



L'AGRICULTURE ET LES SYSTÈMES ALIMENTAIRES DU MONDE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Enjeux pour les Suds

Vincent Blanfort, Julien Demenois,
Marie Hrabanski, coord.

éditions
Quæ

Chapitre 15

Les productions horticoles face au changement climatique

*Éric Malézieux, Damien Beillouin, Raphaël Belmin, Isabelle Grechi,
Rémi Kahane, Thibaud Martin, Fabrice Le Bellec*

1. Introduction : le changement climatique, une menace pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle mondiale

Aujourd'hui, dans le monde, plus de deux milliards d'individus souffrent de carences en micronutriments, et près de trois milliards d'individus n'ont pas les moyens de s'offrir une alimentation saine et nutritive (FAO, 2020). Or les produits alimentaires de l'horticulture, fruits, légumes, plantes aromatiques et médicinales, de par leur richesse en fibres, vitamines, et composés minéraux essentiels comme le fer, contribuent de manière décisive à une alimentation diversifiée et riche. La recommandation de la FAO et de l'OMS, à savoir consommer plus de 400 g de fruits et légumes frais par jour et par personne, n'est cependant atteinte que dans certaines régions d'Asie et parmi les populations aisées des pays industrialisés, contrairement aux pays à faible revenu, particulièrement en déficit. La consommation durable de fruits et légumes variés constitue donc une préoccupation centrale pour la sécurité alimentaire mondiale. Or le changement climatique affecte directement et indirectement les productions horticoles en raison de leur périssabilité et de leur sensibilité aux facteurs biotiques et abiotiques. Dans ce contexte, comment la grande diversité des fruits et légumes cultivés peut-elle offrir aux agriculteurs davantage de possibilités pour s'adapter et devenir moins vulnérables aux aléas climatiques ? Ce chapitre analyse les principaux impacts et risques induits par le changement climatique, et tente d'identifier les voies d'adaptation en cours dans les différents systèmes horticoles du monde.

2. Les impacts du changement climatique sur les productions horticoles

Les productions horticoles vont être affectées par le changement climatique par trois principales voies : en modifiant l'efficacité physiologique des plantes, leur phénologie, et finalement les quantités disponibles et la qualité des produits récoltés, en modifiant la répartition géographique de certaines espèces horticoles à l'échelle mondiale, et en modifiant les contraintes biotiques liées aux bioagresseurs et leurs dégâts sur les cultures, tout autant que les populations d'auxiliaires, les pollinisateurs et les micro-organismes du sol.

2.1. Impacts sur la physiologie et la phénologie des plantes, sur les rendements et sur la qualité des produits

L'augmentation des concentrations de CO₂ favorise des rendements plus élevés des cultures, particulièrement chez les plantes en C3, où l'efficacité de la photosynthèse

est limitée par les concentrations atmosphériques actuelles de CO₂ (Scheelbeek *et al.*, 2018). Cela s'explique par une augmentation de la photosynthèse et par une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau. Cependant, ces effets peuvent être atténués en présence d'autres facteurs de stress environnementaux (comme l'augmentation de l'O₃ et des températures), ou bien par l'acclimatation photosynthétique sur le long terme (Kimball *et al.*, 2007). L'augmentation des concentrations de CO₂ aurait aussi des effets négatifs sur la qualité nutritionnelle des plantes en C3, avec une diminution de la teneur en minéraux majeurs (Loladze, 2014).

Dans les régions tropicales, les températures atteignent déjà, voire dépassent, les seuils optimaux des plantes à certaines périodes de l'année. Ces seuils dépendent en partie de leur métabolisme carboné : les plantes en C3, comme la tomate et la plupart des plantes horticoles, prospèrent à des températures optimales de 20°C à 32°C, tandis que les plantes en C4, comme le maïs doux, tolèrent des températures jusqu'à 34°C. Lors des épisodes de chaleur, l'efficacité de la photosynthèse diminue ; la respiration des plantes augmente. Les épisodes de chaleur ont des effets néfastes sur le nombre, la morphologie et le fonctionnement des organes reproducteurs des plantes. Une élévation des températures peut aussi entraîner de fortes baisses des rendements en affectant la fécondation. Cela peut passer par une altération de la réceptivité des stigmates ou par le désynchronisme entre les périodes de vol des pollinisateurs et les périodes de floraison des cultures (Duchenne *et al.*, 2019). L'exposition des cultures à des températures élevées (El Niño de 2015-2016 et 2023-2024 en Amérique centrale et du Sud) peut aussi entraîner des troubles physiologiques altérant l'apparence des produits, et modifier leur qualité organoleptique et nutritionnelle (Moretti *et al.*, 2010 ; Christopoulos et Ouzounidou, 2021 ; Kishor *et al.*, 2023). Les plantes cultivées sous abri sont aussi exposées à ce risque (Fink *et al.*, 2009). De plus, le manque de période plus froide peut perturber la levée de dormance de certains arbres fruitiers, légumes vivaces ou bisannuels, tel l'oignon, et le déclenchement de la floraison de certaines espèces.

Le changement climatique modifie la disponibilité en eau pour les plantes, ce qui peut conduire à un stress hydrique qui a généralement un effet négatif sur la floraison, la nouaison, la rétention et la croissance des fruits. Une moindre disponibilité en eau diminue les rendements. Des baisses moyennes de l'ordre de 20 % de la production de fruits, de noix et de graines ont été observées lorsque la disponibilité en eau était réduite de 50 % (Alae-Carew *et al.*, 2020). Les stress hydriques affectent également les teneurs en sucres, acides et caroténoïdes, positivement ou négativement selon le stade de développement du fruit auquel ce stress est appliqué et le génotype (Ripoll *et al.*, 2016).

Les émissions de polluants, en entraînant une augmentation des concentrations de l'ozone troposphérique, posent un défi climatique supplémentaire pour les cultures horticoles. Ce gaz peut pénétrer les plantes par leurs stomates, endommager les structures cellulaires des feuilles et entraîner des baisses de rendement, un retard dans la maturation des fruits et une diminution de leur teneur en sucre.

Ainsi, le changement climatique, par le biais d'interactions entre le CO₂, la température, la disponibilité en eau et d'autres manifestations climatiques, altère de manière complexe à la fois les volumes et la qualité des productions horticoles. Les interactions avec d'autres facteurs (comme le cycle biologique, le matériel génétique, la localisation géographique, le mode de culture et les pratiques agricoles, le stade de la culture durant lequel intervient l'événement climatique) rendent la formulation d'une projection claire de l'impact du changement climatique encore plus difficile.

2.2. Les futures répartitions d'espèces horticoles : entre menaces et opportunités

Le changement climatique, en modifiant les conditions de croissance des plantes, a au fil des décennies transformé la répartition des zones de culture des espèces horticoles. Ce déplacement géographique affecte *in fine* la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations. Avec un réchauffement climatique mondial de +2°C, la moitié des terres cultivables actuelles verraient la diversité potentielle des cultures diminuer, alors que les latitudes élevées connaîtraient, en revanche, une augmentation de la diversité potentielle des cultures, offrant ainsi des possibilités d'adaptation au changement climatique (Mahaut *et al.*, 2022). Globalement, des espèces originaires de climats chauds prospèrent déjà dans ces nouvelles zones (Lenoir *et al.*, 2008). En Espagne, les cultures subtropicales telles que les avocats et les manguiers occupent désormais 4% de la superficie totale des vergers (Esrce, 2018). En Afrique centrale, le changement climatique aurait des effets plutôt positifs sur les zones potentielles de culture des légumes racines, des tubercules et des bananes, mais affecterait négativement les zones de culture de la pomme de terre (Manners *et al.*, 2021). La majorité des données scientifiques sur les changements des aires de répartition des cultures se focalisent cependant sur quatre principales cultures de base : riz, maïs, blé et soja. Notre compréhension des impacts du changement climatique sur les cultures de fruits et légumes reste encore limitée.

2.3. Impact sur les bioagresseurs

Le changement climatique influence directement la prolifération et la distribution des arthropodes phytophages ainsi que des maladies virales et bactériennes qu'ils transmettent (Muilenburg et Herms, 2013; Skendžić *et al.*, 2021). Les arthropodes des zones tempérées devraient voir leurs populations augmenter, tandis que ceux des régions tropicales, vivant près de leur optimum thermique, pourraient être affectés négativement si les températures dépassent cet optimum ou atteignent leur seuil létal (Bonebrake et Deutsch, 2012). Leur capacité à se disperser permettrait à certaines espèces de se déplacer vers des latitudes et des altitudes plus élevées, où les températures deviennent plus favorables.

Le changement des régimes de précipitations influence également les arthropodes (lessivage par les fortes pluies ou mortalité induite par une stagnation de l'eau dans le sol en phase tellurique). Par exemple le taux de mortalité des pupes de *Bactrocera zonata* augmente significativement avec la teneur en eau du sol (El-Gendy et AbdAllah, 2019). Selon Gely *et al.* (2020), la plupart des guildes d'insectes seraient affectées négativement par le stress hydrique, à l'exception des xylophages, des scolytes, des suceurs de sève et des mineuses de feuilles.

Les arthropodes phytophages seront également affectés par la disponibilité et la qualité de la plante hôte et par la perturbation du réseau trophique (Eigenbrode et Adhikari, 2023; Muilenburg et Herms, 2013; Skendžić *et al.*, 2021).

Le réchauffement peut augmenter ou diminuer la synchronisation phénologique entre les arthropodes, leurs plantes hôtes et leurs ennemis naturels (Forrest, 2016). Les asynchronies phénologiques devraient cependant moins concerner les régions tropicales.

Les plantes soumises à un environnement enrichi en CO₂ présentent des statuts physiologiques (rapport C/N, concentration d'azote, composés secondaires) qui peuvent réduire leur qualité nutritionnelle ou agir comme défenses contre les ravageurs.

Inversement, certains insectes broyeurs peuvent consommer davantage de tissus végétaux pour compenser la moindre qualité nutritionnelle de ces plantes.

Les agents pathogènes sont sensibles aux conditions abiotiques, en particulier la température et l'humidité relative, qui influencent directement leur cycle évolutif, ou indirectement la physiologie et la réponse immunitaire des plantes. Les effets du changement climatique sur les maladies des cultures fruitières tropicales varient, avec une sévérité qui pourrait augmenter (dans le cas du bananier et du champignon *Fusarium oxysporum*) ou diminuer (dans le cas du bananier et du champignon *Mycosphaerella fijiensis*) (Ghini *et al.*, 2011). À des températures élevées, les plantes pourraient être plus sensibles aux agents pathogènes en raison de la suppression de leur immunité (Singh *et al.*, 2023).

Le changement climatique modifie l'incidence des bioagresseurs sur les cultures. L'ampleur de ces modifications est toutefois difficile à prédire, surtout pour les productions horticoles, qui présentent une grande diversité spécifique et variétale. Les bioagresseurs et leurs ennemis naturels ne seront pas uniformément affectés, car les effets climatiques varient selon les espèces et selon les systèmes plante-bioagresseur, et dépendent de l'interaction des facteurs climatiques et du contexte environnemental. Les facteurs climatiques auront aussi des effets complexes sur les pollinisateurs, augmentant ou réduisant leur efficacité selon le contexte (Eigenbrode et Adhikari, 2023; IPBS, 2016).

3. S'adapter au changement climatique : les innovations en marche

L'adaptation des systèmes horticoles face au changement climatique se traduit par trois grandes stratégies d'adaptation : l'augmentation et la valorisation de la diversité cultivée et la sélection génétique pour des espèces moins exigeantes, la création d'un environnement plus favorable autour des cultures (du mulch à la serre hors-sol), et la bonne gestion des ressources, dont celle, essentielle, de l'eau. Ces stratégies d'adaptation s'appuient également sur des politiques publiques et sur des innovations territoriales.

3.1. L'adaptation des systèmes de culture

3.1.1. Les atouts de la diversité

L'horticulture englobe des espèces à cycles courts (annuels ou bisannuels) et à cycles longs (cinq à dix ans, voire supérieurs à dix ans), avec une grande diversité biologique (multiplication végétative ou sexuée, plantes herbacées ou ligneuses). Les fruits et légumes, en plus de leur diversité, sont cultivés dans un large éventail de systèmes de culture et de production, allant des systèmes vivriers plurispécifiques en permaculture sans intrant chimique (comme les jardins créoles, les microjardins vivriers) aux systèmes de monoculture intensive souvent monovariétaux, voire monoclonaux (bananes, ananas) utilisant de grandes quantités d'intrants chimiques, ou encore aux serres hors-sol avec atmosphère et flux nutritifs contrôlés, véritables « usines à plantes ». La résilience et l'adaptation de ces différents systèmes au changement climatique sont à l'évidence très différentes. Sans pouvoir détailler toutes les formes d'adaptation potentielles, il est crucial de souligner l'importance de la diversité des espèces dans un système donné pour fournir des services écosystémiques et pour assurer sa résilience face aux aléas climatiques (Kahane *et al.*, 2013; Malézieux *et al.*, 2009; Malézieux *et al.*, 2022; Beillouin *et al.*, 2021).

La diversité intraspécifique et les voies d'amélioration génétique constituent une autre forme d'adaptation. Pour faire face au changement climatique, la robustesse des cultivars traditionnels, dont il convient de conserver le patrimoine (biologique et immatériel comme les savoir-faire paysans), et la sélection variétale constituent deux voies complémentaires. Les variétés fortement améliorées, souvent hybrides, nécessitent pour la plupart des techniques intensives (irrigation, fertilisation, protection phytosanitaire) et des investissements financiers élevés, exposés aux risques climatiques. Les variétés dites « paysannes » profitent aux petites exploitations grâce à leur potentiel d'adaptation : jojoba, arganier, pois d'Angole, amarante pour l'aridité, niébé, haricot mongo pour les cycles courts, et variétés traditionnelles rustiques de gombo, roselle, aubergines africaines. Certaines cultures horticoles, oubliées ou négligées, maraîchères ou fruitières, aromatiques ou médicinales, offrent ainsi de nouvelles opportunités. Les systèmes semenciers paysans « informels » constituent un énorme réservoir de gènes d'intérêt face au changement climatique et favorisent aussi l'adoption de pratiques agroécologiques bénéfiques pour le petit paysannat. Les agriculteurs disposent également de marges de manœuvre en ajustant les calendriers de plantation et de semis, en favorisant les rotations et les associations de cultures, dont l'agroforesterie. Ces stratégies combinent la préservation du patrimoine biologique et immatériel, avec des innovations permettant de mieux adapter les cultures aux défis climatiques.

3.1.2. La gestion des ressources en eau

Le problème de l'approvisionnement en eau est particulièrement aigu au Maghreb et en Afrique subsaharienne, où les ressources en eau sont mal réparties et de plus en plus aléatoires. Dans ce contexte, des forages et des pompes coûteux sont parfois mis en œuvre. Dans de grands bassins de production comme la vallée du fleuve Sénégal, l'extension des surfaces irriguées est appuyée par des politiques d'aménagement financées par l'aide internationale. Ce choix, s'il répond à un besoin à court terme, dessine pour demain un modèle fragile et vulnérable, car dépendant d'une eau captée et acheminée à grand renfort d'énergie fossile (figure 15.1). D'autres projets encouragent l'adoption de techniques d'irrigation économes, comme le goutte-à-goutte, et tentent d'intégrer les savoir-faire des communautés paysannes dans les démarches de conception agroécologiques (Belmin *et al.*, 2022 et 2023a). Les agro-systèmes oasiens traditionnels du Maghreb et d'Afrique subsaharienne s'appuient par exemple sur des cultures multistrates (palmacées, arbres fruitiers et cultures maraîchères) qui conservent l'eau et réduisent l'évapotranspiration. Dans les zones semi-arides du Burkina Faso, les paysans utilisent la technique du « zaï », qui consiste à semer à sec dans des trous amendés avec du fumier, qui se remplissent ensuite d'eau à l'arrivée des premières pluies (Belmin *et al.*, 2023a). Dans certaines régions, la gestion des ressources en eau bénéficie de nouveaux apports technologiques (goutte-à-goutte, capteurs d'humidité, déclencheurs à distance, etc.), mais pour réussir elle doit s'appuyer avant tout sur une gouvernance humaine, sociale et solidaire, pour en rendre durables les effets, de la parcelle aux bassins-versants.

3.1.3. Les cultures protégées

Les serres, dans lesquelles les paramètres du climat sont maîtrisés, sont caractéristiques de l'horticulture. L'artificialisation du milieu peut même devenir complète dans des situations climatiques extrêmes telles que les déserts (Californie, Israël), les



Figure 15.1. Dans les grands bassins de production comme la vallée du fleuve Sénégal, l'extension des surfaces irriguées est appuyée par des politiques d'aménagement financées par l'aide internationale. Mais ce choix, s'il répond à un besoin à court terme, dessine sur le long terme un modèle agricole fragile et vulnérable, car dépendant d'une eau captée et acheminée à grand renfort d'énergie fossile. Crédit : photo de R. Belmin, Cirad.

zones polluées ou totalement urbanisées (Le Caire, Singapour). Les « usines à plantes » s'adressent à des contextes spécifiques et pour des espèces à forte valeur économique ou culturelle (herbes aromatiques, fraises, piments). L'horticulture devient une agriculture technologique, parfois verticale (et donc avec une empreinte spatiale extrêmement limitée), qui mobilise les avancées scientifiques les plus récentes dans les domaines du numérique, de la robotique, de la métabolomique, de l'énergie (lampes LED, photovoltaïsme, cogénération, etc.). Pour autant, les questions de rentabilité, de changement d'échelle, de consommation énergétique et d'acceptabilité sociale de ces systèmes très intensifiés restent posées. Des solutions « low-tech » voient également le jour en zones densément peuplées, basées sur le recyclage des eaux, des matières organiques et des matériaux locaux (hydroponie, aéroponie, aquaponie, cultures verticales, sur les toits) ou même en zones rurales, pour la protection contre les insectes, en particulier en Afrique subsaharienne (Nordey *et al.*, 2017). Ces systèmes, en s'affranchissant des aléas climatiques, contribuent à la sécurité nutritionnelle soit directement par la consommation des produits frais, légumes-feuilles ou fruits soit par le revenu de leur vente (Orsini *et al.*, 2013).

Ces vingt dernières années ont été marquées par la mise au point de nouvelles pratiques permettant de produire avec moins d'intrants chimiques. Les pratiques traditionnelles basées sur la diversité biologique (agroforesterie, jardins créoles) sont revues et adaptées pour s'intégrer dans de nouveaux circuits économiques et pour répondre aux nouveaux besoins. Les pratiques agroécologiques peuvent aussi mobiliser les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC),

en particulier pour permettre d'anticiper des épisodes climatiques défavorables, d'éviter les pertes de pré et post-récolte, d'optimiser la gestion de l'eau, et de contrôler, par des capteurs et l'imagerie numérique, des surfaces ou des volumes protégés. Leur applicabilité dans des conditions de production économiquement et socialement fragiles est encore interrogée.

3.2. Les adaptations organisationnelles (filières, systèmes alimentaires, politiques publiques)

Si de nouvelles pratiques culturales agroécologiques sont nécessaires pour faire face au changement climatique, il est également essentiel de considérer l'aval des filières, source importante de pertes pour les produits horticoles, particulièrement périssables et sensibles aux variations climatiques. L'impact est particulièrement fort dans les pays à revenu faible, où les infrastructures (routes, lieux de stockage et de distribution) sont défaillantes. Cela est particulièrement vrai pour les filières locales, parfois dérivées des filières d'exportation, comme c'est le cas pour la mangue en Côte d'Ivoire (figure 15.2). À un autre niveau, si de nouvelles pratiques doivent être mises en œuvre dans les filières horticoles, de l'amont à l'aval, celles-ci ne seront efficaces à l'échelle globale que si les pratiques de consommation alimentaire changent également (diversification et végétalisation des régimes), et si les politiques publiques accompagnent ce mouvement (Belmin *et al.*, 2023b).



Figure 15.2. Récolte de la mangue, à Korhogo, en Côte d'Ivoire. Les mangues destinées aux marchés locaux sont transportées dans des conditions ne permettant pas de préserver la qualité du produit. Il en résulte d'importantes pertes en cas d'intempéries (phases d'exposition au soleil, pluies intenses). Crédit : photo d'É. Malézieux.

4. Les stratégies d'atténuation

En comparaison avec les grandes cultures ou l'élevage, l'horticulture, en raison des surfaces plus réduites, n'est pas un contributeur majeur au changement climatique. Le pouvoir de séquestration du carbone reste modeste au regard de secteurs comme la forêt. Mais l'horticulture est souvent consommatrice de nombreux intrants chimiques (plastiques, engrais, pesticides) dérivés du pétrole. Les stratégies d'atténuation en horticulture se concentrent principalement sur la réduction des émissions de GES associées aux pratiques agricoles. Le recyclage des effluents en culture hors-sol, l'application précise des engrais et des sources de nutriments organiques peuvent minimiser les émissions polluantes. L'adoption de pratiques de travail du sol réduit peut séquestrer du carbone, améliorer la structure du sol et réduire les émissions dues à sa perturbation. La transition vers des pratiques agricoles biologiques diminue l'utilisation d'engrais synthétiques et de pesticides, réduisant ainsi l'empreinte carbone de la production horticole. La mise en œuvre de sources d'énergie renouvelable telles que les panneaux solaires et les éoliennes sur les exploitations horticoles peut aider à réduire les émissions de GES associées à la consommation d'énergie. Le développement de circuits courts, la consommation de produits saisonniers, la réduction des pertes et du gaspillage alimentaire au long de la chaîne d'approvisionnement horticole, de la production à la consommation, réduiront aussi les émissions. Le choix de matériaux d'emballage écologiques et la réduction des emballages excessifs peuvent aussi contribuer à réduire l'empreinte carbone des produits horticoles.

5. Conclusion

À l'heure où les problèmes de malnutrition persistent à l'échelle mondiale et où le changement climatique s'accélère, de nouvelles voies doivent être trouvées pour l'agriculture. Les produits horticoles alimentaires, essentiels pour une alimentation saine, sont au cœur de ces défis. Cependant, augmenter la production seule ne résoudra pas la malnutrition. Dans les sociétés occidentales, soumises aux nouvelles pathologies nutritionnelles (obésité, diabète de type II, maladies cardiovasculaires), les processus de surconsommation d'aliments transformés, d'énergie et d'intrants chimiques fonctionnent en synergie. Les carences en micronutriments affectent systématiquement les populations défavorisées dans tous les pays. Dans les économies les plus dépendantes de l'agriculture, le changement climatique va affecter toutes les composantes de la sécurité alimentaire, c'est-à-dire l'accessibilité, la disponibilité, l'utilisation et la stabilité alimentaires. Augmenter la diversité alimentaire pour les plus pauvres est une étape décisive pour améliorer la nutrition (Malézieux *et al.*, 2024). La recherche doit viser à accroître l'accessibilité et la disponibilité des fruits et légumes dans les régions défavorisées, en augmentant et en diversifiant la production, et en limitant les pertes. Face au défi climatique et à la perte de biodiversité, il est nécessaire d'élargir les thèmes de recherche actuels en incluant les interactions entre agriculture, alimentation et santé, afin de mieux comprendre les liens étroits entre la production alimentaire, la santé humaine et environnementale.

6. Références bibliographiques

- Alae-Carew C., Nicoleau S., Bird F.A., Hawkins P., Tuomisto H.L., Haines A., *et al.*, 2020. The impact of environmental changes on the yield and nutritional quality of fruits, nuts and seeds: a systematic review. *Environmental research letters*, 15, 2: 023002.
- Beillouin D., Ben-Ari T., Malézieux E., Seufert V., Makowski D., 2021. Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27 (19) : 4697-4710.
- Belmin R., Malézieux E., Basset-Mens C., Martin T., Mottes C., Della Rossa P., *et al.*, 2022. Designing agroecological systems across scales: a new analytical framework. *Agron. Sustain. Dev.*, 42, 3.
- Belmin R., Sawadogo H., Ndiénor M., 2023a. Cultiver sans eau ou presque : la technique du zaï au Sahel. *The Conversation*.
- Belmin R., Paulin M., Malézieux E., 2023b. Adapting agriculture to climate change: which pathways behind policy initiatives?. *Agronomy for Sustainable Development*, 43(5), 59.
- Bonebrake T.C., Deutsch C.A., 2012. Climate heterogeneity modulates impact of warming on tropical insects. *Ecology*, 93(3), 449-455.
- Christopoulos M., Ouzounidou G., 2021. Climate change effects on the perceived and nutritional quality of fruit and vegetables. *J. Innov. Econ. Manag.*, 34, 79-99.
- Duchenne F., Thébault E., Michez D., Elias M., Drake M., Persson M., *et al.*, 2019. Phenological shifts alter the seasonal structure of pollinator assemblages in Europe. *Nature Ecology and Evolution*, 4(1):115-121.
- Eigenbrode S.D., Adhikari S., 2023. Climate change and managing insect pests and beneficials in agricultural systems. *Agronomy Journal*, 115, 2194-2215.
- El-Gendy I.R., AbdAllah A.M., 2019. Effect of soil type and soil water content levels on pupal mortality of the peach fruit fly [*Bactrocera zonata* (Saunders)] (Diptera: Tephritidae). *International Journal of Pest Management*, 65:2, 154-160.
- ESYRCE, 2018. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. MAPA, Pesca y Alimentación. https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/boletin2018_tcm30-504212.pdf
- FAO, 2020. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2020. Relever le défi de l'eau dans l'agriculture. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1447fr>
- Fink M., Kläring H.P., George E., 2009. Horticulture and Climate Change. In: Dirksmayer W., Sourell H., Eds., *Water in Horticulture*, vol. 328, Landbauforschung, Sdh, 1-9.
- Forrest J.R.K., 2016. Complex responses of insect phenology to climate change. *Current Opinion in Insect Science*, 17:49-54.
- Ghini R., Bettiol W., Hamada E., 2011. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. *Plant Pathology*, 60, 122-132.
- IPBES, 2016. Rapport d'évaluation sur les pollinisateurs, la pollinisation et la production alimentaire. Résumé à l'intention des décideurs. https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/downloads/2016_spm_pollination-fr.pdf
- Kahane R., Hodgkin T., Jaenicke H., Hoogendoorn C., Hermann M., Keatinge J.D.H., *et al.*, 2013. Agrobiodiversity for food security, health and income. *Agronomy for Sustainable Development*, 33(4): 671-693. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0147-8>
- Kimball B.A., Idso S.B., Johnson S., Rillig M.C., 2007. Seventeen years of carbon dioxide enrichment of sour orange trees: final results. *Global Change Biol.* 13:2171-2183.
- Kishor P.B.K., Guddimalli R., Kulkarni J., Singam P., Somanaboina A.K., Nandimandalam T., *et al.*, 2023. Impact of Climate Change on Altered Fruit Quality with Organoleptic, Health Benefit, and Nutritional Attributes. *J. Agric. Food Chem.* 71, 17510-17527.
- Lenoir J., Gégout J.C., Marquet P.A., De Ruffray P., Brisse H., 2008. A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century. *Science*, 320(5884): 1768-1771. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1156831>
- Loladze I., 2014. Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO₂ depletes minerals at the base of human nutrition. *eLife*, 3:e02245.

Mahaut L., Pironon S., Barnagaud J.Y., Bretagnolle F., Khoury C.K., Mehrabi Z., *et al.*, 2022. Matches and mismatches between the global distribution of major food crops and climate suitability. *Proceedings of the Royal Society B*, 289(1983), 20221542.

Malézieux E., Beillouin D., Makowski D., 2022. Feeding the world better: Crop diversification to build sustainable food systems. *Perspective*, 58: 1-4.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., *et al.*, 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 43-62.

Malézieux E., Verger E.O., Avallone S., Alpha A., Biu Ngigi P., Lourme-Ruiz A., *et al.*, 2024. Biofortification versus diversification to fight micronutrient deficiencies: an interdisciplinary review. *Food Sec.*, 16, 261-275.

Manners R., Vandamme E., Adewopo J., Thornton P., Friedmann M., Carpentier S., *et al.*, 2021. Suitability of root, tuber, and banana crops in Central Africa can be favoured under future climates. *Agricultural Systems*, 193, 103246.

Moretti C.L., Mattos L.M., Calbo A.G., Sargent S.A., 2010. Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International*, 43: 1824-1832.

Muilenburg V.L., Herms D.A., 2013. Responses of Insect Pests to Climate Change: Effects and Interactions of Temperature, CO₂, and Soil Quality. *In: Sivakumar M.V.K., Lal R., Selvaraju R., Hamdan I. (eds.), Climate Change and Food Security in West Asia and North Africa*. Springer Dordrecht, 423 p.

Nordey T., Basset-Mens C., De Bon H., Martin T., Deletre E., Simon S., *et al.*, 2017. Protected cultivation of vegetable crops in sub-Saharan Africa: limits and prospects for smallholders. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (6):e53. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0460-8>

Orsini F., Kahane R., Nono-Womdim R., Gianquinto G., 2013. Urban agriculture in the developing world: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 33:695-720. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0143-z>

Ripoll J., Urban L., Brunel B., Bertin N., 2016. Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype. *J. Plant Physiol.*, 15(190): 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.10.006>

Scheelbeek P.F., Bird F.A., Tuomisto H.L., Green R., Harris F.B., Joy E.J., *et al.*, 2018. Effect of environmental changes on vegetable and legume yields and nutritional quality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(26), 6804-6809.

Singh B.K., Delgado-Baquerizo M., Egidi E., Guirado E., Leach J.E., Liu H., Trivedi P., 2023. Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward. *Nature Reviews Microbiology*, 21: 640-656.

Skendžić S., Zovko M., Živković I.P., Lešić V., Lemić D., 2021. The Impact of Climate Change on Agricultural Insect Pests. *Insects*, 12, 440.