

Penser la convergence entre enjeux agricoles, alimentaires, écologiques et climatiques

Par Jean-François SOUSSANA
INRA, Paris

Au cours des cinquante dernières années, la forte croissance de la population mondiale (qui a été multipliée par 2,3) a été dépassée par celle de la production alimentaire (cette dernière ayant triplé). Paradoxalement, ce succès quantitatif n'a pas permis d'atteindre la sécurité alimentaire et nutritionnelle, puisque la sous-alimentation chronique touche encore près de 820 millions de personnes, alors que 2 milliards souffrent de carences en micronutriments et qu'un autre milliard présente un risque accru de maladies métaboliques chroniques liées à l'obésité. Au cours de cette période, l'augmentation de la production alimentaire mondiale a résulté pour près de 90 % de l'intensification de la production agricole et pour un peu plus de 10 % de l'accroissement des surfaces cultivées et pâturées, celles-ci s'étant étendues de 15 %. La croissance de la production agricole a généré de nombreuses externalités négatives (déforestation, perte de biodiversité, dégradation des sols, pollution de l'eau et de l'air, augmentation des émissions de gaz à effet de serre). Après plusieurs décennies, leurs conséquences sont devenues importantes au point de réduire le potentiel de production agricole lui-même.

Croissance de la production agricole et environnement

Depuis les années 1960, le processus de modernisation de la production agricole s'est traduit, dans les pays industrialisés, par la spécialisation des systèmes de production, par l'agrandissement des exploitations et par un recours accru à des intrants de synthèse – dont 100 millions de tonnes d'azote minéral par an issues du procédé Haber-Bosch –, au machinisme agricole et à des variétés végétales et à des races animales aux forts potentiels productifs. La spécialisation des systèmes et l'homogénéisation des milieux ont permis des économies d'échelle tant du point de vue de la production que de celui de la collecte simplifiée de produits mieux standardisés. Au cours de ce processus de modernisation, les milieux homogénéisés (remembrement, drainage...) ont souvent été considérés comme des matrices largement abiotiques dans lesquelles les interactions biotiques qui se déroulent dans le sol et dans les écosystèmes supports de l'agriculture sont négligées. Dans les pays en développement, la révolution verte a emprunté le même chemin, en particulier en Asie et en Amérique latine. En revanche, elle n'a pas vraiment réussi à s'implanter en Afrique sub-saharienne, où les problèmes de sécurité alimentaire demeurent globalement les plus aigus.

La moitié des sols cultivés sont aujourd'hui dégradés, parfois de manière quasi-irréversible, puisque de 0,6 à 1,9 % des terres sont rendues incultivables chaque décennie. L'érosion des sols cultivés induit des pertes de production atteignant 0,3 % par an, alors que l'augmentation moyenne des rendements mondiaux ne dépasse pas 1,3 % par an. La matière organique perdue représente de 0,3 à 1 milliard de tonnes de carbone par an, soit une perte annuelle de nutriments dont la compensation par fertilisation minérale représenterait un coût de 100 à 200 milliards de dollars par an (ITPS, 2016). Autre menace, le changement climatique qui entraîne déjà des pertes de rendement estimées à 0,2 % par an pour le blé et à 0,1 % par an pour le maïs (GIEC, 2013). La récurrence de fortes anomalies climatiques (canicules, sécheresses, précipitations intenses), la réduction des ressources en eau douce (fonte des glaciers d'altitude, baisse des nappes phréatiques, étiages plus marqués) et la salinisation des zones de deltas génèrent d'importantes pertes de récoltes (atteignant 20 à 30 % dans les zones touchées par la canicule et la sécheresse durant les étés 2003 en Europe, 2010 en Russie et 2012 aux États-Unis).

Ces menaces tendent à se renforcer mutuellement. En effet, la dégradation des sols limite leur capacité à stocker de l'eau, accentuant leur réchauffement et leur dessèche-

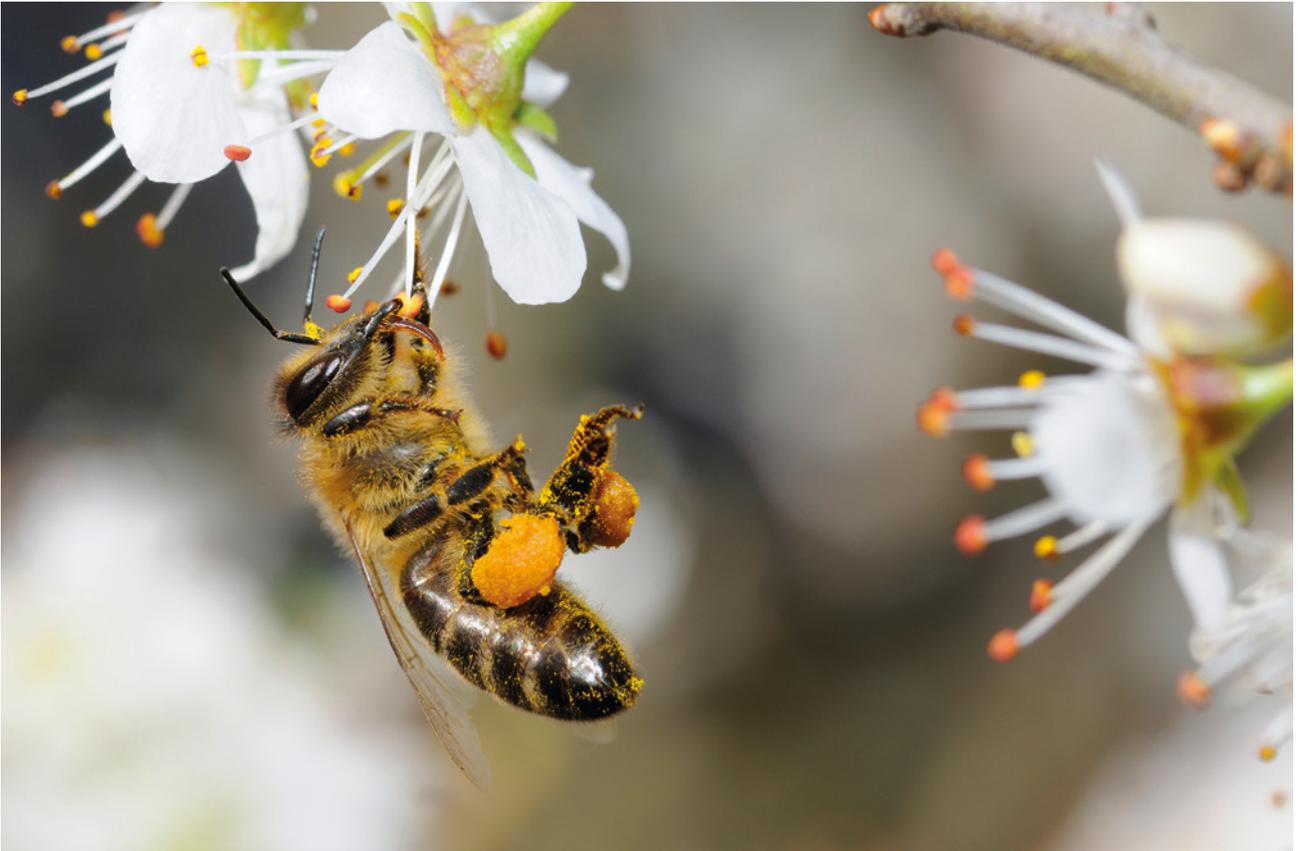


Photo © Michel Rauch/BIOSPHOTO

Abeilles mellifères butinant des fleurs de Prunellier, Vosges du Nord, France.

« Une troisième menace, plus difficile à quantifier à l'échelle globale, concerne la crise de la biodiversité et la réduction des services des écosystèmes. Les trois quarts des cultures alimentaires mondiales dépendent de la pollinisation et leurs rendements augmentent moins vite que ceux des cultures qui n'en dépendent pas. »

ment ainsi que le déficit hydrique des cultures, lors de canicules et de sécheresses. Réciproquement, la baisse des rendements induite par le changement climatique réduit l'apport de matière organique aux sols, les rendant ainsi plus vulnérables à l'érosion et à la dégradation.

Une troisième menace, plus difficile à quantifier à l'échelle globale, concerne la crise de la biodiversité et la réduction des services des écosystèmes. Les trois quarts des cultures alimentaires mondiales dépendent de la pollinisation et leurs rendements augmentent moins vite que ceux des cultures qui n'en dépendent pas. Le déclin multifactoriel (invasions biologiques et maladies, réduction de la diversité floristique, exposition à certains pesticides, changement climatique) des abeilles et des pollinisateurs sauvages entraîne des pertes de production pour de nombreuses cultures, particulièrement pour celles qui sont source de micronutriments en milieu tropical.

D'autres services dépendant de la biodiversité (régulation des maladies végétales, épuration de l'eau et de l'air, etc.) sont généralement affaiblis dans les paysages dominés par des cultures annuelles intensives et peu diversifiées. L'affaiblissement des services d'épuration du sol renforce l'impact des pollutions agricoles diffuses, tandis que le

déclin du service de régulation des maladies et des ravageurs entraîne un recours accru à des intrants phytosanitaires.

Face à ces menaces et aux risques pour la santé humaine d'expositions chroniques à de faibles doses de cocktails de contaminants chimiques issus de l'agriculture, un meilleur compromis entre agriculture et environnement a été recherché depuis les années 1980. Toutefois, la question des changements dans les autres maillons – transformation, transport, distribution, consommation – des systèmes alimentaires n'a pas été posée initialement.

La recherche d'un compromis agriculture – environnement

L'intensification durable constitue le paradigme dominant au sein de cette démarche. Il s'agit d'augmenter l'efficacité des intrants utilisés, de limiter les rejets de substances polluantes dans l'environnement, voire de reconcevoir les systèmes agricoles pour les rendre plus efficaces et ainsi limiter leurs externalités. Des progrès considérables ont été accomplis dans cette voie, ce qui a permis d'augmenter la production tout en contenant l'expansion des surfaces agricoles. La croissance des ren-

dements mondiaux a limité l'ampleur de la déforestation tropicale, évitant ainsi l'émission dans l'atmosphère de près de 160 milliards de tonnes de carbone. L'éco-efficacité de l'élevage a également augmenté, puisque l'on estime que moins de gaz à effet de serre sont aujourd'hui rejetés par kilo de viande rouge produite que ce n'était le cas dans les années 1970.

L'agriculture et l'élevage de précision, la télédétection, l'utilisation d'un nombre massif de données, la génomique et les biotechnologies constituent autant de technologies en développement rapide susceptibles d'accélérer l'intensification durable de l'agriculture. Ces innovations nécessitent cependant des investissements importants, qui ne sont généralement rentabilisés que par des exploitations agricoles spécialisées et de grande taille, ce qui limite considérablement leur champ d'application, en particulier dans les pays les plus pauvres. De plus, certaines de ces innovations (comme les organismes génétiquement modifiés) rencontrent de fortes oppositions, voire font face à des limites écologiques du fait de l'ampleur de leur déploiement. Ainsi, la culture à grande échelle de variétés tolérantes à un herbicide entraîne généralement l'apparition au bout de plusieurs années de résistances à cet herbicide dans la flore adventice. Pour lutter contre ces résistances biologiques, des doses accrues d'herbicides sont utilisées, ce qui va à l'encontre de l'objectif d'intensification durable et peut aboutir, à long terme, à une impasse.

Plus de 500 millions d'exploitations agricoles familiales de petite taille (souvent de moins d'un hectare) occupent plus de 70 % des terres agricoles et produisent 80 % de l'alimentation mondiale. De nombreux mouvements généralement issus de l'agriculture familiale (agriculture biologique, agriculture de conservation, agriculture à hautes performances environnementales, éco-agriculture, etc.) ont proposé des alternatives afin de produire sur de petites structures en utilisant mieux les régulations naturelles et en réalisant des économies d'intrants. Ces mouvements contribuent à un paradigme alternatif, l'agroécologie, qui renvoie également à l'émergence d'une discipline scientifique au carrefour des sciences agronomiques et de l'écologie.

Sciences agronomiques et écologie

Le mot « agronomie » dérive des mots grecs *agros* (champ) et *nomos* (norme). La question de la norme, de cette loi qui s'appliquerait aux champs, est donc fondatrice de l'agronomie ou, au sens large, des sciences agronomiques.

L'écologie, du grec *oikos*, « la maison, l'habitat » et *logos* « le discours, la science », étudie les interactions entre les organismes vivants, ainsi que leurs relations avec l'environnement. L'histoire des sciences montre que l'écologie et les sciences agronomiques n'ont pas noué de liens très féconds. Comme le résume Bernard Chevassus-au-Louis⁽¹⁾ (2006) : « *Du point de vue de l'écologie, les agroécosystèmes présentaient plusieurs handicaps (faible biodiversité, espèces banales, systèmes hors équilibre et marqués par l'action de l'homme). À l'inverse, les sciences agronomiques, proches des disciplines de l'ingénieur et*

visant le développement d'approches réductionnistes, se sont longtemps montrées indifférentes aux approches systémiques de l'écologie ».

Apparu dans les années 1930, le terme « agroécologie » désignait alors une science qui étudie le monde vivant au champ sans prescrire de norme. Ce terme demeure difficile à employer avec précision, car il recouvre plusieurs sens (discipline scientifique, pratiques agricoles et mouvement social). L'expression « agriculture écologiquement intensive »⁽²⁾ renvoie à la nécessité pour l'agriculture de faire face aux importants besoins productifs liés à la croissance de la demande alimentaire mondiale, tout en étant compatible avec la santé humaine et celle des écosystèmes.

Le corpus scientifique utilisant le terme « agro-écologie » (aussi écrit agroécologie) est relativement limité (environ 2 600 articles indexés dans les bases de données internationales depuis les années 1950). Néanmoins, l'étude du « monde vivant au champ » s'est rapidement développée et les passerelles entre l'écologie et les sciences agronomiques sont présentes aujourd'hui dans près de 6 000 articles indexés par an. Cet ensemble interdisciplinaire inclut des apports de l'écologie, des sciences de l'environnement, des sciences agronomiques et des sciences humaines et sociales. La dimension sociale et économique recouvre des enjeux de connaissance relatifs, par exemple, à la conception de nouveaux systèmes techniques et aux processus d'accompagnement des transitions, de partage et de généralisation des innovations.

L'ingénierie agroécologique vise à mobiliser les régulations naturelles pour développer et mieux équilibrer les services rendus par les agroécosystèmes. Celle-ci nécessite le diagnostic et la gestion de la biodiversité, des sols, des paysages et des cycles biogéochimiques. Elle repose donc sur des observations détaillées et sur des savoirs renouvelés. Les services rendus par la biodiversité cultivée peuvent être renforcés par des effets de complémentarité en associant plusieurs composantes (par exemple, l'agroforesterie), plusieurs espèces végétales (rotations longues, cultures intermédiaires, associations) ou animales (pâturage mixte), plusieurs variétés d'une même espèce (mélanges variétaux).

La diversité associée aux parcelles peut également être mieux utilisée en gérant les bordures ou en favorisant l'habitat de plantes auxiliaires. Cette valorisation de la biodiversité s'accompagne généralement d'une couverture accrue du sol (agriculture de conservation) et d'une augmentation de sa teneur en matière organique. Le fait de gérer individuellement ou collectivement une mosaïque

(1) CHEVASSUS AU LOUIS (B.), Refonder la recherche agronomique. Leçon inaugurale, *École supérieure d'agriculture d'Angers (ESA)*, 2006, pp. 57-101.

(2) CASSMAN (K.G.), Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture, *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 1999, pp. 5952-5959.



Photo © Mike Lane/ BIOSPHOTO

Plantation de manioc sous des palmiers à Lombok (Indonésie).

« Les services rendus par la biodiversité cultivée peuvent être renforcés par des effets de complémentarité en associant plusieurs composantes (par exemple, l'agroforesterie), plusieurs espèces végétales (rotations longues, cultures intermédiaires, associations) ou animales (pâturage mixte), plusieurs variétés d'une même espèce (mélanges variétaux). »

paysagère ou un territoire et d'intégrer cette gestion agroécologique dans l'aménagement et le développement d'un territoire peut permettre de mieux utiliser et de mieux préserver des ressources cruciales pour l'agriculture (l'eau et les sols) et de renforcer la régulation des bio-agresseurs et la pollinisation. Les transitions agroécologiques favorisent le bouclage des grands cycles en combinant une série de pratiques : fixation biologique d'azote, stockage de carbone et de nutriments dans la matière organique du sol, recyclage et valorisation des engrais de ferme, intégration des systèmes de culture et d'élevage. De manière complémentaire, la gestion de l'eau vise la conservation quantitative et qualitative de cette ressource afin de favoriser l'infiltration et la recharge des nappes, tout en limitant les pertes de nutriments par ruissellement et lixiviation.

Le paradigme de l'agroécologie conduit ainsi à une réflexion sur le pilotage des services rendus par les agroécosystèmes : services liés au sol, services de régulation biologique (renforcement des auxiliaires, pollinisation, biocontrôle), services écologiques à l'échelle du paysage (cycle de l'eau, épuration des rejets, recyclage) notamment.

Les arbitrages entre ces services dépendent, quant à eux, des valeurs qui leur sont accordées par des acteurs des filières, des territoires et des politiques publiques. La diversification des systèmes de production présente dans ce paradigme pourrait contribuer à renforcer leur résilience face à des aléas climatiques et biotiques (organismes invasifs, épidémies, etc.). Cependant, elle pose la question des débouchés commerciaux des productions et d'une diversification se limitant souvent à des marchés de niche et à des circuits de distribution locaux.

Changement climatique, sols et alimentation

Si, lors de la COP 21, qui s'est tenue à Paris en décembre 2015, 119 États ont pris des engagements de réduction de leurs émissions en agriculture, peu d'entre eux ont fourni des estimations chiffrées de l'effort qu'ils auront à fournir d'ici à 2030. Or, pour maintenir le réchauffement global moyen au maximum à 2°C en 2100, le secteur agricole devra réduire ses émissions d'au moins un milliard de tonnes de CO₂ équivalent par an d'ici à 2030, tout en

augmentant sa production. Cependant, le potentiel technique pour réduire les émissions associées aux pratiques agricoles utilisées ne permet d'atteindre que 20 à 40 % de cette cible ⁽³⁾, lorsque l'on prend en considération uniquement le méthane (fermentation entérique des ruminants, effluents d'élevage, rizières) et le protoxyde d'azote (fertilisations azotées minérale et organique des sols agricoles). Des leviers additionnels seront donc nécessaires pour éviter que le secteur agricole ne devienne le premier émetteur de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 et pour limiter les impacts négatifs du changement climatique sur la sécurité alimentaire.

C'est dans cette perspective que l'initiative ⁽⁴⁾ « Des sols pour la sécurité alimentaire et le climat, 4 pour 1 000 » a été lancée lors de la COP 21. Elle vise à renforcer la matière organique des sols mondiaux afin d'atteindre des objectifs complémentaires concernant la sécurité alimentaire, l'adaptation au changement climatique et la stabilisation du climat. En effet, les sols mondiaux constituent un réservoir contenant de deux à trois fois le stock de carbone présent sous la forme de dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère. Pour les sols agricoles, qui ont perdu historiquement de 50 à 70 % de leur teneur en carbone avant mise en culture, le potentiel technique annuel de stockage de carbone atteindrait de 5,5 à 8 milliards de tonnes de CO₂ équivalents ⁽⁵⁾. Les deux tiers de ce potentiel pourraient être mis en œuvre en quelques décennies à un coût correspondant au prix estimé de la tonne de CO₂ en 2050 dans un scénario à 2°C (environ 120 \$).

Les pratiques agricoles mobilisées à cette fin (agriculture de conservation, gestion des prairies, agroforesterie, recyclage de la matière organique, etc.) s'inscriraient dans le paradigme de l'agroécologie, mais elles seraient aussi compatibles avec de nombreuses technologies. La restauration de sols dégradés et salinisés, le déploiement de l'agroforesterie sur 6 % des terres agricoles, des replantations même limitées à 320 millions d'hectares et la régénération des forêts tropicales secondaires permettraient de doubler ce potentiel technique pour atteindre un stockage total de carbone dans le sol de l'ordre de 3,4 milliards de tonnes par an, soit l'équivalent de 4 pour mille du stock de carbone des sols mondiaux dans l'horizon de surface (de 0 à -40 cm). Cet objectif ambitieux de « recarbonisation » de la biosphère continentale permettrait de s'approcher de la stabilisation du CO₂ atmosphérique en multipliant par deux le niveau des engagements d'atténuation pris par les États au titre de l'Accord de Paris, engagements dont on sait qu'ils ne seront pas suffisants pour atteindre l'objectif des 2°C. Il renforcerait le potentiel agronomique des sols, les rendements et leur résilience au changement climatique, tout en contribuant à l'atteinte de plusieurs « Objectifs du Développement Durable » ⁽⁶⁾.

Après un changement de gestion, le stockage de la matière organique dans les sols est toutefois limité dans le

temps (30 à 50 ans). Par ailleurs, les risques de perte sont importants, et s'assurer que de bonnes pratiques de restauration des sols dégradés se maintiendront pendant plusieurs décennies représente un réel défi. Pour y répondre, de nombreuses barrières à l'adoption de pratiques vertueuses devront être levées. En outre, l'incitation économique devrait jouer un rôle central. Cependant, valoriser la matière organique du sol en la considérant comme un capital qui se transmet avec le foncier, rémunérer le taux d'accroissement (4 pour mille, par exemple) de ce capital et assurer les risques associés à la perte de celui-ci soulèvent des questions économiques et sociales d'une ampleur considérable.

Ces changements concerneraient potentiellement des millions d'acteurs ruraux, dont une partie vit encore en dessous du seuil de pauvreté, dispose de droits fonciers précaires et ne bénéficie que d'un faible niveau d'éducation. L'adoption durable de pratiques vertueuses pour les sols supposerait de surmonter ces barrières en consacrant des moyens significatifs à la formation, au renforcement et à l'équité des droits fonciers, à l'organisation de filières agricoles « bas carbone » et à la vérification des impacts de ces filières sur la matière organique du sol. La diversification des systèmes agricoles accompagnant cette transition écologique reviendrait à mettre sur le marché un plus grand nombre de commodités agricoles, mais dans des volumes unitaires moindres. Cela supposerait des évolutions des circuits de transformation et de distribution, évolutions qui dépendraient à leur tour des attentes nutritionnelles et des comportements des consommateurs.

Cet exemple illustre l'intégration des enjeux associés aux systèmes écologiques, agricoles et alimentaires, et des enjeux climatiques. Leurs évolutions couplées doivent être pensées à plusieurs échelles d'espace et de temps, en particulier grâce à des approches de modélisation. Or, celles-ci ne sont pas encore stabilisées et elles ne convergent pas toutes vers des mondes viables. Gageons qu'il sera possible, dans une société ouverte, de penser que l'homme appartient à la terre et qu'il emprunte celle-ci aux générations futures.

C'est à cet exercice que nous invitent les réflexions sur les évolutions du système alimentaire mondial sous contrainte climatique.

(3) WOLLENBERG (E.) et al., "Reducing emissions from agriculture to meet the 2°C target", *Global Change Biology*, 2016 (DOI : 10.1111/gcb.13340).

(4) <http://4p1000.org/>

(5) PAUSTIAN (K.) et al., "Climate smart soils", *Nature*, 2016 (DOI : 10.1038/nature.17174).

(6) <http://www.undp.org/content/undp/fr/home/mdgoverview/post-2015-development-agenda.html>, voir notamment l'objectif 15.3.