

Comment nourrir neuf milliards de personnes sans détruire l'environnement ?

Pour sortir des contraintes malthusiennes, la recherche agronomique explore diverses voies. La plus connue consiste à faire porter les solutions par les semences en recourant à des transferts géniques. L'autre voie consiste à privilégier l'utilisation « intensive » des mécanismes écologiques des écosystèmes et d'y ajouter subsidiairement des techniques conventionnelles, à la condition que l'ensemble soit écologiquement cohérent.

par Michel GRIFFON*

Durant plus de deux décennies, la question de l'insuffisance de l'alimentation mondiale dans un futur proche ne s'était plus posée. Rappelons qu'elle n'avait jamais quitté l'actualité dans les années d'après-guerre et ce, jusque dans les années 1960, en raison de famines récurrentes en Asie (en particulier en Inde). Cette question avait été résolue grâce à la Révolution verte, un ensemble d'innovations technologiques basé à la fois sur l'amélioration génétique des plantes cultivées, sur un recours intensif à l'irrigation et sur l'utilisation massive d'engrais et de pesticides. Aux moyens technologiques s'ajoutait une politique agricole de soutien aux producteurs très volontariste. La Révolution verte était rien de moins que l'adaptation du modèle agricole « intensif » nord-américain et européen aux pays tropicaux en développement. Mais ce modèle et son adaptation aux zones tropicales sont entrés en crise tant du point de vue environnemental que du point de vue économique dans les années 1990. Peut-on, dès lors, espérer atteindre sans difficulté alimentaire le cap démographique des neuf milliards d'habitants, que notre planète devrait atteindre autour de 2050 ?

Par nature, l'agriculture a de tout temps dégradé les écosystèmes

La dégradation de l'environnement attribuable à l'agriculture est très ancienne. La chasse, avant même la naissance de l'agriculture, au néolithique, a entraîné l'extinction d'espèces animales remarquables. Une irrigation systématique a souvent entraîné, très tôt dans l'histoire, la salinisation des sols, rendant ceux-ci impropres aux cultures. Dès que les hommes ont dû déboiser pour créer de nouveaux espaces à cultiver a débuté un processus inéluctable de perte de fertilité des sols, de ruissellement des eaux pluviales (au détriment de l'infiltration et donc de l'alimentation des nappes phréatiques) allant, dans beaucoup de cas, jusqu'à la réduction de la pluviosité locale. Une dégradation générale de la fertilité, due au déboisement, avait d'ailleurs déjà été observée dans l'Antiquité, tant par les Grecs que par les Romains.

C'est pour lutter contre ces processus de dégradation que les sociétés ont inventé tout au long de l'histoire des tech-

niques de compensation : le labour (permettant de contrôler l'envahissement des mauvaises herbes qui concurrençaient les plantes cultivées), la traction animale (pour effectuer le labour et récupérer la fertilité procurée par les fumiers), les rotations des cultures dans l'espace (afin d'éviter la pérenniation locale de maladies et de ravageurs), le semis de légumineuses fourragères (pour apporter de l'azote aux cultures), etc. L'heureuse succession des innovations technologiques a toujours donné tort aux prédictions de Malthus, pour qui la croissance démographique (et donc, celle des besoins alimentaires) tendrait naturellement à dépasser la croissance de la capacité des hommes à produire des aliments, faute d'espace et de ressources naturelles. Mais la pensée malthusienne est directement issue de la situation que connaissait l'Europe au XVIII^e siècle, où les densités de population étaient très élevées et où l'espace était presque intégralement occupé par l'agriculture, ce qui générait des crises alimentaires. Or, c'est précisément une situation malthusienne équivalente qui a prévalu en Asie au milieu du XX^e siècle et qui a pu être résolue, grâce à la Révolution verte.

Les problèmes actuels de dégradation de l'environnement entraînée par l'agriculture sont des problèmes « post-Révolution verte ». On les retrouve aussi bien dans les agricultures européennes, dites « intensives », que dans toutes les agricultures tropicales utilisant intensivement les techniques conventionnelles. Ces problèmes sont nombreux. L'utilisation de grandes quantités d'engrais occasionne des déperditions d'éléments nutritifs (phosphates, nitrates), qui polluent les rivières, les nappes phréatiques et certaines zones marines. Les engrais azotés sont, par ailleurs, émetteurs de gaz à effet de serre. Le labour étant un utilisateur très important de carburant fossile, il contribue lui aussi à l'effet de serre, auquel contribue également la décomposition rapide de matières organiques (produisant du méthane) que provoque l'enfouissement des chaumes. Le labour favorise, par ailleurs, l'érosion et il contribue aussi à détruire le fonctionnement éco-systémique des sols, ce qui a pour effet d'en limiter la fertilité biologique. Pour protéger les cultures, l'habitude a été prise d'utiliser des herbicides, des insecticides, des fongicides et d'autres biocides présentant des risques pour la santé et l'environnement. La mécanisation a

façonné les paysages en faisant disparaître les haies, et la simplification des systèmes de production a abouti à ne cultiver qu'un petit nombre d'espèces et de variétés, le tout aboutissant à une forte réduction de la biodiversité. A l'échelle de la planète, le déboisement de la forêt tropicale (pour la création de pâturages ou de champs), lui aussi, réduit très fortement la biodiversité et altère le climat régional. L'excès d'utilisation d'eau pour l'irrigation des cultures fait baisser dangereusement le niveau des nappes phréatiques. Au total, dans la phase actuelle d'accroisse-

qu'est le pétrole brut. Ces besoins, dans leur version maximale, supposent un accroissement à la fois des surfaces cultivées et des rendements agricoles. Or, les surfaces cultivées sont limitées par la nécessité de protéger les forêts, et l'accroissement des rendements se heurte à des plafonds insurpassables depuis les années 1990, tout en entraînant des externalités environnementales négatives. Au total, l'accroissement des besoins se heurte donc à une situation à nouveau malthusienne, cette fois-ci, en raison de l'atteinte progressive de limites culturelles.



© Claudius Thiriet/BIOSPHOTO

« Le labour étant un utilisateur très important de carburant fossile, il contribue lui aussi à l'effet de serre, auquel contribue également la décomposition rapide de matières organiques (produisant du méthane) que provoque l'enfouissement des chaumes. Le labour favorise, par ailleurs, l'érosion et il contribue aussi à détruire le fonctionnement éco-systémique des sols, ce qui a pour effet d'en limiter la fertilité biologique ». Tracteur et charrue à gros disques.

ment des besoins alimentaires, les externalités négatives de l'agriculture prennent des proportions très importantes.

Une nouvelle équation pour l'avenir

La dynamique de ces externalités négatives risque de s'accroître, car les besoins adressés à l'agriculture ne font qu'augmenter. Non seulement la population s'accroît, mais l'émergence de classes moyennes dans les pays émergents connaissant une forte croissance économique, amplifie la demande en viande, laquelle multiplie les besoins en production végétale, et donc en terres nécessaires à la production des aliments pour les animaux de boucherie. A cela s'ajoute la demande, nouvelle, en biocarburants et en molécules diverses produites par l'agriculture visant à les substituer (potentiellement) à la matière première épuisable

Cette situation est d'autant plus malthusienne que d'autres limites se profilent à l'horizon. Les prix de l'énergie sont susceptibles d'augmenter, rendant le labour trop cher. Les engrais azotés, étant produits uniquement à partir du gaz naturel, risquent de connaître à moyen terme le même sort. Les engrais phosphatés sont eux aussi tirés de ressources fossiles et il sera de plus en plus difficile d'avoir accès à des gisements à haute teneur. Par ailleurs, les sociétés actuelles s'opposent de plus en plus à l'utilisation de produits phytosanitaires et ceux-ci sont en permanence rendus inefficaces par les mutations génétiques tant des maladies que des ravageurs, qui deviennent biologiquement résistants. Au total, c'est tout le modèle technique qui a permis d'importants gains de productivité depuis cinq décennies qui est donc ainsi potentiellement remis en cause. Enfin, le changement climatique peut introduire de

nouvelles contraintes, comme la nécessité de lutter contre les effets des sécheresses.

L'équation à résoudre est donc particulièrement difficile. Il faut, en effet, accroître la production par une augmentation des rendements, tout en inventant des bases nouvelles pour la fertilité et la défense des cultures, afin de réduire très significativement les atteintes à l'environnement et de s'adapter au changement climatique. De plus, cela doit être fait, dans beaucoup de cas, dans le cadre d'agricultures pauvres, car la très grande majorité des agriculteurs, dans le monde, sont des agriculteurs pauvres qui vivent dans le cadre d'agricultures familiales fonctionnant principalement en autosubsistance. Il y a donc là, pour la science et la technologie, un défi nouveau – et de taille – à relever.

Les solutions technologiques

Pour sortir des contraintes malthusiennes, la recherche agronomique explore diverses voies. La plus connue est celle des biotechnologies. Le principe (en simplifiant) consiste à faire porter (totalement ou partiellement) les solutions par les semences en recourant à des transferts géniques, cela en visant, par exemple, à long terme, la fixation symbiotique de l'azote (pour que la plante produise son propre engrais), la meilleure assimilation des minéraux (pour en accroître l'efficacité biologique), la résistance à certaines maladies et à certains ravageurs, l'enracinement profond des plantes cultivées (permettant de recycler des minéraux jusqu'ici peu accessibles) ou encore leur résistance à la sécheresse... L'intégration rapide d'un grand nombre de caractères génétiques de cette sorte ne peut être réalisée que par la seule voie des organismes génétiquement modifiés (OGM). L'obtention de telles performances reste difficile. Par ailleurs, cette voie est très critiquée (notamment en Europe) en raison des incertitudes pesant sur ses effets environnementaux et de ses risques pour la santé humaine (qui concernent, selon les cas, les produits agricoles ainsi obtenus et/ou les processus permettant de les obtenir). Cela ralentit le rythme des innovations, excepté aux Etats-Unis et dans un nombre limité d'autres pays. Mais, en termes de choix techniques visant à accroître les rendements agricoles, il n'y a aucune raison de faire porter tout le poids de l'adaptation aux nouvelles situations économiques et environnementales sur les seules semences. L'utilisation des OGM à l'échelle mondiale devrait donc être davantage raisonnée et raisonnable, en étant réservée à la recherche de solutions où leur avantage comparatif aurait été dûment démontré.

L'autre voie consiste à privilégier l'utilisation « intensive » des mécanismes écologiques des écosystèmes et d'y ajouter subsidiairement des techniques conventionnelles, à la condition que l'ensemble soit écologiquement cohérent.

Plus généralement, il s'agit d'utiliser les mécanismes naturels existants comme source d'inspiration technologique (bio-inspiration). Voici quelques exemples illustrant cette orientation possible :

La fertilité naturelle d'un sol est apportée par un cycle biologique fondamental, qui caractérise l'ensemble de la biosphère : la photosynthèse. Celle-ci utilise le CO₂ de l'at-

mosphère et la lumière solaire pour produire de la biomasse ; cette biomasse, par sa décomposition, produit de l'humus, qui, associé aux argiles, donne au sol sa structure meuble ; la matière organique se minéralise sous forme d'éléments nutritifs, que les plantes sont à même d'assimiler. Dans un écosystème naturel d'un pays tempéré, la totalité de la ressource en lumière est utilisée. Dans un écosystème agricole, le sol est nu durant une partie de l'année et sa capacité photosynthétique n'est donc que très partiellement utilisée, ce qui limite le fonctionnement du cycle de la fertilité. Le recours à des plantes dites « de couverture » occupant le sol pendant la période complémentaire à celle du cycle d'une culture donnée permet donc de tirer profit en continu du processus de la fertilité naturelle. On peut y ajouter (si nécessaire) des apports d'engrais (afin de renforcer la quantité d'éléments nutritifs dans le sol). L'ensemble des techniques qui utilisent ce cycle de la fertilité élimine le labour et ses inconvénients ; on les qualifie le plus souvent de techniques d'*agro-écologie* ou d'*agriculture de conservation*. Un autre processus de régénération de la fertilité naturelle utilise la capacité qu'ont la plupart des légumineuses (comme, par exemple, la luzerne) de fixer l'azote de l'air et de transformer celui-ci (en symbiose avec certaines bactéries) en composés azotés assimilables par les racines. Si ce processus de fixation de l'azote (propre aux légumineuses) pouvait être transféré à des céréales, cela réduirait considérablement les besoins des cultures en engrais azotés d'origine fossile. Autre exemple : le carbone joue un rôle important dans la constitution des molécules qui composent la matière organique des sols, et donc dans leur structure. De plus, sous sa forme simple de charbon de bois pulvérulent, il contribue directement à structurer les sols : il est en effet capable de fixer de nombreuses molécules organiques, de l'eau et certains nutriments. Des apports de carbone peuvent donc accroître la fertilité des sols, comme l'ont démontré diverses expérimentations.

Un autre grand domaine pour l'utilisation de mécanismes naturels en agriculture est celui de la lutte biologique et de la lutte intégrée. Ces techniques consistent à utiliser les chaînes trophiques existant dans la nature : par exemple, parasitisme par des champignons d'un insecte ravageur des cultures, ou utilisation d'un insecte qui soit un prédateur dudit insecte ravageur, ou d'oiseaux se nourrissant d'insectes ravageurs. La technique consiste donc à reconstituer des fragments d'écosystèmes pour obtenir un autocontrôle des envahisseurs biologiques (maladies et ravageurs). Il peut aussi s'agir de diffuser des hormones d'attraction des insectes mâles, puis de les détruire, ce qui réduit la prolifération du ravageur. Autre solution, encore futuriste : on peut rechercher les molécules que les plantes produisent par elles-mêmes afin d'assurer leur autodéfense, puis produire celles-ci en quantité industrielle pour la protection des cultures.

Des services écologiques

L'ensemble de ces techniques, lorsqu'on les combine entre elles dans un lieu donné, conduit à façonner un éco-



© Denis Bringard/BIOSPOTO

« Il peut aussi s'agir de diffuser des hormones d'attraction des insectes mâles, puis de les détruire, ce qui réduit la prolifération du ravageur ». Plaquette de phéromones dans une vigne pour lutter contre les chenilles.

système dans le sens de la production de « services écologiques » tant à des fins productives qu'à des fins de gestion de la biosphère. L'agriculture peut, en effet, fixer du carbone dans les sols et contribuer ainsi à réduire l'effet de serre. Elle serait d'ailleurs susceptible d'y contribuer davantage si l'on renonçait aux labours et si l'on réduisait les apports d'engrais azotés aux sols cultivés, ou encore les émissions de méthane par les herbivores d'élevage. Elle peut limiter le ruissellement des eaux de pluie en maintenant une couverture végétale permanente et donc favoriser ainsi l'infiltration dans les sols et la recharge des nappes phréatiques, ce qui représenterait un moyen important d'adaptation aux sécheresses. L'infiltration de l'eau dans les sols fait, par ailleurs, jouer à ceux-ci un rôle important d'épuration. Le retour des arbres comme habitat des oiseaux utiles aux cultures et la création de prairies combinant de nombreuses espèces végétales enrichissent la biodiversité, permettant aux insectes pollinisateurs (notamment aux abeilles) de trouver des ressources alimentaires supplémentaires. La plantation d'arbres près des cours d'eau améliore aussi la biodiversité et permet, grâce à leur enracinement profond, de recycler des éléments nutritifs migrant dans les sols qui, s'ils n'étaient pas captés par les racines, pollueraient les eaux (nitrates, phosphates). Par ailleurs, la reconstitution des terroirs sur une base de fonctionnalité écologique peut aussi améliorer la qualité esthétique des paysages. La tech-

nologie « écologiquement intensive » associe donc, en tant que « productions *adventices* » des techniques productives et des techniques de gestion, de précieux services écologiques. En ce sens, l'agriculture écologiquement intensive est une composante de la croissance verte recherchée aujourd'hui.

Au total, le recours à des techniques éco-systémiques (c'est-à-dire à des techniques inspirées par les fonctionnalités naturelles des écosystèmes, les techniques agronomiques conventionnelles venant en complément, mais de manière subsidiaire) permet à la fois d'offrir une alternative technologique à l'agriculture intensive actuelle et de produire des services écologiques devenus indispensables pour compenser la dégradation de la biosphère. Mais une telle évolution nécessite des investissements importants dans la recherche et dans les formations, ainsi que la définition de politiques agricoles et environnementales adaptées permettant, notamment, d'assurer les investissements nécessaires à la recapitalisation écologique dans la « trame verte » et la « trame bleue », et de garantir aux agriculteurs les revenus correspondant aux nouveaux services qu'ils assurent ainsi, pour le bien-être de tous, à l'ensemble de la société.

Note

* Directeur général adjoint, Agence Nationale de la Recherche.