

# Les répercussions de la biologie synthétique en **AFRIQUE**





Construction des capacités  
internationales pour  
l'évaluation et la gouvernance  
de la biologie synthétique



TWN  
Third World Network

## Les répercussions de la biologie synthétique en Afrique

2018

**A propos du Centre africain pour la biodiversité (ACB, African Centre for Biodiversity) :** Le Centre Africain pour la Biodiversité (ACB) s'engage à démanteler des inégalités dans les systèmes alimentaires et agricoles en Afrique, à notre conviction du droit des peuples à jouir d'une alimentation saine et culturellement adaptée, produite grâce à des méthodes écologiques et durables, ainsi qu'au droit des peuples à définir leurs propres systèmes alimentaires et agricoles. (Veuillez noter : Le 7 avril 2015, le Centre africain pour la biosécurité a officiellement été rebaptisé pour devenir le Centre africain pour la biodiversité (<http://acbio.org.za/en>). Ce changement a été convenu après consultation au sein de l'ACB pour refléter la façon dont la portée de notre travail a évolué ces dernières années. Nous préserverons notre ancien nom d'African Centre for Biosafety pour toute publication antérieure à cette date ; ces publications doivent être référencées en tant que telles.)

**A propos du Groupe ETC :** Le Groupe ETC ([www.etcgroup.org](http://www.etcgroup.org)) travaille pour aborder les problèmes socio-économiques et écologiques liés aux nouvelles technologies qui pourraient avoir un impact sur les populations les plus marginalisées au monde. Il opère au niveau politique mondial et travaille en étroite collaboration avec des organisations de la société civile (OSC) et avec les mouvements sociaux, en particulier en Afrique, en Asie et en Amérique Latine. Le Groupe ETC est basé à Val David, au Canada et à Davao, aux Philippines, avec des bureaux à Mexico et à Guelph, au Canada.

**A propos du Réseau Tiers-Monde, TWN, Third World Network :** Third World Network ([www.twn.my](http://www.twn.my)) est un réseau international indépendant à but non-lucratif qui rassemble des organisations et des individus impliqués dans des enjeux relatifs au développement durable, aux Pays du Sud et aux relations Nord-Sud. TWN vise à approfondir la compréhension de dilemmes liés au développement ainsi que des défis auxquels font face les pays en voie de développement afin de contribuer à des changements en matière de politiques publiques pour un développement juste, équitable et écologiquement durable. Le Secrétariat international de TWN est basé à Penang, en Malaisie avec des bureaux à Kuala-Lumpur, en Malaisie et à Genève, en Suisse. Nos chercheurs sont basés à Beijing, Delhi, Jakarta, Manille et New York. Le Secrétariat régional d'Amérique Latine est quant à lui situé à Montevideo, en Uruguay et le Secrétariat régional africain se trouve à Accra, au Ghana.

Ce document a été élaboré dans le cadre du projet BICSBAG de **Construction internationale de capacités pour l'évaluation et la gouvernance de la biologie synthétique** (en anglais Building International Capacity on Synthetic Biology Assessment and Governance). Les partenaires du BICSBAG tiennent à remercier Swedbio du Centre de résilience de Stockholm pour son soutien financier et Frontier Co-op Foundation et CS Fund pour l'élaboration de ces documents.

Pour de plus amples informations, consulter [www.synbiogovernance.org](http://www.synbiogovernance.org)

Maquette : Cheri Johnson

Equipe de recherches : Dr Eva Sirinathsinghji et Mariam Mayet

Corrections : Liz Sparg

Traduction en français : Amandine Semat



## Construction des capacités internationales pour l'évaluation et la gouvernance de la biologie synthétique

# Les répercussions de la biologie synthétique en Afrique

## Introduction

Les énormes avancées de la biologie moléculaire et du Big Data ont ouvert la porte à une nouvelle série de techniques de génie génétique utilisées aujourd'hui par l'industrie mondiale de la biotechnologie. Ces techniques doivent être examinées par la Convention sur la diversité biologique des Nations Unies en termes de « biologie synthétique ».

La biologie synthétique est de plus en plus considérée comme faisant partie d'une « quatrième révolution industrielle », qui englobe la numérisation de la biologie, le développement d'outils permettant une traduction rapide et efficace des données biologiques, et les possibilités qui en résultent. Les techniques de la biologie synthétique — qui incluent la synthèse de l'ADN et de l'ARN, le séquençage de l'ADN, l'édition génomique et le forçage génétique — sont utilisées pour fabriquer des parfums et des ingrédients synthétiques, ou encore modifier génétiquement des organismes vivants au moyen de caractères nouveaux visant à transformer l'agriculture ou les écosystèmes.

On prévoit une forte croissance du marché : le secteur de la biotechnologie progresse en effet nettement plus vite que le PIB sur les principaux marchés. Les pays dotés d'importantes industries de biotechnologie voient dans la biologie synthétique un énorme potentiel, notamment en ce qui concerne la prochaine génération d'OGM, surnommée OGM 2.0 en anglais, et ses produits — dont un grand nombre est destiné à être exporté vers les pays africains. Mais cette nouvelle vague d'OGM pose de réels problèmes environnementaux, sanitaires et socio-économiques. Leur impact potentiel sur le continent africain exige un examen rigoureux des réglementations existantes afin de répondre à ces problèmes. Le prétendu *modus operandi* de nombreuses initiatives récentes est d'aider l'Afrique à se nourrir elle-même, mais l'absence d'expertise nationale en biotechnologie leur permet surtout de façonner un discours sur la biosécurité favorable aux développeurs de technologies et autres qui pourraient bénéficier de l'utilisation de ces technologies. Les efforts visant à exclure cette deuxième vague d'OGM (comme ceux développés à l'aide de techniques d'édition génomique) de la législation sur les organismes génétiquement modifiés [1] le montrent très bien.

## Les leçons tirées des cultures commerciales d'OGM en Afrique

La commercialisation de la première génération d'OGM a été jusqu'à présent limitée en Afrique. Sur les 50 pays que compte le continent, seuls deux (L'Afrique du Sud et le Soudan) cultivent

actuellement des OGM et l'Afrique du Sud est le seul pays à cultiver ce type d'organismes pour en faire des denrées alimentaires. Ces expériences restreintes sur le continent servent néanmoins



d'avertissement quant aux conséquences que la biologie synthétique et la prochaine génération d'OGM pourraient avoir sur la sécurité alimentaire, les moyens de subsistance des petits agriculteurs et autres questions sociales et culturelles. Dans les régions du monde où l'on cultive ces OGM de façon plus intensive (les Etats-Unis, l'Argentine ou le Brésil par exemple), on a relevé de graves répercussions sur la santé et l'environnement : l'augmentation de l'utilisation de pesticides qu'exigent les cultures d'OGM coïncide avec une augmentation des taux de cancers, de malformations congénitales, d'avortements spontanés et autres problèmes de reprotoxicité.[2,3] On a trouvé des résidus de pesticides dans le lait maternel, l'eau potable ou encore dans le sang et l'urine des habitants de ces régions.

Les OGM introduits en Afrique du Sud et au Burkina Faso ont été vendus comme des technologies avantageuses pour les petits agriculteurs, qui fournissent environ 80 % de la nourriture en Afrique subsaharienne. Cependant, la culture de coton GM n'a pas tenu ses promesses dans ces deux pays. En Afrique du Sud, la production a débuté en 1997 avec

le coton Bt de Monsanto dans la région des plaines de Makhathini du KwaZulu-Natal. En deux ans, près de 90 % des petits agriculteurs se sont lancés dans la culture de coton transgénique. Puis leur nombre a drastiquement diminué, passant de plus de 3 000 en 2001-2002 à seulement 300 en 2009-2010. [4] Cet effondrement est dû à l'augmentation des prix des semences et des intrants chimiques qui ont contraint les agriculteurs à contracter des prêts qu'ils n'ont pu rembourser, ce qui a paralysé les entreprises d'emprunts et fait baisser les crédits disponibles pour ces cultivateurs. La culture de maïs à grande échelle a également souffert des coûts élevés de l'agriculture GM, qui ont affecté le prix des denrées alimentaires. Le prix des semences de maïs jaune GM a augmenté de 35 % entre 2008 et 2011, et celui du maïs blanc a connu une hausse de 30 % au cours de la même période. La production de cette plante en Afrique du Sud dépasse les besoins de la population, et pourtant, onze ans après le début des cultures GM, 24 % de la population ne mange toujours pas à sa faim, et le prix d'un sac de cinq kilos de semoule de maïs était en 2012 84 % plus élevé qu'en 2008.

Les espèces GM ont aussi gravement affecté l'exploitation cotonnière du Burkina Faso ; le coton transgénique est abandonné en 2015, sept ans seulement après son introduction. [5] Le coton est la principale culture de rente burkinabé, réputé pour l'excellente qualité de ses fibres — très longues, et pouvant être filées pour obtenir un très bon coton — ainsi que pour son haut rendement en fibres (ou taux d'égrenage) qui permet l'obtention de grandes quantités de soies par unité de poids de coton. Cependant, après les premières années de commercialisation de coton Bt, on a remarqué l'apparition de certaines caractéristiques indésirables des fibres, en particulier en termes de longueur : le coton Bt produisait des fibres plus courtes et de qualité moindre que celles du coton conventionnel. Les entreprises cotonnières du pays ont commencé à perdre des marchés internationaux, à cause de la qualité plus que moyenne de leurs productions et les agriculteurs ont donc demandé à Monsanto des compensations de l'ordre de 84 millions de dollars.

Ces dernières années, on a vu de nouveaux efforts pour étendre l'emprise des OGM sur le continent mais cette fois, l'accent était également mis sur les cultures qui n'étaient pas destinées à la vente, comme le manioc, le niébé, le pois d'Angole ou pois cajan, le sorgho, le mil et la patate douce. En 2016, sept pays (l'Égypte, le Burkina Faso, le Ghana, le Kenya, le Nigéria, l'Afrique du Sud et l'Ouganda) menaient ou avaient mené des essais sur les plantes suivantes : le manioc, le pois d'Angole, le sorgho, la patate douce et le riz. Cette dernière offensive s'accompagne d'efforts visant à modifier les réglementations sur les semences, par le biais d'initiatives telles que l'Alliance G8 pour l'alimentation et la nutrition en Afrique ; elle instaure également des réglementations sur la biosécurité favorables aux organismes GM — des réglementations allant dans le sens des transnationales, qui menacent, voire même criminalisent les petits agriculteurs qui conservent leurs semences.

Les expériences du Burkina Faso et de l'Afrique du Sud, ainsi que les dernières initiatives vendues comme des démarches philanthropiques, illustrent



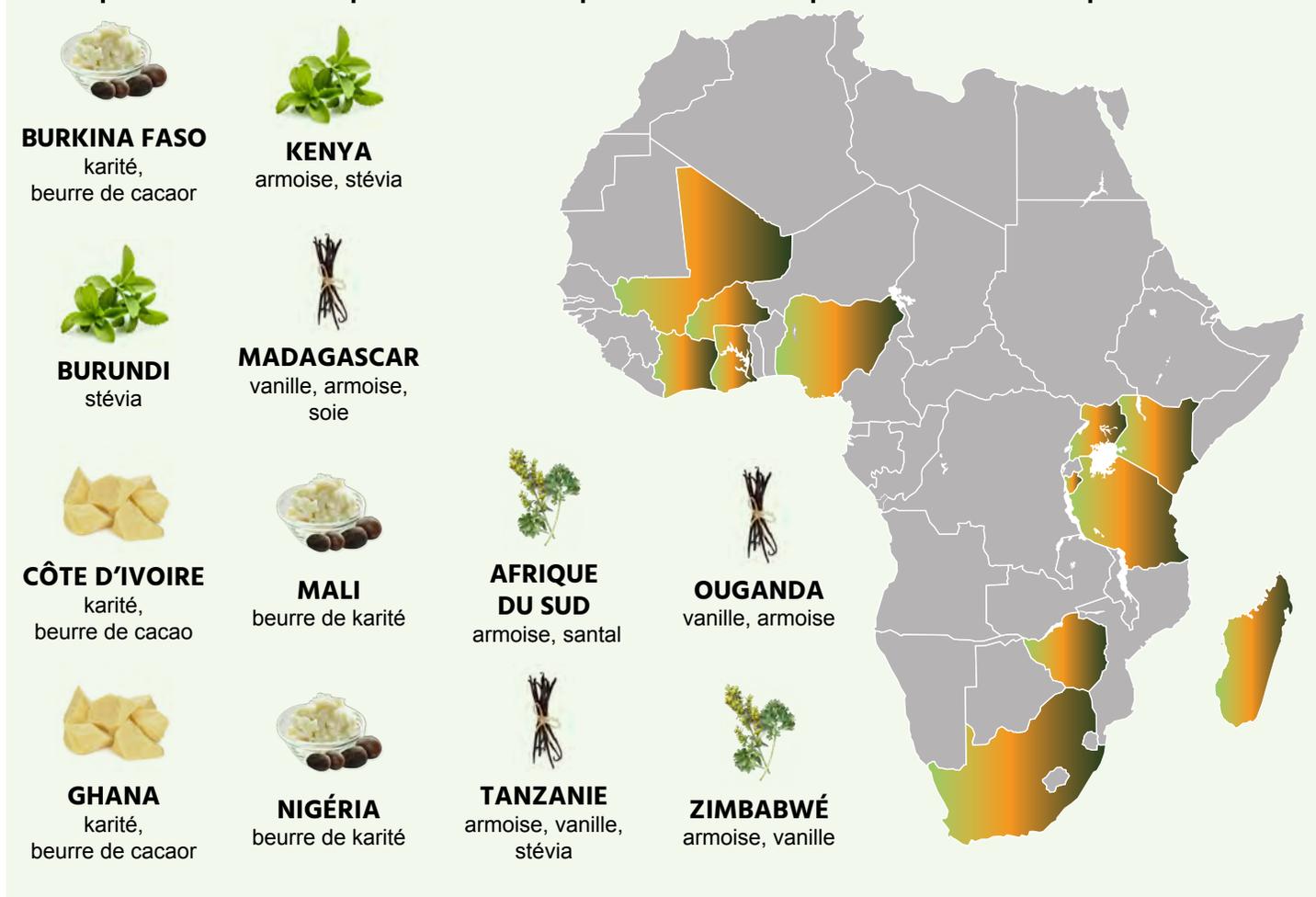
très bien le cas de la région, et servent à la mettre en garde face à cette seconde vague d'OGM et autres produits de la biologie synthétique, présentés comme les nouveaux rédempteurs de l'Afrique, et ce encore plus au moment où nous entrons dans une nouvelle ère de changement climatique.

### **La biologie de synthèse et la biosynthèse**

Les techniques de la biologie synthétique sont employées pour concevoir des alternatives aux ingrédients et parfums naturels — c'est-à-dire pour fabriquer par voie de synthèse ces composants dans un organisme vivant. Certains sont déjà commercialisés et menacent les moyens de subsistance des secteurs qui se consacrent aux produits naturels, souvent très prisés et coûteux. Le fait de remplacer les besoins en plantes ou en substances botaniques naturelles aura bien évidemment des impacts sur l'utilisation durable de la biodiversité.

Les techniques de la biologie synthétique impliquent la modification génétique de bactéries telles que des levures et des algues qui se nourrissent de sucre ou d'autres biomasses et augmenteront les besoins en agriculture industrielle de sucre. Bien que ces produits soient promus comme des alternatives durables et respectueuses de l'environnement, leurs exigences ne feront qu'accroître le besoin en monocultures pour la production de sucres et autres biomasses, et les conséquences sur la biodiversité seront désastreuses.

La carte suivante illustre les productions de cultures naturelles en Afrique. La production biosynthétique actuelle — et à court terme — de nombreux ingrédients et produits chimiques visant à remplacer ces cultures présente beaucoup d'intérêt en Afrique. Ces cultures comprennent :



## La stévia

La stévia — édulcorant naturel et médicament originaire du Paraguay et du Brésil — est une alternative saine aux sucres, de plus en plus demandée. Cette plante dotée d'une faible empreinte carbone ne requiert pas de grandes quantités de produits agrochimiques et ses feuilles sont utilisées comme médicament ou comme édulcorant. Elle est aujourd'hui surtout produite en Chine (80 %) et de plus en plus cultivée en Afrique de l'Est, principalement au Kenya, mais aussi au Burundi et en Tanzanie. La stévia a été introduite au Kenya par l'entreprise malaysienne



PureCircle Inc., et la superficie de terres cultivées a depuis rapidement augmenté. La firme achète 10 000 tonnes de feuilles de stévia kényane à 5 ou 6 mille paysans installés sur 11 comtés et espère bien intensifier cette culture jusqu'à atteindre 10 000 agriculteurs.

Le goût sucré des feuilles provient des glycosides de stéviol, qui comprennent des stéviolosides et des rébaudiosides A, C, F, M, D, X. Leur saveur sucrée peut être 350 fois plus élevée que celle du sucre. L'utilisation commerciale de la stévia s'est largement attachée à extraire ces composés chimiques et à les inclure dans des produits alimentaires, pour permettre l'obtention d'aliments transformés moins sucrés. Le marché se développe rapidement et on estime qu'il pourrait occuper plus de 15 % du marché mondial d'édulcorants d'ici 2020. Des

sociétés comme Coca-Cola l'utilisent déjà dans certains de leurs produits.

La production de la biologie de synthèse se concentre sur celle de glycosides de stéviol, en particulier les rébaudiosides M et B, qui, contrairement au rébaudioside A, ne laissent pas derrière-goût amer. On utilise de la levure de boulangerie pour transformer, par fermentation, les sucres en glycosides. Comme dans le cas de la vanilline produite par biologie synthétique, il existe un grand intérêt pour la stévia de synthèse, qui peut être, aux dires des entreprises, étiquetée comme « naturelle » puisqu'elle est élaborée via un processus de fermentation. Trois firmes — Cargill en partenariat avec Evolva et DSM, une entreprise hollandaise de produits chimiques et d'ingrédients — travaillent à l'élaboration de stévia de synthèse. Cargill a récemment lancé (mars 2018) la production de son EverSweet™.



## Le karité et le beurre de cacao

Le beurre de karité (shíyiri, shísu, nkuto, nku, kade) est une huile que l'on extrait de l'amande des noix du karité, *Vitellaria paradoxa*. Cet arbre originaire du Sahel en Afrique de l'Ouest pousse dans 21 autres pays du continent, jusqu'au Soudan et sur les hauts plateaux éthiopiens à l'est. La superficie totale couverte par cet arbre est évaluée à trois millions de kilomètres carrés. C'est la deuxième culture de plantes oléagineuses en Afrique, après le palmier à huile. Ces arbres poussent dans des régions

qui ne sont pas appropriées pour la palme — les précipitations annuelles y sont inférieures à 1 000 mm —, et revêtent ainsi une importance capitale dans les régions ouest-africaines. Le karité permet d'améliorer le microclimat et la fertilité des sols, ce qui en fait une espèce essentielle pour les parcs agroforestiers traditionnels.

L'utilisation du beurre de karité remonterait au XIV<sup>ème</sup> siècle. On l'utilise principalement pour l'élaboration de cosmétiques, d'émollients et de produits pharmaceutiques. Le beurre de karité est un corps gras complexe, riche en acides gras oléique, stéarique, linoléique et palmitique. Il contient également de grandes quantités de triterpènes, de tocophérols, de phénols et de stérols, des insaponifiables. Ses propriétés anti-inflammatoires et anti-oxydantes en font un produit très convoité, tant localement que par l'industrie cosmétique internationale.

Les produits cosmétiques tirés de l'exploitation du karité comprennent des produits pour la peau et les cheveux, comme des hydratants, des après-shampooing, des savons et des émulsions. C'est l'un des principaux ingrédients de certaines crèmes les plus chères au monde.

On l'utilise en pharmaceutique comme base pour les pommades pour ses propriétés anti-inflammatoires, émoullientes et humectantes, mais aussi pour l'élaboration de lotions écran total en raison de sa capacité à absorber les rayonnements UV.

Le beurre de karité est également comestible et souvent utilisé en cuisine. Il est très faible en acides gras trans et très riche en acides gras insaturés, ce qui en fait une huile comestible de plus en plus convoitée.

Ce sont surtout les femmes qui s'occupent du beurre de karité, de la récolte à l'extraction, puis de l'extraction à la commercialisation. Le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) estime qu'environ trois millions de femmes africaines travaillent directement ou indirectement avec du beurre de karité.

Principale source de devises étrangères dans de nombreuses régions où il est cultivé, il joue un rôle déterminant pour la sécurité alimentaire, la réduction

de la pauvreté et les services écosystémiques. En 2000, il représentait la troisième plus grande exportation du Burkina Faso, derrière le coton et le bétail. C'est aussi la troisième plus grande culture commerciale du Ghana. Les autres principaux exportateurs sont le Mali, le Ghana, le Nigéria occidental, la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Togo et la Guinée. Enfin, sur les quelques 600 000 tonnes de noix de karité récoltées en Afrique de l'Ouest, environ 350 000 sont exportées.

Tout comme le beurre de karité, le beurre de cacao est un corps gras végétal que l'on utilise tant pour l'alimentation que la cosmétique. Bien que le cacao provienne des régions tropicales d'Amérique centrale, du Sud et des Caraïbes, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a déclaré que le continent africain en est le plus grand producteur : la Côte d'Ivoire représente à elle seule 44 % de la production mondiale, suivie par le Ghana ; l'ensemble des pays africains couvre 71 % de cette production mondiale. Contrairement à d'autres cultures importantes, le cacao est surtout cultivé sur de petites exploitations.

L'entreprise Corbion (auparavant TerraVia/Solarzyme) conçoit génétiquement des microalgues qui sécrètent des huiles « adaptées ». L'utilisation de ces microalgues est très attrayante pour l'industrie, car de nombreuses algues ont obtenu le statut GRAS (*Generally recognized as safe*) délivré par la FDA, l'Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux. Corbion a déjà commercialisé son beurre d'algues AlgaWise, après que le ministère américain de l'Agriculture l'ait doté du statut GRAS en avril 2017. [6] Vendu comme une solution vegan et pauvre en graisses saturées pour la boulangerie, les pâtes à tartiner et les confiseries, ce beurre de la biologie synthétique imite les propriétés du karité et est l'un des nombreux produits à base d'oléagineux élaboré par Corbion pour la cuisine, la boulangerie et les assaisonnements, ainsi que pour toute une série de produits cosmétiques, comme l'huile AlgaPūr™ pour le corps et les cheveux.

Bien que les méthodes précises pour le processus d'ingénierie restent légalement protégées, une autorisation délivrée en 2016 par la FDA [7] pour

le beurre d'algues décrit l'utilisation d'approches de génie génétique standard visant à altérer la production d'acides gras — y compris l'introduction d'un gène codant l'enzyme mélibiose (MEL1), et d'une cassette d'interférence pour un ARN en épingle à cheveux ciblant un gène d'algues endogènes pour réduire la production de triglycérides — et à exploiter le métabolisme du sucre comme source d'énergie, au lieu de la lumière du soleil. Bunge Limited, une grande entreprise agroalimentaire, s'est associée avec Corbion pour fournir du sucre afin de nourrir les algues, ce qui soulève de sérieux doutes quant à la soit-disant durabilité environnementale de ce produit.

## L'armoise

*L'Artemisia annua* (armoise annuelle) est un arbuste à feuillage persistant originaire de Chine, mais pouvant pousser sous de nombreux climats subtropicaux et tempérés. Elle s'adapte très bien à la culture sur de petites plantations, requiert relativement peu d'intrants agricoles et ne souffre pratiquement pas de problèmes de parasites ou de maladies. La superficie moyenne de terres par agriculteur s'élève environ à 0,2 ha. Cette plante est utilisée depuis plus de deux mille ans pour le traitement du paludisme, grâce aux effets de sa substance active, l'artémisinine (ou qinghaosu), que l'on extrait des feuilles et des fleurs de la plante. L'OMS recommande les combinaisons thérapeutiques à base d'artémisinine (CTA) comme solution de prédilection contre le paludisme. Ces thérapies associent un dérivé de l'artémisinine tel que l'artéméter, l'artésunate ou la dihydroartémisinine à un médicament antipaludéen efficace. En 2009, 80 pays dans le monde les ont adoptées comme traitements de première ligne pour le paludisme non compliqué *P. falciparum*.

La demande mondiale en artémisinine s'accroît comme le montre l'augmentation de la culture



de cette plante dans diverses régions, dont plusieurs pays africains. Depuis l'introduction de la culture dans les années 1990, l'Afrique de l'Est connaît actuellement une croissance estimée à 10 % de l'offre mondiale et constitue, en termes de production, la troisième région au monde derrière la Chine et le Vietnam. Depuis 2005, la production d'artémisinine en Afrique a surtout été concentrée au Kenya (65 %), en Tanzanie (19 %) et en Ouganda (19 %), ainsi qu'au Zimbabwe, au Mozambique, au Nigéria, au Niger et en Afrique du Sud. Au Kenya, la culture commerciale a débuté en 2002. A l'époque, seuls trois ou quatre paysans s'y attelaient — sur une superficie de 40 hectares — mais en 2010, plus de 7 500 cultivateurs vivaient de cette culture.

En 2006, une étude menée par l'Institut Royal des Tropiques des Pays-Bas a conclu qu'il est possible de cultiver suffisamment d'artémisinine pour soigner tous les patients atteints de paludisme au monde et qu'une combinaison thérapeutique à base d'artémisinine serait disponible à un prix abordable deux ou trois ans après. [8] Cependant, la réalisation de cet objectif exigerait d'importants investissements ainsi que le remaniement complet de la chaîne d'approvisionnement et de distribution. Le secteur pharmaceutique monopolise la production : seules six entreprises possèdent une combinaison thérapeutique à base d'artémisinine préqualifiée. Le fait que ces traitements ne soient toujours pas disponibles dans les régions où le paludisme est endémique renforce la position des pays en développement selon laquelle il est peut-être préférable de cultiver l'armoise localement plutôt que d'importer des produits de synthèse, et ce tant pour avoir accès à ses propriétés médicinales que pour préserver les moyens de subsistance que permet sa culture locale. La culture et l'extraction (avec de l'éthanol par exemple) de l'armoise peuvent déjà être réalisées relativement facilement dans ces pays en voie de développement.

L'artémisinine issue de la biologie synthétique a été commercialisée pour la première fois en 2013 par Sanofi Aventis et Amyris Biotechnologies, qui ont introduit de multiples transgènes codant des voies de biosynthèse pour l'artémisinine

dans des souches de levures, produisant ainsi de l'acide artémisinique et enfin l'artémisinine. Cette version « semi-synthétique » a été financée grâce à 64 millions de dollars de la Fondation Bill & Melinda Gates. Après son introduction, le prix de l'artémisinine naturelle s'est effondré, passant de plus de 1 100 dollars à 200 dollars le kilo, et entraînant la faillite de 80 transformateurs et de nombreux petits agriculteurs. [9] Le cas de l'artémisinine de Sanofi illustre très bien la façon dont l'artémisinine synthétique menace les sources de revenus de ces agriculteurs. Bien que l'idée de départ de Sanofi visant à remplacer un tiers de l'approvisionnement mondial dérivé de plantes naturelles ne se soit pas concrétisée, l'avenir de la culture de l'armoise naturelle reste incertain et pourrait bien être soumis à une pression accrue si les coûts de production et les rendements de la biologie de synthèse s'améliorent. Aujourd'hui, ces problèmes ont restreint le succès de Sanofi, qui n'a pu produire son artémisinine biosynthétique en 2015 en raison d'une profusion d'armoise naturelle et des prix bas qui en ont résulté.

## La vanille

La vanille est un arôme qui provient des gousses séchées de l'orchidée vanille. La variété la plus connue est *vanilla planifolia*, originaire du Mexique,



d'où l'on tire les arômes de vanille destinés à la vente. Selon la FAO, [10] Madagascar était le plus gros producteur de vanille commerciale en 2016, et en cultivait 2 926 tonnes, soit 37 % de l'approvisionnement mondial. Sur la Grande Île, environ 80 000 familles cultivent de la vanille sur 30 000 hectares. Cette culture est également considérée comme essentielle au maintien et à la durabilité des zones agroforestières du pays. L'Afrique centrale (Ouganda, République Démocratique du Congo) et la Tanzanie sont également d'importants producteurs de vanille, cultivée par 8 000 familles environ ; l'Ouganda en est le septième plus gros producteur au monde. [11]

La production requiert énormément de travail : pour obtenir 1 kg de vanille, il faut récolter environ 500 Kg de gousses et polliniser manuellement 40 000 fleurs.

La vanille est le deuxième arôme extrait de plantes le plus cher au monde, derrière le safran. Entre 2004 et 2014, on a vu le marché s'effondrer suite à l'augmentation de la production chimique de vanilline biosynthétique (voir ci-dessous) et aux gains récents de parts de marché de la Chine et de l'Indonésie ; la production chez les agriculteurs a alors chuté. Les prix sont depuis lors repartis à la hausse, poussés par une demande accrue de cet ingrédient naturel, mais ces exemples doivent servir à alerter les agriculteurs quant aux menaces que fait peser la vanille biosynthétique sur leurs moyens de subsistance, en particulier si cette dernière est vendue comme un arôme « naturel ».

### **La vanilline biosynthétique se trouve déjà sur le marché**

Des composés de vanille produits synthétiquement existent sur le marché depuis 2014 ; ils sont commercialisés par Evolva, en partenariat avec une société suisse de biologie synthétique, *International Flavours and Ingredients*. Evolva a modifié une levure pour produire des composés aromatiques essentiels. Bien que l'on pense que des centaines de composants contribuent au goût bien particulier des gousses de vanille, seuls quelques-uns sont issus de la biologie synthétique, en particulier la vanilline. Le brevet d'Evolva (WO 2013022881) [12] se base sur l'utilisation de microorganismes conçus génétiquement pour l'expression de cinq enzymes clés qui transforment une source de carbone en acide vanillique puis en vanilline.

Comme l'indique la demande de brevet, la vanilline produite actuellement à partir de gaïacol dérivé du benzène « ne peut être étiquetée comme arôme naturel et la synthèse de la vanilline à partir du gaïacol dérivé du benzène n'est pas respectueuse de l'environnement (...) Il serait donc souhaitable d'avoir une vanilline synthétisée et il serait en outre souhaitable de fournir une méthode de synthèse économiquement attrayante. »

L'incitation à la commercialisation d'un arôme de

vanille étiquetée comme « naturel » — bien qu'il soit produit par biologie de synthèse — est on ne peut plus claire. De plus, l'utilisation de sucre comme matière première pour les microorganismes entraînera une augmentation de la demande de culture sucrières, qui exigent beaucoup d'eau et accaparent les terres destinées à la production alimentaire pour produire encore et toujours plus de sucre.

### **L'édition génomique**

L'édition génomique est vendue comme une forme plus précise de génie génétique, voire même comme une technique comparable aux croisements naturels, au vu des modifications qu'elle induit et de la prétendue absence de risques qu'on lui prête. Cette technique suscite cependant un certain nombre de préoccupations ayant trait à la biosécurité et aux OGM. En effet, les réglementations actuelles en matière de biosécurité en Afrique ne sont absolument pas appropriées pour évaluer comme il se doit les risques liés aux techniques d'édition génomique comme le système CRISPR/Cas9, qui entraîne des modifications « hors-cible » du génome auxquels peuvent s'ajouter des effets non intentionnels sur le site choisi. L'intégration de matériel génétique a également été documentée. Tout cela contredit le principal argument de vente de ces techniques selon lequel aucun ADN étranger n'est théoriquement introduit dans l'organisme modifié. [13]

Le fait que l'édition génomique ouvre la voie à de nouvelles possibilités de modifier un large éventail de cultures, y compris les « cultures orphelines » (encore appelées cultures négligées) en Afrique est aussi particulièrement inquiétant, cette fois en ce qui concerne la biopiraterie de plantes natives africaines. C'est le cas par exemple de l'élaboration de plants de manioc résistants au virus de la striure brune. Bien qu'il ne soit pas originaire d'Afrique, le manioc est l'un des aliments de base les plus répandus dans la région ; le Nigéria en est le premier producteur au monde. Cette racine tubéreuse est résistante à la sécheresse et très productive. Elle s'adapte aussi très bien à diverses altitudes et peut être cultivée avec succès sur

des terres marginales. De nouveaux partenariats — publics ou privés — tels que la collaboration entre DuPont Pioneer et le *Danforth Center* ont l'intention d'utiliser les systèmes CRISPR/Cas9 pour modifier le manioc et visent également à produire des versions de plantes natives telles que le teff, le sorgho et le mil [14].

Un partenariat similaire (association public-privé) a été établi entre le Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) et DuPont Pioneer pour modifier des génomes de maïs en utilisant les systèmes CRISPR/Cas9, pour les rendre plus résistants à la nécrose létale du maïs en Afrique subsaharienne. Ici encore, le maïs est un aliment de base dans la région. [15]

### **Information de séquençage numérique sur les ressources génétiques et biopiraterie**

L'histoire de la biopiraterie exercée par les puissances du Nord sur les plantes et cultures africaines et sur les connaissances associées à ces dernières remonte à bien longtemps. L'industrie du café du Nouveau Monde s'est par exemple fondée sur un seul arbre éthiopien, qui a atteint les jardins botaniques d'Amsterdam en 1706, après être passé par Ceylan et Java. Quant à la saveur du coca-cola, elle provient de la noix de Kola d'Afrique de l'Ouest et de la gomme arabique du Soudan. Les cas les plus récents de biopiraterie concernent des médicaments (pour le diabète et certains antibiotiques) et des cosmétiques dérivés de plantes médicinales (comme l'aloë vera, le farro — ancêtre de l'épeautre —, le pois bambara ou voandzou) [16].

Avec les progrès du séquençage et de la synthèse d'ADN, il est aujourd'hui extrêmement simple de synthétiser des gènes, voire des génomes entiers, en se basant uniquement sur des séquences qui peuvent être partagées par voie électronique et traverser ainsi les frontières sans que l'on ait à transporter des semences ou des arbres ; ce qui est particulièrement inquiétant dans le cadre des lois et politiques en matière de partage juste et équitable des avantages, ainsi que pour les accords basés sur le transfert de matériel physique.

Le consortium africain des cultures « orphelines » [17] illustre très bien ce type de projet inquiétant en

matière de biopiraterie : il vise en effet à séquencer 101 cultures africaines traditionnelles pour soi-disant « améliorer leur valeur nutritionnelle » et « former 250 personnes à la sélection génomique et à la sélection assistée par marqueurs pour améliorer les cultures sur une période de cinq ans ». Ce projet reçoit le soutien de promoteurs d'OGM comme l'Alliance pour l'alimentation et la nutrition en Afrique ou le NEPAD (Nouveau partenariat pour le développement de l'Afrique) avec des partenaires tels que Google et Mars. Le fait que l'information de séquençage numérique sur les ressources génétiques soit en libre accès permet d'exploiter des plantes médicinales ou destinées à l'alimentation dans la course à la résistance aux maladies, aux arômes et aux propriétés médicinales, et permet également aux firmes agrochimiques de modifier ces plantes via leurs techniques d'édition génomique. Les plantes ciblées comprennent des cultures très nutritives et des plantes médicinales telles que le moringa, le gombo, le tamarin, les céréales, les noix de macadamia, l'amaranthe et les ignames.

### **Le forçage génétique**

Le forçage génétique (*gene drive* en anglais) est décrit comme une « réaction en chaîne mutagène » conçue pour se propager rapidement au sein d'une population, allant ainsi à l'encontre des lois de Mendel relatives à l'hérédité. Ainsi, un seul caractère, introduit une seule fois, pourrait se répandre sur toute une espèce, et mener à l'altération de cette espèce ou à son extinction. Il a été suggéré que ces techniques permettraient d'éliminer les vecteurs de maladies comme les moustiques ou encore des espèces nuisibles telles que les rongeurs ou les mauvaises herbes. Ces technologies sont conçues pour traverser les frontières et pourraient entraîner des réactions en chaîne que l'on ne pourra pas interrompre ; elles se transmettront de génération en génération. La menace de changements irréversibles au sein de populations entières présente un nouveau degré de risques, dont on ne connaît aujourd'hui absolument pas la portée, tout comme on ignore les mesures de gestion et d'évaluation à mettre en place si l'on veut maîtriser ces risques.



### **Organismes génétiquement modifiés et moustiques ayant subi un forçage génétique. Le projet de *Target Malaria***

Au mois de novembre 2016, l'*Imperial College* de Londres a exporté des moustiques génétiquement modifiés au Burkina Faso. Les insectes se trouvent actuellement dans des installations « à usage confiné » à Bobo-Dioulasso dans le cadre d'expériences menées par le consortium de recherches *Target Malaria*. L'Agence Nationale de Biosécurité burkinabé a déjà délivré un permis pour ces moustiques et l'Institut de Recherche en Sciences de la Santé (IRSS) — qui fait partie de ce consortium — devrait prochainement publier une demande pour procéder à leur dissémination en 2018, probablement dans le village de Bana. *Target Malaria* travaille également au Mali et en Ouganda et commence à travailler au Ghana, mais il semblerait que les moustiques ne soient pas encore présents sur ces territoires.

*Target Malaria* est un consortium d'instituts de recherche essentiellement financé par la Fondation Bill & Melinda Gates et l'*Open Philanthropy Project Fund* — un fonds de la *Silicon Valley Community Foundation*. D'autres laboratoires reçoivent également divers financements pour subventionner leur travail, comme ceux alloués par le gouvernement britannique (par le biais du ministère de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales et le *Medical Research Council*),

*Wellcome Trust* (une association caritative basée au Royaume-Uni), la Commission européenne, le ministère ougandais de la Santé ou encore le Conseil national de l'Ouganda pour la Science et la Technologie (UNCST).

Le but ultime de *Target Malaria* est de relâcher ces moustiques génétiquement modifiés selon une stratégie en plusieurs étapes : la première consiste à relâcher cette année 10 000 moustiques GM « mâles-stériles » (et non intervenus par forçage génétique). Les moustiques *Anopheles gambiae* ont été génétiquement modifiés pour obtenir des mâles stériles selon une construction génétique intégrant le gène *I-PpoI Homing Endonuclease*, puis se sont reproduits avec des moustiques sauvages locaux. Cette première phase ne devrait cependant pas réduire la population de moustiques.

La dernière étape du projet impliquerait, selon certaines sources, l'utilisation d'un système de forçage génétique pour ne propager que des mâles ou répandre l'infertilité des femelles, de façon à réduire la population cible d'*Anopheles gambiae*. Cependant, on a déjà des preuves scientifiques que le forçage génétique n'a pas de grandes chances d'aboutir, car la résistance à cette modification génétique évoluera probablement, empêchant certains moustiques d'hériter des gènes modifiés. Ainsi, l'utilité du projet global n'est absolument pas fondée (pour plus de détails quant à ce projet, voir Centre africain pour la biodiversité, 2018 [18]).



L'initiative de *Target malaria* soulève également des questions quant aux implications en matière de biosécurité pour la santé humaine et pour celle de l'environnement, surtout en ce qui concerne la transmission du paludisme. En effet, plusieurs espèces de moustiques sont porteuses de cette maladie et même si les futures disséminations réussissent à diminuer le nombre d'*Anopheles gambiae*, cela pourrait créer une niche écologique que pourraient occuper d'autres espèces vectrices de maladies, comme l'*Anopheles arabiensis* ou l'*Anopheles funestus*. On a déjà vu ce scénario au Panama, après des programmes qui visaient surtout l'*Aedes aegypti*. Ces programmes, qui comprenaient des méthodes de fumigation et des disséminations limitées de moustiques GM d'Oxitec, ont vu par la suite une augmentation du nombre de moustiques tigres d'Asie ou *Aedes (Stegomyia) albopictus* [19]. Les auteurs de cette étude ont déclaré que leurs découvertes servent à alerter contre l'utilisation de ce type de stratégies de modifications génétiques visant à exterminer certaines espèces, et qui pourraient conduire les populations d'*Aedes aegypti* à « rapidement rebondir par recolonisation après l'interruption des programmes GM ». Ils annoncent également que « les stratégies GM pourraient n'avoir que des

effets à court-terme sur la taille des populations vectrices et pourraient engager le Panama dans un programme répétitif et coûteux pour le contrôle à long terme de l'arbovirus ».

Les considérations relatives à la biosécurité sont d'autant plus importantes que la réglementation burkinabé sur la biosécurité ne contient aucune directive spécifique en matière d'évaluation des risques liés aux moustiques GM, et rien non plus en ce qui concerne le type de consultation publique requise. Des questions subsistent également quant à la légalité des mouvements transfrontaliers effectués par ces insectes en provenance du Royaume-Uni. Aucun document d'évaluation des risques n'a encore été publié pour traiter leur dissémination dans l'environnement, et on ne sait toujours pas si ces moustiques seront conformes aux réglementations de l'Union européenne (EC) 1946/2003, en ce qui concerne leur exportation. Il faut également signaler qu'aucune évaluation des risques n'a eu lieu pour les lignées qui sont déjà entrées au Burkina Faso, puisqu'elles étaient destinées à un « usage confiné ». Cette interprétation de la loi et des obligations liées au Protocole de Cartagena reste cependant fort discutable si l'on considère que les moustiques sont destinés à être relâchés dans l'environnement.

## Les cultures transgéniques modifiées via l'interférence ARN

Les cultures modifiées via l'interférence ARN ont récemment été introduites dans les pays africains, notamment le maïs MON87411 de Monsanto, porteur d'un transgène codant une molécule d'ARN non-codante conçue pour cibler et induire la suppression de l'expression d'un gène d'une espèce de chrysomèle des racines du maïs.

Au Nigéria, des demandes d'essais sur le terrain ont également été reçues en 2017 pour des variétés de manioc GM, les lignées transgéniques RNAi et AMY3, porteuses quant à elles d'une molécule d'interférence ARN conçue pour inhiber l'expression du gène codant pour l' $\alpha$ -amylase, une enzyme qui dégrade l'amidon. Tout cela dans le but de prolonger la durée de conservation des racines après les récoltes. Ces lignées modifiées génétiquement ont été développées par un projet qui associe l'Institut de médecine tropicale d'Anvers et le laboratoire de biotechnologie végétale de l'ETH de Zurich.

Les chercheurs [20] et la société civile [21] ont soulevé les problèmes en matière de biosécurité concernant d'une part l'interférence ARN et d'autre part les limites des protocoles d'évaluation des risques dont on dispose actuellement pour déterminer les effets inattendus. Des études récentes ont montré que les molécules d'ARN non-codantes résistent non seulement à la digestion chez les mammifères, mais qu'elles régulent également les gènes de ceux qui les ingèrent. On sait également qu'elles s'accompagnent d'effets hors-cible, avec des ARN non-codants régulant d'autres gènes que ceux visés au départ.

## Conclusions

Les progrès de la biologie synthétique comportent des risques évidents pour l'environnement, la santé et la biodiversité en Afrique. Ils menacent les moyens de subsistance des agriculteurs. Le cadre réglementaire actuel doit absolument être mis à jour et revu pour que l'on soit au courant de ces avancées, et une attention toute particulière doit être portée aux disséminations d'organismes de la biologie de synthèse. Le déploiement de techniques de forçage génétique est particulièrement préoccupant et même les réglementations relatives à l'usage en milieu confiné devraient être examinées avec d'extrêmes précautions. En ce qui concerne l'information de séquençage numérique sur les ressources génétiques, le partage juste et équitable des avantages doit aussi être révisé, car l'accès libre à ces séquences facilitera probablement davantage la biopiraterie et l'extraction de ressources botaniques africaines à des fins de profit.

### Pour de plus amples informations, voir :

Groupe ETC. 2016. « Synthetic biology, biodiversity & farmers. Case studies exploring the impact of synthetic biology on natural products, livelihoods and sustainable use of biodiversity ». URL: <http://www.etcgroup.org/content/synthetic-biology-biodiversity-farmers>

## Références

- 1 ASSAf, 2016, *The regulatory implications of new plant breeding techniques*. URL: <http://research.assaf.org.za/handle/20.500.11911/29>
- 2 Medardo Avila-Vazquez, Flavia S. Difilippo, Bryan Mac Lean, Eduardo Maturano et Agustina Etchegoyen, « Environmental Exposure to Glyphosate and Reproductive Health Impacts in Agricultural Population of Argentina », *Journal of Environmental Protection*, vol. 9, 2018, pp. 241-253. URL : [http://file.scirp.org/Html/4-6703530\\_83267.htm](http://file.scirp.org/Html/4-6703530_83267.htm)
- 3 Alejandra Paganelli, Victoria Gnazzo, Helena Acosta, Silvia L. López, Andrés E. Carrasco, « Glyphosate-Based Herbicides produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling », *Chemical Research in Toxicology*, 23 (10), 2010, pp. 1586-1595. URL : <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/tx1001749>
- 4 African Centre for Biodiversity, *Genetically modified crops in South Africa: A failure for farmers*, 2011. URL : [https://acbio.org.za/wp-content/uploads/2015/03/ACB-factsheet\\_Who\\_benefits\\_from\\_GM\\_crops.pdf](https://acbio.org.za/wp-content/uploads/2015/03/ACB-factsheet_Who_benefits_from_GM_crops.pdf)
- 5 Juna López Villar, *Bt Cotton in Burkina Faso: When theory does not match reality*, Third World Network and African Centre for Biodiversity, 2017. URL : <https://bangmosnowdotcom.files.wordpress.com/2016/05/bt-cotton-burkina-faso.pdf>
- 6 [www.fda.gov/downloads/food/ingredientspackaginglabeling/gras/noticeinventory/ucm431759.pdf](http://www.fda.gov/downloads/food/ingredientspackaginglabeling/gras/noticeinventory/ucm431759.pdf)
- 7 Site web de TerraVia, consulté le 30 mars 2018. URL : [terravia.com](http://terravia.com)
- 8 Willem Heemskerk, Henk Schallig, Bart de Steenhuijsen Piters, *The world of artemisia in 44 questions*. URL : [http://www.kit.nl/health/wp-content/uploads/publications/879\\_The%20world%20of%20Artemisia%20in%2044%20questions.pdf](http://www.kit.nl/health/wp-content/uploads/publications/879_The%20world%20of%20Artemisia%20in%2044%20questions.pdf)
- 9 John Mbaria, « Africa's farm products could be pushed out of global market by synthetic biology », *The East African*, 14 avril 2015. URL : <http://www.theeastafrican.co.ke/news/Why-Africa-is-worried-about-synthetic-biology/2558-2685452-y2cj7y/index.html>
- 10 FAOSTAT-FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). URL : [www.fao.org/faostat/en/#data](http://www.fao.org/faostat/en/#data)
- 11 Fred Ojambo et Matthew Hill, 2018, « Vanilla Production in Uganda Surges as Farmers Battle Thieves », *Bloomberg*, 7 mars 2018. URL : <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-03-07/vanilla-production-in-uganda-surges-as-farmers-battle-thieves>
- 12 International Flavors & Fragrances Inc., Evolva SA, (WO 2013022881 A8), Compositions and methods for the biosynthesis of vanillin or vanillin beta-d-glucoside, 2013. URL : [https://encrypted.google.com/patents/WO2013022881A8?cl=it&hl=en&output=html\\_text](https://encrypted.google.com/patents/WO2013022881A8?cl=it&hl=en&output=html_text)
- 13 Janina Braatz, Hans-Joachim Harloff, Martin Mascher, Nils Stein, Axel Himmelbach, Christian Jung, « CRISPR-Cas9 Targeted Mutagenesis Leads to Simultaneous Modification of Different Homoeologous Gene Copies in Polyploid Oilseed Rape (*Brassica napus*) », *Plant Physiology*, juin 2017. URL: <http://www.plantphysiol.org/content/174/2/935>
- collaborate to apply cutting-edge technologies to improve crops for smallholder farmers », 17 octobre 2017. URL <https://www.danforthcenter.org/scientists-research/principal-investigators/nigel-taylor/lab-news/dupont-pioneer-and-danforth-center-collaborate-to-apply-cutting-edge-technologies-to-improve-crops-for-smallholder-farmers>
- 15 DuPont Pioneer & CIMMYT Form CRISPR-Cas Public/Private Partnership, 29 septembre 2016. URL : <http://foodsecurity.dupont.com/2016/09/29/dupont-pioneer-cimmyt-form-crispr-cas-publicprivate-partnership/>
- 16 Edmonds Institute (USA) et African Centre for Biosafety, *Out of Africa: Mysteries of access and benefit sharing*, 2006. URL: <http://www.edmonds-institute.org/outofafrica.pdf>
- 17 Site web d'African Orphan Crops Consortium, consulté le 31 mars 2018. URL : <http://africanorphancrops.org/about/>
- 18 African Centre for Biodiversity, Third World Network et GeneWatch UK, *GM Mosquitoes in Burkina Faso*, 2018. URL : [http://acbio.org.za/sites/default/files/2018/02/GM\\_mosquitoes\\_in\\_Burkina\\_Faso\\_ENGLISH.pdf](http://acbio.org.za/sites/default/files/2018/02/GM_mosquitoes_in_Burkina_Faso_ENGLISH.pdf)
- 19 Matthew J. Miller, Jose R. Loaiza, « Geographic Expansion of the invasive Mosquito *Aedes albopictus* across Panama – Implications for Control of Dengue and Chikungunya Viruses », D. Harley (éd.), *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2015. URL : <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003383>
- 20 J. A. Heinemann, S. Z. Agapito-Tenfen, J. A. Carman, « A comparative evaluation of the regulation of GM crops or products containing dsRNA and suggested improvements to risk assessments », *Environment International*, 55, pp. 43-55, 2013. URL : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23523853>
- 21 Third World Network, *Risks of GM crops engineered to utilise RNA interference*, 2016. URL: [https://www.biosafety-info.net/file\\_dir/8091600255844dcba0d9c4.pdf](https://www.biosafety-info.net/file_dir/8091600255844dcba0d9c4.pdf)
- 14 Nigel Taylor, « DuPont Pioneer and Danforth Center