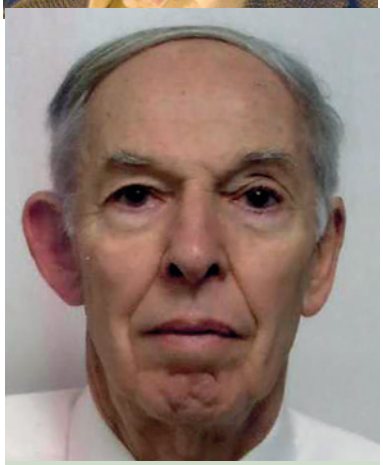

André Gallais,
Professeur émérite d'AgroParisTech
André Neveu,
Ancien adjoint au directeur de l'Agriculture et des Collectivités locales de la CNCA

André Gallais et André Neveu
Membres de l'Académie d'agriculture

Les adaptations nécessaires de la production agricole aux changements climatiques

Compte tenu de la vitesse d'évolution des changements climatiques, les Etats, les chercheurs et les agronomes doivent rapidement se mobiliser partout dans le monde.
Les changements climatiques auront inévitablement des conséquences importantes sur l'agriculture mondiale avec, souvent des baisses de rendements, ou une forte limitation dans leur progression, et une modification de la localisation des diverses productions.
Les solutions pour faire face à ces changements se situent à deux niveaux : une adaptation des techniques culturales et des systèmes de cultures, ou d'élevage, et un choix des espèces et des variétés cultivées mieux adaptées.

Les premiers effets du changement climatique sur les cultures seront probablement une réduction de la progression, voire une baisse, des rendements moyens.

Il est vraisemblable que, malgré l'accroissement du taux de CO2 dans l'atmosphère, les changements climatiques auront des effets négatifs sur les rendements de la plupart des cultures. Ceux-ci devraient baisser dans les zones les plus touchées par la sécheresse ou par des températures excessives pendant la période végétative. Sachant que leur pluviométrie est déjà faible, ce sont les régions de part et d'autre des tropiques dont la production agricole est la plus menacée. Peut-être peut-on craindre aussi dans de nombreuses régions du monde la multiplication d'évènements extrêmes, comme les cyclones ou les inondations qui détruisent les récoltes.

LES HAUSSES DE RENDEMENTS SERONT INFÉRIEURES AUX BAISSES

En revanche, d'autres régions peuvent bénéficier de meilleures conditions de production. Ce sera le cas des régions plus arrosées ou devenues moins froides. Les plantes cultivées dans ces régions pourront profiter d'une saison estivale plus longue, d'une photosynthèse amélio-

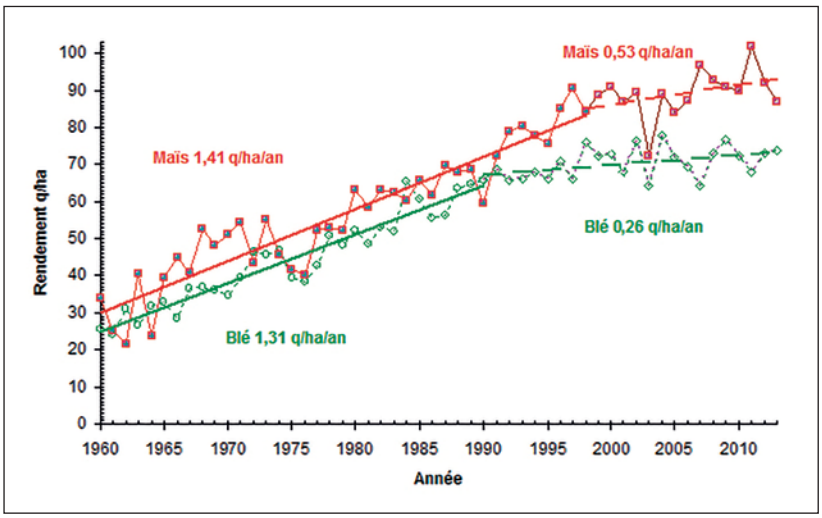

Figure 1. Evolution des rendements du blé et du maïs en France. On observe deux phases ; pour le maïs le ralentissement est plus tardif que pour le blé. Pour le blé environ 50 % du ralentissement de la progression du rendement est dû à l'augmentation de température (d'après Statistiques Agreste SCEES).

rée et d'une pluviométrie plus abondante. Il s'agit des zones tempérées les plus septentrionales de l'hémisphère nord (et leur symétrique dans l'hémisphère sud mais elles y sont peu étendues). Peut-être les régions au climat équatorial seront-elles aussi bénéficiaires de ces changements. Mais elles sont souvent couvertes de forêts denses qu'il est souhaitable de préserver.

Les cultures d'hiver (blé, orge, colza…) sont plus concernées que celles de printemps (betteraves à sucre, maïs…) surtout si celles-ci peuvent bénéficier d'une irrigation de complément. Depuis 15 ans, en France et en Europe, la progression des rendements en blé montre un fort ralentissement, dont de l'ordre de 50 % peut être expliqué par le réchauffement climatique (voir figure 1). Une plante comme le maïs est moins affectée que le blé, du fait qu'elle bénéficie de semis de plus en plus précoces qui compensent plus ou moins un effet négatif du réchauffement, mais on observe aussi un ralentissement dans la progression des rendements pour cette espèce. En revanche, la culture de la betterave sucrière bénéficie pleinement du changement climatique, puisque la progression des rendements en sucre n'a jamais été aussi élevée, et que plus de 60 % de cette progression serait due à un allongement du cycle végétatif par un semis plus précoce permis par le réchauffement.

Au niveau mondial, la culture du blé est sans doute la plus menacée. Car cette culture est souvent implantée dans des régions où la pluviométrie est déjà faible. Ainsi dans le sud de l'Europe et au Maghreb, dans les plaines d'Amérique du Nord au pied des montagnes rocheuses, en Russie, en Ukraine et surtout au Kazakhstan, ou encore en Australie. Pour le riz, tout dépendra des volumes d'eau disponibles et de leur pérennité. Mais on observe aussi un ralentissement, en partie dû au réchauffement climatique.

Au total, il semble probable que les hausses de rendement ne compensent pas les baisses bien au contraire. Un résumé des différentes études publiées figurant dans le dernier rapport du GIEC indique en effet que, dès 2030, les régions et cultures qui subiront des baisses de rendement seront plus nombreuses que celles bénéficiant du changement climatique.

UNE NOUVELLE RÉPARTITION DES PRODUCTIONS SUR LE TERRITOIRE

Le réchauffement climatique et ses diverses conséquences physiques, comme la modification du régime des pluies ou la montée des eaux des océans, conduiront à de multiples adaptations de la répartition des cultures dans le monde. On peut considérer comme probables :

- La quasi-disparition des cultures dans les zones au climat déjà très chaud et insuffisamment arrosées comme le Sahel, le Nord-est du Brésil, une partie de l'Afrique du Nord et du Moyen Orient. Car dans ces régions, outre le manque d'eau, des températures excessives pendant la période de végétation diminueraient la photosynthèse et donc réduiraient des rendements déjà fort médiocres.
- Dans les régions tempérées de l'hémisphère nord, les différentes zones de culture remonteront vers le nord. Ainsi le blé pourrait céder une partie de son aire d'implantation actuelle au profit du maïs (s'il est irrigué) et peut-être du sorgho qui résiste mieux à la sécheresse. Le tournesol pourrait remonter vers le nord et prendre pour partie la place du colza. Il peut en être de même de la vigne pour laquelle on peut craindre une baisse de qualité de certains grands crus.
- Suite au réchauffement climatique, le défrichement même très partiel des forêts canadiennes, scandinaves ou russes ouvrira peut-être

Avoir recours à des systèmes de cultures économes en azote et en eau : ici un blé sous couvert de pois.

de nouveaux espaces aux cultures ou, dans les régions les plus arrosées, à l'élevage. Toutefois les travaux de mise en culture seront très coûteux et les résultats incertains en raison de la pauvreté des sols (souvent des podzols acides) et de divers obstacles (moraines glacières, nombreux marécages et tourbières, lacs et rivières…). Une déforestation s'accompagnerait par ailleurs d'une augmentation de l'émission de CO2.

Les situations les plus dramatiques seront celles des îles aux terres basses, des polders et surtout des deltas fluviaux de l'extrême orient. Car la montée des eaux océaniques rendra ces régions, aujourd'hui très peuplées et très fertiles, impropres aux cultures. Outre un effondrement de la production agricole, on risque de voir s'y multiplier les drames humains avec des migrations climatiques incontrôlables.

Des phénomènes de même nature frapperont les forêts, notamment les espèces sensibles à la sécheresse.

Ces déplacements de zones de culture devront être réalisés avec prudence. Car ils génèreront la construction d'installations de stockage ou de transformation des récoltes, la création de moyens de transport etc…, et seront donc inévitablement sources de pollution.

DES EFFETS SUR LA QUALITÉ DES PRODUCTIONS

Le changement climatique affectera non seulement le milieu physique, mais aussi le milieu biologique : de nouvelles maladies apparaîtront, où bien elles se développeront plus vite. De même il est à craindre des dégâts d'insectes beaucoup plus importants. Enfin, la qualité des productions sera aussi affectée : ainsi, par l'augmentation de la teneur en CO2, il est attendu que la teneur en protéines des céréales (du blé) diminue de façon significative par une modification de la régulation de l'absorption des nitrates.

RÉPONDRE À UN TRIPLE DÉFI

Il s'agit de répondre au triple défi : nourrir 9,6 milliards d'hommes en 2050, respecter l'environnement et tenir compte du changement climatique. Les solutions proposées relèvent d'une part de l'atténuation, c'est-à-dire de la diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES) et du stockage du carbone, et d'autre part de l'adaptation des systèmes de culture aux nouvelles conditions climatiques. En ce qui concerne les émissions de GES, il faut agir sur les émissions de gaz carbonique (CO2), de protoxyde d'azote (N2O), et de méthane qui représentent respectivement 8 %, 51 %, et 41 % des émissions en équivalent CO2. Notons que la conception de systèmes de culture (en y incluant le choix des espèces et des variétés) pour limiter l'émission de GES et stocker du carbone, donc pour contribuer à l'atténuation, relève de l'adaptation. Nous ne considérons pas ici le problème de l'élevage (voir encadré), mais seulement celui des cultures qui peuvent lui être liées.

ECONOMISER L'EAU, L'ÉNERGIE ET L'AZOTE EN MAINTENANT UNE PRODUCTIVITÉ ÉLEVÉE

Si les aléas climatiques se multiplient, la monoculture et même des assolements simplifiés, tel le système colza-blé-blé fréquemment pratiqué sur les plateaux calcaires du centre de la France, devront être abandonnés pour y intégrer d'autres espèces et développer des rotations plus longues qui entraîneront plus de résilience. Le problème est de trouver des productions dont la rentabilité soit suffisante. En particulier, les légumineuses, surtout la luzerne, qui résiste très bien à la sécheresse, devront être intégrées dans la rotation. Comme elles sont sources d'azote pour les cultures suivantes elles permettront des économies de fumure azotée ce qui limitera l'émission de N2O qui contribue aux GES. Cependant cela demandera un réaménagement complet du territoire (relocalisation de l'élevage dans des zones où il a disparu) pour que l'agriculteur ait un débouché pour ses productions et de façon telle que l'on économise bien de l'énergie. En liaison avec l'élevage, l'introduction de prairies temporaires dans l'assolement sera aussi une façon de fixer du carbone.

Il faudra aussi avoir recours à différents systèmes de culture économes en énergie, en eau et en azote, comme les techniques simplifiées de travail du sol, la culture sans labour, l'utilisation de cultures intercalaires pour la couverture du sol, les cultures sous couvert (de légumineuses), les associations interspécifiques, en particulier avec les légumineuses, source d'azote. Dans certaines zones, l'agroforesterie sera à développer. Ces évolutions des systèmes de culture doivent s'appuyer sur les principes de l'agro-écologie et demandent de nouveaux travaux de recherches dans ce domaine.

RECOURIR À L'IRRIGATION

Le recours à l'irrigation constitue une parade à la multiplication des sécheresses. Faut-il encore disposer d'eau en quantité suffisante, la stocker pendant la saison des pluies et la mettre à la disposition des agriculteurs en période de sécheresse, ce qui demande l'aménagement de barrages de retenue. Bien entendu cela aura un coût élevé, et nécessitera des investissements conséquents et des arbitrages entre les différents utilisateurs.

Le plus souvent, les mesures que devront prendre les agriculteurs pour s'adapter à ce nouveau contexte climatique relèvent de leur propre décision de chef d'exploitation. Néanmoins, il est souhaitable que les pouvoirs publics, la recherche agronomique et les organisations professionnelles leur fournissent les éléments techniques leur permettant d'anticiper ces prises de décision et de faire les bons choix le moment venu. Enfin un réaménagement du territoire peut être nécessaire pour permettre un redéploiement des systèmes de culture associant agriculture et élevage.

REVOIR LE CHOIX DES ESPÈCES

Le changement climatique amène à se poser la question du choix des espèces cultivées. Ainsi en Europe, et surtout en France, une plante comme le sorgho, plus tolérante à la sécheresse que le maïs (Figure 2), pourrait remplacer celui-ci dans les zones au sud de la Loire, à condition d'investir suffisamment dans son amélioration. D'une façon générale, les plantes ayant une photosynthèse en C4 (plus économe en eau et peu affectée par la température) comme le sorgho et le maïs sont mieux adaptées que des plantes ayant une photosynthèse en C3 (comme de nombreuses céréales à paille, telles le blé et le riz). Cependant les plantes ayant une photosynthèse en C3 bénéficieront plus d'un assez fort enrichissement en CO_2 de l'atmosphère.

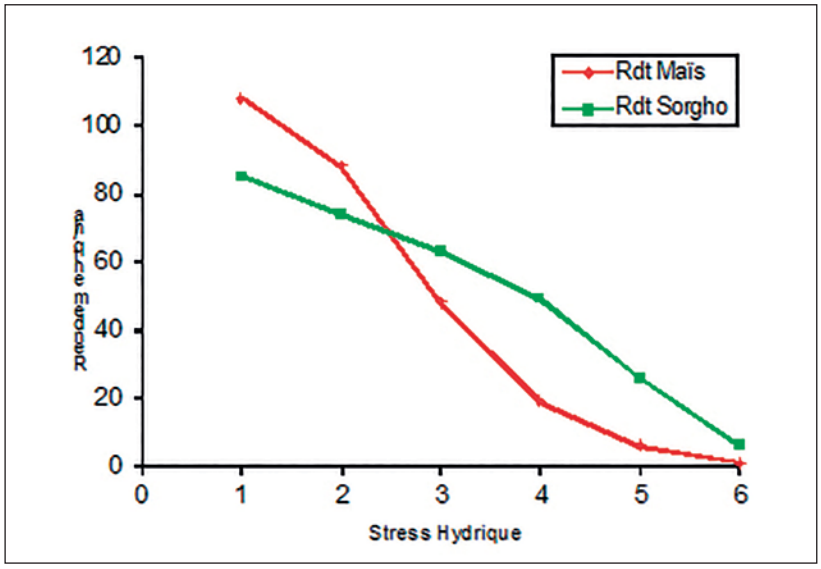

Figure 2. Réaction comparée au stress hydrique du maïs et du sorgho (étude réalisée en Espagne). Les degrés de stress hydrique correspondent à 100 mm, le niveau 1 correspondant à une alimentation de 500 mm, le niveau 2 à 400 mm, etc (d'après Farré et Faci, 2006).

Pour l'Europe, les légumineuses devraient faire l'objet de recherches plus intensives. Ainsi il n'y a pas de légumineuses à graines suffisamment améliorées (susceptibles de contribuer à diminuer les importations de tourteaux de soja) qui pourraient être introduites dans l'assolement pour diminuer l'apport d'azote et réduire les émissions de N2O. De plus elles permettraient de développer des associations graminées-légumineuses pour la production de grains ou de fourrages. Le soja lui-même pourrait sans doute être sélectionné : il l'était pour le sud de la France il y a 40-50 ans. Il serait important d'en reprendre l'amélioration. Le pois protéagineux peut présenter un grand intérêt, mais à condition d'avoir des variétés à rendement plus stable et plus résistantes à l'*Aphanomyces* (maladie qui est la principale cause de la régression de la culture du pois).

SÉLECTIONNER DES NOUVELLES VARIÉTÉS

Pour limiter les conséquences des baisses de rendement, la recherche agronomique doit contribuer à mettre au point, le plus rapidement possible en raison des délais inévitables, des variétés moins exigeantes en eau ou valorisant mieux l'eau, résistantes aux températures élevées (pendant la phase de remplissage du grain) et absorbant et valorisant mieux l'azote. Globalement il faut mettre au point des variétés plus résilientes, adaptées à des variations de températures, de disponibilité en eau et en azote. L'effort sur la résistance aux maladies devra être maintenu, puisque le réchauffement climatique se traduira par de nouveaux parasites. La tolérance à la salinité doit être recherchée dans certaines régions du globe. Il faudra rechercher des résistances durables, moins facilement contournées par les parasites. La résistance aux insectes sera à rechercher beaucoup plus qu'aujourd'hui (voir l'article sur les forêts dans ce dossier).

Le développement de la culture d'associations interspécifiques (par exemple graminées et légumineuses) et d'associations intra-spécifiques doit amener à sélectionner des variétés mieux adaptées à ces types de cultures. Il implique aussi d'investir plus sur l'amélioration des légumineuses. La variabilité génétique existe pour les différents caractères sur lesquels il faut agir et les outils actuels (marqueurs moléculaires, génomique, biotechnologies) devraient permettre d'avancer assez rapidement à condition d'investir suffisamment et de ne pas se limiter dans l'utilisation de certains outils, comme la transgénèse et la mutagénèse dirigées.

Le problème se pose aussi pour beaucoup de plantes cultivées dans les pays du Sud qui n'ont pas fait l'objet d'améliorations significatives et qui présentent des caractères d'adaptation intéressants. Bien évidemment, les changements climatiques les concernent aussi. Il faut donc élargir le domaine de la recherche à ces cultures.

MOBILISER DES RECHERCHES PLURIDISCIPLINAIRES

Les changements climatiques auront d'importants effets sur les productions agricoles, parfois positifs, plus souvent négatifs. En effet, les terres aux latitudes élevées bénéficieront de conditions climatiques plus favorables qu'aujourd'hui. Mais dans de nombreuses autres régions, l'accroissement de la température et la réduction de la pluviométrie s'ajouteront pour faire baisser les rendements des cultures ou limiter fortement leur progression, en particulier pour les céréales. Les agriculteurs seront contraints de revoir le choix de leurs productions, d'adapter leurs assolements et de modifier les techniques culturales qu'ils appliquent. D'une façon générale, au niveau mondial, l'introduction des légumineuses dans l'assolement sera favorable pour limiter l'émission de GES. En Europe, le sorgho pourrait être favorisé par rapport au maïs.

Pour faciliter ces évolutions tout en répondant aux défis de produire suffisamment pour "nourrir la planète" et de respecter l'environnement, la recherche agronomique doit rapidement se mobiliser et mettre au point de nouveaux systèmes de culture économes en intrants, limitant l'émission de GES. Cela passe par l'étude d'espèces plus ou moins délaissées, et la mise au point de variétés de plantes adaptées aux futures conditions climatiques telles que la tolérance à la sécheresse ou aux températures élevées et la valorisation de la fumure azotée. Cela demande un effort important de recherches pluridisciplinaires et donc la collaboration entre agronomes, bioclimatologistes et généticiens.

Ces travaux ne doivent pas se limiter aux grandes productions pratiquées dans les pays industrialisés mais s'ouvrir aussi aux productions jusqu'ici peu améliorées des pays du Sud. Sachant que les premiers effets des changements climatiques sont déjà perceptibles, il est urgent que les gouvernements et les organisations internationales dégagent les moyens nécessaires à la réalisation de ces travaux. ■