

méditerranéens et tempérés. Ainsi, pour le blé, la sortie des épis se produit de 8 à 10 jours plus tôt qu'il y a 20 ans. Variable selon les espèces, l'avancement des cycles n'est pas sans conséquences sur la production agricole: il entraîne une diminution du nombre de jours pendant lesquels les plantes captent le rayonnement du soleil qui assure la photosynthèse, ce qui réduit les rendements. Depuis 20 ans également, les déficits en eau ont augmenté pendant la phase de remplissage des grains de blé. Conjugués à une augmentation du nombre de jours où la température maximale dépasse 25°C, ils conduisent à des grains mal remplis, abaissant, là encore, les rendements.

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

du changement climatique, tandis que d'autres, plus nombreuses, en pâtiront, surtout dans les pays du Sud.

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

de l'être. La vigne et les cultures fruitières en pâtiront, car leur valeur économique est souvent associée au terroir de production.

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.



Pti Jan/Shutterstock

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.

Comment prévoir les effets du changement climatique ?

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.

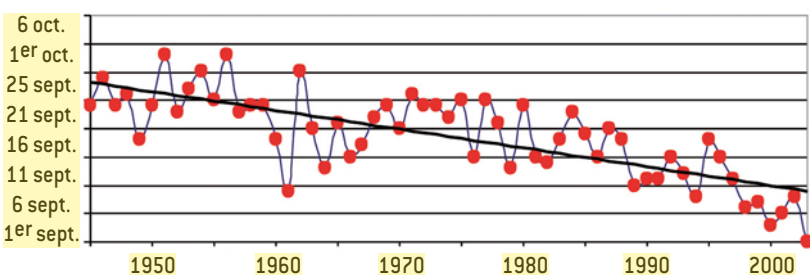
Les stratégies d'évitement visent, pour leur part, à limiter la sensibilité des plantes aux conditions défavorables. Il s'agit, par exemple, de favoriser l'accès à une ressource, via un système racinaire plus profond capable de capter de plus grandes quantités d'eau. Les pertes hydriques peuvent également 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-