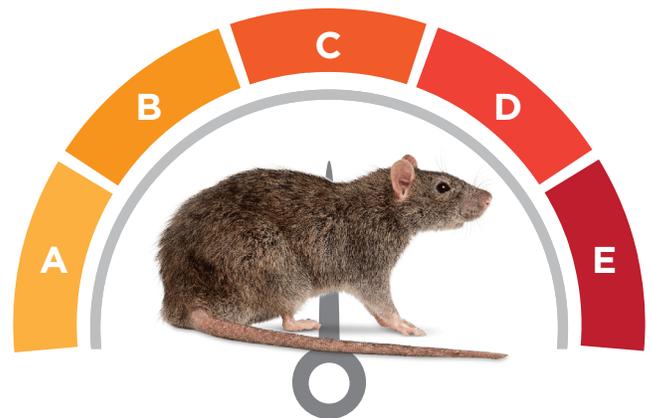


Exemple. L'aleurode du tabac, *Bemisia tabaci*

Cette mouche a été proposée par Scott et al. comme «une situation idéale pour développer et tester des systèmes de forçage génétique en général» et comme «un système modèle potentiel pour explorer ces technologies de manière significative». ⁵⁶ Les auteurs citent le confinement de GDO comme une préoccupation probable au cours des premières phases de développement. Les larves de cette mouche sont des ravageurs particulièrement dévastateurs, car elles se nourrissent de plus de 500 espèces de plantes. Les hôtes les plus courants sont les cultures agricoles telles que la tomate, la courge, le brocoli, le chou-fleur, le chou, le melon, le coton, les carottes, la patate douce, le concombre et la citrouille, ainsi que des plantes ornementales telles que le poinsettia, le myrte de Crêpes, les rosiers de jardin, la lantane et le lis. Il peut causer des dommages spécifiques à certaines plantes hôtes, telles que 'Silverleaf' sur la courge, une maturation irrégulière des tomates, une tige blanche chez le brocoli et le chou-fleur, une tige blanche chez le poinsettia et une racine claire chez la carotte.

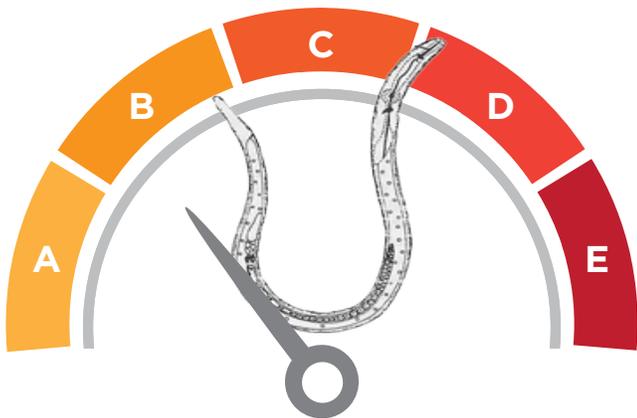


vii. Rongeurs



Les rats et les souris causent chaque année des milliards de dollars de dégâts aux grandes cultures, aux céréales stockées et aux machines agricoles. Ils transportent également plus de 60 maladies susceptibles de se propager au bétail ainsi qu'aux humains. ⁵⁷ Rien qu'aux États-Unis, on estime que les rats coûtent plus de 27 milliards de dollars par an à l'économie. En tant que tels, ils constituent une cible de choix pour les efforts d'éradication par forçage génétique entraînés par le secteur agroalimentaire. Deux équipes ciblent délibérément des rats et des souris dotés de gènes d'auto-extinction: une équipe de l'institut britannique Roslin est en train de mettre au point un GDO qu'il l'appelle la déchiqueteuse de X (car il détruit les chromosomes X, empêchant ainsi la naissance de rats femelles). Les chercheurs principaux, MacFarlane et Whitelaw, justifient leurs travaux sur l'éradication des rongeurs avec le forçage génétique sur des terres agricoles. ⁵⁸ Un deuxième projet de biocontrôle génétique des rongeurs, baptisé GBIRD (Genetic Biocontrol of Rodents), financé par les US Defence Advanced Research Projects, met en avant ses efforts pour libérer les rongeurs porteurs du forçage génétique sur des îles comme mesure de conservation, mais des courriels au sein du consortium (acquis grâce à des requêtes permises grâce à la loi sur la liberté d'information) montrent que certains membres de l'équipe considèrent également que leur technologie est appropriée pour une utilisation sur les fermes du continent. ⁵⁹ Les premières souris portant un forçage génétique CRISPR-Cas9 qui cible avec succès un gène modifiant la pigmentation ont été récemment rapportées. ⁶⁰

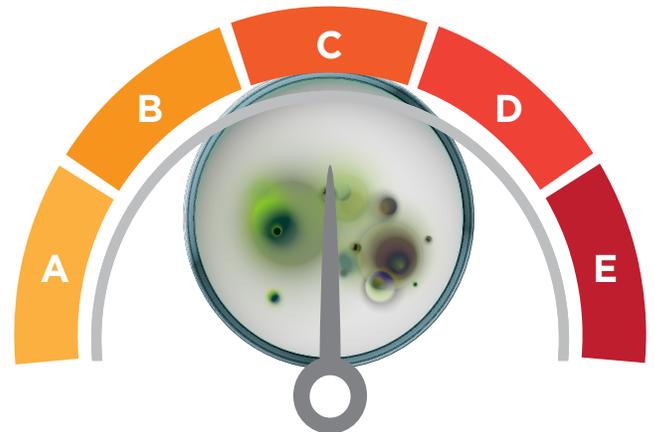
viii. Nématodes



Les nématodes sont des vers ronds microscopiques non segmentés qui constituent l'une des formes de vie les plus nombreuses sur Terre. Alors que de nombreuses espèces de nématodes vivent en liberté et jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique, d'autres espèces sont parasites des plantes ou des animaux. Les nématodes parasites des plantes vivent dans les racines et autres parties de la plante, provoquant des maladies. Ils sont considérés comme un obstacle majeur à la sécurité alimentaire future et causent environ 80 milliards de dollars de pertes par an au niveau mondial. Les scientifiques du laboratoire de Kevin Esvelt s'efforcent de développer le forçage génétique dans *Caenorhabditis elegans*, un système de test renommé pour les généticiens du monde entier et le premier organisme multicellulaire à avoir tout son génome séquencé.⁶¹ Le succès avec *C.elegans* faciliterait le transfert de technologie à d'autres nématodes. Une demande de brevet déposée par Bier et Gantz mentionne 66 nématodes phytopathogènes contre lesquels le forçage génétique pourrait être utilisé.⁶² Les nématodes d'insectes parasites (qui ciblent les insectes nuisibles) ont également une valeur commerciale pour l'agriculture, mais le génie génétique antérieur a mis en évidence la nécessité d'une meilleure persistance sur le terrain⁶³ - une caractéristique que le forçage génétique pourrait traiter.



ix. Candida albicans



Bien qu'à un stade précoce, certains scientifiques estiment que les GDO peuvent potentiellement aider à éliminer les agents pathogènes fongiques des cultures et du bétail. Le laboratoire de Rebecca Shapiro à l'Université de Columbia a utilisé un forçage génétique basé sur CRISPR modifié pour faciliter la création rapide de K.O.génétiques dans les champignons *Candida albicans* (une forme de levure).⁶⁴ Cette levure est la cause la plus courante d'infections à levures - survenant non seulement chez l'homme, mais aussi chez les animaux d'élevage tels que les porcs, les bovins et les poulets.

b) Modifier les nuisibles pour qu'ils évitent les cultures

Une autre approche proposée pour gérer les populations d'organismes nuisibles à l'aide de forçage génétique consiste à modifier le comportement des organismes nuisibles afin qu'ils soient repoussés par les cultures et les animaux d'élevage importants pour l'agriculture. Dans ce scénario, un forçage génétique serait libéré dans la population d'organismes nuisibles, ce qui modifierait la réaction des organismes nuisibles aux odeurs ou à d'autres signaux chimiques. En 2017, le professeur Andrew Nuss du département de l'agriculture, de la nutrition et des sciences vétérinaires de l'Université du Nevada à Reno a reçu un demi-million de dollars de la US Defence Research Research Projects pour développer des techniques, notamment la libération de GDO, permettant de modifier les récepteurs d'odeur chez les moustiques.⁶⁵ Il a indiqué à une réunion de la DARPA sur le forçage génétique réunie à huis clos que l'objectif était de rendre les moustiques

attirés par les odeurs d'animaux autres que l'homme.⁶⁶ Le co-investigateur de Nuss travaille avec les mouches des fruits et la même approche pourrait éventuellement être utilisée pour tenter d'éloigner les ravageurs, y compris les insectes, des cultures et du bétail. Une approche connexe consiste à libérer les GDO pour tenter de perturber le comportement d'essaimage d'organismes nuisibles. En 2016, des scientifiques de Pékin ont déclaré avoir utilisé CRISPR pour perturber les gènes détecteurs d'odeurs responsables du comportement d'essaimage de criquets.⁶⁷ Il a été suggéré que le forçage génétique pourrait être utilisé pour diffuser cette modification génétique chez les sauterelles afin de protéger les cultures des essaims de criquets nuisibles.

c) Résistance aux herbicides

Une proposition très mise en avant pour l'utilisation agricole des GDO consiste à vaincre la résistance aux herbicides chez les espèces de mauvaises herbes courantes. La résistance aux herbicides chez les mauvaises herbes survient lorsque les mauvaises herbes évoluent de manière sélective pour résister à des doses toujours plus élevées d'herbicides chimiques après une exposition répétée à ces produits chimiques. La résistance aux herbicides dans les grandes cultures est devenue un casse-tête agronomique majeur pour les agriculteurs industriels ces dernières années. Selon Bayer-Monsanto, les mauvaises herbes résistantes aux herbicides en Australie augmentent les coûts d'environ 27 pour cent par acre en raison des coûts de gestion et de la perte de rendement accrus, tandis que les producteurs américains paient jusqu'à 150 \$ par acre pour le désherbage manuel en l'absence de meilleures options de désherbage.⁶⁸ L'un des principaux problèmes en matière de résistance aux herbicides est le développement d'une résistance généralisée au Roundup (glyphosate), le populaire herbicide de Bayer-Monsanto, qui se propage dans des mauvaises herbes telles que l'amaranthe (également appelée amaranthe de Palmer ou quélite, *Amaranthus palmeri*).

La NASEM (Académie nationale américaine des sciences pour l'ingénierie et la médecine/ US National Academy of Sciences for Engineering and Medicine) a publié un rapport historique sur le

forçage génétique. La seule étude de cas agricole examinée portait sur une proposition visant à étendre le forçage génétique dans l'amarante qui la rendrait à nouveau vulnérable au Roundup.⁶⁹ La base moléculaire de la résistance au Roundup étant très bien comprise (en raison de son utilisation dans le soja Roundup Ready de Bayer-Monsanto), un mécanisme dit de «sensibilisation/sensitizing drive» pourrait être conçu pour perturber ce mécanisme. Comme le rapport NASEM le notait, «si le forçage génétique réussissait et que la sensibilité devenait fixe, le glyphosate pourrait alors être utilisé à nouveau comme un moyen de limiter les populations d'amaranthe de Palmer.» Le rapport a noté que la modification d'une espèce d'*Amaranthus* risquait de faire en sorte que les variétés forcées génétiquement puissent remplacer les variétés d'amarante d'Amérique latine utilisées pour l'alimentation et les perturber d'une manière ou d'une autre, ce qui aurait une incidence sur la sécurité alimentaire.

En fin de compte, il ne s'agit pas que du Roundup. En théorie, le forçage génétique peut être utilisé pour adapter les espèces de mauvaises herbes à une plus grande facilité à subir l'influence de nombreux poisons agricoles. Le brevet fondateur d'Esvelt sur les forçage génétique à guidage d'ARN répertorie 167 herbicides courants, y compris leurs noms commerciaux et leurs producteurs, auxquels les plantes pourraient être rendues sensibles via un forçage génétique.

d) Habilitier de nouveaux (et anciens) produits chimiques agricoles

La propagation de « forçage génétique «sensibilisant»» chez des espèces de mauvaises herbes ou nuisibles pourrait également être un moyen de donner de nouvelles utilisations à une gamme de produits chimiques exclusifs et de créer de nouveaux marchés. Dans une analyse des utilisations du forçage génétique, quatre chercheurs du groupe de recherche Sculpting Evolution GDO du MIT proposent que cette stratégie ouvre de nouvelles perspectives pour une agriculture durable et non toxique : le « forçage génétique de sensibilisation » pourrait conférer une vulnérabilité à de nouveaux composés, peut-être ceux sont par ailleurs biologiquement inertes et donc totalement non toxiques pour l'homme

et l'environnement. Cette stratégie permettrait d'éliminer localement les parasites sans affecter aucune autre espèce ou population ailleurs.⁷⁰ Bien que les chercheurs du MIT ne précisent pas quels composés non toxiques ils ont en tête, de telles allégations devraient être soigneusement examinées par les défenseurs de l'agriculture durable et biologique.

Bien que la production biologique utilise un nombre limité de composés non toxiques, l'approche sous-jacente consistant à confronter un organisme à un composé externe relève plus du paradigme de l'agriculture industrielle que de l'agroécologie. Il n'y a pas non plus de raison pour que les sociétés de biotechnologie choisissent nécessairement d'adapter les mauvaises herbes à des composés à faible toxicité qui peuvent ne pas être très efficaces. Avec des milliards de dollars enfermés dans les installations de production de produits chimiques existantes, il est plus rentable de manipuler les mauvaises herbes et les ravageurs pour les rendre plus sensibles aux toxines existantes dont le mécanisme d'action est déjà bien compris.

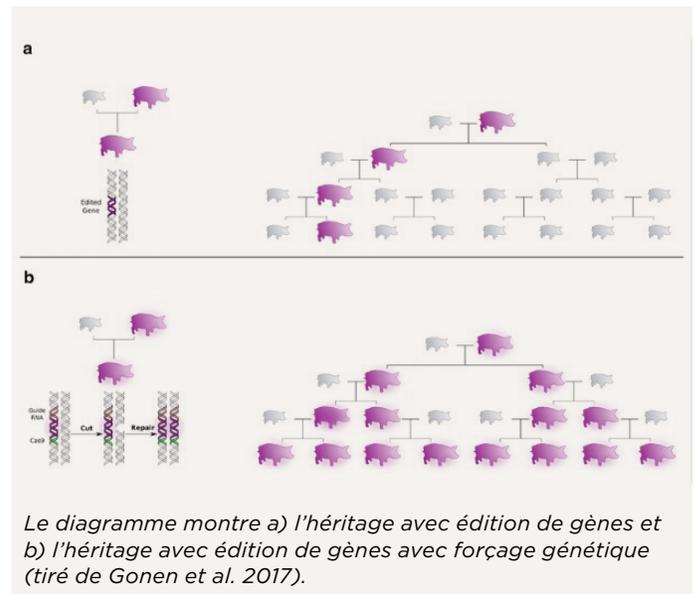
e) Accélération de la reproduction / propagation des caractères OGM

À ce jour, les discussions publiques sur le forçage génétique ont été axées sur leur utilisation en tant qu'outil pour la propagation de gènes modifiés par génie génétique dans des organismes nuisibles, des mauvaises herbes et des espèces envahissantes dans la nature. Cependant, il se peut que la principale utilisation du forçage génétique soit l'outil de sélection agricole de cultures et de bétail. Étant donné que le forçage génétique est conçu pour faire en sorte qu'un caractère se déplace efficacement d'une génération à l'autre, les sélectionneurs de plantes autant que les éleveurs peuvent vouloir utiliser la technologie pour s'assurer que le caractère choisi est transmis de manière fiable à la progéniture ou qu'il pénètre rapidement dans les stocks de semences et d'animaux lignes de reproduction.

Des chercheurs en élevage de l'Institut Roslin du Royaume-Uni ont examiné la manière dont le forçage génétique pourrait être utilisé pour accélérer le gain génétique «genetic gain» (amélioration des performances) dans l'élevage.

Dans un article récent utilisant des porcs en guise d'exemple (voir figures 4a et 4b), Serap Gonen et ses collègues ont conclu que «le forçage génétique pourrait être utilisé pour augmenter la vitesse à laquelle les variantes de gènes édités sont réparties entre les populations d'animaux d'élevage».⁷¹ Ils recommandent l'utilisation du forçage génétique comme outil de sélection efficace pour propager les nouvelles modifications CRISPR.

Figures 4a et 4b : Forçage génétique chez le bétail.



Dans les cultures également, le forçage génétique pourrait potentiellement être considéré comme un moyen d'accélérer l'introduction de gènes modifiés. Les sociétés de biotechnologie doivent actuellement passer par une série complexe d'essais de multiplication de semences afin de constituer des stocks plus importants de semences génétiquement modifiées. Ce processus peut prendre plusieurs années. Théoriquement, l'ajout du forçage génétique à un nouveau caractère génétiquement modifié pourrait être utilisé pour introduire plus rapidement ce caractère dans les lignées de sélection de semences.

Encadré 5 : Forçage génétique chez les plantes - un effet d'annonce exagéré?

Malgré les affirmations de Patrick Tranel et d'autres (voir ci-dessus) sur le développement du forçage génétique chez les espèces de mauvaises herbes, la nature des génomes de plantes rend le forçage génétique CRISPR beaucoup moins simple. Les organismes peuvent utiliser différents mécanismes pour réparer l'ADN endommagé et le forçage génétique CRISPR exploite l'un de ces mécanismes de réparation courants (appelé «réparation dirigée par l'homologie/homology directed repair») afin de copier le forçage génétique dans les deux chromosomes. Cependant, chez les plantes, un autre mécanisme (appelé «non-homologous end joining») est prédominant. Cela signifie que la plante peut réparer les ruptures de l'ADN de manière à ne pas intégrer le forçage génétique, ce qui augmente les chances que le forçage génétique ne se transmette pas. Ce défi signifie qu'à l'heure actuelle, les CRISPR basés sur le forçage génétique ne peuvent pas être développés facilement chez les plantes.

f) Contrôler et diriger les «services écologiques»

De nombreuses espèces sauvages, y compris les «parasites», fournissent de précieux «services écologiques» dans les écosystèmes agricoles. Les abeilles et les insectes pollinisent les cultures, les vers et les nématodes améliorent la fertilité du sol et les mauvaises herbes fixent l'azote dans le sol. Une autre approche pour utiliser le forçage génétique en agriculture peut consister à manipuler certains de ces «services écologiques» - par exemple en diffusant des gènes fixant l'azote dans des espèces de mauvaises herbes ou en perturbant la pollinisation.

Elwha LLC est une société américaine associée à Intellectual Ventures, une société que certains considèrent comme un «chasseur de brevets», créée par le directeur de la technologie de Microsoft, Nathan Myhrvold.⁷² Elwha a été nommée par CNBC parmi «les cinq plus grands détenteurs de brevets bitcoin et / ou

de demandes de brevets ».⁷³ Elle a déposé un brevet (US2016 / 0310754A1) pour modifier génétiquement l'abeille domestique occidentale (*Apis mellifera*), l'abeille domestique la plus répandue dans le monde, et *Apis cerana Indica*, l'abeille domestique indienne, et pour installer le forçage génétique pour transformer ces insectes en GDO. Plus précisément, le brevet propose un schéma hypothétique pour l'installation dans la population d'abeilles de gènes «optogénétiques» modifiés qui seraient théoriquement activés et désactivés par un faisceau lumineux externe. Le brevet affirme qu'un tel faisceau lumineux peut contrôler le comportement des insectes en leur faisant croire qu'ils détectent certaines odeurs, attirant éventuellement les abeilles mellifères dans les champs des agriculteurs pour les polliniser. Parce que les abeilles seraient affectées par le faisceau lumineux, selon le brevet, il fonctionnerait comme un «rayon tracteur». Le rayon tracteur génétique d'Elwha est tout à fait théorique et les experts en matière d'abeilles domestiques que les auteurs ont consultés expriment un profond scepticisme selon lequel il ne serait jamais possible de contrôler le comportement des abeilles de cette manière. Toutefois, les efforts déployés pour déposer un tel brevet vont dans le sens de ce que le critique Sainath Suryanarayanan appelle «morceau d'anthologie en matière d'orgueil» avec lequel les entreprises privées discutent des tentatives potentielles d'utilisation du forçage génétique pour contrôler commercialement des fonctions écologiques fondamentales telles que la pollinisation, en dépit de la crise actuelle des populations d'abeilles mellifères et sauvages, démontrant que ce serait une entreprise dangereuse, même si cela était possible.⁷⁴

‘C'est un morceau d'anthologie en matière d'orgueil, sans aucune preuve apportée vis à vis des organismes cibles’ - Sainath Suryanarayanan, auteur de *Vanishing Bees: Science, Politics et Honeybee Health*, décrit le brevet d'Elwha Gene Drive Bee.⁷⁵

g) Éliminer la pollution génétique

Après 20 ans d'utilisation dans l'agriculture, la première génération d'OGM a donné lieu à plusieurs cas de pollution génétique non désirée - des gènes modifiés se propageant involontairement dans des espèces sauvages et domestiquées. De 2000 à 2001, plus de 300 produits alimentaires ont été rappelés car près de la moitié de l'approvisionnement en maïs américain aurait pu être contaminé par une variété de maïs génétiquement modifiée non approuvée appelée StarLink, liée à de possibles allergies. À peu près au même moment, les scientifiques ont découvert que les caractères génétiquement modifiés s'étaient répandus dans les variétés de maïs mexicaines du centre mondial d'origine et de la diversité du maïs au Mexique, même si aucune plantation n'était autorisée dans le pays. Les deux incidents ont mobilisé des opérations de nettoyage poussées (et coûteuses), l'industrie américaine ayant dépensé jusqu'à un milliard de dollars pour lutter contre la contamination par StarLink et les communautés paysannes mexicaines ayant entamé un processus intensif pluriannuel visant à identifier et à supprimer les variétés génétiquement modifiées de leurs système de culture traditionnel Milpa.

Bien que l'utilisation de GDO pour éliminer une telle pollution causée par des OGM puisse sembler contre-intuitive, au moins un promoteur d'ingénierie en forçage génétique propose exactement cela. Esvelt et ses collègues proposent que leur système expérimental de « forçage génétique local », le 'gentil' forçage génétique, soit utilisé de manière à ce que les GDO se croisent avec des variétés génétiquement modifiées à l'état sauvage, puis les affaiblissent de sorte que les variétés de type sauvage puissent à nouveau reprendre la main - en éliminant la pollution génétique. Surnommé le système de « *daisy restoration* » (restauration douce), le travail est en cours de développement grâce à un financement de l'agence DARPA de l'armée américaine, mais Esvelt et ses collègues affirment qu'il pourrait également être utilisé pour éliminer la pollution génétique. «C'est quelque chose que nous pourrions utiliser pour reconstituer potentiellement le type sauvage avec toute population possédant des gènes modifiés, explique Esvelt, qu'elles se

soient échappées d'une autre espèce que nous voulions créer ou pour toute autre raison.».⁷⁶

Ce n'est pas la première fois que les biotechnologistes proposent d'utiliser des méthodes de génie génétique de pointe pour éliminer les OGM. Il y a quelques années, le groupe ETC a publié un rapport sur un système appelé «exorciste» qui promettait de créer des cultures puis de supprimer les gènes modifiés. La technologie exorciste n'a pas trouvé beaucoup d'adeptes parmi les mouvements alimentaires ni les paysans préoccupés par la contamination génétique, et probablement pas plus que la «*daisy restoration*». Le recours à la même technologie imprévisible qui a causé un problème au départ n'est pas un gage de confiance. Dans le cas de la contamination du maïs mexicain, après délibération minutieuse, les communautés paysannes choisissent de ne pas nettoyer leurs variétés de semences indigènes en utilisant des méthodes d'identification génétique de pointe, préférant développer des méthodes autochtones d'identification et de restauration qui correspondent à leurs connaissances traditionnelles.⁷⁷

5. Une technologie hors de contrôle ?

Comme pour les OGM, le débat sur les risques et les menaces posés par les GDO a commencé lorsque la technologie a été développée en laboratoire. À la fin de 2014, les développeurs de GDO ont publié un article dans Science qui exposait certains des problèmes qu'ils prévoyaient avec le forçage génétique CRISPR et la nécessité d'une réglementation nationale et mondiale, mais la réglementation n'a pas suivi le rythme de la technologie.⁷⁸ Alors que de plus en plus d'applications de forçage génétique sont sur le point d'être libérées dans l'environnement, les responsables politiques doivent d'urgence s'attaquer aux effets perturbateurs des GDO. Cette section décrit ces préoccupations.

Menaces de biosécurité et risques écologiques

En tant que nouveaux organismes délibérément destinés à être libérés dans l'environnement,

Les demandes « clés » de brevets de forçage génétique sont conçues pour l'agriculture



Ravageurs "associés au Maïs"



Ravageurs "associés au Coton"



Ravageurs "associés aux petites céréales"



Ravageurs "dans le cadre du présent sujet" associés au Soja



Ravageurs associés au Raisin



Ravageurs associés au palmier



Ravageurs associés aux plantes solanacées (y compris poivrons, tomates, aubergines, tabac, pétunia, pommes de terre)



Ravageurs associés aux fruits à noyau



Ravageurs agricoles des espèces de nématodes à kyste



Ravageurs agricoles d'espèces exotiques de foreuses des bois ou de scolytidés



Ravageurs agricoles d'espèces de mollusques



Ravageurs agricoles d'espèces de papillons

112 Variétés de mauvaises herbes nuisibles (19 aquatiques, 5 parasites, 88 terrestres)

186 Herbicides de marque



52 Autres adventices dans le cadre du présent sujet (par exemple herbe à poux, herbe à puces)



46 Variétés de pesticides (par exemple atrazine, glyphosate, naphtalène, hydroxyde de cuivre)

27 Entreprises agroalimentaires mentionnées



WO2015/105928A1

Titre : FORÇAGE GÉNÉTIQUE GUIDÉ PAR ARN

Inventeurs : Kevin Esvelt, Andrea Smidler

Destinataires : Président et Membres du Harvard College

Date de publication internationale : 16 juillet 2015

Le texte de deux demandes de brevets clés pour les forceurs génétiques CRISPR décrit de manière détaillée les utilisations agricoles et énumère les cibles agricoles de ces utilisations du forçage génétique.



301

Insectes ravageurs agricoles



20

Mites ravageurs agricoles



96

Nématodes ravageurs agricoles



68

Nématodes phytopathogènes



48

Insectes vecteurs de phytopathogènes



27

Insectes ravageurs et plantes ornementales



6

Mollusques ravageurs



18

Ravageurs du raisin



6

Ravageurs de la fraise



8

Ravageurs des abeilles



34

Mauvaises herbes mentionnées qui résistent aux pesticides ou aux herbicides

WO 2017/049266 A2

Titre : Méthodes d'édition de gènes autocatalytique et de neutralisation d'édition de gènes autocatalytique et de leurs composants

Destinataires : Les régents de l'Université de Californie

Inventors: Ethan Bier, Valentino Gantz, Stephen Hedrick

Publié : 23 mars 2017

les GDO comportent au moins les mêmes risques en matière de biosécurité que les autres OGM. Cependant, le mécanisme de forçage génétique soulève des préoccupations supplémentaires majeures. Comme tous les OGM, ils peuvent entraîner des comportements, des caractères et des effets imprévus. Auparavant, les biotechnologistes ont fait valoir que même si des effets imprévus se produisaient, leurs organismes génétiquement modifiés ne persisteraient pas et ne se propageraient pas au-delà d'une utilisation contrôlée ou domestiquée, ni ne causeraient de changements importants aux écosystèmes sauvages. En revanche, les GDO synthétiques sont expressément conçus pour se répandre, persister, créer des changements à grande échelle dans les populations sauvages et avoir un impact intentionnel sur des écosystèmes entiers.⁷⁹

Une étude publiée par Esvelt a examiné les résultats de projets existants sur le forçage génétique et a conclu que les GDO deviendraient probablement envahissants chez les populations sauvages: «Le résultat final est que créer un CRISPR basé sur le forçage génétique et auto-propagateur équivaut probablement à créer une nouvelle espèce très envahissante », a écrit Esvelt et son co-auteur. «Les deux vont probablement se propager à tout écosystème dans lequel ils sont viables, provoquant éventuellement un changement écologique.»⁸⁰

Contrairement aux OGM agricoles, où un agriculteur acquiert de nouvelles semences de saison en saison, les GDO devraient persister et transmettre leurs modifications à plusieurs générations d'espèces sauvages et domestiques, ce qui accroît les possibilités de mutations et, dans le cas des insectes et d'autres «parasites» se déplaceraient entre des écosystèmes gérés et non gérés, dont beaucoup sont mal compris et qui présentent des différences géographiques et écologiques potentiellement importantes. Étant donné que les GDO persistent et se propagent, il peut ne pas être possible d'évaluer de manière fiable les impacts potentiels des GDO sur différents «environnements récepteurs» ou de prévoir comment des mutations pourraient créer des traits inattendus qui pourraient également émerger et se propager.

Puisque le forçage génétique de synthèse exploitant le système d'édition de gène CRISPR, qui a été observé pour créer des effets «hors cible» inattendus,

il y a lieu de s'inquiéter des changements et des mutations imprévues. Ce risque se reproduira à chaque génération à mesure que le système CRISPR sera continuellement re-développé, pas en laboratoire, mais dans la nature.⁸¹

Un grand nombre des projets de recherche de forçage génétique en cours, dans l'agriculture et ailleurs, visent à éradiquer ou à supprimer des espèces. Supprimer un organisme nuisible peut sembler intéressant du point de vue d'une production alimentaire efficace en monoculture, mais même les organismes nuisibles ont leur place dans la chaîne alimentaire et peuvent dans d'autres contextes (en particulier en dehors des terres agricoles) s'avérer être des espèces essentielles ou essentielles au maintien de la biodiversité.

À ce jour, on n'a pas accordé suffisamment d'attention à la manière dont les constructions forcées génétiquement, en particulier les gènes d'auto-extinction, peuvent sortir de l'espèce cible et devenir des espèces étroitement apparentées. Par exemple, un GDO publié dans le but d'éradiquer une mauvaise herbe agricole peut transmettre les capacités d'auto-extinction aux cultures sauvages associées, avec des effets néfastes sur la biodiversité.

Récemment, il a été démontré que le gène conférant la résistance au glyphosate chez un gazon généralement utilisé sur les terrains de golf était également présent dans un hybride provenant d'un croisement avec une autre espèce d'herbe, le polypogon de Montpellier, démontrant que des constructions génétiques peuvent être transmises à d'autres espèces par hybridation.⁸²

L'éradication d'une espèce pourrait créer de manière imprévisible un espace pour l'expansion d'une autre espèce susceptible de véhiculer des maladies, d'affecter la pollinisation ou de menacer la biodiversité. Même essayer de cibler les hôtes d'animaux d'élevage et de maladies humaines (par exemple les moustiques) peut forcer l'agent causal de la maladie (par exemple les parasites) à se déplacer, ce qui ouvre de nouvelles menaces pour la santé et l'agriculture. Le changement de comportement des insectes, leur odorat ou la physiologie des mauvaises herbes peuvent également avoir des conséquences. De nombreuses leçons en matière de précautions écologiques sont à tirer d'expérimentations précédentes de «biocontrôle», selon lesquelles des

organismes introduits à des fins de contrôle agricole étroit devenaient des organismes envahissants à part entière.⁸³

Encadré 6 : le forçage génétique peut-il seulement fonctionner ? Evolution se défend.

Pour toutes les créations élaborées des développeurs GDO, il est possible que le forçage génétique de synthèse ne fonctionnent pas aussi efficacement ou avec autant de précision que le souhaitaient initialement les promoteurs, en particulier une fois sortis de l'environnement artificiel du laboratoire. Comme tout organisme vivant en évolution, les organismes forcés génétiquement vont muter et changer avec le temps. À peine un an après l'invention du forçage génétique CRISPR, les chercheurs travaillant sur les moustiques ont déjà été témoins de l'émergence de résistances au forçage génétique, l'évolution sélectionnant des mutations qui désactivent ou altèrent le forçage génétique.⁸⁴ Dans une revue récente de la revue *Genetics*, il était conclu que «les approches de la résistance aux gènes standard du CGD [CRISPR gene drive] devraient évoluer presque inévitablement dans la plupart des populations naturelles», à moins que des stratégies spécifiques visant à vaincre la résistance ne soient développées.⁸⁵ Les chercheurs essaient maintenant de concevoir des moyens pour vaincre la résistance, rendant le forçage génétique potentiellement plus puissant et invasif.⁸⁶ Les mutations forcées génétiquement peuvent également potentiellement changer la nature du caractère conduit par une population.⁸⁷ Malheureusement, un manque d'efficacité technique peut ne pas ralentir par lui-même le développement ou la diffusion de GDO agricoles. Les cultures GM de première génération ont également été confrontées à des problèmes techniques et à des échecs. Malgré cela, la vision high-tech de l'agriculture, conjuguée à la manipulation du marché et à la coercition au niveau local, a conduit à la plantation de cultures GM telles que le coton Bt sur des millions d'acres à travers le monde de 2000 à 2010, avec des conséquences désastreuses. Cette catastrophe a été prévue par la population locale,⁸⁸ mais ce n'est que maintenant que des publications académiques sont en train de la documenter.⁸⁹

Implications pour l'agriculture agroécologique, biologique et paysanne et nécessité d'un consentement libre, préalable et éclairé

Les grands acteurs du secteur agroalimentaire envisagent peut-être tranquillement la boîte à outils « forçage génétique » comme une aubaine pour leurs bénéfices, mais la perspective de modifier génétiquement des caractères dans des écosystèmes agricoles et sauvages devrait alarmer les agriculteurs traditionnels et biologiques qui suivent les principes de l'agriculture agroécologique.

La première génération d'OGM continue de faire peser une grave menace existentielle sur la production de l'agriculture biologique, qui se présente comme «exempte d'OGM», nécessitant des mesures de défense complexes contre la pollution génétique et une vigilance constante. Il est difficile de dire comment les agriculteurs biologiques, non-OGM et paysans seront capables de défendre leur système agricole contre les insectes, les mauvaises herbes, les plantes cultivées ou les pollinisateurs de type GDO qui migrent sur leurs terres, s'hybrident, les pollinisent ou pondent des œufs et des larves dans des produits agrobiologiques. Plusieurs mouvements agrobiologiques, y compris l'International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM) et le National Organic Standards Board (NOSB) du gouvernement américain, ont réaffirmé que les organismes développés par CRISPR et d'autres méthodes d'édition de gènes étaient considérés comme génétiquement modifiés et exclus des normes agrobiologiques. En septembre 2018, la Cour de justice de l'Union européenne a déclaré que les organismes ayant subi une édition de gènes, y compris ceux modifiés à l'aide de techniques CRISPR, sont soumis à la même réglementation que les autres OGM.⁹⁰

La présence de GDO basés sur CRISPR pourrait donc menacer le statut de zone de production agrobiologique sans OGM. Ils pourraient également menacer le marché en croissance rapide des aliments et des fibres autres que les OGM. Le projet américain «Non-GMO», par exemple, s'est clairement opposé à l'autorisation des produits

modifiés par un gène (y compris CRISPR) dans le cadre de leur certification «butterfly», qui figure actuellement sur plus de 50 000 produits alimentaires, cosmétiques, textiles et ménagers. La certification de projet non-OGM couvre à elle seule un marché de 26 milliards de dollars américains.

Certains promoteurs du forçage génétique soutiennent que le mouvement des producteurs de produits biologiques et non génétiquement modifiés devrait cesser de résister et accepter les opportunités que les GDO pourraient offrir aux systèmes d'agriculture biologique et durable. Selon eux, une réduction du nombre d'organismes nuisibles sans pulvérisation de produits chimiques à l'aide de GDO pourrait avoir un «effet de halo» pour les agriculteurs biologiques qui bénéficieront également d'une réduction de la pression exercée par les organismes nuisibles.⁹¹ La notion selon laquelle les mauvaises herbes et les ravageurs pourraient être modifiés pour devenir sensibles aux composés «non toxiques» est présentée comme une occasion de passer à une agriculture plus douce et plus douce tout en éliminant les produits agrochimiques toxiques. Nommer les organismes sauvages comme «nuisibles» ou «mauvaises herbes», puis les modifier pour les exterminer est une approche qui s'inscrit parfaitement dans le paradigme simplifié de la monoculture industrielle. Au lieu de définir ces éléments du paysage agricole comme un ennemi à vaincre par des armes chimiques ou génétiques, les praticiens de l'agroécologie, tels que les communautés paysannes et autochtones, s'appuient sur la diversité des plantes et des insectes apparaissant dans le champ d'un agriculteur pour créer stratégies de gestion.

«Nous devons garder à l'esprit que le forçage génétique peut également être utilisé pour servir les intérêts économiques de groupes particuliers sans grand souci de l'intérêt général. Un «organisme nuisible» n'existe pas en tant que tel : une population

n'est qu'un organisme nuisible au regard d'intérêts spécifiques, ce qui ne signifie pas pour autant que ces intérêts sont illégitimes, mais simplement qu'ils sont relatifs. Les espèces que certains appellent «parasites» peuvent être les pollinisateurs et la nourriture d'autres espèces ou encore jouer un rôle écologique important pour l'économie locale. »⁹²

— Virginia Courtier-Orgogozo et al.

La menace que représentent les GDO dispersés sur les terres des paysans et des peuples autochtones constitue également un affront direct à la souveraineté des peuples autochtones et aux droits du consentement libre et préalable donné en connaissance de cause pour les activités de développement dans les territoires autochtones (telles qu'elles sont énumérées dans la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones). En décembre 2017, un groupe d'experts des Nations Unies sur la biologie synthétique a proposé que le consentement éclairé des peuples autochtones puisse être une condition préalable à la libération de GDO :

Compte tenu des incertitudes actuelles concernant l'ingénierie entourant le forçage génétique, une approche de précaution et une coopération avec tous les pays et toutes les parties prenantes susceptibles d'être touchées, la prise en compte de la nécessité du consentement libre, préalable et éclairé des peuples autochtones et des communautés locales, pourrait être justifiée lors du développement et de la dissémination d'organismes contenant des gènes génétiquement modifiés, y compris des disséminations expérimentales, afin d'éviter d'éventuels effets négatifs importants et irréversibles sur la biodiversité.⁹³

Dans une décision prise en juillet 2018, l'organe scientifique subsidiaire de la Convention des Nations Unies sur la diversité biologique a

également fait écho à ce sentiment.

Comme cela a été bien démontré avec les OGM, le développement des GDO est en contradiction avec le principe de précaution.⁹⁴ Ils sont également diamétralement opposés aux principes de la souveraineté alimentaire énoncés dans la Déclaration de Nyeleni du Forum pour la souveraineté alimentaire (2007 et 2015),⁹⁵ qui appelle à passer à des systèmes qui «réduisent considérablement notre utilisation d'intrants achetés à l'extérieur et devant être achetés auprès de l'industrie». Alors que la Déclaration de Nyeleni exige que «les peuples contrôlent le programme de recherche, les objectifs et la méthodologie de la recherche», «l'intendance de la biodiversité» et «reprendre le contrôle des semences et du matériel de reproduction», le forçage génétique semble être un autre moyen de motiver les agriculteurs et les pêcheurs vers davantage de méthodes monoculturelles et le recours à des intrants exclusifs et à des connaissances scientifiques spécialisées complexes. Tout comme les OGM vont à l'encontre des principes de l'agroécologie, les GDO constituent un autre exemple de ce que la Déclaration de Nyeleni qualifie de «fausses solutions et de nouvelles technologies dangereuses». Ils contiennent des caractères conçus dans un laboratoire distant et ne sont pas, et ne pourraient jamais être, contrôlés par les agriculteurs locaux.

Les GDO semblent être inspirés par la philosophie issue de la Silicon Valley selon laquelle la technologie doit «aller vite et casser des choses».⁹⁶ Lorsqu'il est combiné avec la vision de l'agriculture fondée sur le «big data», le forçage génétique pourrait devenir un outil permettant à ce qui est identifié comme une espèce parasite par un GPS relié à un tracteur dans un champ d'être contrôlée par une libération d'une version GDO de cette espèce nuisible. Cela ajoute donc encore à l'escalateur génétique, dont chaque tour ajoute au cours de l'action de la société transnationale qui contrôle ce système de «précision».

6. Agir de manière éthique dans un vide de gouvernance

Nous pensons que le moment est venu d'examiner si la biologie synthétique peut être une solution mauvaise, créant des problèmes spécifiques, dont certains peuvent être indésirables, voire inacceptables.⁹⁷

— Kent H. Redford, William Adams, Georgina M. Mace, 2013.

Un projet de rapport récent de l'UICN intitulé «Genes for Nature ?» reconnaît que la biologie synthétique (terme qui inclut le forçage génétique) est «l'illustration parfaite d'un problème pernicieux» : mal défini, sans réponse juste, et dépendant du contexte et de la décision politique pour sa résolution.^{98,99} Cependant, comme Kent Redford et ses collègues l'ont souligné dans leur document de 2013, les traitements de nos maladies basées sur la biologie synthétique pourraient se révéler pire que la maladie.¹⁰⁰

De nombreux scientifiques et décideurs politiques qui ont soutenu les OGM ont refusé d'accepter le fait que les questions éthiques liées à leur développement constituaient un problème «pernicieux». Au lieu de cela, ils ont promis que les OGM seraient un moyen facile d'accroître les rendements alimentaires et donc de «nourrir le monde». Le résultat de la simplification excessive des défenseurs des OGM et de leurs solutions supposées a été un régime réglementaire laxiste, créant des problèmes encore plus cruels que ceux que le génie génétique était censé résoudre. La «cure» génétiquement modifiée s'est avérée pire que la maladie pour de nombreux agriculteurs, consommateurs et pour l'environnement.¹⁰¹

Moins de cinq ans après les premières expériences de laboratoire de validation de principe, le sujet de la gouvernance du forçage génétique est rapidement devenu le centre des négociations internationales sur la biodiversité, plus de

170 organisations réclamant un moratoire sur la libération et l'expérimentation du forçage génétique.¹⁰² Les courriels diffusés en vertu des lois sur la liberté d'information montrent que les principaux bailleurs de fonds de GDO potentiels dépensent maintenant des millions de dollars dans le domaine des relations publiques et du lobbying pour empêcher un moratoire.¹⁰³ En outre, 2,3 millions de dollars américains ont été alloués au NEPAD de l'Union africaine pour «la promotion de l'utilisation du forçage génétique».¹⁰⁴

Huit Recommandations

1. Stop 'driving' - appeler à un moratoire sur la libération du forçage génétique

Un certain nombre d'organisations internationales de la société civile et de personnalités du mouvement mondial de l'alimentation recommandent à la Convention sur la diversité biologique/ UN Convention on Biological Diversity (CBD) ou à un organe équivalent au niveau des Nations Unies d'imposer immédiatement un moratoire sur la recherche appliquée, le développement et la diffusion des GDO, y compris sur les essais de terrain. Si les GDO étaient dispersés hors des laboratoires, leur réglementation constituerait probablement un défi beaucoup plus important que celui de réglementer les OGM, car la propagation d'une modification génétique fait partie intégrante de leur conception et de leur objectif. À l'instar des émissions industrielles, les GDO constitueraient un problème transfrontalier susceptible de se reproduire indéfiniment, ce qui poserait des dilemmes pernicieux pour la gouvernance.

Il n'y a pas de processus internationalement convenu pour la gouvernance efficace des effets transfrontaliers résultant de la publication d'un GDO. Étant donné que de tels organismes risquent à terme de se propager au-delà des frontières politiques, les académies nationales des sciences, de l'ingénierie et de la médecine des États-Unis ont récemment mis en lumière une lacune très importante en matière de gouvernance.¹⁰⁵ La CBD a déjà reconnu les risques des organismes vivants génétiquement modifiés pour l'environnement, la culture et la santé humaine.¹⁰⁶ Le principe

de consentement préalable en connaissance de cause en ce qui concerne les mouvements transfrontières d'organismes modifiés qui sont libérés dans l'environnement a été établi dans le Protocole de Carthagène sur la prévention des risques biotechnologiques.¹⁰⁷ Cela oblige une Partie exportant un tel organisme modifié à obtenir le consentement préalable en connaissance de cause du pays de destination. Les procédures sont conçues pour couvrir les mouvements prévus de part et d'autre de la frontière entre deux pays voisins. Conçus pour les OGM, qui ne sont pas destinés à se répandre dans l'environnement, ils sont clairement inadaptés au mouvement d'un GDO, pour lequel une partie inhérente de la conception doit se propager, potentiellement au niveau mondial, sans respecter les frontières internationales.

Parce que les GDO sont délibérément conçus pour changer ou supprimer des espèces et que ces espèces cibles sont réparties au-delà des frontières politiques, des effets transfrontières risquent de se produire dans plusieurs pays. Si un GDO devait être publié dans un pays, il s'ensuivrait que tous les pays potentiellement affectés devraient délibérer en commun sur les problématiques au moyen de procédures qui n'existent pas encore.

2. Convenir de règles de confinement sûres

Le forçage génétique est conçu pour persister et se répandre. Les développeurs de GDO prétendent qu'il peut exister à l'avenir des moyens techniques et géographiques pour contenir efficacement les GDO, mais ces allégations et suppositions hypothétiques doivent être examinées de manière rigoureuse.¹⁰⁸ Les tests en laboratoire actuels comportent un risque inévitable de libération accidentelle.¹⁰⁹ Des règles strictes en matière de manipulation en laboratoire et de confinement pour toutes les recherches sur le forçage génétique doivent être acceptées au niveau international et mises en pratique avant que des recherches ultérieures puissent avoir lieu, même en laboratoire.

3. Mettre en place un suivi et une évaluation ainsi que faire preuve de la réversibilité de la technique

Avant toute dissémination de GDO, même pour les essais sur le terrain, des procédures

acceptées sur le plan international devraient être mises au point non seulement pour surveiller et évaluer les impacts, mais également pour suivre la propagation de constructions forcées génétiquement dans la nature. Cela impliquerait la mise au point de moyens pratiques permettant de détecter les forceurs génétiques chez les populations sauvages et d'obtenir un accord sur la portée des effets à surveiller et, surtout, sur les méthodologies à utiliser. En outre, il faudrait que des moyens prouvés d'élimination et de réversibilité des forceurs génétiques en liberté soient disponibles et mis à la disposition des communautés et des agriculteurs. Sans recherche détaillée sur ces sujets, il n'est pas pratique de commencer à encadrer des accords de gestion. Des recherches sont également nécessaires sur la manière dont la responsabilité des coûts de la surveillance devrait être répartie et sur la manière dont les règles de responsabilité seraient définies, y compris la responsabilité de supprimer et vérifier la suppression du forçage génétique.

4. Garantir le consentement libre, préalable et éclairé de toutes les communautés touchées

En plus des dispositions du Protocole de Carthagène exigeant que les parties obtiennent un consentement préalable et éclairé avant le mouvement transfrontière d'un organisme vivant modifié qui est libéré dans la nature, des obligations supplémentaires imposées aux États pourraient avoir une incidence sur l'invasion de GDO sur leurs terres et territoires des peuples autochtones et des communautés locales.

Le concept de consentement libre, préalable et éclairé (Free, Prior and Informed consent, FPIC) est l'un des aspects fondamentaux inscrits dans la Déclaration des Nations Unies sur les droits des peuples autochtones (voir ci-dessus). Le groupe spécial d'experts techniques sur la biologie synthétique de l'ONU a explicitement souligné la nécessité d'obtenir le FPIC pour les projets de recherche sur le forçage génétique dans son rapport de décembre 2017, puis l'a à nouveau souligné lors de la vingt-deuxième réunion de son organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques, techniques et technologiques.¹¹⁰

5. Interdire le «double usage» militaire et protéger le droit à l'alimentation

Très peu d'informations sont disponibles sur l'utilisation militaire potentielle du forçage génétique, même s'il est établi que les agences de défense américaines sont parmi les plus gros investisseurs dans ce domaine de recherche et que des réunions secrètes ont été convoquées pour discuter des impacts militaires du forçage génétique agricole. La prédominance précoce de la participation militaire sur le terrain est différente de celle des OGM où la plupart des investissements provenaient de grandes entreprises agroalimentaires et d'entreprises énergétiques. L'utilisation de GDO comme agents de lutte biologique en agriculture permet également aux militaires de développer la technologie de guerre. Si un mécanisme de forçage génétique peut éliminer un insecte, il peut également cibler un prédateur de cet organisme nuisible ou, pire encore, une culture vivrière particulière. La possibilité d'éliminer des espèces entières dans un lieu choisi, ce qui est l'objectif explicite du système de «forçage génétique local», pourrait donc être utilisée comme une arme de guerre pour affamer un État ennemi en privant son peuple du droit à la nourriture.

Compte tenu de cette «double utilisation» potentielle des GDO, nous pensons qu'il est parfaitement justifié d'utiliser la convention de modification de l'environnement (Environmental Modification Convention, ENMOD), qui est un traité international interdisant l'utilisation, à des fins militaires ou autres fins hostiles, de techniques de modification de l'environnement susceptibles d'avoir des effets étendus, durables ou graves.¹¹¹ Avec des signataires comprenant la plupart des États dans lesquels des GDO sont en cours de développement, nous pensons que cela pourrait être un outil réglementaire utile.

6. Apprendre de l'histoire - permettre à la société de réfléchir sur le passé

Même si l'intention n'est pas agressive, l'histoire regorge d'exemples de tentatives de contrôle biologique dans des systèmes agricoles industrialisés qui ont mal tourné. L'introduction du crapaud (Australie, Caraïbes) et de la mangouste

(Hawaii) en est l'un des exemples les plus connus. Dans le chapitre sur les OGM du rapport fondateur de l'Agence européenne pour l'environnement sur le principe de précaution, Quist et al. il est écrit que :

... Les fournisseurs [de technologies génétiques] homogénéisent artificiellement à la fois la conception du problème à résoudre et les solutions - telles que les plantes cultivées génétiquement modifiées - qu'ils proposent. Trop souvent, s'interroger sur la rationalité de l'approche se perd dans l'arrière-plan du débat incertain sur son utilisation. Une réflexion et une délibération sociale plus approfondies sur les raisons pour lesquelles et pour qui les innovations agricoles devraient être produites sont peut-être nécessaires si nous voulons vraiment suivre des voies plus durables dans la production d'aliments et de fibres.¹¹²

7. Pratiquer une science de précaution

Si nous voulons éviter que les GDO soient imposés dans l'agriculture de la même manière, nous devons accepter le caractère «pernicieux» des problèmes rencontrés par les agriculteurs et adopter une approche prudente.

Bien que certains scientifiques en génétique aient eu des œillères au début du développement des OGM, ignorant d'énormes zones d'ombre dans les connaissances sociales et écologiques de la société, il semble de plus en plus évident que les scientifiques eux-mêmes pourraient être disposés à adopter une approche plus prudente.

Dans un cas récent aux États-Unis, des préoccupations sociétales ont poussé des chercheurs de l'Université Cornell à réexaminer leur emploi du temps: malgré l'obtention d'un permis réglementaire pour les diffusions ouvertes, les chercheurs ont différé les essais en plein champ. Ils ont qualifié cette décision de «science responsable».¹¹³ Que la réglementation des GDO soit ou non imminente dans un avenir proche, les scientifiques qui travaillent sur les GDO doivent adopter cette éthique et ne progresser que s'il existe un consentement sociétal clair et des règles mondiales transparentes et convenues. Il n'y a aucune excuse pour ne pas ralentir et examiner les problèmes aussi largement que nécessaire.¹¹⁴

8. Examiner les implications pour la sécurité alimentaire mondiale et le droit à l'alimentation et à la nutrition

Nous recommandons en outre que le Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) entreprenne un examen urgent des dangers potentiels des attaques de gènes afin qu'il soit examiné lors d'une prochaine réunion du Comité des Nations Unies sur la sécurité alimentaire mondiale (CSA). Cela devrait faire partie d'un débat public large et inclusif sur le rôle du forçage génétique dans notre système alimentaire, qui inclut la délibération publique, l'écoute des valeurs citoyennes et même les approches artistiques et culturelles (voir l'exemple de la figure 5 ci-dessous).¹¹⁵ Cette question pourrait également être examinée par le Rapporteur spécial des Nations Unies sur le droit à l'alimentation.



Figure 5: Le projet 'poulet rose' : Utiliser l'art pour mettre en évidence la perspective des organismes modifiés par forçage génétique.¹¹⁶

Références

- 1 Nature, "Trend Watch," in *Seven Days: The News in Brief*, *Nature*, Vol. 532, 21 April 2016, p. 287, https://www.nature.com/polopoly_fs/1.19772!/menu/main/topColumns/topLeftColumn/pdf/532286a.pdf?origin=ppub
- 2 Austin Burt, "Site-specific selfish genes as tools for the control and genetic engineering of natural populations," *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, Vol. 270, No. 1518, 2003, p.921.
- 3 Samson Simon, Mathias Otto, Margret Engelhard, "Synthetic gene drive: between continuity and novelty: Crucial differences between gene drive and genetically modified organisms require an adapted risk assessment for their use," *EMBO reports*, Vol. 19, No. 5, 2 April 2018.
- 4 Nik Brown, Sian M Beynon-Jones, "'Reflex regulation': An anatomy of promissory science governance," *Health, Risk & Society*, Vol. 14, No. 3, 26 March 2012, pp. 223-240.
- 5 Bruce L Webber, S Raghu, and Owain R Edwards, "Opinion: Is CRISPR-based gene drive a biocontrol silver bullet or global conservation threat?" *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 112, No. 34, 13 August 2015, pp. 10565-10567.
- 6 CF Curtis, "Possible use of translocations to fix desirable genes in insect pest populations," *Nature*, Vol. 218, No. 5139, p. 368.
- 7 Erin Brodwin, "A controversial technology could save us from starvation — if we let it," (BASF-sponsored article), *Business Insider*, 12 April 2018, <http://www.businessinsider.com/crispr-genetic-modification-agriculture-food-2018-4>
- 8 VM Gantz, E Bier, "The dawn of active genetics," *Bioessays*, Vol. 38, No. 1, January 2016.
- 9 Christian E Ogaugwu, Stanley O. Agbo, and Modinat A. Adekoya, "CRISPR in Sub-Saharan Africa: Applications and Education," *Trends in Biotechnology*, August 2018. Article in Press.
- 10 Samson Simon, Mathias Otto, Margret Engelhard, "Synthetic gene drive: between continuity and novelty: Crucial differences between gene drive and genetically modified organisms require an adapted risk assessment for their use," *EMBO reports*, Vol. 19, No. 5, 2 April 2018.
- 11 Ludwig Burger, "Bayer's Monsanto faces 8,000 lawsuits on glyphosate," *Reuters*, 23 August 2018, <https://uk.reuters.com/article/us-bayer-glypho-sate-lawsuits/bayers-monsanto-faces-8000-law-suits-on-glyphosate-idUKKCNIL81JO>
- 12 Voir : <https://genedrivenetwork.org/>
- 13 Voir : <https://genedrivenetwork.org/resources/7-factsheet-whats-a-gene-drive-july-2018/file>
- 14 Hannah Devlin, "Woolly mammoth on verge of resurrection, scientists reveal," *The Guardian*, 16 February 2017, <https://www.theguardian.com/science/2017/feb/16/woolly-mammoth-resurrection-scientists>
- 15 ETC phone Interview with Kevin Esvelt - 16 May 2016
- 16 Issi Rozen, "Licensing CRISPR for Agriculture: Policy considerations," 29 September 2016. <https://www.broadinstitute.org/news/licensing-crispr-agriculture-policy-considerations>.
- 17 Voir : <http://genedrivefiles.synbiowatch.org/>
- 18 Voir : <http://genedrivefiles.synbiowatch.org/2017/12/01/us-military-gene-drive-development/#7>
- 19 Voir : <http://genedrivefiles.synbiowatch.org/2017/12/01/us-military-gene-drive-development/#8>
- 20 A February 2016 workshop to develop a roadmap on gene drive research included the international policy lead for Syngenta, Tichafa Munyikwa. On another occasion discussions included Steven Evans of Dow Agrosiences.
- 21 Antonio Regalado, "Farmers Seek to Deploy Powerful Gene Drive," *MIT Technology Review*, 12 December 2017, <https://www.technologyreview.com/s/609619/farmers-seek-to-deploy-powerful-gene-drive/>
- 22 Voir : <http://www.sculptingevolution.org/>
- 23 OS Akbari, KD Matzen, JM Marshall, H Huang, CM Ward and BA Hay, "A synthetic gene drive system for local, reversible modification and suppression of insect populations." *Current Biology*, Vol. 23, No. 8, 22 April 2013, pp. 671-677.
- 24 Paul D Mitchell, Zachary Brown, and Neil McRoberts, "Economic Issues to Consider for Gene Drives," *Journal of Responsible Innovation*, Vol. 5, no. sup1, 24 January 2018, pp. S180-202.
- 25 Virginie Courtier-Orgogozo, Baptiste Morizot, and Christophe Boëte, "Agricultural Pest Control with CRISPR based Gene Drive: Time for Public Debate: Should We Use Gene Drive for Pest Control?" *EMBO Reports*, Vol. 18, No. 6, 1 June 2017, pp. 878-80.
- 26 Ibid.
- 27 Voir : Oxitec's transgenic pink bollworm (<https://www.oxitec.com/crop-protection/pink-boll-worm/>) and Diamondback moth (<https://www.oxitec.com/crop-protection/diamond-back-moth/>)-protection/diamond-back-moth/
- 28 "Systems and methods for controlling animal behaviour via optogenetics," US Patent Application, 24 April 2015, Patent Number US20160310754A1. Voir : <https://patentimages.storage.googleapis.com/27/23/4d/e5c6be540ad06c/US20160310754A1.pdf>
- 29 Virginie Courtier-Orgogozo, Baptiste Morizot, and Christophe Boëte, "Agricultural Pest Control with CRISPR based Gene Drive: Time for Public Debate: Should We Use Gene Drive for Pest Control?" *EMBO Reports*, Vol. 18, No. 6, 1 June 2017, pp. 878-80.
- 30 Kevin Esvelt presentation at Broad Institute. See <https://www.youtube.com/watch?v=qkmraCGm-bk>
- 31 Maxwell J. Scott, Fred Gould, Marcé Lorenzen, Nathaniel Grubbs, Owain Edwards & David O'Brochta, "Agricultural production: assessment of the potential use of Cas9-mediated gene drive systems for agricultural pest control," *Journal of Responsible Innovation*, Vol. 5, No. sup1, 11 December 2017, pp. S98-S120.
- 32 Robert Arnason, "Playing God: are we prepared to use gene drive technology?," *Western Producer*, 14 December 2017, <https://www.producer.com/2017/12/playing-god-prepared-use-gene-drive-technology/>
- 33 Patent: US2016/0333376A1.
- 34 Patent: WO2017049266A2.
- 35 Anna Buchman et al. "Synthetically engineered Medea gene drive system in the worldwide crop pest *Drosophila suzukii*," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 115, No. 18, 1 May 2018, pp. 4725-4730.
- 36 Quoted in Antonio Regalado, "Farmers Seek to Deploy Powerful Gene Drive," *MIT Technology Review*, 12 December 2017, <https://www.technologyreview.com/s/609619/farmers-seek-to-deploy-powerful-gene-drive/>.
- 37 Angela Meccariello, Simona Maria Monti, Alessandra Romanelli, Rita Colonna, Pasquale Primo, Maria Grazia Inghilterra, Giuseppe Del Corsano, et al. "Highly Efficient DNA-Free Gene Disruption in the Agricultural Pest *Ceratitis capitata* by CRISPR-Cas9 Ribonucleo-protein Complexes," *Scientific Reports*, Vol. 7, No. 1, 30 August 2017, p. 10061.
- 38 MJ Wade and RW Beeman, "The population dynamics of maternal-effect selfish genes," *Genetics*, Vol. 138, No. 4, pp. 1309-1314.
- 39 Anna Buchman et al. "Synthetically engineered Medea gene drive system in the worldwide crop pest *Drosophila suzukii*," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 115, No. 18, 1 May 2018, pp. 4725-4730.
- 40 Patent : PCT/US2017/014846.
- 41 John M. Marshall and Bruce A. Hay, "Medusa: A Novel Gene Drive System for Confined Suppression of Insect Populations," *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 7, 23 July 2014.
- 42 Ricarda Steinbrecher, "Gene drives breakthrough needs urgent restraint," *GM Watch*, 24 September 2018, <https://gmwatch.org/en/news/latest-news/18474-gene-drives-breakthrough-needs-urgent-restraint>
- 43 John W Guala and Orley R Taylor, "The Effect of X-Chromosome Inheritance on Mate-Selection Behavior in the Sulfur Butterflies, *Colias eurytheme* and *C. philodice*," *Evolution*, Vol. 34, No. 4, 1980, pp. 688-95.
- 44 N. Devis et al., "Speciation in two neotropical butterflies: extending Haldane's rule." *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, Vol. 264, No. 1383, 1997, 845-851.
- 45 Caspar A Hallmann, Martin Sorg, Eelke Jongejans, Henk Siepel, Nick Hofland, Heinz Schwan, Werner Stenmans, et al. "More than 75 Percent Decline over 27 Years in Total Flying Insect Biomass in Protected Areas." *PLOS ONE*, Vol. 12, No. 10, 18 October 2017.
- 46 Michael McCarthy, "A Giant Insect Ecosystem Is Collapsing Due to Humans. It's a Catastrophe," *The Guardian*, 21 October 2017, <https://www.theguardian.com/environment/2017/oct/21/insects-giant-ecosystem-collapsing-human-activity-catastrophe>.

- 47 Fontini A Koutroumpa, Christelle Monsempes, Marie-Christine François, Anne de Cian, Corinne Royer, Jean-Paul Concordet, and Emmanuelle Jacquin-Joly, "Heritable Genome Editing with CRISPR/Cas9 Induces Anosmia in a Crop Pest Moth," *Scientific Reports*, Vol. 6, 12 July 2016, 29620.
- 48 Voir : <http://web.media.mit.edu/~viirj/BioFab/11.html>
- 49 Christian E Ogaugwu, Stanley O. Agbo, and Modinat A. Adekoya, "CRISPR in Sub-Saharan Africa: Applications and Education," *Trends in Biotechnology*, August 2018. Article in Press.
- 50 Voir : <https://shelton.entomology.cornell.edu/diamondbackmoth/diamondback-moth-project-at-cornell-university-faq/>
- 51 RG Reeves and M Phillipson, "Mass Releases of Genetically Modified Insects in Area-Wide Pest Control Programs and Their Impact on Organic Farmers," *Sustainability*, Vol. 9, No. 1, 2017, p. 59.
- 52 Keith R. Hayes, Geoffrey R. Hosack, Genya V. Dana, Scott D. Foster, Jessica H. Ford, Ron Thresher, Adrien Ickowicz, et al. "Identifying and Detecting Potentially Adverse Ecological Outcomes Associated with the Release of Gene-Drive Modified Organisms," *Journal of Responsible Innovation*, Vol. 5, No. suppl, 24 January 2018, pp. S139-58.
- 53 Citrus Research and Development Foundation, "NuPssyllid: Rear and Release Psyllids as Biological Control Agents - An Economical and Feasible Mid-Term Solution for Huanglongbing (HLB) Disease of Citrus," Quarterly Report for the Period ending November 30, 2016. https://citrusrdf.org/wp-content/uploads/2013/01/nuPssyllid_May-2017-Quarterly-Report.pdf
- 54 Maxwell J. Scott, Fred Gould, Marcé Lorenzen, Nathaniel Grubbs, Owain Edwards & David O'Brochta, "Agricultural production: assessment of the potential use of Cas9-mediated gene drive systems for agricultural pest control," *Journal of Responsible Innovation*, Vol. 5, No. suppl, 11 December 2017, pp. S98-S120.
- 55 JN Shukla, and SR Palli, "Tribolium castaneum Transformer-2 Regulates Sex Determination and Development in Both Males and Females," *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 43, No. 12, 2013, pp. 1125-1132.
- 56 Voir : <https://shelton.entomology.cornell.edu/diamondbackmoth/diamondback-moth-project-at-cornell-university-faq/>
- 57 Voir : <http://www.westernfarmpress.com/management/rodent-damage-costing-agriculture-industry-millions>.
- 58 GR McFarlane, CBA Whitelaw, SG Lillico, "CRISPR-Based Gene Drives for Pest Control," *Trends in Biotechnology*, Vol. 36, No. 2, 2018, pp. 130-133.
- 59 See copies of the emails here: https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://genedrivefiles.synbiowatch.org/wp-content/uploads/special/Edward+Hammond/20170726-Re_Two+Action+Items_Decisions+Needed+from+GBIRD+Steering+Committee-42.pdf
- 60 HA Grunwald, VM Gantz, G Poplawski, SX Xiang-ru, E Bier, & KL Cooper, "Super-Mendelian inheritance mediated by CRISPR/Cas9 in the female mouse germline," *BioRxiv*, 1 January 2018, p. 362558. Pre-print article.
- 61 Voir : <http://www.sculptingevolution.org/genedrives/current/nematodes>
- 62 Patent: WO2017049266A2.
- 63 Dihong Lu, Tiffany Baiocchi, and Adler R. Dillman, "Genomics of Entomopathogenic Nematodes and Implications for Pest Control," *Trends in parasitology*, Vol. 32, No. 8, August 2016, pp. 588-598, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4969101/>
- 64 Rebecca S Shapiro et al. "A CRISPR-Cas9-based gene drive platform for genetic interaction analysis in *Candida albicans*," *Nature Microbiology*, Vol 3, 23 October 2017, pp. 73-82.
- 65 Robyn Feinberg, "Research delves into the sensory makeup of mosquitoes, fighting spread of disease," *Nevada Today*, 7 August 2017, <https://www.unr.edu/nevada-today/news/2017/cabnr/biology-receive-grant>.
- 66 Voir : <http://genedrivefiles.synbiowatch.org/as-notes-on-darpa-safe-genes-rollout-san-diego-may-2-2017/>
- 67 Yan Li, Jie Zhang, Dafeng Chen, Pengcheng Yang, Feng Jiang, Xianhui Wang, and Le Kang, "CRISPR/Cas9 in Locusts: Successful Establishment of an Olfactory Deficiency Line by Targeting the Mutagenesis of an Odorant Receptor Co-Receptor (Orco)," *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, Vol. 79, October 2018, pp. 27-35.
- 68 Voir : https://www.cropscience.bayer.ca/-/media/Bayer%20CropScience/Country-Canada-Internet/Growers%20Tools/CPG/West/2018/BCS10798787_2018CPG_The%20True%20Cost%20of%20Herbicide-Resistant%20Weeds.ashx
- 69 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*, National Academies Press, 2016.
- 70 John Min, Andrea L. Smidler, Devora Najjar, and Kevin M. Esvelt, "Harnessing Gene Drive." *Journal of Responsible Innovation*, Vol. 5, No. suppl, 24 January 2018, pp. S40-65.
- 71 Serap Gonen, Janez Jenko, Gregor Gorjanc, Alan J. Mileham, C. Bruce A. Whitelaw, and John M. Hickey, "Potential of Gene Drives with Genome Editing to Increase Genetic Gain in Livestock Breeding Programs," *Genetics Selection Evolution*, Vol. 49, No. 1, 4 January 2017, p. 3.
- 72 A patent troll company is one that attempts to enforce patent rights against accused infringers far beyond the patent's actual value or contribution to the prior art, often through legal tactics. Patent trolls often do not manufacture products or supply services based upon the patents in question. However, some entities which do not practice their asserted patent may not be considered 'patent trolls' when they license their patented technologies on reasonable terms in advance.
- 73 Voir : <https://www.cnbc.com/2017/12/19/a-new-form-of-bitcoin-mining-patent-trolls-coming-for-the-blockchain.html>
- 74 L. Maxim and J van der Sluijs, "Seed-dressing systemic insecticides and honeybees," in *Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation*, European Environment Agency: Copenhagen, 2013, <https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2/late-lessons-chapters/late-lessons-ii-chapter-16/view>
- 75 S Suryanarayanan, and DL Kleinman, *Vanishing Bees: Science, Politics, and Honeybee Health*, Rutgers University Press: New Jersey, 2016.
- 76 Kevin Esvelt presentation at Broad Institute. See <https://www.youtube.com/watch?v=qkmraCGm-bk>
- 77 Venetia Thompson, "Ancient Corn is Coming to Whole Foods. Just Don't Try to Buy it in Mexico." *Civil Eats*, 27 October 2017, <https://civileats.com/2017/10/27/ancient-corn-is-coming-to-whole-foods-but-remains-out-of-reach-in-mexico/>
- 78 Kenneth A. Oye, Kevin Esvelt, Evan Appleton, Flaminia Catteruccia, George Church, Todd Kuiken, Shlomiya Bar-Yam Lightfoot, Julie McNamara, Andrea Smidler, and James P. Collins, "Regulating Gene Drives," *Science*, Vol. 345, No. 6197, 8 August 2014, p. 626.
- 79 Samson Simon, Mathias Otto, Margret Engelhard, "Synthetic gene drive: between continuity and novelty: Crucial differences between gene drive and genetically modified organisms require an adapted risk assessment for their use," *EMBO reports*, Vol. 19, No. 5, 2 April 2018.
- 80 Kevin M. Esvelt, Neil J. Gemmill, "Conservation demands safe gene drive," *PLoS Biology*, Vol. 15, No. 11, November 2017.
- 81 European Network of Scientists for Social and Environmental Responsibility, "ENSSER Statement on New Genetic Modification Techniques: products of new genetic modification techniques should be strictly regulated as GMOs," 27 September 2017, <https://ensser.org/topics/increasing-public-information/ngmt-statement/>
- 82 ML Zapiola, and CA Mallory-Smith, "Crossing the divide: gene flow produces intergeneric hybrid in feral transgenic creeping bentgrass population," *Molecular Ecology*, Vol. 21, No. 19, 2012, pp. 4672-4680.
- 83 Kevin M. Esvelt, Neil J. Gemmill, "Conservation demands safe gene drive," *PLoS Biology*, Vol. 15, No. 11, November 2017.
- 84 Ewen Callaway, "Gene drives thwarted by emergence of resistance organisms," *Nature News*, 31 January 2017, <https://www.nature.com/news/gene-drives-thwarted-by-emergence-of-resistant-organisms-1.21397>
- 85 RL Unckless et al, "Evolution of Resistance Against CRISPR/Cas9 Gene Drive," *Genetics*, Vol. 205, No. 2, February 2017, pp. 827-841.
- 86 John M. Marshall et al, "Overcoming evolved resistance to population-suppressing homing-based gene drives," *Scientific Reports*, Vol. 7, 19 June 2017, <https://www.nature.com/articles/s41598-017-02744-7>
- 87 Tina Seay, 'Resistance to CRISPR gene drives may arise easily,' *Science News*, 20 July 2017, <https://www.sciencenews.org/article/resistance-crispr-gene-drives-may-arise-easily>

- 88 MP Pimbert and T Wakeford, "Prajaateerpu: A citizens jury/scenario workshop on food and farming futures for Andhra Pradesh," *Economic and Political Weekly (India)*, Vol. 32, No. 27, 2002, pp. 2778-2787.
- 89 G. Thomas and J De Tavernier, "Farmer-suicide in India: debating the role of biotechnology," *Life Sciences, Society and Policy*, Vol. 13, No. 8, 2017.
- 90 See Court of Justice of the European Union press release, No. 111/18, Luxembourg, 25 July 2018: <https://curia.europa.eu/jcms/upload/docs/application/pdf/2018-07/cp180111en.pdf>
- 91 Jennifer Baltzegar, Jessica Cavin Barnes, Johanna E. Elsensohn, Nicole Gutzmann, Michael S. Jones, Sheron King and Jayce Sudweeks, "Anticipating complexity in the deployment of gene drive insects in agriculture," *Journal of Responsible Innovation*, 5:sup1, pp. S81-S97, 2017 <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23299460.2017.1407910>
- 92 Virginie Courtier-Orgogozo, Baptiste Morizot, and Christophe Boëte, "Agricultural Pest Control with CRISPR-based Gene Drive: Time for Public Debate: Should We Use Gene Drive for Pest Control?" *EMBO Reports*, Vol. 18, No. 6, 1 June 2017, pp. 878-80.
- 93 Convention on Biological Diversity, Report of the Ad Hoc Technical Expert Group on Synthetic Biology, Montreal, Canada, 5-8 December 2017, CBD/SYNBIO/AHTEG/2017/1/3, <https://www.cbd.int/doc/c/aa10/9160/6c3fcedf265dbee686715016/synbio-ahteg-2017-01-03-en.pdf>
- 94 David A. Quist et al. "Hungry for innovation: pathways from GM crops to agroecology," in European Environment Agency, *Late lessons from early warnings: Science, precaution, innovation*, European Environment Agency: Copenhagen, 2013.
- 95 Voir : <http://www.foodsovereignty.org/wp-content/uploads/2015/02/Download-declaration-Agroecology-Nyeleni-2015.pdf>
- 96 Jonathon Taplin, *Move Fast and Break Things: How Facebook, Google, and Amazon Cornered Culture and Undermined Democracy*, Little, Brown and Company: Boston, 2017.
- 97 KH Redford, W Adams, and GM Mace, "Synthetic biology and conservation of nature: wicked problems and wicked solutions," *PLoS biology*, Vol. 11, No. 4, 2013.
- 98 See Overview and Key Messages of the IUCN Assessment, "Genes for Nature? An Assessment of Synthetic Biology and Biodiversity Conservation: https://www.iucn.org/sites/dev/files/iucn_assessment_of_synthetic_biology_and_biodiversity_conservation_-_peer_review_draft.compressed.pdf
- 99 A useful general definition of the concept of wicked problems is here: https://en.wikipedia.org/wiki/Wicked_problem
- 100 KH Redford, W Adams, and GM Mace, "Synthetic biology and conservation of nature: wicked problems and wicked solutions," *PLoS biology*, Vol. 11, No. 4, 2013.
- 101 For an overview voir : <http://www.genewatch.org/sub-568235> For the recent briefings voir : <http://www.genewatch.org/sub-405258> and <https://gmwatch.org/en/articles/gm-myths>
- 102 ETC Group, "170 Global Groups Call for Moratorium on New Genetic Extinction Technology at UN Convention," 2016, <http://www.etc-group.org/content/160-global-groups-call-moratorium-new-genetic-extinction-technology-un-convention>
- 103 Voir : <http://genedrivefiles.synbiowatch.org/>
- 104 Voir : <http://www.nepad.org/content/towards-zero-malaria-2030-biological-control-mosquitoes>
- 105 National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, *Gene Drives on the Horizon: Advancing Science, Navigating Uncertainty, and Aligning Research with Public Values*, National Academies Press, 2016.
- 106 The UN Convention on Biological Diversity calls these Living Modified Organism or LMOs. Voir : http://bch.cbd.int/protocol/cpb_faqs.html#faq3
- 107 The Cartagena Protocol on Biosafety can be downloaded here: <https://bch.cbd.int/protocol>
- 108 Megan Molteni, "This Gene-Editing Tech Might Be Too Dangerous To Unleash," *Wired*, 16 November 2017, <https://www.wired.com/story/this-gene-editing-tech-might-be-too-dangerous-to-unleash/>.
- 109 Keith R. Hayes, Geoffrey R. Hosack, Genya V. Dana, Scott D. Foster, Jessica H. Ford, Ron Thresher, Adrien Ickowicz, et al. "Identifying and Detecting Potentially Adverse Ecological Outcomes Associated with the Release of Gene-Drive Modified Organisms," *Journal of Responsible Innovation*, Vol. 5, No. sup1, 24 January 2018, pp. S139-58.
- 110 Convention on Biological Diversity, Report of the Ad Hoc Technical Expert Group on Synthetic Biology, Montreal, Canada, 5-8 December 2017, CBD/SYNBIO/AHTEG/2017/1/3, <https://www.cbd.int/doc/c/aa10/9160/6c3fcedf265dbee686715016/synbio-ahteg-2017-01-03-en.pdf>
- 111 Voir : <http://www.un-documents.net/enmod.htm>
- 112 David A. Quist et al. "Hungry for innovation: pathways from GM crops to agroecology," in *Late lessons from early warnings: Science, precaution, innovation*, European Environment Agency: Copenhagen, 2013.
- 113 KJ Boor, "Commitment to responsible science guides CALS plans for moth Trials," College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University: Ithaca, 31 March 2016, <https://cals.cornell.edu/about/news/commitment-responsible-science-guides-cals-plans-moth-trials/>
- 114 R. G. Reeves et al, "Agricultural Research, or a new bioweapon system? Insect-delivered horizontal genetic alteration is concerning," *Science*, Vol. 362, No. 6410, 5 October 2018.
- 115 People's Knowledge Editorial Collective, *Everyday Experts: How people's knowledge can transform the food*, The Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR): Coventry, UK, 2017, <http://www.fao.org/agroecology/database/detail/en/c/1148947/>
- 116 <https://pinkchickenproject.com/#intro>

Un appel à protéger les systèmes alimentaires d'une technologie mortifère :

Le mouvement mondial pour l'alimentation et l'agriculture dit **NON** à l'utilisation du forçage génétique.

Le forçage génétique est une nouvelle technologie qui permet de modifier génétiquement des populations entières. Tous les êtres vivants sont concernés, insectes, plantes, animaux.... Cette technologie invasive constitue une tentative délibérée pour créer de nouvelles formes de pollution génétique : extinction d'espèces entières ; mise en danger des formes d'agriculture et de nourriture durables et équitables.

Le forçage génétique constitue une menace réelle pour les systèmes naturels. Les expérimentations menées hors des laboratoires comportent un risque sérieux de propagation incontrôlable des gènes modifiés dans les populations sauvages et domestiquées. Les écosystèmes et les chaînes alimentaires pourraient alors se retrouver profondément déréglés et la biodiversité menacée. Des espèces importantes comme les pollinisateurs pourraient disparaître. Les sols, l'eau, l'alimentation ou encore l'économie du textile pourraient être impactés et les pratiques et les cultures agro-écologiques des peuples autochtones sévèrement touchées.

Le forçage génétique est aujourd'hui développé pour l'agriculture. Si cette technique est appliquée, les fermes deviendront encore plus uniformes génétiquement, mettant fin à la liberté de choix des agriculteurs, protégée, entre autres, par le Traité international sur les ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture et la Déclaration de l'ONU sur les droits des paysans et autres personnes travaillant dans les zones rurales. Le forçage génétique renforcerait encore davantage un système d'agriculture industrielle utilisant la modification génétique, élargirait l'utilisation de pesticides et la main mise des entreprises sur les réseaux alimentaires. La souveraineté alimentaire et des consommateurs, des travailleurs du secteur de l'alimentation et des consommateurs s'en retrouverait de fait affaiblie. Le forçage génétique entrave la mise en application de droits fondamentaux tels que le droit de tous les peuples à une alimentation saine, produite écologiquement et culturellement adaptée.

Au nom du principe de précaution, inscrit dans le droit international ; pour protéger la vie sur terre et la possibilité même de nourrir l'humanité, nous, signataires, appelons à l'adoption d'un moratoire mondial contre le lâcher de tout organisme génétiquement modifié par forçage génétique.

suite de la lettre sur la page suivante...

Parmi les organismes signataires :

TWN
Third World Network



AFSA
ALLIANCE FOR FOOD SOVEREIGNTY IN AFRICA



etc
GROUP
monitoring power
ensuring technology
strengthening diversity

HEINRICH
BÖLL
STIFTUNG



IFOAM
ORGANICS
INTERNATIONAL

GRAIN

Navdanya
international



Friends of
the Earth

PAGEN

Le mouvement mondial pour l'alimentation et l'agriculture dit **NON** à l'utilisation du forçage génétique.

Rejoignez la liste de celles et ceux, de plus en plus nombreux, qui s'opposent au forçage génétique en agriculture.

Si votre organisation souhaite signer, veuillez envoyer un email à **genedrives@synbiowatch.org** pour ajouter votre nom ou le nom de votre organisation/association.