La recherche agronomique face au virage de la biodiversité

Par Philippe MAUGUIN
PDG d'INRAE
et Thierry CAQUET
Directeur scientifique Environnement d'INRAE

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 réalisées à l'échelle mondiale. L'un des enjeux de la recherche agronomique du XXIe 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 (l'eau, les sols, l'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 transitions agricole, alimentaire, écologique et énergétique, mais aussi le dérèglement climatique bouleversent les questions posées à la recherche agronomique. Dans le même temps, les limites du modèle de l'agriculture intensive sont apparentes : érosion de la biodiversité, pollutions, résistance des bioagresseurs, carences nutritionnelles, mais aussi stagnation des rendements et perte de valeur ajoutée pour les agriculteurs. Les atteintes à la biodiversité et aux ressources naturelles (eau, sols…) fragilisent les écosystèmes gérés, accroissent leur vulnérabilité et diminuent leur résilience à divers aléas. Contribuer au progrès des connaissances sur la biodiversité, sur ses propriétés et ses fonctions, mais aussi imaginer la mobilisation de ces connaissances au profit des transitions évoquées précédemment est une priorité pour la recherche agronomique.

Des constats convergents et alarmants

Des pressions accrues sur la biodiversité

Le constat dressé en 2019 par l'IPBES dans son évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques est clair (IPBES, 2019) : l'intensification et la multiplication des pressions sur la biodiversité sont notamment associées aux activités humaines et le changement climatique exacerbe certaines d'entre elles. Au travers des changements dans l'usage des terres et dans celui d'intrants, l'agriculture – en y incluant l'élevage – est l'un des principaux moteurs de l'érosion de la biodiversité. Ses impacts sont parfois amplifiés par des pratiques agricoles inadaptées.

Des menaces sur l'alimentation et l'agriculture

Le rapport de la FAO sur la biodiversité pour l'alimentation et l'agriculture [(1)] (FAO, 2019) 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, ou à celui des espèces ou des écosystèmes. La proportion des races d'animaux d'élevage en danger d'extinction est en

(1) Le sous-ensemble de la biodiversité qui contribue à la production agricole et alimentaire : plantes et animaux domestiqués, forêts exploitées, espèces aquatiques pêchées, espèces sauvages apparentées aux espèces domestiquées, autres espèces sauvages prélevées dans la nature à des fins alimentaires ou autres, et la « biodiversité associée », c'est-à-dire les organismes qui vivent au sein des systèmes de production alimentaire et agricole ou autour de ces systèmes, pourvoient à leurs besoins et contribuent à la production.

augmentation (26 % des 7 745 races locales recensées dans le monde sont menacées) 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'accentuent.

Des liens avec la santé qui se précisent

Même si les relations de causalité sont encore difficiles à établir, notamment en raison du manque de données et de la complexité des processus en cause, il existe des corrélations entre changements environnementaux globaux, perte de biodiversité et des services de régulation associés, et émergence, ou augmentation, de la prévalence de maladies infectieuses. Ainsi, une augmentation du nombre des épidémies au niveau mondial est observée depuis cinquante ans, avec une accélération depuis le début des années 1980 (Smith *et al.*, 2014). La pandémie en cours liée au coronavirus SARS-CoV-2 pose de manière dramatique la question des liens entre biodiversité et santé humaine. Même si l'origine du virus et les conditions de son passage à l'homme ne sont pas encore bien connues, des virus proches de lui ont été identifiés chez des espèces de la faune sauvage exploitées pour l'alimentation ou la pharmacopée (Liu *et al.*, 2020).

Les conséquences sur les systèmes agri-alimentaires peuvent parfois être majeures, soit directement (mortalité d'animaux d'élevage, par exemple dans le cas de la peste porcine africaine ou de l'influenza aviaire), soit indirectement (désorganisation des structures de production, manque de main-d'œuvre, ralentissement des échanges, protectionnisme…). La pandémie en cours conduit notamment à la réouverture de débats sur la résistance et la résilience des systèmes agri-alimentaires dans de nombreuses régions du globe et sur une possible évolution des politiques nationales visant à augmenter la souveraineté alimentaire.

Les avancées de la recherche agronomique

L'agriculture, au sens large, fait partie des pressions qui s'exercent sur la biodiversité. Mais la biodiversité, moteur des agroécosystèmes, est aussi au cœur de la production agricole et à la base des systèmes alimentaires.

La reconnaissance des rôles joués par la biodiversité en agriculture n'a cessé de croître ces dernières années. 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 reconsidérée au 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.

Tous les niveaux de la biodiversité (génétique, spécifique et écosystémique) sont concernés, au travers des recherches sur la dynamique et la gestion de la biodiversité : le rôle fonctionnel de la biodiversité à différentes échelles, y compris au sein des organismes (microbiote) ; les impacts de pressions multiples et des risques associés sur la biodiversité, sur la dynamique et la résilience des écosystèmes ; et le fonctionnement des écosystèmes et les services qu'ils fournissent, ainsi que les valeurs associées – des recherches combinant des approches socio-économiques aux approches biotechniques.

Décrypter la biodiversité et comprendre les fonctions qu'elle sous-tend

Des développements techniques importants ont été accomplis qui permettent de mieux décrire la biodiversité (séquençage de l'ADN ou de l'ARN, notamment) et les interactions entre espèces, ou de faire le lien avec les processus écologiques. L'exemple le plus marquant est sans doute celui de l'écologie microbienne des sols, qui a connu une véritable révolution grâce au développement d'outils d'extraction, de quantification et d'analyse de leur ADN (Ranjard *et al.*, 2013). Il est ainsi possible de déterminer la composition des communautés microbiennes qui y vivent, ce qui ouvre la voie au développement de référentiels de l'état biologique des sols (Terrat *et al.*, 2017). Les interactions entre les communautés de micro-organismes des sols et les végétaux sont aussi de mieux en mieux connues, à la fois dans leur rôle fonctionnel et dans leur histoire évolutive (Martin, 2019).

L'analyse du rôle de la biodiversité des micro-organismes et de leurs fonctions a aussi révolutionné la notion même d'individu, qui est centrale dans de nombreux domaines de la biologie et de l'agronomie. Les micro-organismes associés aux macro-organismes, ou microbiote, influencent profondément un grand nombre de fonctions biologiques de leurs hôtes, comme le développement, la nutrition, la reproduction ou l'immunité. Le phénotype d'un individu résulte de l'expression combinée du génome de l'hôte et de ceux de ses micro-organismes. De nouveaux concepts, comme celui d'holobionte (l'hôte et son microbiote) ou d'hologénome (l'ensemble des génomes de l'hôte et de son microbiote) ont émergé dans la communauté scientifique. L'écosystème à part entière que constitue l'holobionte est le théâtre d'interactions permanentes. Certaines bactéries entretiennent une relation mutualiste (symbiose) avec leur hôte, mais des conflits existent aussi entre les membres de l'holobionte. En plus de caractériser le cortège des micro-organismes associés à chaque hôte, les travaux qui sont menés sur des modèles divers permettent d'identifier la nature des fonctions supplémentaires que le microbiote assure au profit de ses porteurs, et d'en comprendre les impacts sur la biologie, l'écologie et le potentiel évolutif des hôtes. Les perspectives pour l'agriculture sont considérables, en particulier dans le cadre du développement de l'agroécologie (Briat et Job, 2017). Elles sont tout aussi essentielles pour la santé environnementale et humaine (Marteau et Doré, 2017).

La biodiversité, un patrimoine à conserver

La biodiversité actuelle est le fruit de l'évolution. C'est un patrimoine précieux qu'il convient de préserver, ce qui n'interdit pas d'utiliser les ressources qu'elle offre, mais de manière durable et dans un logique de bien commun, comme promu par l'Union internationale pour la conserva-



Photo © Jean-Claude Moschetti/REA

Culture *in vitro* de plants de pommes de terre à l'INRA, site de Ploudaniel.

« Les collections de ressources biologiques intègrent une large part de la diversité des espèces utilisées en agriculture ou présentes dans l'environnement en lien avec les activités agricoles. Elles rassemblent des populations issues de la domestication, ainsi que leurs apparentées sauvages. »

tion de la nature (UICN). Ces ressources sont essentielles pour imaginer l'agriculture et les systèmes alimentaires de demain. C'est l'objectif des centres de ressources biologiques (CRB) [2]. Les collections intègrent une large part de la diversité des espèces utilisées en agriculture ou présentes dans l'environnement en lien avec les activités agricoles. Elles rassemblent des populations issues de la domestication, ainsi que leurs apparentées sauvages. Au-delà de leur rôle de ressources pour des applications agronomiques actuelles et futures, ces collections sont aussi précieuses pour la recherche, par exemple pour la reconstitution de l'histoire évolutive des espèces (Wu *et al.*, 2018).

Un levier pour la transition agroécologique des agricultures

Le modèle agricole intensif s'est construit en opposant une biodiversité « utile » à une biodiversité « non utile », voire « indésirable ». En mobilisant les principes de l'écologie, l'agroécologie vise au développement de systèmes qui soient moins dépendants des intrants, plus durables et plus résilients vis-à-vis des conséquences du changement climatique. Elle place le vivant et la biodiversité au cœur de la reconception des systèmes agri-alimentaires (Wezel *et al.*, 2018). La démarche consiste à réintroduire ou à maintenir de la biodiversité dans les systèmes de façon à exploiter au mieux la gamme des conditions et ressources offertes et tirer profit de la complémentarité entre espèces au regard de leurs caractéristiques. Cela amène à passer du paradigme « individuel », qui consistait à se focaliser sur la biodiversité gérée et à obtenir l'individu le plus performant dans un environnement rendu optimal grâce à l'usage d'intrants, au paradigme « interaction et intégration », qui vise à obtenir des arrangements combinant biodiversité gérée et spontanée qui soient mieux adaptés à des environnements plus hétérogènes et changeants du fait de la présence d'une diversité d'individus, de variétés/races ou d'espèces (y compris en associant cultures et élevage). Leurs arrangements dans le temps et l'espace pourront s'avérer aussi plus efficients, car explorant mieux les ressources en eau et en minéraux, mais surtout plus résilients aux aléas en raison même de leur diversité.

L'agroécologie vise à valoriser les processus biologiques pour couvrir à la fois les attentes en matière de production et l'ensemble des autres services écosystémiques fournis par les agrosystèmes. À travers les pratiques, il s'agit de favoriser les fonctionnalités écologiques qui garantissent

(2) INRAE gère ou co-gère 28 centres de ressources biologiques (CRB) dans le cadre de l'infrastructure de recherche nationale Ressources agronomiques pour la recherche (RARe) créée en 2017.

la pérennité des agroécosystèmes (reconstitution de stocks de nutriments, maintien du potentiel productif…). La stratégie à déployer doit être réfléchie en fonction du panel de services écosystémiques dont on cherche à favoriser l'expression, dans un contexte donné de contraintes et d'opportunités de valorisation de la biodiversité et de ses fonctions (Gaba *et al*., 2015). Elle doit se concevoir comme une combinaison de leviers qui peuvent être mobilisés de façon complémentaire à plusieurs échelles d'espace et de temps (Duru *et al*., 2015). Elle implique aussi de considérer les productions animales comme un pilier majeur des processus à mobiliser (Caquet *et al*., 2020).

L'agroécologie doit se développer en cohérence avec les besoins de consommation et l'organisation de ceux-ci dans les territoires en s'inscrivant dans une dimension de système agri-alimentaire (Gliessman, 2006). Il s'agit de dépasser la simple logique d'optimisation pour reconcevoir des systèmes qui intègrent divers processus écologiques. Cela conduit à l'émergence de systèmes divers, aux trajectoires variées, qui s'ils sont mieux adaptés aux milieux et aux attentes sociétales, peuvent cependant impliquer des ruptures et une certaine prise de risque. Les systèmes mis en œuvre en agroécologie vont davantage dépendre d'effets de voisinage ou d'éléments du paysage que dans le cas des systèmes intensifs. La gestion devra donc prendre en compte des étendues spatiales supérieures à celles de la parcelle ou de l'exploitation (paysage, territoire). Ces questions de changement d'échelle sont complexes du fait que les solutions sont très dépendantes des conditions locales. Une autre des conséquences attendues est une tendance à l'augmentation de l'hétérogénéité des productions qu'il faut gérer, y compris dans ses aspects qualitatifs. Enfin, c'est l'ensemble de la chaîne de valeur qui doit évoluer, y compris les opérateurs intermédiaires (collecte, stockage), le secteur de la transformation et les consommateurs (Caquet *et al.*, 2020).

La nécessité d'adopter des approches intégrées de la santé

Les liens entre biodiversité et santé ont été clairement établis en ce qui concerne le rôle de la biodiversité en tant que vectrice de maladies. Ainsi, 60 à 70 % des maladies humaines émergentes sont causées par des agents pathogènes qui affectent aussi les animaux d'élevage et/ou sauvages (Jones *et al.*, 2008). Toutefois, les cycles naturels de vie des organismes infectieux sont difficiles à prévoir en raison de la multiplicité des hôtes potentiels, des réservoirs environnementaux et des interactions entre espèces et communautés au sein des écosystèmes. De manière réciproque, le rôle positif de la biodiversité sur la santé humaine est avéré (Aerts *et al.*, 2018).

Aujourd'hui plus que jamais il est donc primordial d'évaluer les liens environnement-santé, et notamment d'identifier quelles pratiques seront les plus à même de faciliter ou prévenir les maladies transmissibles et chroniques afin d'adapter nos modes de production pour limiter les risques associés, et cela en prenant en compte la configuration des agroécosystèmes et des organisations présentes à l'échelle des territoires.

Les priorités pour la recherche agronomique concernent notamment : l'analyse de la dynamique des agents pathogènes et de leurs vecteurs/réservoirs ; le développement d'alternatives aux substances classiquement utilisées pour protéger les cultures et les animaux d'élevage ; l'identification de pratiques prophylactiques et de pratiques qui réduisent la vulnérabilité des plantes et des animaux aux agents pathogènes et autres bioagresseurs ; la maîtrise de l'émergence et de la dissémination des résistances (notamment vis-à-vis des antibiotiques) ; le renforcement de la surveillance sanitaire et des approches prédictives, notamment en mobilisant les ressources et méthodes de l'intelligence artificielle, pour mieux comprendre et anticiper la propagation des maladies et des bioagresseurs.

L'intégration des dimensions de la santé humaine, animale et environnementale est appelée de leurs vœux par de nombreux acteurs. Elle peut, selon les contextes et les communautés concernées, se traduire par différents concepts globaux, par exemple *One Health* ou *Ecohealth* (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018). Le concept global *One Health* synthétise le fait que la santé humaine et la santé animale sont interdépendantes et liées à la santé des écosystèmes dans lesquels elles coexistent. Compte tenu des multiples facteurs en jeu et de la complexité des problématiques de santé publique, il est indispensable de prendre aussi en compte les aspects relatifs à la santé des écosystèmes dans une approche dite *EcoHealth*. Toutefois, en dépit de l'existence de différentes initiatives, parfois à l'échelle globale, l'intégration des dimensions médicale, vétérinaire et écologique pour analyser et comprendre les problèmes de crises et de catastrophes sanitaires, en amont de l'émergence des agents infectieux, n'est toujours pas d'actualité. La problématique ne relève pas uniquement de la recherche ou de l'expertise, mais aussi d'une démarche politique et de programmation multilatérale (Morand *et al.,* 2020).

Mise en perspective et conclusion

Le changement de paradigme que représente le fait de placer le vivant et la biodiversité au cœur de la reconception des systèmes agri-alimentaires ouvre des perspectives renouvelées pour la recherche agronomique. Au-delà des problématiques liées à la production et à l'alimentation, il s'agit de répondre à de nombreux enjeux, dont l'adaptation de la gestion des écosystèmes aux changements globaux (notamment climatiques), en adoptant des approches préventives : il s'agit d'apporter une attention particulière à une meilleure utilisation des régulations naturelles, ou encore au développement de solutions fondées sur la nature et la valorisation des services des écosystèmes et du capital naturel.

La pandémie liée au coronavirus SARS-CoV-2 et ses conséquences encore difficilement mesurables, mais sans nul doute considérables, posent de façon aiguë la question des conséquences à l'échelle globale des crises sanitaires, des crises qui peuvent parfois être liées à des altérations des écosystèmes provoquées par les activités agricoles. Elle amène la recherche agronomique à revisiter de nombreux domaines, bien au-delà de la santé animale,

végétale ou humaine, en questionnant la vulnérabilité et la résilience des systèmes agri-alimentaires face aux crises et à proposer des solutions pour le futur. Dans ce domaine également, les recherches sur et pour la biodiversité seront essentielles.

Bibliographie

AERTS R., HONNAY O. & VAN NIEUWENHUYSE A. (2018), "Biodiversity and human health: mechanisms and evidence of the positive health effects of diversity in nature and green spaces", *British Medical Bulletin* 127(1), pp. 5-22.

BRIAT J.-F. & JOB D. (2017), *Les sols et la vie souterraine. Des enjeux majeurs en agroécologie*, Versailles, Éditions Quae.

CAQUET T., GASCUEL C. & TIXIER-BOICHARD M. (2020), *Agroécologie – Des recherches pour la transition des filières et des territoires*, Versailles, Éditions Quae.

DESTOUMIEUX-GARZÓN D., MAVINGUI P., BOETSCH G., BOISSIER J., DARRIET F., DUBOZ P., FRISTCH C., GIRAUDOUX P., LE ROUX F., MORAND S., PAILLARD C., PONTIER D., SUEUR C. & VOITURON Y. (2018), "The One Health concept: 10 years old and a long road ahead", *Frontiers in Veterinary Science* 5, 14.

DURU M., THEROND O., MARTIN G., MARTIN-CLOUAIRE R., MAGNE M.-A., JUSTES E., JOURNET E.-P., AUBERTOT J.-N., SAVARY S., BERGEZ J.-E. & SARTHOU J. (2015), "How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review", *Agronomy for Sustainable Development* 35(4), pp. 1259-1281.

FAO (2019), "The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture", Rome, FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments.

GABA S., LESCOURRET F., BOUDSOCQ S., ENJALBERT J., HINSINGER P., JOURNET E. P., NAVAS M. L., WERY J., LOUARN G., MALEZIEUX E., PELZER E., PRUDENT M. & OZIER-LAFONTAINE H. (2015), "Multiple cropping systems as drivers for providing multiple ecosystem services: from concepts to design", *Agronomy for Sustainable Development* 35(2), pp. 607-623.

GLIESSMAN S. R. (2006), *Agroecology: the Ecology of Sustainable Food Systems*, Boca Raton, CRC Press.

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.

JONES K. E., PATEL N. G., LEVY M. A., STOREYGARD A., BALK D., GITTLEMAN J. L. & DASZAK P. (2008), "Global trends in emerging infectious diseases", *Nature* 451(7181), pp. 990-993.

LIU P., JIANG J. Z., WAN X. F., HUA Y., LI L., ZHOU J., WANG X., HOU F., CHEN J., ZOU J. & CHEN J. (2020), "Are pangolins the intermediate host of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2)?", *PLoS Pathogens* 16(5), e1008421.

MARTEAU P. & DORÉ J. (2017), *Le microbiote intestinal*, Londres, John Libbey Eurotext.

MARTIN F. (2019), *Sous la forêt : pour survivre, il faut des alliés*, Paris, Humensciences.

MORAND S., GUEGAN J.-F. & LAURANS Y. (2020), « De *One Health* à *Ecohealth*, cartographie du chantier inachevé de l'intégration des santés humaine, animale et environnementale », *Iddri Décryptage*, n°4/20.

RANJARD L., DEQUIEDT S., PRÉVOST-BOURÉ N. C., THIOULOUSE J., SABY N. P. A., LELIÈVRE M., MARON P. A., MORIN F. E. R., BISPO A., JOLIVET C., ARROUAYS D. & LEMANCEAU P. (2013), "Turnover of soil bacterial diversity driven by wide-scale environmental heterogeneity", *Nature Communications* 4, 1434.

SMITH K. F., GOLDBERG M., ROSENTHAL S., CARLSON L., CHEN J., CHEN C. & RAMACHANDRAN S. (2014), "Global rise in human infectious disease outbreaks", *Journal of the Royal Society, Interface* 11(101), 20140950.

TERRAT S., DEQUIEDT S., SABY N., HORRIGUE W., LELIÈVRE M., NOWAK V., TRIPIED J., REGNIER T., JOLIVET C., ARROUAYS D., WINCKER P., CRUAUD C., KARIMI B., BISPO A., MARON P. A., CHEMIDLIN PRÉVOST-BOURÉ N. & RANJARD L. (2017), "Mapping and predictive variations of soil bacterial richness across french national territory", *Plos One* 12(10), e0186766.

WEZEL A., GORIS M., BRUIL J., FELIX G. F., PEETERS A., BARBERI P., BELLON S. & MIGLIORINI P. (2018), "Challenges and action points to amplify agroecology in Europe", *Sustainability* 10, 1598.

WU G. A., TEROL J. F., IBÁÑEZ V., LÓPEZ-GARCÍA A., PÉREZ-ROMÁN E., BORREDÁ C., DOMINGO C., TADEO F., CARBONELL-CABALLERO J., ALONSO R., CURK F., DU D., OLLITRAULT P., ROOSE M. L., DOPAZO J., GMITTER F. G., ROKHSAR D. S. & TALON M. (2018), "Genomics of the origin and evolution of Citrus", *Nature* 554(7692), pp. 311-316.