

>> RÉSUMÉ

La biodiversité actuelle résulte de processus évolutifs naturels et de l'impact des activités humaines qu'il convient de préserver en soi pour les fonctions et services rendus au sein des écosystèmes, ce qui n'interdit pas d'utiliser les ressources qu'elle offre, mais de manière durable et dans une logique dynamique de biens communs pensé à différentes échelles et respectant les droits d'accès pour des acteurs multiples. Elle est essentielle pour comprendre les agricultures d'aujourd'hui et nécessaire pour imaginer les agricultures et les systèmes alimentaires de demain. Elle doit devenir une priorité de gestion pour l'agriculture planétaire, que celle-ci se décline en prenant en compte l'agroécologie ou en mariant zones d'activités agricoles plus intensives [1] et espaces naturels préservés [2]. Les nouvelles pratiques de gestion doivent tirer le meilleur des recherches académiques (caractérisation et compréhension des fonctions de la biodiversité et des services écosystémiques), mais aussi intégrer des combinaisons d'approches de conservation (espèces agronomiques et de leurs apparentées sauvages) qui intègrent les savoirs des acteurs (les agriculteurs et communautés locales).

La biodiversité agronomique stabilise les rendements localement [3] ou globalement [4], permet l'adaptation à des changements de climat [5]. Sa gestion ne doit pas être découplée de celle des autres composantes de la biodiversité [6], notamment (mais pas uniquement) des espèces apparentées sauvages [7]. Plusieurs stratégies existent, qui permettent des bénéfices mutuels entre biodiversité et développement d'une agriculture et plus globalement d'un système alimentaire plus durable [8].

Il s'agit notamment d'hybrider des savoirs locaux et des connaissances scientifiques pour caractériser, conserver les ressources locales et les valoriser.

La biodiversité doit être vue comme un objet complexe, ce qui nécessite d'aborder les interactions écologiques entre compartiment agronomique et spontanée mais aussi d'intégrer les pratiques, organisations, gouvernances pour renouveler les approches et co-construire une nouvelle relation à la nature avec tous les acteurs et pour le bien-être de tous, humains et non humains.

LA BIODIVERSITÉ :

Enjeux et leviers pour la durabilité des agricultures et des systèmes alimentaires face au changement climatique

Cultiver la biodiversité – cultiver la résilience

**Didier Bazile (CIRAD),
Thierry Caquet (INRAE)
Yves Vigouroux (IRD)**

Agriculture, Biodiversité et Changement Climatique : un défi à l'échelle d'une génération

Le rapport de la FAO sur la biodiversité pour l'alimentation et l'agriculture [9] rappelle que cette biodiversité est indispensable à la sécurité alimentaire, au développement durable et à la fourniture de nombreux services écosystémiques essentiels pour les populations humaines. Elle concourt au renforcement de la résilience des systèmes de production et des moyens d'existence face aux chocs et aux crises, en particulier les effets du changement climatique. Elle constitue une ressource clé pour concilier production alimentaire et limitation des incidences négatives sur l'environnement. Elle apporte aussi de multiples contributions aux moyens d'existence des populations humaines et permet souvent aux producteurs agricoles et autres producteurs de denrées alimentaires d'être moins tributaires d'intrants externes coûteux ou nocifs pour l'environnement. Or, de nombreux éléments essentiels de cette biodiversité sont en déclin, que ce soit au niveau génétique, des espèces ou des écosystèmes. La proportion des races d'animaux d'élevage en danger d'extinction est en augmentation (26% des 7 745 races locales recensées dans le monde sont en danger d'extinction) et dans certaines régions, la diversité végétale dans les champs diminue (9 des 6 000 espèces végétales cultivées à des fins alimentaires représentent 66% de la production agricole totale) tandis que dans le même temps les facteurs qui la menacent s'accroissent.

Plus largement, la question de l'antagonisme apparent entre biodiversité d'une part et agriculture et systèmes alimentaires d'autre part est posée par de nombreuses analyses récentes à l'échelle mondiale. Ainsi, le rapport 2019 de l'IPBES [10] a mis en avant que « le changement d'utilisation des terres est le facteur direct ayant eu l'incidence relative la plus néfaste sur la nature depuis 1970 ».

Dans le cadre de la vision portée par la CBD de « vivre en harmonie avec la nature d'ici à 2050 » (Convention sur la diversité biologique, 19 août 2020) avec des objectifs de planification d'utilisation de l'espace terrestre et marin, l'agriculture a un rôle majeur à jouer. L'un des enjeux de la recherche agronomique du XXI^{ème} siècle est d'explorer de nouvelles pistes pour transformer cet antagonisme en synergie. Il s'agit, grâce aux recherches sur et pour la biodiversité, de contribuer à transformer les systèmes agri-alimentaires pour assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, en particulier via la diversification et la transition agroécologique ; de conserver et restaurer la biodiversité tout en promouvant son utilisation durable ; de protéger et gérer durablement les ressources naturelles indispensables à la vie (eau, sols, air) ; de préserver la santé humaine et celle de l'environnement ; et de contribuer à la lutte contre les changements climatiques et leurs impacts dans une double stratégie d'atténuation et d'adaptation.

Les pâturages et les zones cultivées occupent 40% des surfaces terrestres et sont devenus un des plus larges biomes [11,12] de notre planète. L'Homme utilise directement 70% de la surface terrestre libre de glace [13] dont environ 12% pour les terres cultivées et environ 21% pour le pâturage intensif ou extensif. L'humanité utilise ¼ à ⅓ de la production primaire nette potentielle pour

l'alimentation humaine et animale, les fibres, le bois et l'énergie. Depuis 1961, la croissance démographique mondiale (augmentation de 150%) et l'évolution de la consommation par habitant ont entraîné des taux sans précédent d'utilisation des terres et de l'eau douce. Ceci s'est accompagné d'une augmentation massive de l'utilisation d'azote minéral comme fertilisant (x9 depuis 1961) permettant notamment une augmentation des rendements céréaliers (x3 depuis 1961), ainsi que du nombre total de ruminants (+60% depuis 1961).

De 1850-1900 à 2006-2015, la température moyenne de l'air à la surface de la terre (1,53°C) a augmenté environ 2 fois plus que la température à la surface du globe (0,87°C), avec une tendance actuelle de +0,2°C par décennie. conséquences potentielles de ce réchauffement sont multiples : augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée des événements caniculaires dans la plupart des régions terrestres ; augmentation de l'intensité des fortes précipitations à l'échelle mondiale ; augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses dans certaines régions (y compris la Méditerranée, l'Asie occidentale, de nombreuses parties de l'Amérique du Sud, une grande partie de l'Afrique et de l'Asie du Nord-Est).

Les terres émergées ne font pas que subir l'influence du changement climatique. Elles y contribuent, car elles sont à la fois une source et un puits de gaz à effet de serre (GES). Les activités agricoles, forestières et autres activités liées à l'usage des terres représentent environ 23% du total net des émissions anthropiques de GES (12±3 Gt CO₂e/an). Environ 30% des émissions anthropiques totales de GES provient des systèmes alimentaires (incluant les émissions liées au transport, stockage, entreposage et conditionnement). La réponse naturelle des terres aux changements environnementaux induits par l'homme est un puits net d'environ 29% des émissions totales de CO₂ par an (photosynthèse et production de biomasse, augmentation du carbone du sol vs. respiration et décomposition microbienne). L'effet fertilisant du CO₂ atmosphérique, l'allongement des saisons de croissance ainsi que les apports de fertilisants et l'irrigation de certaines zones se traduisent à l'échelle globale par un « verdissement » (*greening*) de la planète, visible depuis l'espace. Toutefois la persistance de ce puits est incertaine si le climat continue de se réchauffer.

Les terres émergées jouent aussi un rôle dans les échanges d'énergie, d'eau et d'aérosols entre la surface terrestre et l'atmosphère, modulant le changement climatique à l'échelle d'une vie humaine. En effet, les sols et la végétation échangent, en continu avec l'atmosphère de l'énergie, de l'eau, des composés organiques volatils, etc. De ce fait, tout changement de surface, qu'il résulte de l'usage des terres ou du changement climatique, affecte le climat à l'échelle régionale, et pas uniquement là où la couverture végétale est perturbée : modulation de l'intensité et de la durée des canicules, des vagues de chaleur ou des épisodes de fortes précipitations, etc.

Le changement climatique a déjà affecté la sécurité alimentaire mondiale par le réchauffement, la modification des régimes de précipitations et la fréquence accrue de certains événements extrêmes : dans les régions tropicales, les rendements de certaines cultures (par exemple, le maïs et le blé) ont diminué ; aux hautes latitudes, les rendements de certaines cultures (par exemple, le maïs, le blé et la betterave sucrière) ont augmenté ces dernières décennies ; le changement climatique a entraîné une baisse des taux de croissance des animaux et de leur productivité dans les systèmes pastoraux en Afrique ; les ravageurs et les maladies ont déjà réagi au changement climatique dans les zones cultivées, et entraîné des augmentations des infestations dans plusieurs régions.

Les risques associés au réchauffement de la planète augmenteront à mesure que la température augmentera. La stabilité de l'approvisionnement alimentaire diminuera à mesure que l'ampleur et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes qui perturbent les chaînes alimentaires augmenteront. L'augmentation de la concentration en CO₂ dans l'atmosphère risque de réduire la qualité nutritionnelle des productions ; un réchauffement accru risque d'amplifier les migrations humaines causées tant à l'intérieur des pays qu'au-delà des frontières ; enfin, la dégradation des sols résultant de la combinaison de l'élévation du niveau de la mer et de cyclones plus intenses devrait mettre en danger les vies et les moyens de subsistance dans les zones exposées aux cyclones.

Par ailleurs, les surfaces agricoles subissent et vont subir aussi une perte forte du fait des aménagements urbains conduisant à une artificialisation intense, souvent sur des terres particulièrement fertiles [14].

Notre agriculture s'est construite à partir de la biodiversité naturelle, qui demeure une ressource-clé pour s'adapter à un environnement changeant

Les plantes cultivées ou les animaux d'élevage sont le fruit d'un processus souvent pluriséculaire de sélection à partir d'espèces sauvages. La durée et l'intensité du processus de domestication ont été très variables d'une espèce à une autre [15]. Ainsi, les premiers signes de domestication d'espèces végétales sauvages remontent à 10 500 ans en Asie occidentale et la domestication a depuis été pratiquée dans différentes parties du monde sur de nouvelles espèces [16]. En général, ce processus a commencé par la cueillette de plantes sauvages, suivie de leur culture près de la ferme, parfois même de façon involontaire au départ, puis de la transformation progressive de taxons sauvages en taxons domestiqués [17] par une sélection des individus sur certains critères propres à chaque groupe humain.

Du fait du long processus de domestication, la majorité des espèces d'intérêt agronomique présente une faible similarité phénotypique avec leurs « ancêtres » sauvages, mais les plantes cultivées et leurs apparentées sauvages présentent encore un certain potentiel d'interfertilité [18]. Les plantes cultivées ont subi des changements plus ou moins drastiques depuis leur domestication. La seule chose que toutes les plantes cultivées ont en commun est qu'elles proviennent d'une ou plusieurs espèces sauvages et naturelles. La conséquence peut-être la plus importante du processus de domestication est que la diversité génétique disponible dans le pool génétique de la culture ou de l'espèce élevée est généralement beaucoup plus petite que celle des espèces sauvages apparentées [19].

Les échanges permanents entre environnement naturel et cultivé ont permis le succès de l'agriculture ; l'hybridation avec les espèces sauvages apparentées a permis par exemple : 1) au maïs de s'adapter aux hautes altitudes au Mexique [20] ; 2) au mil de s'adapter à différents climats Sahéliens [21] ; 3) à la diversité du riz de s'enrichir en Inde.

L'adaptabilité aux conditions environnementales changeantes, en particulier celles liées au changement climatique, est devenue un enjeu important. Depuis quelques décennies, des succès significatifs de transfert de caractères d'apparentées sauvages vers des espèces cultivées ont été obtenus, principalement afin de faire face à des stress biotiques, tels que ravageurs ou pathogènes, notamment fongiques [22], ainsi qu'à des stress abiotiques, comme la sécheresse ou la salinité [23].

Le rapport d'évaluation de l'IPBES de 2019 mentionne explicitement les espèces apparentées en tant qu'espèces importantes pour la sécurité alimentaire à long terme, contribuant à rendre les écosystèmes plus résistants aux stress, notamment le changement climatique, les ravageurs ou les agents pathogènes. Or, comme pour les autres espèces de plantes sauvages, la diversité génétique des espèces apparentées continue d'être érodée par diverses pressions : changement d'utilisation des terres, changement climatique et catastrophes naturelles, changements dans les pratiques agricoles, surexploitation ou utilisation excessive des ressources, dépôt d'azote, espèces envahissantes, etc. [24]. Le rapport de l'IPBES met aussi en évidence la diminution du nombre d'espèces apparentées et mentionne que de nombreux *hotspots* d'agrobiodiversité et de diversité d'espèces apparentées sont menacés ou ne sont pas officiellement protégés. L'érosion des cultures traditionnelles et de leurs parents sauvages est la plus importante pour les céréales, suivies par les légumes, les fruits, les noix et les légumineuses alimentaires. Jarvis *et al.* (2008) [25] ont prédit une perte de près de la moitié des aires de répartition géographiques actuelles des espèces apparentées d'arachides en Amérique du Sud, du niébé en Afrique et des pommes de terre sauvages en Amérique centrale et du Sud. Ils ont également projeté qu'entre 16% et 22% de ces espèces disparaîtraient d'ici 2055. Lira *et al.* (2009) [26] ont pour leur part conclu à partir d'études menées au Mexique que huit des taxons sauvages de Cucurbitacées ne survivraient pas selon les modèles actuels de changement climatique.

L'importance de la conservation des ressources génétiques agronomiques est aussi soulignée dans diverses stratégies et agendas globaux :

- **Objectif 13 du Plan stratégique pour la diversité biologique** (objectifs d'Aichi) : D'ici à 2020, la diversité génétique des plantes cultivées, des animaux d'élevage et domestiques et des parents pauvres, y compris celle d'autres espèces qui ont une valeur socio-économique ou culturelle, est préservée, et des stratégies sont élaborées et mises en œuvre pour réduire au minimum l'érosion génétique et sauvegarder leur diversité génétique.

- **Cible 2.5 pour l'ODD 2 « Faim zéro »** : D'ici à 2020, préserver la diversité génétique des semences, des cultures et des animaux d'élevage ou domestiques et des espèces sauvages apparentées, y compris au moyen de banques de semences et de plantes bien gérées et diversifiées aux niveaux national, régional et international, et favoriser l'accès aux avantages que présentent l'utilisation des ressources génétiques et du savoir traditionnel associé, ainsi que le partage juste et équitable de ces avantages, comme convenu à l'échelle internationale

Face aux changements globaux et notamment aux changements climatiques, il est donc indispensable de considérer la préservation de ces espèces sauvages apparentées qui sont parfois menacées dans leur habitat naturel et par ailleurs peu représentées dans les collections de ressources génétiques *ex-situ* [27].

Les échanges génétiques entre espèces cultivées et apparentées sauvages ont encore aujourd'hui des conséquences importantes pour la création variétale dans les pays tropicaux [28]. Les espaces naturels sont un réservoir de biodiversité important aussi pour l'adaptation de l'agriculture aux changements environnementaux. Mais, ils sont aussi un lieu de conservation et d'évolution des espèces apparentées qui sont vitaux pour le futur de l'agriculture, mais aussi pour le bien-être des populations. Or, il existe des tensions entre espaces cultivés et espaces naturels ainsi que des risques concernant la préservation de ces ressources génétiques dans le milieu naturel.

Les espèces apparentées sont présentes dans les milieux naturels et soumises de ce fait à des conditions environnementales variables. Elles doivent donc s'adapter et conservent une dynamique évolutive propre. Ceci n'est pas possible dans les conservatoires *ex-situ*. Les stratégies de conservation de ces ressources doivent donc combiner les approches *in-* et *ex-situ*, ces dernières servant en quelque sorte de dispositifs « d'assurance ».

Les aires protégées peuvent être considérées comme des habitats appropriés pour sauvegarder la biodiversité contre les impacts humains directs. Cependant, leur efficacité pour la conservation à long terme a été remise en question car le changement climatique peut entraîner des changements environnementaux et des déplacements d'espèces vers d'autres endroits [29]. Les aires protégées actuelles peuvent faciliter l'expansion de l'aire de répartition des espèces sous influence du changement climatique en agissant comme des « tremplins » qui facilitent la propagation au niveau des limites extrêmes de l'aire de colonisation, à la pointe de la répartition des espèces. De plus, pour que les aires protégées fonctionnent comme des réservoirs *in situ* d'espèces apparentées, il conviendrait de préserver la diversité génétique des espèces sur la base de l'élaboration et de la mise en œuvre de plans de gestion et de conservation rationnels [30].

Notre agriculture bénéficie des environnements naturels locaux

Les environnements naturels sont aussi le support de services écosystémiques indispensables à l'agriculture, comme la pollinisation par exemple. La gestion des bioagresseurs de culture bénéficie aussi beaucoup des services apportés par les espèces auxiliaires, dont la faune sauvage [31]. La gestion de l'environnement et des paysages agricoles et plus largement une agriculture plus soucieuse de l'écologie locale doivent être inclus afin de permettre le développement d'une agriculture plus résiliente.

Il s'agit de ne pas non plus négliger la biodiversité des sols. Cette dernière détermine les cycles du carbone, de l'azote, du phosphore et la disponibilité en eau. La reconnaissance des rôles de la biodiversité des sols en agriculture n'a cessé de croître ces dernières années [32]. Par exemple, le sol n'est plus considéré comme un support inerte mais comme un environnement vivant contribuant à la fertilité des terres et à la productivité primaire,

la biodiversité cultivée est aujourd'hui revue sous le prisme de la diversification, et les espaces semi-naturels des régions agricoles sont reconnus pour leur rôle dans le maintien d'organismes bénéfiques aux agroécosystèmes. A noter toutefois que si les plantes cultivées interagissent avec les microorganismes des sols, par exemple via la production d'exsudats racinaires [33], il apparaît que les variétés hybrides pourraient être moins performantes [34].

Les acteurs locaux des acteurs importants de gestion de la biodiversité et de laboratoire de d'adaptation de l'agriculture

Les communautés agricoles traditionnelles gèrent la biodiversité à différentes échelles, créant des mosaïques paysagères dynamiques de champs, de jardins, de vergers, pâturages et portions d'écosystèmes non exploités. La biodiversité agricole et les connaissances traditionnelles associées sont essentielles à la résilience de ces communautés vis-à-vis du changement climatique, mais leurs rôles sont largement négligés par les chercheurs et les décideurs.

Concilier production agricole et biodiversité nécessite de s'intéresser à un éventail d'acteurs pour multiplier les solutions locales et nationales. Les agricultures de moins de 2 ha représentent 25% de la surface cultivées mondiale, mais elles produisent proportionnellement plus, en assurant 30% à 33% de la production agricole [35]. Cette agriculture concentre la plus forte biodiversité.

De nombreux systèmes agricoles traditionnels, en particulier les jardins familiaux et l'agroforesterie, sont riches en biodiversité agricole [36]. Cette dernière englobe la variété et la variabilité des animaux, des plantes et des micro-organismes utilisés directement ou indirectement pour l'alimentation et l'agriculture [37]. Elle fournit divers services écosystémiques (par exemple, la pollinisation et le cycle des nutriments) et permet la stabilité des systèmes de production [38]. En contribuant à tamponner les risques environnementaux et économiques et en permettant l'adaptation aux changements climatiques, la biodiversité agricole contribue également à la résilience des systèmes agricoles, c'est-à-dire à la capacité de maintenir le fonctionnement et la productivité lorsque ces systèmes sont soumis à des stress et des chocs [39]. Les pratiques correspondantes peuvent se décliner à plusieurs échelles et être combinées :

- Au niveau des espèces/variétés, la résilience des systèmes peut être renforcée par la culture d'espèces et de variétés à croissance rapide et résistantes au stress, et par des efforts individuels et collectifs pour protéger et reconstruire la diversité dans les systèmes agricoles.

- Au niveau du système agricole, les pratiques qui renforcent la résilience visent à réduire les pertes de rendement grâce à la culture d'un plus grand nombre d'espèces (diversification), l'intégration agriculture-élevage et divers ajustements (par exemple, rotation des cultures, irrigation et gestion durable des sols). L'agroforesterie, entre autres avantages, fournit des brise-vent, de l'ombre et un abri pour les cultures et les animaux, et régule l'humidité et la température du sol. La diversification des systèmes agricoles est souvent combinée à des ajustements des pratiques agricoles et à l'adoption de méthodes à faibles intrants pour l'amélioration de la fertilité des sols et la conservation de l'eau.

- À l'échelle du paysage, les activités agricoles créent des mosaïques d'utilisation des terres où des espaces cultivés côtoient des systèmes plus naturels. La protection et la restauration de ces derniers contribuent au renforcement de la résilience, en aidant à minimiser et à atténuer les effets des sécheresses, des inondations, de l'élévation du niveau de la mer et des événements météorologiques extrêmes. Les exemples incluent le reboisement des coteaux et des mangroves, la réhabilitation des pâturages et la restauration des zones humides, des tourbières, des bassins versants et des récifs coralliens. Dans les zones côtières, la restauration des écosystèmes (souvent des mangroves) aide à atténuer les risques associés aux événements météorologiques extrêmes et à réduire l'impact négatif de l'intrusion d'eau salée et de l'érosion côtière. Ces efforts s'appuient souvent sur des techniques traditionnelles et comprennent la collecte de l'eau de pluie, les systèmes d'irrigation, les terrasses de champs et la revégétalisation du paysage.

Les défis à relever pour assurer une transition vers un développement agricole plus durable reposent sur une meilleure intégration de la biodiversité et des différentes dimensions de sa complexité dans nos pratiques agricoles et alimentaires: les interactions écologiques entre compartiments cultivés/exploités et

sauvages mais aussi les savoirs locaux, pratiques et techniques, organisations, modes de gouvernance. Il est urgent de renouveler les approches pour co-construire une nouvelle relation à la nature avec tous les acteurs et pour le bien-être de tous, humains et non-humains, dès aujourd'hui et pour les générations futures •

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Tilman D. *et al.*, 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418, 671–677.
2. Foley J.A. *et al.*, 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478, 337–342.
3. Zhu Y. *et al.*, 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406, 718–722.
4. Renard D., Tilman D., 2019. National food production stabilized by crop diversity. *Nature*, 571, 257–260.
5. Vigouroux Y. *et al.*, 2011. Selection for earlier flowering crop associated with climatic variations in the Sahel. *PLoS One*, 6, e19563.
6. Ruiz K. *et al.*, 2014. Quinoa biodiversity and sustainability for food security under climate change. A review. *Agrono. Sustain. Dev.*, 34, 349–359.
7. Malézieux E., *et al.*, 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: a review. In *Sustainable agriculture*. Springer, Dordrecht. (pp. 329–353).
8. Rosenzweig C. *et al.*, 2020. Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat. Food*, 1, 94–97.
9. FAO, 2019. *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*, Rome, FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments.
10. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services – IPBES, 2019. *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES secretariat, Bonn.
11. Foley J. A. *et al.*, 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309, 570–574.
12. Asner G.P. *et al.*, 2004. Grazing systems, ecosystem responses, and global change. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 29, 261–299.
13. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2019. *IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Summary for Policymakers, approved draft. IPCC, Geneva, Switzerland, 41 pp.
14. Seto K.C., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 109, 16083–16088.
15. Purugganan M.D., 2019. Evolutionary insights into the nature of plant domestication. *Curr. Biol.*, 29, R705–R714.
16. Willcox G., 2012. The beginnings of cereal cultivation and domestication in Southwest Asia. In Potts D.T. (ed.), *A Companion to the Archaeology of the Ancient Near East*, 1st ed., Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 163–180.
17. Purugganan M.D., Fuller D.Q., 2009. The nature of selection during plant domestication. *Nature*, 457, 843–848. Weide A. *et al.*, 2018. A systematic review of wild grass exploitation in relation to emerging cereal cultivation throughout the Epipalaeolithic and aceramic Neolithic of the Fertile Crescent. *PLoS One*, 13, e0189811.
18. Vincent H. *et al.*, 2013. A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. *Biol. Conserv.*, 167, 265–275.
19. Tanksley S.D., McCouch, S.R., 1997. Seed banks and molecular maps: Unlocking genetic potential from the wild. *Science*, 277, 1063–1066. Dempewolf H. *et al.*, 2017. Past and future use of wild relatives in crop breeding. *Crop Sci.*, 57, 1070–1082.
20. Hufford M.B. *et al.*, 2013. The genomic signature of crop-wild introgression in maize. *PLoS Genet.*, 9.
21. Burgarella C. *et al.*, 2018. A western Sahara centre of domestication inferred from pearl millet genomes. *Nat. Ecol. Evol.*, 2, 1377–1380.
22. Hajjar R., Hodgkin T., 2007. The use of wild relatives in crop improvement: A survey of developments over the last 20 years. *Euphytica*, 156, 1–13. Van Treuren *et al.*, 2013. Distribution of downy mildew (*Bremia lactucae* Regel) resistances in a genebank collection of lettuce and its wild relatives. *Plant Genet. Res.*, 11, 15–25.
23. Mammadov J. *et al.*, 2018. Wild relatives of maize, rice, cotton, and soybean: treasure troves for tolerance to biotic and abiotic stresses. *Front. Plant Sci.*, 9, 886.
24. Fagandini Ruiz F., *et al.* 2020. Geographical distribution of quinoa crop wild relatives in the Peruvian Andes: A participatory mapping initiative. *Environment, Development and Sustainability*.
25. Jarvis A. *et al.*, 2018. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 126, 13–23.
26. Lira R. *et al.*, 2009. The effects of climate change on the geographic distribution of Mexican wild relatives of domesticated Cucurbitaceae. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 56, 691–703.
27. Castañeda-Álvarez N.P. *et al.*, 2016. Global conservation priorities for crop wild relatives. *Nature Plants*, 2, 16022.
28. Scarcelli N. *et al.*, 2006. Farmers' use of wild relative and sexual reproduction in a vegetatively propagated crop. The case of yam in Benin. *Mol. Ecol.*, 15, 2421–2431. Duputié A. *et al.*, 2007. Natural hybridization between a clonally propagated crop, cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and a wild relative in French Guiana. *Mol. Ecol.*, 16, 3025–3038.
29. Beale C.M. *et al.*, 2013. Protected area networks and savannah bird biodiversity in the face of climate change and land degradation. *Ecol. Lett.*, 16, 1061–1068.
30. Iriondo J.M. *et al.*, 2011. Quality standards for genetic reserve conservation of crop wild relatives. In Maxted N. *et al.* (Eds.), *Agrobiodiversity conservation securing the diversity of crop wild relatives and landraces*. CAB International: Wallingford, UK.
31. Maine J.J., Boyles J.G., 2015. Bats initiate vital agroecological interactions in corn. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 112, 12438–12443.
32. Phillips H.R.P. *et al.*, 2019. Global distribution of earthworm diversity. *Science*, 366, 480–485.
33. Peiffer J.A. *et al.*, 2013. Diversity and heritability of the maize rhizosphere microbiome under field conditions. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 110, 6548–6553. Walters W.A. *et al.*, 2018. Large-scale replicated field study of maize rhizosphere identifies heritable microbes. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 115, 7368–7373.
34. Brisson V.L. *et al.*, 2019. Impacts of maize domestication and breeding on rhizosphere microbial community recruitment from a nutrient depleted agricultural soil. *Sci. Rep.*, 9, 15611.
35. Ricciardi V. *et al.*, 2018. How much of the world's food do smallholders produce? *Glob. Food Secur.*, 17, 64–72.
36. Mijatovic D. *et al.*, 2012. The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework. *Int. J. Agric. Sust.*, 1–13.
37. Jackson L. E., *et al.*, 2007. Biodiversity in agricultural landscapes: investing without losing interest. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 121, 193–195.
38. Tschardtke T. *et al.*, 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecol. Lett.*, 8, 857–874.
39. Tschardtke T. *et al.*, 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biol. Conserv.*, 151, 53–59.