

Synthèse de l'article

Cultivate biodiversity to harvest food security and sustainability

Avril 2024

Référence

Renard, D., & Tilman, D. (2021). Cultivate biodiversity to harvest food security and sustainability. *Current Biology*, 31(19), R1154-R1158.

 <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.06.082>

Cultiver la biodiversité pour récolter des denrées alimentaires, la sécurité alimentaire et la durabilité



Une série de découvertes en écologie et en agriculture suggère que la biodiversité, tant spécifique que génétique, peut aider à résoudre les problèmes de durabilité auxquels est confrontée l'agriculture intensive moderne à diverses échelles, celui du champ ou de la nation. Les auteurs explorent plusieurs questions susceptibles d'éclairer ce débat :

- L'augmentation de la diversité des cultures nationales peut-elle contribuer à accroître la stabilité et la sécurité des systèmes alimentaires nationaux ?
- Les pratiques basées sur une plus grande biodiversité des cultures peuvent-elles produire des rendements qui rivalisent avec ceux obtenus par le modèle de la monoculture à haut niveau d'intrants ?
- Quels sont les niveaux et les combinaisons appropriés de cultures à utiliser ?

Ils concluent que la diversification de l'agriculture peut conduire à des rendements plus élevés et plus stables, à une diminution du changement d'usage des sols et à une réduction de l'utilisation de produits chimiques nocifs.

L'hétérogénéité globale des sols, du climat et de la topographie de la Terre a conduit à l'évolution et à la formation d'environ 380 000 espèces de plantes vasculaires avec des traits végétaux adaptés à cette hétérogénéité. Un peu plus de 6 000 d'entre elles ont été utilisées comme sources d'alimentation humaine, mais aujourd'hui, huit espèces seulement (le blé, le riz, le maïs, le soja, le sucre, l'orge, le palmier à huile et la pomme de terre) fournissent plus de 76 % des calories consommées¹ et occupent 58 % des surfaces de terres cultivées (valeurs obtenues pour l'année 2021 sur <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>).

- L'agriculture moderne dépend ainsi fortement d'un petit nombre d'espèces cultivées et d'un nombre de variétés restreint dans chacune de ces espèces.

Exemple du blé tendre en France (Goffaux et al. 2011)

Depuis 1912, le nombre de variétés a augmenté grâce à l'essor de la création variétale. Entre la fin des années 1950 et le début des années 1970, il chute en raison d'une période de forte intensification de l'agriculture en France et de simplification des paysages agricoles avec moins de variétés cultivées. En parallèle, se produit une homogénéisation génétique très importante sur le territoire, traduisant une baisse de diversité génétique à l'intérieur des variétés cultivées en France de 1912 à 1964. Les « variétés de pays », très hétérogènes génétiquement, ont été progressivement remplacées par des « lignées anciennes » beaucoup plus homogènes, elles-mêmes substituées par des variétés génétiquement pures, c'est-à-dire des variétés à l'intérieur desquelles il n'y a plus de diversité génétique à force de croiser les individus entre eux. Dès 1964, les « lignées pures modernes » deviennent le seul type de variétés cultivées et autorisées à la commercialisation (figure 1). Notons que les données anciennes (1912), sont moins fiables que les données récentes (2000), il faut donc s'attacher à regarder les tendances principales et notamment, ce que la comparaison montre ici : la diversité génétique mise en culture pour le blé tendre en France au XX^e siècle a stagné voire diminué, malgré une augmentation du nombre de variétés très importante depuis les années 1990. Cela est dû notamment à une restriction sur un nombre limité de géniteurs « champions » pour produire la nouvelle génération de variétés.

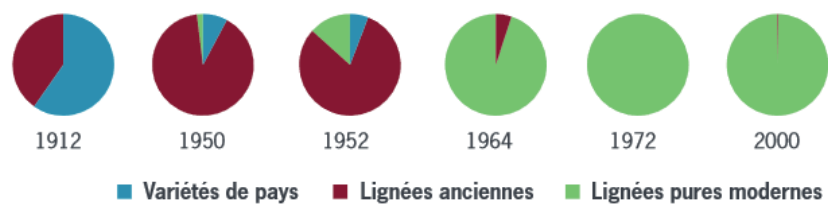


Figure 1 : Changement au niveau de diversité génétique en France au cours du XX^e siècle

Un élément clé des systèmes d'agriculture de subsistance, qui fournissent 30 à 34 % de l'alimentation mondiale, est la conservation *in situ*, à la ferme, des variétés de pays, comme souligné dans les cibles du cadre mondial de la Convention sur la diversité biologique (CDB).

Dans un contexte démographique atteignant les 8 à 10 milliards d'individus, avec des régimes alimentaires qui s'harmonisent et contiennent davantage de viande, l'agriculture mondiale est de plus en plus sous tension. Pour répondre à la demande, les injonctions politiques et économique sont d'augmenter la

¹ Issue de la transcription synthétique *Le paradoxe de la productivité : la productivité agricole favorise l'inefficacité du système alimentaire* d'après la publication : Benton TG., Bailey R. (2019). The paradox of productivity: agricultural productivity promotes food system inefficiency. *Global Sustainability* 2, e6, 1–8 <https://doi.org/10.1017/sus.2019.3>

production végétale tout en réduisant considérablement ses émissions de gaz à effet de serre, la pollution de l'eau et de l'air, la dégradation des sols et la destruction des écosystèmes naturels. Néanmoins, d'autres solutions ne sont pas ou peu explorées, en particulier la réduction du gaspillage ou les changements de régimes alimentaires.

De nombreuses études ont démontré que les écosystèmes, qu'ils soient naturels ou gérés, sont plus productifs, plus soutenables et moins sensibles aux risques climatiques et aux épidémies lorsqu'ils présentent une plus grande biodiversité végétale, génétique ou spécifique.

Les auteurs suggèrent trois grands mécanismes par lesquels l'augmentation de la biodiversité des cultures pourrait contribuer à rendre la production alimentaire plus sûre et plus stable, réduire les dommages causés à l'environnement et favoriser la santé humaine :

- diversifier les cultures à l'échelle nationale pour renforcer la sécurité et la stabilité alimentaire ;
- diversifier les cultures dans les champs pour des rendements plus élevés et un moindre impact sur l'environnement ;
- sélectionner des pratiques agricoles basées sur la biodiversité.

Diversifier les cultures à l'échelle nationale pour renforcer la sécurité et la stabilité alimentaire

Les phénomènes climatiques, en particulier les sécheresses, sont à l'origine de 50 % des baisses soudaines de production alimentaire observées depuis les années 1960. Les mauvaises récoltes déstabilisent les marchés agricoles nationaux et mondiaux et entraînent une hausse rapide des prix des denrées alimentaires, ce qui nuit à l'accès à la nourriture, en particulier pour les populations les plus pauvres. Dans un contexte de sécheresses, de vagues de chaleur et d'autres phénomènes climatiques extrêmes de plus en plus fréquents et intenses, les chocs subis par le système mondial de production alimentaire pourraient augmenter et menacer la sécurité alimentaire globale.

Des solutions technologiques existent : une plus grande disponibilité de l'eau par l'irrigation ou le développement de cultures plus résistantes à la sécheresse et aux températures élevées. Toutefois, ces solutions ne sont pas parfaitement adaptables à l'instabilité climatique et nécessitent d'être en permanence renforcées.

En utilisant 50 ans de données de la *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database* (FAOSTAT) de rendements annuels de 176 espèces cultivées dans 91 pays, les auteurs ont calculé la relation entre la diversité effective des espèces cultivées (pondérée par le nombre et l'abondance de chaque espèce cultivée) au niveau national et la probabilité de perte de récolte.

Les résultats (Figure 1) montrent que les pays dont l'indice de diversité était de 4 connaissaient une baisse importante des récoltes environ tous les 7 ans, alors que les pays dont l'indice était de 10 ne connaissaient une telle baisse qu'environ tous les 60 ans.

Cet effet stabilisateur de la diversité des espèces cultivées s'explique par ce que l'on appelle « l'effet de portefeuille » ou « d'assurance » des différentes espèces cultivées qui réagissent différemment au chaud, au froid, à l'humidité ou à la sécheresse, aux ravageurs ou aux maladies, et ce à différentes échelles. Autrement dit, l'effet portefeuille repose sur le principe qu'une plus grande diversité des cultures permet de mieux amortir l'impact des variations environnementales sur la récolte totale de toutes les cultures d'un pays, comme elle peut le faire à l'échelle de la parcelle, par exemple en régulant la pression des pathogènes.

Exemple du riz - 1

Des efforts continus de sélection sont devenus nécessaires pour maintenir ses rendements élevés face à l'évolution rapide des maladies fongiques, virales et bactériennes et aux conditions climatiques défavorables. Cette tendance à la stagnation des rendements, depuis les années 1990, est aussi observée pour les grandes cultures en Europe (Brisson *et al.*, 2010).

Les travaux montrent qu'on a actuellement environ 8 % de risque de perdre 25 % de sa récolte avec une diversité spécifique culturale de 6, mais que ce risque tombe à un peu plus de 0 % avec une diversité de 12 (voir figure 2 sur les probabilités de taux de perte de récolte en fonction des mélanges variétaux).

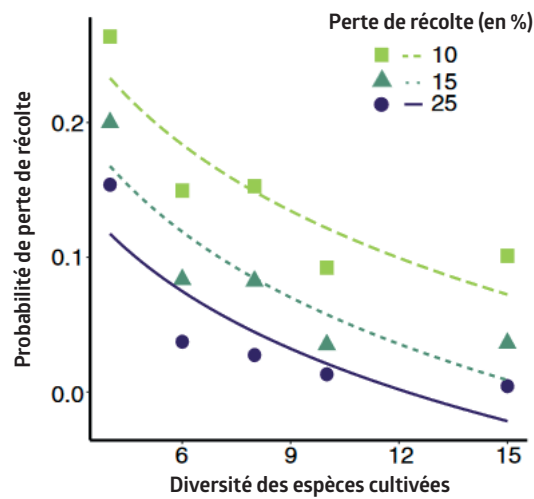


Figure 2 : Probabilité de taux de perte de récolte en fonction de la diversité des espèces cultivées

Comparé aux autres solutions pour stabiliser la production, la diversité des espèces cultivées présente l'effet le plus important, suivi de l'irrigation. La fertilisation, quant à elle, n'a pas démontré d'effet significatif sur la stabilité des rendements (Renard et Tilman, 2019) (voir figure 3).

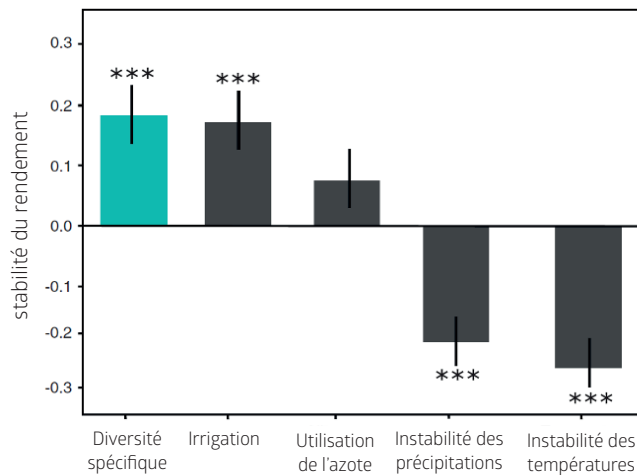


Figure 3 : Principaux déterminants de la stabilité du rendement au niveau national



Ces résultats suggèrent que, pour de nombreux pays, l'augmentation de la diversité des espèces cultivées au niveau national peut promouvoir de manière significative la stabilité des récoltes nationales face à la variabilité climatique actuelle, et probablement croissante, sans que cela n'ait d'incidence sur le rendement moyen.

Les recherches futures devront identifier les cultures qui maximisent l'effet portefeuille dans un climat changeant et en fonction des conditions climatiques et pédologiques de chaque pays.

Si ces cultures renforçant la stabilisation des rendements permettent également de diversifier les caractéristiques nutritionnelles des productions, cela permettra de mieux répondre aux besoins diététiques des populations.

Exemple du quinoa

Dans les années 1960, cette plante traditionnelle des Andes n'était cultivée que par trois pays. Grâce à la promotion de ses qualités culinaires nutritionnelles et gustatives ainsi que de sa robustesse au climat, 95 pays dans le monde cultivent aujourd'hui le quinoa ou testent leur capacité à le cultiver, notamment le Royaume-Uni, le Danemark, le Tibet, l'Inde, les Pays-Bas, la Chine, le Brésil et Cuba.

Diversifier les cultures dans les champs pour des rendements plus élevés et un moindre impact sur l'environnement

Au niveau mondial, les rendements maximaux des principales cultures, comme le blé et le riz, ont atteint des plateaux que les généticiens et les agronomes n'ont pas été en mesure de dépasser depuis plus d'une décennie. Certains avancent que face à cette impasse technique, le seul moyen d'augmenter la production alimentaire est de défricher davantage de terres. Or, le défrichement libère des quantités importantes de dioxyde de carbone à l'échelle mondiale et constitue la principale cause des risques d'extinction de la biodiversité dans le monde. Une alternative moderne d'une technique ancienne, écologique et économiquement bénéfique, existe : la culture intercalaire qui consiste à cultiver deux ou plusieurs espèces de plantes mélangées dans l'espace sur la même parcelle de terre.

De nombreuses expériences robustes et reproductibles menées dans le monde entier montrent que les cultures intercalaires produisent, sur un terrain donné, des rendements de 16 % à 30 % supérieurs à ceux de chaque espèce cultivée en monoculture.

Contrairement à une idée répandue, ce gain de rendement ne se produit pas seulement dans les systèmes d'agriculture de subsistance, à faible niveau d'intrants (l'amélioration de la fertilité du sol par une légumineuse fixatrice d'azote stimulerait alors la productivité de l'autre culture, souvent une céréale). On pensait également que, compte-tenu des taux élevés de fertilisants utilisés dans l'agriculture intensive moderne, il était peu probable que l'amélioration de la fertilité du sol par les cultures intercalaires offre une alternative compétitive aux monocultures. Cependant, une méta-analyse de plus de 200 expériences agricoles sur le terrain a remis en question cette croyance en montrant qu'une version intensive de la culture intercalaire, souvent appelée culture intercalaire en bandes, peut conduire à des augmentations de rendement surprenantes. Chaque culture est alors constituée de plusieurs bandes de terre d'environ 1 à 2 mètres de large en alternance. Les rendements obtenus par cette forme intensive de cultures intercalaires en bandes sont en moyenne 29 % plus élevés que ceux des monocultures des mêmes cultures et nécessitent 19 à 36 % d'engrais azotés en moins. Ces avantages sont principalement dus aux différences saisonnières dans la croissance, la maturation et la hauteur des deux cultures.

Exemple d'associations culturales intercalaires

Une culture de saison fraîche (comme le blé ou certaines légumineuses tels que le pois ou le soja) associée à du maïs ou une autre plante qui pousse mieux pendant la chaleur de l'été et au début de l'automne se concurrencent peu, car la première a cessé de croître et a été récoltée au moment où la seconde atteint son taux de croissance le plus élevé. Chaque culture exploite ainsi, pendant sa période de croissance, de plus grandes quantités de nutriments du sol, d'eau et de lumière qu'elle ne le ferait dans une monoculture, ce qui permet d'obtenir une récolte totale supérieure à celle de l'une ou l'autre des monocultures sur la même surface. C'est ce qu'on appelle la complémentarité écologique.

Pour les monocultures, la sélection génétique et l'amélioration des pratiques agricoles permet en moyenne, et sur les principales cultures, un gain de 1 % de rendement par an. Pour augmenter les rendements du ratio de 29 %, il faudrait donc une trentaine d'année alors que la diversification peut être mise en place immédiatement. Les cultures intercalaires et les mélanges de variétés permettent une intensification plus durable de l'agriculture, de défricher moins de terres, de diminuer la pollution par les engrais azotés et phosphorés, d'améliorer la régulation naturelle des pathogènes, ravageurs et adventices, de contribuer à stabiliser les rendements, d'augmenter les revenus des agriculteurs et de promouvoir la santé humaine grâce à une plus grande diversité alimentaire.

Exemple du riz - 2

En Chine, l'utilisation de deux variétés de riz, hybrides et glutineuses, en culture intercalaire en bande a permis le contrôle de la pyriculariose, une maladie fongique, et l'augmentation des rendements de 89 % par rapport à celui des monocultures. Plusieurs mécanismes expliquent ce succès :

- i) l'augmentation de la distance entre les génotypes végétaux plus ou moins sensibles a été considérée comme le mécanisme le plus important contribuant à la réduction de la maladie dans les mélanges de variétés, par effet de dilution de l'*inoculum* pathogène ;
- ii) les différences de hauteur entre les variétés glutineuses plus hautes et les variétés hybrides plus courtes ont entraîné des conditions de température, d'humidité et de lumière moins propices à la pyriculariose sur les variétés glutineuses que dans les monocultures. Les variétés glutineuses plus hautes peuvent avoir physiquement bloqué la dispersion des spores et/ou modifié le régime des vents par rapport aux monocultures d'hybrides. En outre, la résistance induite par l'inoculation avec une ou plusieurs souches de pathogènes avirulentes (de type vaccination) peut dans une certaine mesure contribuer à la suppression de la maladie chez les hybrides.

Le contrôle naturel de la maladie a été si efficace que l'application de fongicides n'a plus été nécessaire après quelques années (Zhu *et al.*, 2000).

Sélectionner pour des pratiques agricoles basées sur la biodiversité

L'objectif presque exclusif de la sélection variétale à destination de l'agriculture intensive est de sélectionner des traits qui maximisent le rendement en monoculture. Cette sélection entraîne une diminution de la variabilité génétique des individus d'une espèce, des peuplements homogènes et donc une moindre adaptabilité lorsque les pressions environnementales (météo, ravageurs, maladies) sont défavorables. Pour pallier cet effet et réintroduire de la diversité génétique au sein des peuplements, il est possible de croiser des plantes parentales génétiquement éloignées pour produire des descendants hybrides qui



poussent plus vite, produisent plus de graines et de fruits et résistent mieux aux stress que l'un ou l'autre des parents.

Notons néanmoins que ces hybrides posent d'autres problèmes : ils sont la plupart du temps déployés en agriculture intensive avec son cortège d'impacts et ils participent du verrouillage technique en semences obligeant les agriculteurs à en racheter de nouvelles l'année suivante.

Des efforts de sélection équivalents pourraient être entrepris afin de promouvoir la culture intercalaire et sélectionner des paires d'espèces cultivées pour maximiser les rendements ou encore pour développer les variétés d'une espèce cultivée en mélanges variétaux.

Jusqu'à présent, la sélection anthropique des plantes à des fins de monoculture n'a pas favorisé les traits d'interactions sociales, de coexistence et d'adaptation à diverses conditions environnementales, caractéristiques de la sélection naturelle. Ainsi, la sélection humaine passée en faveur de la monoculture peut avoir réduit la capacité des cultures à être plus performantes lorsqu'elles sont associées à d'autres espèces et donc pourraient aussi avoir limité les gains de rendement et les capacités de lutte contre les ravageurs.

Plantes sauvages et plantes cultivées

Une récente expérience à petite échelle a comparé le gain de biomasse végétale entre des plantes cultivées (tomates, millet, avoine, blé, pois, etc.) et leurs parents sauvages, en augmentant le nombre d'espèces dans des pots (Chacon-Labela *et al.*, 2019). Comme prévu, la production de biomasse était plus importante dans les mélanges de plantes cultivées et de plantes sauvages apparentées par rapport aux monocultures, mais l'ampleur de l'effet était 12 % plus élevée dans les mélanges de plantes sauvages. Cette différence a été attribuée à la plus grande surface foliaire des plantes sauvages apparentées aux cultures, un trait compétitif.

Ces résultats suggèrent que la sélection peut passer à côté de gains de rendement obtenus en favorisant non pas l'homogénéité, mais une plus grande variation génétique ou en semant des mélanges génotypiques d'une même espèce cultivée ; deux stratégies qui exploitent la variabilité des caractéristiques pour minimiser l'incidence des maladies, la concurrence intraspécifique ou qui sélectionnent les différences de capacités compétitives.

Des freins à la diversification

Une des barrières à la diversification provient également de l'aval : par exemple des coopératives dont les processus et les installations actuelles ne permettent pas de prendre en charge une diversité de productions, et de l'industrie agro-alimentaire qui a besoin d'une standardisation de la matière première pour le bon fonctionnement de ses processus technologiques (cf. notamment Meynard *et al.*, 2018).

De plus, les coopératives, gérant à la fois la fourniture d'intrants, les conseils aux agriculteurs, et l'aval en collectant les productions, n'ont aucun intérêt à la diversification qui leur demandera plus de travail et entraînera potentiellement moins d'achats. Ces aspects sociotechniques doivent être pris en compte pour dépasser les freins à la diversification.



Conclusion

Des approches utilisant la diversité des cultures existent depuis longtemps : l'alternance temporelle des cultures dans le cadre de rotations, l'utilisation des cultures de couverture des sols, le faux semis, les cultures antiparasitaires, ainsi que la diversification des paysages agricoles. La synthèse présentée ici explore une autre voie qui est d'utiliser la diversification génétique au sein d'une culture et les cultures intercalaires au sein d'une même parcelle. Toutes ces méthodes méritent d'être explorées afin de déterminer comment et quand elles profitent simultanément à l'agriculture, à l'environnement et à la société.

Une utilisation plus complète de tous les niveaux de biodiversité en agriculture, déployée à des échelles locales à nationales, semble avoir le potentiel encore inexploité d'augmenter la productivité agricole et sa fiabilité d'une année sur l'autre, tout en diminuant ses impacts environnementaux et en augmentant la qualité nutritionnelle des productions.

Malgré les contributions potentiellement importantes que les pratiques basées sur la biodiversité (biodiversification de l'agriculture) pourraient apporter à la stabilité des rendements agricoles, à l'environnement ou à la santé humaine, elles sont encore rarement utilisées par les agriculteurs et peu encouragées par les décideurs politiques dans la plupart des pays. Pour favoriser ces approches et sortir d'une logique d'augmentation des surfaces cultivées, de pollution et d'émissions de gaz à effet de serre, plusieurs éléments sont requis :

- un soutien public au déploiement de ces approches pour qu'elles deviennent rentables ;
- un investissement dans la recherche et la formation des agriculteurs pour trouver les meilleures combinaisons d'espèces et de variétés de cultures, ainsi que les modèles spatiaux et temporels pour chaque région ;
- le développement des nouvelles machines agricoles pour planter, cultiver et récolter des bandes adjacentes de cultures différentes.

synthèse Hélène Soubelet,
directrice de la FRB

relecture Maxime Sèbe,
Chercheur postdoctoral à l'École Polytechnique

Sophie Gourguet,
Chercheuse à l'Ifremer