

Les défis de l'agriculture



**Philippe Debaeke
et Sylvain Pellerin**
Directeurs de recherche
au Département Environnement
et Agronomie de l'INRA

Jacques Le Gouis
Directeur de recherche
au Département Biologie
et Amélioration des Plantes
de l'INRA

**Antonio Bispo, Thomas Eglin
et Audrey Trévisiol**
Ingénieurs de recherche
au Service Agriculture
et Forêts de l'ADEME

L'agriculture subit le changement climatique et, en même temps, elle y contribue par l'émission de gaz à effet de serre. Par conséquent, elle doit s'y adapter, mais aussi en atténuer les effets. Des solutions sont à rechercher du côté de la génétique et de l'agronomie.

Sous l'impact du changement climatique, la production agricole risque d'être notablement perturbée. Cela pourrait avoir de lourdes conséquences sur la sécurité alimentaire comme sur l'activité des marchés, à l'échelle tant locale que globale, dans un contexte de croissance démographique et de raréfaction des ressources – en eau, énergie, sols et phosphates.

L'agriculture doit impérativement s'adapter aux changements, réduire la vulnérabilité des cultures en les rendant moins sensibles et plus résilientes face aux évolutions de fond aussi bien qu'aux événements extrêmes. Cette adaptation passe par une modification des pratiques agricoles, une amélioration des variétés, mais aussi par le déplacement des aires de culture.

L'urgence reste toutefois la diminution des émissions de gaz à effet de serre. À l'échelle mondiale, l'agriculture est responsable de 13,5 pour cent de ces émissions – 31 pour cent si l'on tient compte des acti-

vités liées aux changements d'usage des sols, telle la déforestation. En France, cette contribution s'élève à 20 pour cent. La France veut diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre. Pour le secteur agricole une division par deux semble plus réaliste, même si elle reste ambitieuse.

Des cycles plus précoces

Pour quantifier les impacts du changement climatique sur la production des espèces cultivées, les chercheurs utilisent plusieurs méthodes, que ce soit des observations, des expérimentations ou des modélisations (voir l'encadré page ci-contre). Elles ont permis de comprendre quel est l'impact du changement climatique sur l'agriculture depuis plusieurs décennies déjà. La température étant le principal moteur du développement végétal, les chercheurs ont constaté une anticipation des stades clés, par exemple le bourgeonnement, la floraison ou la récolte pour l'ensemble des cultures, sous les climats

Si le blé a été pénalisé par les évolutions récentes du climat, il n'en a pas été de même pour d'autres espèces, telles que la betterave sucrière. Cultivée dans le Nord de l'Europe, elle a profité du réchauffement et de l'avancement de son cycle, sans être perturbée par une baisse de la disponibilité en eau. À l'image de la betterave sucrière, certaines espèces bénéficieront

Toute la complexité est là : les conséquences du changement climatique sont variables selon les espèces et les zones géographiques. Pour la France, le projet CLIMATOR conduit par l'INRA et soutenu par l'Agence nationale de la recherche (ANR) prévoit une hausse des rendements du blé compris entre 0,9 et 1 tonne par hectare. Cette hausse résulterait de l'accroissement de la concentration en dioxyde de carbone atmosphérique, favorable à sa photosynthèse. À l'inverse, les rendements du maïs irrigué baisseraient de 1 à 1,5 tonne par hectare, en raison du raccourcissement de son cycle et du fait que son métabolisme est insensible à l'enrichissement de l'atmosphère en dioxyde de carbone.

Pour les années à venir, les modélisations font apparaître des déplacements possibles des aires de culture. Dans certains cas, de nouveaux territoires deviendront cultivables. Au contraire, d'autres terroirs cesseront

Les stratégies d'adaptation

Pour limiter la vulnérabilité des cultures au changement climatique, plusieurs voies d'adaptation peuvent être envisagées. La première, explorée en priorité et facile à faire accepter, est la voie génétique. Elle consiste à sélectionner, chez les plantes, des stratégies dites d'esquive, d'évitement et de tolérance. L'esquive vise à décaler les stades les plus sensibles d'une culture, afin qu'ils n'adviennent pas en même temps que des conditions météorologiques défavorables. Ainsi, en cultures d'hiver, les grains de variétés plus précoces seraient mieux remplis, car soumis à des conditions plus tempérées. Ces stratégies sont parmi les plus étudiées aujourd'hui, parce qu'elles laissent espérer de bons résultats et que les mécanismes génétiques qui contrôlent les stades du développement sont de mieux en mieux connus.



En jouant sur une gamme de paramètres, tels que luminosité, température ou humidité, on étudie en laboratoire le développement de plantes dans de multiples conditions.

Pour identifier les meilleures voies d'adaptation au changement climatique, il faut pouvoir mesurer l'impact de ses différentes composantes. À cette fin, les chercheurs disposent essentiellement de trois méthodes.

La première consiste à étudier le développement des cultures en fonction des évolutions antérieures du climat. C'est grâce aux chroniques historiques, par exemple, que la stagnation des rendements du blé observée en Europe depuis une quinzaine d'années, a pu être corrélée à une dégradation des conditions thermiques et hydriques lors des phases sensibles des cultures.

Deuxième méthode, l'expérimentation en conditions contrôlées. On utilise notamment des phytotrons où les paramètres environnementaux sont modulables – température, humidité, concentration atmosphérique en dioxyde de carbone, rayonnement. L'évolution des fonctions physiologiques des cultures en fonction de ces paramètres peut ainsi être tracée. Toutefois, coûteux et de petite taille, ces dispositifs ne permettent pas de couvrir l'ensemble des combinaisons associant le climat, les sols, les espèces, les variétés et les pratiques agricoles.

La troisième méthode repose sur la modélisation. Il s'agit de simuler le comportement des espèces cultivées en réponse aux différents scénarios du changement climatique. Cette approche est la seule qui permette d'explorer le champ des possibles lié aux conditions futures. Ses résultats n'en demeurent pas moins soumis à de grandes incertitudes, en raison de la simplification des modèles et de l'incertitude inhérente aux modèles climatiques et socio-économiques.

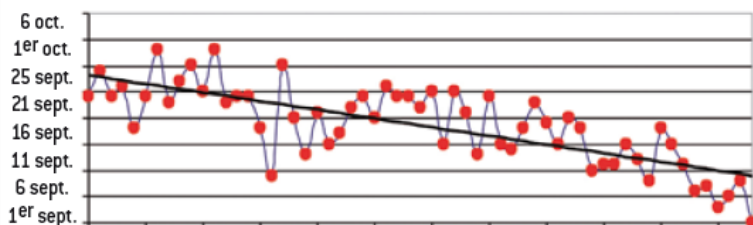
Les stratégies d'évitement visent, pour leur part, à limiter la sensibilité des plantes aux conditions défavorables. Il s'agit, par exemple, de favoriser l'accès à une ressource, via un système racinaire plus profond capable de capter de plus grandes quantités d'eau. Les pertes hydriques peuvent également être limitées en diminuant la surface des feuilles, ce qui a pour conséquence de restreindre l'évaporation. Enfin, les stratégies de tolérance reposent sur des processus physiologiques ou biochimiques qui facilitent

L'autre voie d'adaptation passe par l'agronomie. Pour répondre à l'avancement des stades de développement, des adaptations « tactiques » peuvent être mises en œuvre. Pour les cultures de printemps, par exemple, tels le maïs et le tournesol, on sème plus tôt des variétés tardives. Cette adaptation, déjà adoptée par les agriculteurs, a contribué à l'augmentation du rendement du maïs depuis une dizaine d'années en France. L'augmentation des températures précoces favorise la photosynthèse pour cette espèce d'origine tropicale.

Concernant la période 2030-2050, les simulations indiquent que l'avancement des cycles permettra de compenser, du moins en partie, l'élévation des risques liés aux précipitations.

Après 2050, le manque d'eau devrait se faire sentir, et l'effet des températures élevées serait plus marqué. Par la génétique et l'agronomie, on cherchera à sélectionner des espèces tolérantes aux températures extrêmes et à esquisser les périodes où le risque thermique est le plus élevé (décalage des dates de semis, variétés plus précoces). La demande en eau devrait augmenter pour compenser l'évaporation (par les feuilles) et la diminution des précipitations. Mais les ressources en eau sont déjà soumises à de fortes pressions, et il n'est pas évident que le recours à l'irrigation puisse être augmenté, ni même maintenu, étant donné l'augmentation de la demande.

Évolution du début des vendanges à Châteauneuf-du-Pape



Depuis 1945, la date du début des vendanges à Châteauneuf-du-Pape, dans le Vaucluse, a été avancée de près de trois semaines. Le cycle de développement des vignes s'est décalé en raison de la hausse progressive des températures moyennes ambiantes.

le développement de la plante dans des conditions défavorables : on sélectionne, par exemple, des enzymes dont le fonctionnement n'est pas altéré par des températures élevées.

Toutes ces approches font appel à la variabilité génétique naturelle des espèces cultivées, aux ressources génétiques conservées dans les collections ainsi qu'aux possibilités offertes par les biotechnologies. Elles se heurtent néanmoins à deux difficultés : d'une part, pouvoir anticiper précisément les conditions climatiques à venir pour sélectionner au mieux des variétés adaptées, notamment pour les espèces pérennes plantées pour plusieurs décennies ; d'autre part, réussir à combiner, au sein d'une même variété, des mécanismes d'adaptation à plusieurs contraintes, dont l'occurrence et l'intensité varient d'une année à l'autre et d'un endroit à l'autre.

Plus généralement, l'accentuation des aléas climatiques nécessitera de revoir le calendrier habituel des cycles culturaux, pour éviter au mieux les événements extrêmes pendant les périodes de croissance. Si le risque de gel diminue encore et si l'amélioration des variétés le permet, on pourrait aussi envisager des semis d'automne (qui nécessitent moins d'eau) pour des espèces semées jusqu'alors au printemps. C'est déjà le cas pour le pois.

Toutefois, l'avancée des cycles pourrait avoir d'autres conséquences néfastes, telles que des attaques d'organismes nuisibles, des maladies émergentes ou les dégâts causés par des températures trop basses. Cela compliquerait la recherche de solutions optimales. C'est pourquoi, malgré leurs imperfections, les modélisations aideront à identifier les voies les plus prometteuses et à tester divers scénarios.

Agir sur les causes du réchauffement
Quoi qu'il en soit, les possibilités d'adaptation au changement climatique dépendront avant tout de son ampleur, et donc de notre capacité à agir sur ses causes en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Responsable d'un cinquième de ces émissions à l'échelle de la France, l'agriculture joue un rôle important. Le protoxyde d'azote, dont le pouvoir de « réchauffement » est 300 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone, représente 50 pour cent de ces émissions. Étroitement associé à l'utilisation des engrais, il est produit par les sols cultivés lors des réactions de transformation de l'azote (nitrification et dénitrification). Le méthane contribue pour 40 pour cent, mais il est surtout associé à l'élevage. Quant au dioxyde de carbone, il correspond à seulement 10 pour cent du total des émissions et provient des énergies fossiles utilisées notamment par les machines agricoles.

En juillet 2013, l'INRA, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, ADEME, et les ministères en charge de l'agriculture et de l'éco-

logie ont présenté les résultats d'une étude indiquant comment une série de mesures permettraient de réduire les émissions de gaz à effet de serre de près de 32 millions de tonnes d'équivalent dioxyde de carbone par an.

Un tiers des actions préconisées donne lieu à un gain financier pour les agriculteurs. Elles correspondent surtout à des ajustements techniques : une utilisation mieux raisonnée des fertilisants azotés notamment, qui réduirait d'environ 25 pour cent les émissions de protoxyde d'azote. De même, des efforts plus soutenus en termes d'économies d'énergie (par exemple, une meilleure isolation des serres chauffées et des bâtiments d'élevage) conduiraient à diminuer de 20 pour cent les émissions de dioxyde de carbone, pour un gain estimé à 170 euros par tonne « évitée ».

Une deuxième série d'actions est envisageable et ce pour un coût limité : moins de 25 euros par tonne de dioxyde de carbone évitée. À titre d'exemples, citons la réduction de la fréquence des labours (coûteux en énergie), la production de biogaz à partir des effluents d'élevage (par le processus de méthanisation), le développement de l'agroforesterie pour favoriser le stockage du carbone dans les sols et la biomasse, ou encore l'accroissement de la part des légumineuses (espèces qui fixent l'azote) dans les cultures, afin de diminuer les besoins en engrais. Certaines de ces mesures nécessitent des investissements. Elles peuvent aussi entraîner une baisse modérée des productions, partiellement compensée par une diminution des charges. Les subventions associées à la tonne de dioxyde de carbone évitée auront donc une influence décisive pour la mise en œuvre de ces actions.

Enfin, la troisième série de mesures nécessiterait des dépenses plus élevées, supérieures à 25 euros par tonne de dioxyde de carbone évitée. Elle requiert l'achat de produits agricoles spécifiques, tels des inhibiteurs de nitrification, pour réduire les émissions de protoxyde d'azote, ou du



Dans le Nord de l'Europe, les rendements de la betterave sucrière (pour le sucre, l'alcool ou des biocarburants) augmentent avec le réchauffement climatique.

B. Brown/Shutterstock

temps de travail supplémentaire, tel que la culture de haies fixatrices de carbone. Bien que coûteuses, ces mesures contribueraient à la réduction des émissions, mais aussi à la qualité des paysages, la biodiversité et la lutte contre l'érosion.

Si l'agriculture doit réduire ses émissions, elle doit également gérer les sols qui sont des réservoirs de carbone. À l'échelle mondiale, le premier mètre de sol séquestrerait quelque 2000 gigatonnes de carbone organique, c'est-à-dire plus que la biomasse végétale et l'atmosphère réunies, représentant ainsi le premier réservoir de la biosphère. Les matières organiques, tels les débris végétaux ou les organismes qui peuplent le sol, sont les principaux acteurs du stockage et du déstockage. Le stock de carbone correspond au bilan entre les entrées (litière, résidus de culture, fumiers) et les sorties (respiration par les organismes du sol). Il est très variable selon le type de sol, le climat, l'occupation et la gestion des sols. Il est très élevé dans les pelouses d'altitude, dans les zones humides ou les

prairies, mais assez faible en viticulture, dans les zones méditerranéennes et de cultures intensives. L'enjeu est donc de préserver les sols qui représentent un « stock de carbone » important, mais fragile.

Par ailleurs, les mesures envisageables pour adapter les cultures et atténuer les effets du changement climatique étant souvent compatibles, elles pourraient être mises en œuvre simultanément. Toutefois, ce ne serait pas toujours le cas : l'accroissement des légumineuses réduirait les émissions de protoxyde d'azote, mais ces plantes sont très sensibles au manque d'eau. De même, les pratiques visant à augmenter les stocks de carbone dans les sols ou la biomasse, grâce à un couvert végétal plus important, risquent d'être remises en cause si la demande pour l'eau destinée aux cultures principales se renforce. La mise en œuvre et le suivi des mesures d'adaptation au changement climatique et d'atténuation nécessiteront de définir et d'examiner attentivement un ensemble de paramètres pour s'assurer de leur compatibilité.

Bibliographie

S. Pellerin et L. Barnière (coord.), *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?*, INRA, 2013.

N. Brisson et F. Levrault (éd.), *Le livre vert du projet CLIMATOR (2007-2010). Changement climatique, agriculture et forêt en France : Simulations d'impacts sur les principales espèces*, Ademe, 2010.