

RÉSUMÉ ANALYTIQUE

# Élevage d'Insectes et Hydroponie en Afrique

*La Nouvelle Économie Alimentaire Circulaire*



Dorte Verner, Nanna Roos,  
Afton Halloran, Glenn Surabian,  
Edinaldo Tebaldi, Maximillian Ashwill,  
Saleema Vellani et Yasuo Konishi



# ÉLEVAGE D'INSECTES ET HYDROPONIE EN AFRIQUE LA NOUVELLE ÉCONOMIE ALIMENTAIRE CIRCULAIRE

Dorte Verner, Nanna Roos, Afton Halloran,  
Glenn Surabian, Edinaldo Tebaldi, Maximillian Ashwill,  
Saleema Vellani et Yasuo Konishi



**GROUPE DE LA BANQUE MONDIALE**

Certains droits réservés

1 2 3 4 24 23 22 21

Cet ouvrage a été réalisé par le personnel de la Banque mondiale avec des contributions extérieures. Les observations, interprétations et conclusions qu'il contient ne reflètent pas forcément l'opinion de la Banque mondiale, de son Conseil d'administration ou des pays qu'ils représentent. La Banque mondiale ne garantit pas l'exactitude, l'exhaustivité ou l'actualité des données incluses dans cet ouvrage et n'assume aucune responsabilité en cas d'erreur, d'omission ou de divergence dans les informations, ni aucune responsabilité quant à l'utilisation ou la non-utilisation des informations, méthodes, processus ou conclusions exposés. Les frontières, les couleurs, les dénominations et toute autre information figurant sur les cartes du présent ouvrage n'impliquent de la part de la Banque mondiale aucun jugement quant au statut juridique d'un territoire quelconque et ne signifient nullement que l'institution reconnaît ou accepte ces frontières.

Rien dans le présent ouvrage ne peut constituer ou être interprété ou considéré comme une limitation ou une renonciation aux privilèges et immunités de la Banque mondiale, qui sont tous spécifiquement réservés.

### Droits et licences



Ce travail est disponible sous la licence Creative Commons Attribution 3.0 IGO (CC BY 3.0 IGO) <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo>. En vertu de la licence Creative Commons Attribution, vous êtes libre de copier, distribuer, transmettre et adapter cette œuvre, y compris à des fins commerciales, dans les conditions suivantes :

**Attribution**—Veuillez citer cet ouvrage comme suit : Verner, Dorte, Nanna Roos, Afton Halloran, Glenn Surabian, Edinaldo Tebaldi, Maximillian Ashwill, Saleema Vellani et Yasuo Konishi. 2021. *Élevage d'insectes et hydroponie en Afrique : La nouvelle économie alimentaire circulaire*. Série Agriculture et alimentation. Washington : Banque mondiale. Doi :10.1596/978-1-4648-1766-3. Licence : Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO.

**Traductions**—Si vous effectuez une traduction de cette œuvre, veuillez ajouter la clause de non-responsabilité suivante à l'attribution : *Cette traduction n'a pas été réalisée par la Banque mondiale et ne doit pas être considérée comme une traduction officielle de la Banque mondiale. La Banque mondiale ne peut être tenue responsable de tout contenu ou erreur se trouvant dans cette traduction.*

**Adaptations**—Si vous créez une adaptation de cette œuvre, veuillez ajouter la clause de non-responsabilité suivante à l'attribution : *Ce document est une adaptation d'un ouvrage original de la Banque mondiale. Les points de vue et opinions exprimés dans cette adaptation relèvent de la seule responsabilité de l'auteur ou des auteurs de l'adaptation et ne sont pas approuvés par la Banque mondiale.*

**Contenu tiers**—La Banque mondiale n'est pas forcément propriétaire de chaque élément du contenu de l'ouvrage. La Banque mondiale ne garantit donc pas que l'utilisation d'un élément ou d'une partie individuelle appartenant à un tiers et contenu dans l'ouvrage ne portera pas atteinte aux droits de ce tiers. Le risque de réclamations résultant d'une telle violation vous incombe exclusivement. Si vous souhaitez réutiliser un élément de cet ouvrage, il vous incombe de déterminer si une autorisation est nécessaire pour cette réutilisation et d'obtenir cette autorisation du titulaire du droit d'auteur. Ces éléments peuvent inclure, sans s'y limiter, des tableaux, des figures ou des images.

Toutes les demandes concernant les droits et licences doivent être adressées à World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, USA ; e-mail : [pubrights@worldbank.org](mailto:pubrights@worldbank.org)

ISBN (papier) : 978-1-4648-1766-3

ISBN (électronique) : 978-1-4648-1767-0

DOI : 10.1596/978-1-4648-1766-3

*Photos de couverture* : © Dorte Verner / Banque mondiale. Utilisé avec la permission de Dorte Verner / Banque mondiale. Une nouvelle autorisation est requise pour toute réutilisation.

*Conception de la couverture* : Melina Yingling, Banque mondiale, d'après un concept d'Eliot Cohen et de Dorte Verner, Banque mondiale, et sur la base d'une conception de série de Critical Stages, LLC.

**Numéro de contrôle de la Bibliothèque du Congrès : 2021918234.**

# TABLE DES MATIÈRES

<b>Avant-Propos</b> . . . . .	<b>v</b>
<b>Remerciements</b> . . . . .	<b>vii</b>
<b>À propos des auteurs</b> . . . . .	<b>.xi</b>
<b>Résumé Analytique</b> . . . . .	<b>I</b>
Le problème . . . . .	2
La solution . . . . .	3
Viabilité . . . . .	7
Perspectives d'avenir . . . . .	9
Notes . . . . .	9
Références bibliographiques . . . . .	10

## Figures

ES.1	Économie linéaire et économie circulaire pour la production et la consommation de denrées alimentaires . . . . .	4
ES.2	Développer une économie alimentaire circulaire . . . . .	5
ES.3	Avantage comparatif de l'agriculture économe par rapport à l'agriculture conventionnelle lorsque $R \leq R^*$ . . . . .	7
ES.4	Intégration de la chaîne d'approvisionnement par rapport aux coûts dans la durée . . . . .	8



## AVANT-PROPOS

La mission de la Banque mondiale est de mettre fin à la pauvreté et d'améliorer l'équité par une prospérité partagée. Mais les acquis du développement obtenus de haute lutte sont aujourd'hui menacés. Chaque jour, on observe des signes d'aggravation du changement climatique, de diminution des ressources naturelles et d'intensification de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle, dans un contexte de pandémie mondiale qui remet en cause la capacité des populations à souffrir une alimentation saine.

Chose intéressante, des pratiques humaines anciennes peuvent apporter un certain soulagement aux malheurs d'aujourd'hui. Alors que les modèles actuels de production agroalimentaire reposent sur d'abondantes réserves d'eau, d'énergie et de terres arables et génèrent d'importantes émissions de gaz à effet de serre en plus de la perte de forêts et de biodiversité, les pratiques passées indiquent des voies moins coûteuses et plus écologiquement viables.

Différentes formes d'élevage d'insectes et de culture hors-sol, ou hydroponique, existent depuis des siècles. Dans ce rapport, les auteurs démontrent de manière convaincante que l'agriculture économe, notamment l'élevage d'insectes et la culture hydroponique, peut compléter l'agriculture conventionnelle. Ces deux technologies réutilisent les déchets agricoles et les déchets industriels organiques de la société pour produire des aliments nutritifs et des aliments pour animaux sans continuer à épuiser les ressources en terre et en eau de la planète, transformant ainsi l'économie alimentaire linéaire gaspilleuse du monde en une économie alimentaire durable et circulaire.

Comme le montre le rapport, l'élevage d'insectes et l'agriculture hydroponique peuvent créer des emplois, diversifier les moyens de subsistance, améliorer la nutrition et offrir de nombreux autres avantages en Afrique et dans les pays fragiles et touchés par des conflits. Avec d'autres investissements dans l'agriculture intelligente face au climat, tels que les arbres dans les fermes, les systèmes de riz à mouillage et séchage alternés, l'agriculture de conservation et l'élevage durable, ces technologies font partie d'une série prometteuse de solutions, qui peuvent aider les pays à faire évoluer leurs terres, leur alimentation, leur eau et leurs systèmes agricoles vers une plus grande durabilité et une réduction des émissions. Il s'agit d'une considération essentielle au moment où la Banque mondiale renouvelle son engagement à soutenir les plans d'action climatiques des pays.

Cet ouvrage est la première tentative de la Banque mondiale d'envisager l'élevage d'insectes et l'agriculture hydroponique comme des solutions possibles aux crises du climat et de la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans le monde. Il pourrait représenter un nouveau chapitre dans les efforts en constante évolution de l'organisation pour aider à nourrir et à préserver la planète. J'espère que cet ouvrage suscitera d'autres discussions et inspirera des actions concrètes, en vue de saisir pleinement les immenses possibilités qu'offrent l'élevage d'insectes et l'agriculture hydroponique dans le cadre de systèmes alimentaires rénovés et performants, qui fournissent des régimes alimentaires sains et durables pour tous.

**Juergen Voegelé**

*Vice-président, Développement durable  
Groupe de la Banque mondiale*



## REMERCIEMENTS

Ce projet a été élaboré et dirigé par Dorte Verner (économiste principal au pôle mondial d'expertise Agriculture et alimentation, Région Afrique, Banque mondiale). Les autres auteurs de l'ouvrage sont Nanna Roos (professeur, Université de Copenhague), Afton Halloran (consultant), Glenn Surabian (consultant), Edinaldo Tebaldi (professeur, Bryant University), Maximillian Ashwill (consultant), Saleema Vellani (consultant) et Yasuo Konishi (Global Development Solutions, LLC).

L'équipe est reconnaissante du soutien précieux de Holger Kray (chef de service) et apprécie les conseils et les commentaires des réviseurs de la Banque mondiale Richard Damania (économiste en chef), Geeta Sethi (conseillère), Svetlana Edmeades (économiste agricole principale), Gerry Charlier (expert agricole principal) et Erick Fernandes (expert agricole principal), ainsi que du réviseur externe Jeffery Tomberlin (professeur, Texas A&M University). L'équipe remercie les conseillers du projet pour leurs contributions et suggestions, notamment Arnold van Huis (professeur, Entomologie tropicale, Université de Wageningen), Kwanho Park (Administration du développement rural, République de Corée) et Jeffery Tomberlin (professeur, Université A&M du Texas). L'équipe est également reconnaissante des contributions apportées par l'Administration du développement rural de la République de Corée par le biais de Tae-Woong Hur (administrateur), Nam Sunghee (directeur), Bang Hae-Seon (directeur) et les chercheurs Hwang Jae-Sam, Park Kwan-Ho, Kim Mi-Ae et Yoon Hyung-Ju. L'équipe remercie le Centre de coopération technologique internationale de l'Administration du développement rural pour son soutien, notamment Suntay Choi (directeur), Ho-sun Lee et Yiseul Kim.

L'équipe remercie Robert Musundire (professeur, Chinhoyi University of Technology, Zimbabwe), John Kinyuru (professeur, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, Kenya) et Nader Hrimat (Applied Research Institute-Jerusalem, Cisjordanie et Gaza) et leurs équipes pour leurs conseils. L'équipe remercie le Haut Commissariat des Nations Unies pour les réfugiés, notamment Betsy Lippman et ses équipes, ainsi que le Programme alimentaire mondial, notamment Erika Jørgensen, Michael Dunford et leurs équipes.

D'autres membres du personnel de la Banque mondiale ont également apporté leur contribution à la réalisation de cet ouvrage, notamment Martien Van Nieuwkoop (directeur général), Mark Lundell (directeur régional), Juergen Voegelé (vice-président), Carlos Felipe Jaramillo (vice-président), Steven Schonberger (directeur régional), Siméon Ehui (directeur régional), Mark Cackler (chef de service), Shobha Shetty (chef de service), Chakib Jenane (chef de service), Da Woon Chung (administrateur de programme principal), Melissa Williams (experte principale en développement rural), Easther Chigumira (experte principale en agriculture), Francisco Obrequé (expert principal en agriculture), Asa Giertz (économiste agricole principal), Meeta Sehgal (expert agricole principal), Jeren Kabayeva (expert agricole), Pierre Olivier Colley (expert agricole principal), Franck Cesar Jean Berthe (expert principal en élevage), Flore Martinant de Preneuf (responsable principal des affaires extérieures), Xiaoyue Hou (consultant), Eliot Cohen (consultant), Hawanty Page (expert agricole), Srilatha Shankar (assistante de programme), Nugroho Nurdikiawan Sunjoyo (chargé des affaires extérieures), Jason Fields (consultant) et Laurence Olivieri (stagiaire).

Les auteurs remercient également tous ceux qui ont partagé leurs connaissances et leurs expériences avec l'équipe sur l'agriculture économe en Afrique et ailleurs. L'équipe remercie Séverin Tchibozo (Bénin), Jean Ndimubandi (Burundi), Mpawenimana Alexis (Burundi), Fogoh John Murafor (Cameroun), Papy Nsevolé (République démocratique du Congo), Mahmoud Eljendy (République arabe d'Égypte), Abdulaziz Elgammal (Égypte), Jacob Paarechuga Anankware (Ghana), Shadrack Debrah (Ghana), Lincoln Peedah (Ghana), Shadrack Asomah (Ghana), Hetty Bofo (Ghana), Barnabas Kadaana (Ghana), Shobhita Soor (Ghana), Daniel Obeng-Ofori (Ghana), Basile B. (Ghana), Enoch Osekre (Ghana), Jawad M. (Ghana), Roger Agyei Remember (Ghana), Betty Kibaara (Kenya), Chrystanus Tanga (Kenya), Faith Nyamu (Kenya), Stella Maina (Kenya), Matthew Gicheha (Kenya), Evans Nyakkeri (Kenya), Wambeti (Kenya), Talash Hujibers (Kenya), James Muriithi (Kenya), Nina de Groot (Kenya), Kabue Wangare (Kenya), Edwin Kamau (Kenya), Michael Lwoyelo (Kenya), Sammy Mathu (Kenya), Nancy Ndung'u (Kenya), Christian Ratompoarison (Madagascar), Austin Ogee (Nigéria), Cedrick Nkundwanbake (Rwanda), Irambona Bruce (Rwanda), Jean Luc (Rwanda), Niyigaba Norbert (Rwanda), Matthew Haden (Tanzanie), Oscar Kibazohi (Tanzanie), Syrine Chaalala (Tunisie), Philip Nyeko (Ouganda), Paul Nampala (Ouganda), Kayondo Mugagga (Ouganda), Geoffrey Malinga (Ouganda), Geoffrey Ssepuuya (Ouganda), Clement Okia (Ouganda), Robert Musundire

(Zimbabwe), Renth Mano (Zimbabwe), Faith Manditsera (Zimbabwe), Blessing Mutedzi (Zimbabwe), Kevin Bachhuber (États-Unis) et Saliou Niassy (ICIPE). L'équipe remercie également les personnes suivantes en Thaïlande et en République de Corée : Cho Namjun, Taek-Ryon Kwon, Kim Kyeong Kyu, C.I.E.F., Jeonnam Damyang-gun Insects, Million Stone Agriculture Company, Choi Chang, Chan-Ho Yoon, Deok-Ju Park, Myeong-Soo Jeung, Sangwoon Park, Hyunji Lee, Esther Hong, Chok Charoen Farm, Som Thitima, Farm Jing Reed, Paijit Sangchai, Thatnut Chauthatham, Book Wasaporn, Nathan Preteseille, Chattachai Chaiyaohiro, Banjamas Bootkinaree et Nontawat Bangiam. Des remerciements supplémentaires sont adressés à Leone Magliocchetti Lombi (FAO Djibouti), Canie Mushavi (LFP Africa), Francois Pulzone (LFP Africa), M. Eric Benbow (Université du Michigan, États-Unis), Frode Neergaard (ministère des Affaires étrangères du Danemark), Robert Waldmann (Université de Rome) et Antonio Salort-Pons (PAM Kenya). Maximillian Ashwill était le rédacteur principal du rapport. Au Programme d'édition de la Banque mondiale, Michael Harrup (directeur de la production), Jewel McFadden (responsable des acquisitions) et Deborah Appel-Barker (coordinatrice de l'impression) ont géré efficacement le processus d'édition.

Ce projet a été rendu possible grâce au financement du Fonds fiduciaire coréen pour les transitions économiques et la consolidation de la paix de la Banque mondiale. L'équipe est reconnaissante pour les orientations et les conseils fournis par le gestionnaire du fonds fiduciaire, Valery Ciancio, et son équipe, notamment Sarah Craig et Sara Agostini.



## À PROPOS DES AUTEURS

**Maximillian Ashwill** est un expert et stratège en développement international qui a travaillé pendant 20 ans pour la Banque mondiale, *Peace Corps* et l'Agence des États-Unis pour le développement international. Il est également écrivain et rédacteur professionnel, avec plus de 50 publications à son actif. Maximillian est diplômé de l'université du Wisconsin à Madison et de *New School* à New York.

**Afton Halloran, PhD**, occupe un poste postdoctoral au département de nutrition, d'exercice et de sport de l'Université de Copenhague. Elle est également consultante indépendante en matière de transitions durables des systèmes alimentaires et scientifiques transdisciplinaires. Elle collabore avec des organisations telles que la Banque mondiale et le Conseil nordique des ministres. Elle a écrit des livres et des documents de recherche sur des sujets liés à l'alimentation.

**Yasuo Konishi** était le directeur général de *Global Development Solutions, LLC* (GDS), situé à Reston, en Virginie. M. Konishi avait 34 ans d'expérience dans le renforcement de la compétitivité, couvrant une multitude de secteurs, son travail aboutissant généralement à des stratégies de développement et d'investissement pour des organisations donatrices clientes et des sociétés multinationales. M. Konishi avait en outre 28 ans d'expérience en tant qu'économiste agricole international et spécialiste du développement industriel. Il a été l'architecte de l'outil d'analyse de la chaîne de valeur intégrée de GDS et a réalisé plus de 150 analyses de chaîne de valeur dans plus de 45 pays du monde.

**Nanna Roos, PhD**, est professeur associé de nutrition humaine au département de nutrition, d'exercice et de sport de l'Université de Copenhague. Elle possède 20 ans d'expérience dans la recherche et s'intéresse particulièrement aux approches basées sur l'alimentation pour améliorer la nutrition des enfants dans les pays en développement. Depuis 2012, Dr Roos s'est engagée dans la recherche sur les insectes destinés à l'alimentation humaine et animale en Afrique, en Asie et en Europe et dans la direction de recherches interdisciplinaires sur le développement de l'élevage d'insectes.

**Glenn Surabian, PhD**, est un consultant en développement dont l'expertise réside dans le diagnostic et l'amélioration de la compétitivité en utilisant une approche d'analyse de la chaîne de valeur. Il a travaillé dans toute l'Afrique, appliquant cette méthodologie, ainsi que d'autres, à des sujets essentiels tels que la sécurité alimentaire, la création d'emplois, la gestion des gaz à effet de serre et la conservation des ressources.

**Edinaldo Tebaldi, PhD**, est professeur d'économie à l'Université Bryant de Smithfield, dans l'État de Rhode Island. Il a dirigé et préparé ou contribué à de nombreuses analyses et rapports sur le développement économique pour la Banque mondiale et d'autres institutions gouvernementales et privées. Il possède une grande expérience des méthodes économétriques, de l'analyse des politiques et de l'évaluation de l'impact économique.

**Saleema Vellani** est une praticienne du développement et une stratège de l'innovation jouissant de dix ans d'expérience auprès de la Banque mondiale et de la Banque interaméricaine de développement. Elle a codirigé et contribué à des publications sur le développement économique. Elle enseigne la réflexion conceptuelle et l'entrepreneuriat à l'Université Johns Hopkins de Baltimore, dans le Maryland, et est diplômée de l'Université McGill de Montréal, au Québec, et de l'Université Johns Hopkins.

**Dorte Verner, PhD**, est économiste principale au sein du pôle mondial d'expertise Agriculture et alimentation pour la Région Afrique de la Banque mondiale où elle travaille sur la sécurité alimentaire, le changement climatique, l'emploi et le programme d'action sur la fragilité, les conflits et la violence. Elle possède plus de 30 ans d'expérience en matière de développement dans toutes les régions du monde, avec des connaissances et des projets de recherche et de développement. Auparavant, Dr Verner a été économiste principale à la Banque interaméricaine de développement où elle a dirigé l'évaluation du changement climatique. Elle a publié dans des revues à comité de lecture, a produit des livres et a été conseillère auprès de gouvernements et d'organisations internationales. Avant de rejoindre la Banque mondiale, Dr Verner a travaillé comme chercheur à l'Organisation de coopération et de développement économiques, à l'Institut universitaire européen, à Paris I (Sorbonne) et dans le secteur privé à São Paulo, au Brésil.

## RÉSUMÉ ANALYTIQUE

Ce rapport montre que l'agriculture économe est un complément viable à l'agriculture conventionnelle, en particulier en Afrique et dans les pays touchés par la fragilité, les conflits et la violence. En Afrique, plus de 120 millions de personnes, soit 24 % de la population, consomment moins de nourriture que ce dont elles ont besoin pour vivre en bonne santé<sup>1</sup>. Dans le même temps, les terres se dégradent, la biodiversité s'appauvrit, la production agricole par habitant diminue<sup>2</sup> et le changement climatique a des répercussions négatives sur les moyens de subsistance et les systèmes alimentaires. Pour inverser ces tendances, il faut un modèle de production alimentaire de rupture, résolument, inclusif et résilient. Les pratiques humaines anciennes peuvent apporter des solutions aux défis d'aujourd'hui. Alors que les modèles actuels de production agroalimentaire reposent sur d'abondantes réserves d'eau, d'énergie et de terres arables et génèrent d'importantes émissions de gaz à effet de serre en plus de la perte de forêts et de biodiversité, les pratiques passées indiquent des voies plus écologiquement viables. L'agriculture de pointe dans une économie alimentaire circulaire devrait constituer un tel modèle. Des pratiques de production alimentaire qui réduisent la consommation d'eau, d'énergie et de terre dans le cadre d'une économie circulaire présentent un grand intérêt à cet égard. De telles approches, que l'on pourrait qualifier d'« agriculture économe », incluent l'élevage d'insectes et l'agriculture hydroponique, qui font l'objet du présent rapport. L'élevage d'insectes est le processus de production d'insectes pour l'alimentation humaine et animale, et l'agriculture hydroponique est le processus de culture dans des solutions d'eau riches en nutriments en lieu et place de la terre. Ces technologies ne nécessitent pas un grand accès à la terre, à l'eau ou à la richesse — tous des facteurs limitatifs en Afrique et dans les pays touchés par la fragilité, les conflits et la violence. Ces technologies utilisent les déchets organiques, y compris les déchets agricoles ou certains déchets industriels, pour produire rapidement des aliments nutritifs et

riches en protéines pour les humains, les poissons et le bétail, ainsi que des biofertilisants pour les sols. Cela améliore la sécurité alimentaire et nutritionnelle tout en réduisant le gaspillage, en renforçant les comptes nationaux, en reconstituant l'environnement, en économisant les réserves de devises fortes, grâce à la diminution des importations de denrées alimentaires et d'aliments pour animaux, et en favorisant un développement vert, résilient et inclusif. Ni la consommation d'insectes ni l'agriculture hydroponique n'est nouvelle : les humains pratiquent ces deux activités depuis des siècles. Cependant, pratiquer l'élevage d'insectes et l'agriculture hydroponique pour atteindre des objectifs de développement constitue une approche nouvelle et innovante, notamment pour accroître la résilience au changement climatique des communautés vulnérables, y compris les réfugiés ou autres, qui vivent dans des zones à ressources limitées ne permettant pas une agriculture conventionnelle, comme les villes et les environnements arides.

En un an, l'élevage d'insectes en Afrique peut générer des protéines brutes d'une valeur de 2,6 milliards de dollars et des biofertilisants d'une valeur de 19,4 milliards de dollars. Cela représente suffisamment de farine protéique pour couvrir jusqu'à 14 % des protéines brutes nécessaires à l'élevage de tous les porcs, chèvres, poissons et poulets en Afrique, selon la modélisation de la production annuelle de larves de mouche soldat noire en Afrique. Le rapport estime que, grâce à l'élevage de la mouche soldat noire, le continent pourrait remplacer chaque année 60 millions de tonnes d'aliments traditionnels par des larves de mouche soldat noire, ce qui entraînerait le recyclage de 200 millions de tonnes de déchets végétaux, la production de 60 millions de tonnes d'engrais organiques et la création de 15 millions d'emplois, tout en économisant 86 millions de tonnes d'émissions d'équivalent en dioxyde de carbone, ce qui correspondrait au retrait de 18 millions de véhicules des routes.

*L'élevage d'insectes est pour moi une activité secondaire génératrice de revenus. La consultation sur l'élevage d'insectes me rapporte à elle seule près de la moitié de mon salaire annuel en tant qu'employé du gouvernement.*

*- Un agriculteur ghanéen*

## LE PROBLÈME

La pauvreté compromet la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Afrique et dans les pays touchés par la fragilité, les conflits et la violence. L'insécurité alimentaire aiguë est en hausse en Afrique subsaharienne, où environ une personne sur cinq est sous-alimentée (FAO et al. 2019). La situation est encore pire dans les pays africains touchés par la fragilité, les conflits et la violence<sup>3</sup>, où 29 % de la population souffre d'une consommation alimentaire insuffisante, contre 18 % de la population de l'ensemble de l'Afrique subsaharienne.



Les individus n'ont pas les moyens de se procurer suffisamment d'aliments nutritifs pour mener une vie saine. La croissance démographique de l'Afrique, le changement climatique et la dégradation des sols compliquent également la sécurité alimentaire et nutritionnelle à long terme de la région. La population subsaharienne devant atteindre environ 2,2 milliards de personnes d'ici à 2050 (Suzuki 2019), les besoins en matière d'accès et de production alimentaires augmentent considérablement. Pendant ce temps, le continent africain est l'une des régions du monde les plus touchées par le changement climatique, ce qui limite encore plus sa capacité à améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, grâce aux systèmes agricoles conventionnels (FAO et CEA 2018).

Les ressources naturelles de la planète n'ont pas la capacité de supporter le modèle agroalimentaire actuel, en particulier pour l'alimentation animale. Le système agroalimentaire représente environ 30 % de la consommation totale d'énergie dans le monde (FAO 2016), et l'agriculture, en particulier l'élevage, est la phase la plus énergivore (Jasinski et al. 1999). En outre, le système agroalimentaire couvre 80 % de ses besoins énergétiques, grâce à des combustibles fossiles (Monforti-Ferrario et Pinedo Pascua 2015), l'agriculture représente 70 % des prélèvements d'eau douce dans le monde (UNESCO 2016), et les parts sont encore plus élevées dans les neuf pays africains touchés par la fragilité, les conflits et la violence pour lesquels des données sont disponibles (Banque mondiale 2020). Tout cela démontre que l'environnement naturel de la planète ne sera pas en mesure de maintenir les niveaux actuels d'extraction des ressources naturelles du modèle de production alimentaire mondial.

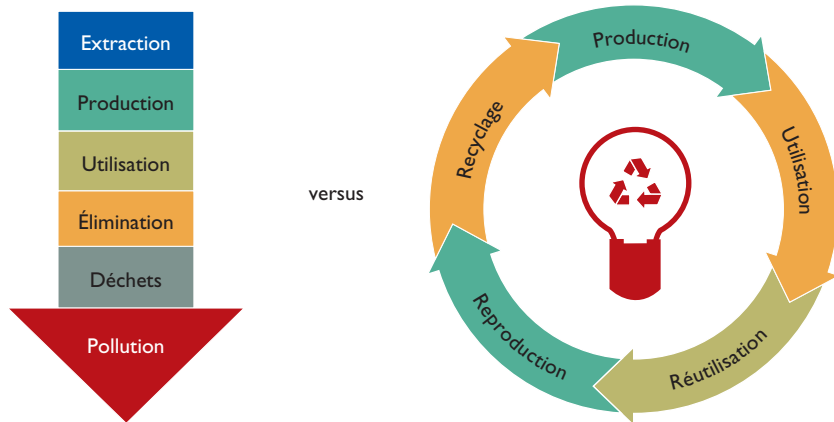
*L'élevage d'insectes présente l'avantage d'être une source d'emplois et de revenus pour les jeunes et les moins jeunes.*

*- Un agriculteur kenyan*

## **LA SOLUTION**

Les technologies agricoles économes peuvent transformer une économie alimentaire linéaire en une économie alimentaire circulaire. L'élevage d'insectes et la culture hydroponique sont deux exemples d'agriculture économe. Ces deux technologies s'inscrivent dans un modèle d'économie circulaire et constituent des alternatives naturelles au système alimentaire actuel. Elles sont adaptées au contexte unique de l'Afrique et des pays touchés par la fragilité, les conflits et la violence. Ni l'une ni l'autre ne nécessite l'accès à des terres abondantes, à des ressources naturelles ou à la richesse pour être mise en œuvre, autant de facteurs limitatifs pour les Africains. Le monde, en particulier les pays africains touchés par la fragilité, les conflits et la violence, a besoin d'un système de production alimentaire intégré capable de nourrir tout le monde, partout et tous les jours, avec des aliments nutritifs, tout en offrant des avantages économiques et en protégeant

**FIGURE ES.1 Économie linéaire et économie circulaire pour la production et la consommation de denrées alimentaires**

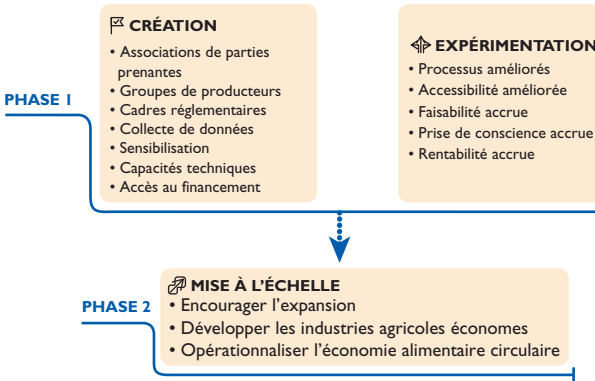
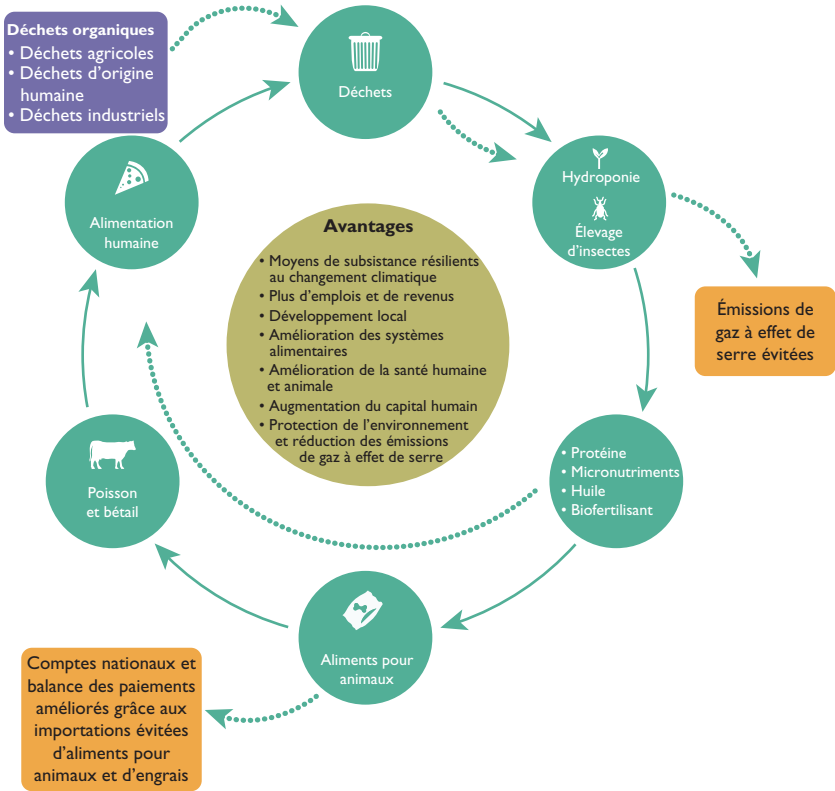


Source : Figure originale créée pour cette publication à partir de Weetman 2016.

l'environnement. Une économie alimentaire circulaire devrait constituer un tel système. Il s'agit d'une approche systémique de la production alimentaire qui est mutuellement bénéfique aux entreprises, à la société et à l'environnement<sup>4</sup>. Elle est conçue pour produire des aliments tout en éliminant les déchets et la pollution. L'économie linéaire dans l'industrie alimentaire suit un modèle « extraction-fabrication-déchet » dans lequel les ressources sont exploitées pour produire des aliments tout en générant des déchets et en polluant l'environnement. En revanche, une économie alimentaire circulaire est régénératrice par définition, tout en générant des avantages socioéconomiques. Elle dissocie progressivement la production alimentaire de la consommation de ressources finies en réintégrant les déchets, au lieu de nouvelles ressources, comme intrant dans le système de production alimentaire (voir figure ES.1). De plus, les opérations à petite échelle peuvent être établies de manière économique et ne nécessitent pas beaucoup de main-d'œuvre par kilogramme de production.

Le haut de la figure ES.2 montre comment l'agriculture économe s'inscrit dans l'économie alimentaire circulaire et génère des bénéfices. En somme, les insectes d'élevage se nourrissent de certains déchets organiques. Cela transforme un inconvénient de l'économie alimentaire linéaire en un avantage ou un atout de l'économie alimentaire circulaire, en réduisant et en réutilisant les déchets organiques de la société. La figure montre que les insectes d'élevage et les cultures hydroponiques sont des sources de protéines, de micronutriments, d'huiles diverses et de biofertilisants. Ces sources de protéines d'insectes sont ensuite transformées en aliments pour les poissons et le bétail que l'homme consomme. L'homme peut également consommer directement des insectes d'élevage et des produits hydroponiques. Les déchets provenant des insectes et de la culture

**FIGURE ES.2 Développer une économie alimentaire circulaire**



Source : Figure originale créée pour cette publication.

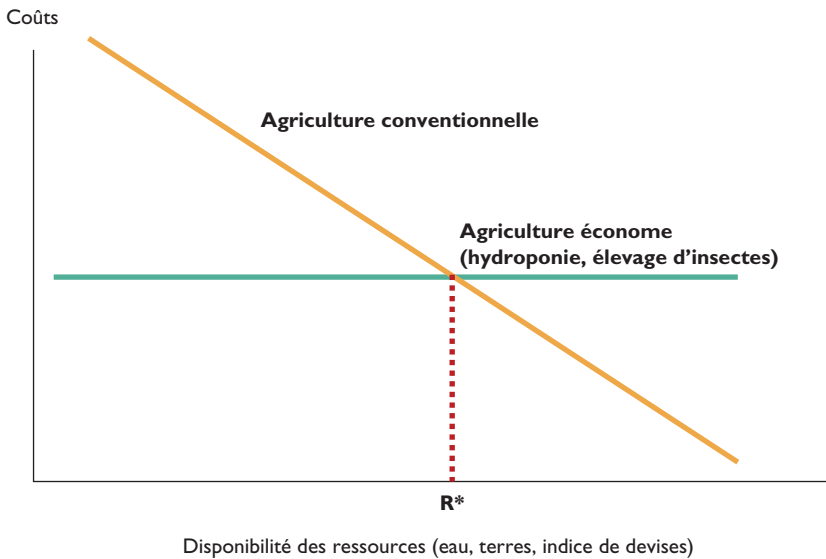
hydroponique sont ensuite réinjectés dans le système et utilisés comme substrat et engrais organique.

Il existe déjà des fermes hydroponiques et environ 850 élevages d'insectes en Afrique, et chaque année, le nombre de nouveaux entrants et de nouveaux marchés dans le monde augmente. La consommation d'insectes a une longue histoire sur le continent, mais l'élevage d'insectes est plus récent. Les Africains consomment environ 20 % des 2 100 espèces d'insectes reconnues comme comestibles dans le monde. Parmi celles-ci, environ 18 sont aptes à être cultivées pour l'alimentation animale ou humaine. Les grillons, les vers de farine, les larves de mouche domestique, les larves de charançon du palmier, les chenilles mopanes et les larves de mouche soldat noire sont les insectes les plus communément élevés dans les pays africains étudiés. Fin 2019, la République de Corée, leader du secteur, comptait plus de 2 500 élevages d'insectes destinés à l'alimentation humaine et animale, à la santé et aux produits médicaux (MAFRA 2019). En moins d'une décennie, la Corée a développé des partenariats public-privé, formé des agriculteurs, donné accès à des financements et investi dans la recherche et le développement, entre autres actions. Les marchés pour ces produits sont également en pleine croissance en Afrique et au-delà. Par exemple, en Afrique australe, les éleveurs d'insectes font le commerce des vers mopanes sur les marchés locaux et au-delà des frontières ; au Tchad, les systèmes hydroponiques produisent des aliments pour animaux ; et au Kenya, au Soudan et en Zambie, les cultures hydroponiques sont couramment consommées par les humains. Le marché des insectes d'élevage destinés à l'alimentation humaine et animale représentera jusqu'à 8 milliards de dollars d'ici à 2030, avec un taux de croissance annuel composé de 24 % (MarketWatch 2019). Le marché de l'hydroponie valait environ 8,1 milliards de dollars en 2019 et vaudra 16 milliards de dollars d'ici à 2025 — un taux de croissance annuel de 12,1 %. Par conséquent, de grandes entreprises agroalimentaires et des sociétés de capital-risque ont déjà commencé à investir des centaines de millions de dollars dans ces deux secteurs (voir, par exemple, AgriProtein 2018 ; Buhler Group 2019 ; Byrne 2018a, 2018b ; Law 2020 ; Reuters 2020 ; Welborn 2021 ; Wilbur-Ellis 2018).

*Les larves écloses de la mouche soldat noire aident à décomposer les déchets domestiques et industriels et contribuent à maintenir nos communautés propres et sûres pour tous.*

*- Un agriculteur ghanéen*

**FIGURE ES.3** Avantage comparatif de l'agriculture économe par rapport à l'agriculture conventionnelle lorsque  $R \leq R^*$



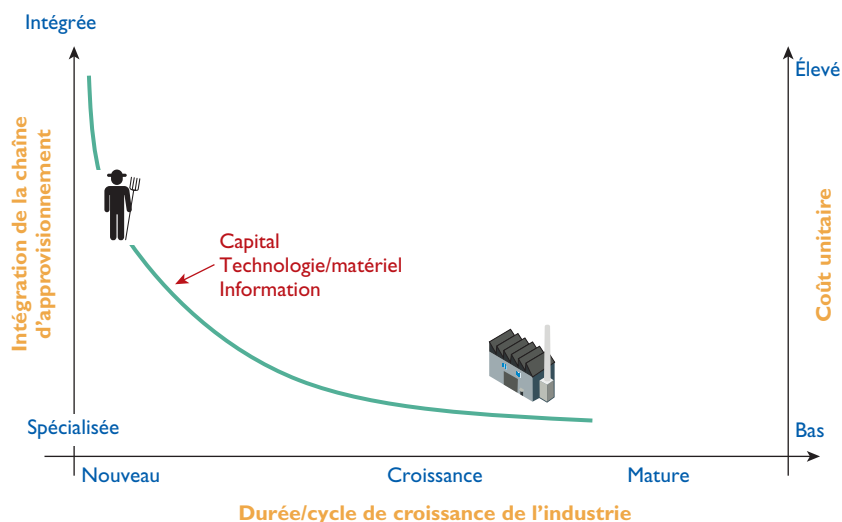
Source : Figure originale créée pour cette publication.

## VIABILITÉ

Les technologies agricoles économes présentent un avantage en termes de coûts par rapport à l'agriculture traditionnelle lorsque la disponibilité des ressources est limitée. Dans certaines situations, l'agriculture économe affiche déjà un meilleur rapport coût-efficacité que l'agriculture traditionnelle. La figure ES.3 présente des courbes de coûts stylisées pour l'agriculture économe et l'agriculture conventionnelle. Elle montre que les avantages en termes de coûts des technologies agricoles de pointe s'accroissent dans des situations où les ressources en eau et en terres arables et les réserves de devises fortes sont très limitées. C'est pourquoi ces technologies ont connu le succès dans les zones arides ou densément peuplées, y compris dans les camps de réfugiés, où il y a pénurie de terres et d'eau. Cela explique également pourquoi les technologies agricoles économes sont déjà des alternatives économiquement avantageuses à l'agriculture traditionnelle dans les communautés pauvres en ressources qui prédominent en Afrique, y compris dans les pays touchés par la fragilité, les conflits et la violence.

Le rapport coût-efficacité de l'agriculture économe s'améliore à mesure que ces technologies sont mises à l'échelle et que les processus deviennent plus spécialisés. Dans un système de production intégré, ou non spécialisé, un producteur individuel réalise toutes les étapes du processus de production.

**FIGURE ES.4** Intégration de la chaîne d’approvisionnement par rapport aux coûts dans la durée



Source : Figure originale créée pour cette publication.

Dans un système spécialisé, des spécialistes exécutent les étapes séparément en fonction de leurs compétences relatives. Ainsi, les coûts par unité sont plus faibles dans un système spécialisé que dans un système intégré (figure ES.4). Lorsque ces systèmes de production atteignent une certaine échelle, il est plus probable qu'il s'agisse de systèmes spécialisés. À l'inverse, les exploitations artisanales à petite échelle sont plus susceptibles d'être intégrées et ont des coûts marginaux plus élevés. Ces coûts sont largement déterminés par l'accès du système aux capitaux, aux informations, aux technologies et aux équipements. De plus, au fur et à mesure que l'agriculture économe se répand et que les systèmes commencent à se développer, il y aura également une plus grande probabilité de progrès technologiques, d'innovations de processus et d'investissements dans la recherche et le développement qui réduiront les coûts, abaissant ainsi la courbe horizontale des coûts de pointe (figure ES.3). Les technologies économes offrent des perspectives réalistes d'extensibilité, compte tenu de la demande importante et croissante de l'agriculture conventionnelle en matière de terres arables, d'eau et de ressources énergétiques.

*Le fumier de la chenille mopane fertilise le sol. Les plantes qui l'utilisent sont régénérées.*

- Un agriculteur congolais

## PERSPECTIVES D'AVENIR

Le processus de mise en œuvre d'une économie alimentaire circulaire basée sur des technologies agricoles économes peut être organisé en deux phases. La première phase consiste à établir et à expérimenter des systèmes agricoles économes, à savoir l'élevage d'insectes et la culture hydroponique. La mise en place de la base nécessaire d'institutions et de cadres pour poursuivre l'effort nécessite plusieurs actions clés, telles que la formation des agriculteurs, la formation de groupes de producteurs et le renforcement des capacités des producteurs ; l'accès au financement ; la formation d'associations d'entomophagie et d'hydroponie ; la sensibilisation du public aux avantages sociaux, économiques et environnementaux de l'agriculture hydroponique et de l'élevage d'insectes ; le renforcement des cadres réglementaires ; et le suivi et l'évaluation. L'expérimentation de systèmes agricoles économes permettrait de tirer des enseignements, qui pourraient démontrer leurs avantages et limiter leurs déficiences. Ces expérimentations permettraient également d'améliorer la fonctionnalité des exploitations agricoles économes et d'accroître la rentabilité des exploitations. La deuxième phase consiste à mettre à l'échelle les systèmes de production agricole économes à des niveaux suffisamment importants pour transformer les économies alimentaires linéaires existantes en économies alimentaires circulaires. Cela permettra à terme de réduire les coûts et de renforcer la compétitivité de l'élevage d'insectes et de l'agriculture hydroponique. Cela permettra également de réduire les déchets et de protéger l'environnement. Ces deux phases nécessiteront l'intervention des secteurs privé et public, notamment par le biais de partenariats public-privé. Par exemple, le secteur public pourrait fournir des services de vulgarisation, les politiques nécessaires ou un cadre réglementaire, tandis que le secteur privé pourrait apporter un capital de départ ou d'autres investissements. Ces deux phases s'attaqueraient également aux principaux facteurs qui entravent l'adoption généralisée de l'élevage d'insectes et de l'agriculture hydroponique en Afrique, tels que le manque général de connaissances, de financement et de cadres réglementaires solides, entre autres. Le bas de la figure ES.2 montre comment les deux phases — 1) établissement et expérimentation et 2) mise à l'échelle — stimulent l'économie alimentaire circulaire, entraînant de nombreux avantages socioéconomiques directs.

## NOTES

1. Données du Programme alimentaire mondial, 24 janvier 2021.
2. FAOSTAT.
3. Calcul basé sur les données du Programme alimentaire mondial, 24 janvier 2021.
4. Cette définition est adaptée de celle de la Fondation Ellen Macarthur (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>).

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AgriProtein. 2018. « USD 105 Million Raised for Sustainable Feed Firm: AgriProtein Secures Largest Investment to Date in Insect Protein Sector. » Communiqué de presse, AgriProtein Online, 4 juin 2018. <https://www.agriprotein.com/press-articles/usd-105-million-raise-for-sustainable-feed-firm/>.
- Banque mondiale. 2020. *Indicateurs du développement dans le monde*. Washington : Banque mondiale.
- Buhler Group. 2019. « Bühler Insect Technology Solutions and Alfa Laval Join Forces in Insect Processing. » Buhler Group, Uzwil, Switzerland. [https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/media/media-releases/buehler\\_insect\\_technology\\_solutionsandalfalavaljoinforcesininsect.html](https://www.buhlergroup.com/content/buhlergroup/global/en/media/media-releases/buehler_insect_technology_solutionsandalfalavaljoinforcesininsect.html).
- Byrne, Jane. 2018a. « Cargill Sees an Expansion of Its Functional Fish Feed Portfolio Globally, BioMar Evaluating Novel Proteins. » *Feed Navigator*, March 13 2018. <https://www.feednavigator.com/Article/2018/03/13/Cargill-sees-an-expansion-of-its-functional-fish-feed-portfolio-globally-BioMar-evaluating-novel-proteins>.
- Byrne, Jane. 2018b. « McDonald's Championing Research into Insect Feed for Chickens. » Reports from Feed Protein Vision 2018, *Feed Navigator*, March 27, 2018. <https://www.feednavigator.com/Article/2018/03/27/McDonald-s-championing-research-into-insect-feed-for-chickens>.
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 2016. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2016 : Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire*. Rome : FAO.
- FAO and ECA (Food and Agriculture Organization of the United Nations and European Commission on Agriculture). 2018. *Regional Overview of Food Security and Nutrition: Addressing the Threat from Climate Variability and Extremes for Food Security and Nutrition*. Accra, Ghana: FAO.
- FAO, FIDA, UNICEF, PAM et OMS (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Fonds international de développement agricole, Fonds des Nations Unies pour l'enfance, Programme alimentaire mondial et Organisation mondiale de la Santé). 2019. *L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde 2019 : Se prémunir contre le ralentissement et les fléchissements économiques*. Rome: FAO. <https://fr.wfp.org/publications/sofi-2019-letat-de-la-securite-alimentaire-et-de-la-nutrition-dans-le-monde>.
- Jasinski, S. M., D. A. Kramer, J. A. Ober, and J. P. Searls. 1999. « Fertilizers. » In *Sustaining Global Food Supplies*. United States Geological Survey Fact Sheet FS-155-99. Washington, DC: United States Geological Survey.
- Law, C. 2020. « Insect Farming: The Industry Set to Be Worth \$8 Billion by 2030. » *Hive Life*, October 8, 2020. <https://hivelife.com/insect-farming/>.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2019. "Survey of the Current Status of Korean Insect Industry." MAFRA, Government of the Republic of Korea, Sejong City.
- MarketWatch. 2019. « Industry Research: Global Insect Feed Market Insights » Communiqué de presse, MarketWatch, New York, 5 novembre 2019. <https://www.marketwatch.com/press-release/insect-feed-market-2019-industry-price-trend-size-estimation-industry-outlook-business-growth-report-latest-research-business-analysis-and-forecast-2024-analysis-research-2019-11-05>.
- Monforti-Ferrario, F., and I. Pinedo Pascua, eds. 2015. *Energy Use in the EU Food Sector: State of Play and Opportunities for Improvement*. Luxembourg: EU Publications Office.



- Reuters. 2020. « Astanor Raises \$325 Million Fund to Invest in Agri-Food Tech Startups. » Reuters, November 20, 2020. <https://news.yahoo.com/astanor-raises-325-million-fund-070000716.html?guccounter=1>.
- Suzuki, Emi. 2019. « World's Population Will Continue to Grow and Will Reach Nearly 10 Billion by 2050. » *Data Blog*, July 8, 2019. <https://blogs.worldbank.org/opendata/worlds-population-will-continue-grow-and-will-reach-nearly-10-billion-2050>.
- UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture). 2016. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2016 : L'eau et l'emploi*. Paris : UNESCO.
- Weetman, C. 2016. *A Circular Economy Handbook for Business and Supply Chains: Repair, Remake, Redesign, Rethink*. London: Kogan Page Publishers.
- Welborn, K. 2021. « 2021 Mid-Year AgTech Venture Capital Investment Round Up. » *CropLife*, June 29, 2021. <https://www.croplife.com/precision/2021-mid-year-agtech-venture-capital-investment-round-up/>.
- Wilbur-Ellis. 2018. « New COO and NSF Grant Fuel Beta Hatch Growth and Efficiency. » Wilbur-Ellis Company, San Francisco. <https://www.wilburellis.com/new-coo-and-nsf-grant-fuel-beta-hatch-growth-and-efficiency/>.

