



Sécheresse et agriculture

Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau

Une Expertise scientifique collective réalisée par l'INRA
à la demande du Ministère de l'agriculture et de la pêche (MAP)

19 octobre 2006

Cadre de l'expertise

d'irrigation est exacerbé par la configuration du réseau hydrographique. Elles correspondent aussi aux cas où, comme en Beauce, le niveau de la nappe phréatique utilisée conditionne l'écoulement dans des rivières résurgentes.

Contexte

La sécheresse de 1976 avait été vécue comme un événement exceptionnel. Les sécheresses plus récentes, du début des années 1990 et surtout celles de 2003 et de 2005, ont été davantage perçues comme une des manifestations possibles du changement climatique annonçant un retour plus fréquent de ces "anomalies" qui, de statut de catastrophes, pourraient passer au statut de "normes". Dans l'esprit du grand public, et en accord avec la tendance annoncée par les modélisateurs du climat, le changement climatique associé à l'augmentation prévue de température une plus grande fréquence d'événements extrêmes comme les cyclones tropicaux, les tempêtes et les précipitations intenses qui leur sont liées et, à l'opposé, le fort déficit pluviométrique conduisant à des situations de sécheresse.

Dans ce contexte, marqué pour ce même public par des arrêtés préfectoraux réduisant, voire interdisant, l'arrosage des pelouses ou d'autres usages domestiques, la question de l'utilisation de l'eau par l'agriculture n'a pas manqué d'être posée par les médias. Les propos ou les écrits sur le sujet se sont essentiellement focalisés sur la question de l'utilisation de l'eau pour l'irrigation dans les situations géographiques les plus critiques. Ces situations sont celles du Sud-Ouest où le problème posé par la coïncidence des périodes de débit d'étiage et de plus fort besoin en eau

Périmètre et contenu de l'expertise

Pour faire face à des situations de crise comme celle de 2003 ou de 2005, il est apparu nécessaire que des décisions publiques ou privées puissent s'appuyer sur un état de l'art actualisé sur les relations entre agriculture et ressource en eau. C'est à cette fin qu'a été engagée l'expertise scientifique collective intitulée "**Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau**", commanditée par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche et pilotée par l'INRA, et qui associe des experts d'autres organismes de recherche (Cemagref et CNRS), de l'Université, d'Ecoles agronomiques... Cette expertise collective concerne le **territoire métropolitain** et se limite aux **zones agricoles *sensu lato*** (agriculture et élevage) à **l'exclusion des zones forestières** pour lesquelles une démarche parallèle a été conduite avec le GIP ECOFOR comme pilote en partenariat avec nos voisins allemands.

Il s'agit dans un premier temps de **faire le point sur la sécheresse** : en quoi se différencie-t-elle de l'aridité ? Quelle est son occurrence passée et prévisible ? A quels types spatio-temporels est-on confronté ? Quel est son lien avec la canicule ?

La relation de l'agriculture à la ressource en eau comporte deux volets : l'un de dépendance de la ressource et l'autre d'incidence sur la ressource.

. **Le maintien et le développement d'une agriculture dépendante de la ressource en eau** conduit à poser deux questions complémentaires :

- Comment satisfaire la demande en eau de l'agriculture ? C'est la question classique de l'augmentation de la ressource externe en eau en réponse à la sécheresse.
- Comment faire face à une ressource en eau moindre, qu'il s'agisse d'une diminution des précipitations en agriculture pluviale ou d'une diminution des ressources externes en agriculture irriguée.

L'augmentation de la ressource nécessaire à une agriculture projetée à l'identique de sa situation présente n'est pas le thème central de cette expertise. Les possibilités et les problèmes que cela peut poser sont du domaine de l'aménageur, et une expertise parallèle est conduite sur ce thème par le CGAAER¹ à la suite de celle déjà réalisée l'an dernier (Levy et al., 2005). Nous traiterons donc pour notre part la question de l'optimisation de la gestion de la ressource existante, en n'abordant que très marginalement la question des retenues collinaires.

La sensibilité des systèmes de production à la pénurie d'eau est en revanche au centre de notre étude. Elle concerne l'agriculteur producteur, qu'elle soit liée à un déficit pluviométrique et/ou à un déficit de ressources hydrologiques, ce dernier n'affectant que les irrigants ; au-delà de la sensibilité intrinsèque des plantes au manque d'eau, elle pose la question de l'adéquation des systèmes de culture à des contextes pédoclimatiques, intégrant l'aléa sécheresse qui impose une stratégie de prise en compte du risque. Elle déborde du cadre de l'agriculture *stricto sensu* et s'étend à l'élevage des herbivores, pour lequel l'adaptation au risque de pénurie fourragère liée à la sécheresse devient primordiale.

. **L'incidence de l'agriculture sur la ressource en eau** conduit elle aussi à aborder deux questions complémentaires :

- l'une est classique : comment réduire la quantité d'eau d'irrigation par l'amélioration des techniques d'irrigation et/ou la réduction des surfaces irriguées ?
- l'autre l'est un peu moins : comment jouer sur des combinaisons de systèmes de culture, incluant non seulement des systèmes irrigués (totalement ou en appoint) mais aussi des systèmes pluviaux. Au même titre que la forêt, l'agriculture agit sur les bilans hydrologiques et choisir tel ou tel système pluvial n'est pas sans incidence sur les quantités d'eau réalimentant les aquifères.

Finalité de l'expertise

La fonction assignée aux expertises de l'INRA n'est pas de faire des préconisations mais de mettre à disposition des pouvoirs publics et des porteurs d'enjeux les éléments

disponibles pour éclairer leurs choix. Dans cette optique, les objectifs retenus sont les suivants :

- **établir les bases physiques d'une gestion équilibrée de la ressource en eau**, la diversité des conditions pédoclimatiques et des ressources endogènes ou exogènes interdisant d'emblée toute généralisation ;
- **explorer les possibilités de mise en place de systèmes de culture et de production mieux adaptés** pour faire face au manque d'eau et les voies d'amélioration génétiques et agronomiques qui les concernent ;
- analyser au niveau national, et parfois par comparaison avec les états voisins concernés par la sécheresse, les **modalités d'action économique et politique** facilitant cette gestion équilibrée et/ou permettant aux agriculteurs de faire face aux aléas.

Le défaut de bases de données nécessaires à l'utilisation d'outils analytiques disponibles, comme les modèles de culture, nous conduiront alors à **identifier les besoins de recherche et les études à conduire** pour préparer des options régionalisées.

Une expertise scientifique collective pour dresser un état des lieux

L'expertise scientifique collective (ESCo) est une activité d'appui aux politiques publiques, qui consiste à demander à un collectif ad hoc d'experts d'analyser les connaissances scientifiques disponibles, pour en extraire, discuter et assembler les éléments pertinents pour éclairer des questions posées par un commanditaire extérieur.

Le champ, nécessairement précis, de l'expertise demandée est défini conjointement par le commanditaire assisté d'un Comité de pilotage qu'il réunit, et par l'INRA.

L'expertise "sécheresse et agriculture" est centrée sur la réduction de la dépendance de l'agriculture vis-à-vis de la disponibilité de l'eau, en situation où elle est limitée par la météorologie et par les possibilités de mobilisation de ressources hydrologiques. Elle aborde donc seulement de façon marginale la question de la création de ressources en eau pour l'irrigation, de même que celle des effets des évolutions de production envisagées pour gérer le risque de sécheresse sur les filières agricoles concernées.

L'expertise se situe au niveau de l'analyse générique de la problématique nationale. Elle ne pouvait ainsi avoir l'ambition de décliner des règles de répartition et de gestion de l'eau, ou de pilotage de l'irrigation, ni d'établir une liste exhaustive des méthodes ou techniques concernant chaque production dans la diversité de ses contextes régionaux.

L'expertise a été réalisée par un groupe de 25 experts de différentes disciplines (agronomie, sciences du sol, hydrologie, bioclimatologie, économie, sociologie...) et d'origines institutionnelles diversifiées, choisis pour leurs compétences scientifiques attestées par leurs publications. L'analyse porte principalement sur la bibliographie scientifique internationale ; elle peut être complétée par l'examen de références plus techniques, par exemple pour appréhender la diversité des situations agricoles locales.

¹ Conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux

Conclusions de l'expertise

Il est important de rappeler le cadre de ce travail : la France n'est pas menacée d'aridité et il faut d'entrée différencier la **sécheresse, événement accidentel** mais dont l'occurrence peut augmenter, de l'**aridité, situation de pénurie d'eau structurelle** à laquelle font face d'autres pays. La sécheresse n'est pas un événement nouveau et l'analyse climatologique a bien montré que le 20^e siècle tout entier était émaillé de sécheresses. La répétition récente du phénomène en 2003, 2004 et 2005, jointe aux prévisions de changement climatique qui indiquent une baisse de pluviométrie pour le sud de la France (même si les prévisions de pluviométrie sont moins fiables que celles concernant la température) justifient que l'on se préoccupe de la capacité de l'agriculture à s'adapter à une situation où la sécheresse deviendrait un événement plus récurrent.

La sécheresse ne provient pas de la seule pluviométrie. Elle est toujours le croisement du déficit pluviométrique cumulé, des conditions climatiques et des caractéristiques du milieu.

- Dans la **sécheresse édaphique**, ce croisement concerne la pluviométrie de la saison de végétation et les propriétés hydriques du sol (eau disponible) à l'échelle de la parcelle cultivée. Cette sécheresse affecte tous les agriculteurs (irrigants ou non) et les éleveurs.

- Dans la **sécheresse hydrologique**, ce croisement concerne la pluviométrie de l'automne et de l'hiver et les capacités de stockage du milieu à l'échelle d'un territoire, qu'il s'agisse de nappes phréatiques ou de ressources artificielles. Cette sécheresse affecte principalement les irrigants, mais aussi les autres usagers des ressources en eau.

Le périmètre de cette étude ne se limite pas aux seuls irrigants mais concerne bien l'ensemble des acteurs de l'agriculture, la part de l'agriculture non irriguée étant supérieure à 90% de la surface agricole utile.

Cette étude a un **double objectif** :

- l'**incidence de l'agriculture sur la ressource en eau**, bien public partagé avec d'autres usagers,
- le **maintien et le développement d'une agriculture confrontée à la sécheresse**.

L'analyse bibliographique conduite à cette fin a mis en évidence des consensus mais aussi des lacunes dans la bibliographie, qu'il s'agisse des publications scientifiques internationales ou d'études à caractère plus finalisé conduites à l'échelle régionale ou nationale.

- Les recherches se rapportent le plus souvent à l'aridité. En ce qui concerne les mécanismes physiologiques, la survie des plantes a été privilégiée par rapport à leur production en conditions de sécheresse compatible avec l'agriculture. De même, les recherches sur les systèmes de culture (assolements, successions culturales et itinéraires techniques) ont été le plus souvent menées dans des régions du globe à climat aride. Pour ce qui nous concerne, en

agriculture pluviale, dans nos climats tempérés, nous avons affaire à des alternances d'années sèches et d'années normales. De même, en agriculture irriguée, nos systèmes de culture peuvent faire se succéder des cultures diversement irriguées ou non irriguées avec les arrières effets des unes sur les autres.

- Les études, à caractère physique, portant sur les bilans hydrologiques, ont été réalisées sur des sites particuliers à l'échelle de la parcelle, ou au mieux du petit bassin versant, renvoyant à des études ultérieures l'appréhension de l'incidence du croisement "*climats x sols x systèmes de culture*" sur le bilan hydrologique d'un bassin versant d'envergure. L'utilisation des modèles écophysologiques pour réaliser de telles études, testée pour l'instant sur un nombre limité de cas illustratifs, demande de disposer de bases de données exhaustives sur le croisement "*sols x systèmes de culture*".

- Les mêmes remarques peuvent être faites quant aux études économiques ou sociétales. Elles concernent surtout des situations de fortes contraintes d'accès à la ressource et fort peu celles où la sécheresse reste un événement aléatoire qui doit être abordé comme un risque collectif.

1. Incidence de l'agriculture sur la ressource en eau

À l'échelle du territoire national, il est possible de donner un ordre de grandeur de la quantité d'eau restituée au milieu (drainage et ruissellement) : soit 360 mm, sachant que pour les 15 dernières années, les précipitations ont été en moyenne de 930 mm (avec un écart-type de 120 mm). Cette estimation, obtenue en supposant le sol uniformément couvert de prairie est très proche de la règle classiquement enseignée : "**les deux tiers de la pluie servent, en moyenne annuelle, à l'évapotranspiration, le tiers restant s'en va à l'exutoire**". Bien entendu, cette règle ne correspond qu'à une moyenne à l'échelle du territoire et est susceptible de fortes variations à l'échelle locale en raison de la très forte hétérogénéité de la pluviométrie, des sols et de la profondeur exploitée par les racines.

Notons que tout essai de réduction de l'évapotranspiration, en jouant sur les propriétés de réduction de la transpiration des végétaux, aurait pour conséquence un réchauffement de la température de l'air en raison **du lien entre le bilan hydrique et le bilan énergétique de surface**. Pour une petite région comme la Crau, un écart de température de surface du sol de 20 à 25°C en juillet entre Crau sèche et Crau humide conduit à des écarts de température de l'air de l'ordre de 3°C. Ce lien physique entre sécheresse et canicule a contribué aux épisodes caniculaires marquants de 1976 et de 2003.

Revenant au bilan hydrologique, dans les conditions réelles du milieu, l'échelle pertinente n'est pas l'échelle nationale mais bien **l'échelle du bassin versant**. Il n'y a pas de règle générale applicable pour préconiser des pratiques conduisant à telle ou telle valeur de restitution au milieu. Tout dépendra du **caractère endogène ou exogène de la**

ressource en eau mobilisée. Pour l'illustrer, comparons deux régions françaises méridionales : le Sud-Est méditerranéen et le grand Sud-Ouest. C'est dans la première que le bilan Pluie – Evapotranspiration potentielle est le plus déficitaire et que l'irrigation à l'hectare est la plus forte (proche de 400 mm). C'est pourtant dans la seconde, où l'irrigation moyenne est inférieure de plus de moitié (environ 150 mm), que la question de la restitution au milieu est plus aiguë car, soit la ressource est totalement endogène (Charente-Poitou), soit les ressources exogènes aux zones cultivées (canal de la Neste en Midi-Pyrénées) sont plus modestes que celles apportées par le Rhône ou la Durance.

Ce point est important pour la mise en place de **négociations entre acteurs** : celles-ci doivent être conduites dans un **cadre contraint par des considérations d'ordre physique** qui résultent, à l'échelle du bassin versant, du croisement entre conditions climatiques, caractéristiques pédologiques, caractéristiques des réseaux hydrographiques, nature et importance des ressources endogènes et exogènes.

La **restitution au milieu** s'exprime par : $D + R - I$, où D est le drainage vers les nappes, R le ruissellement et I l'irrigation. La relation entre ce terme et la totalité de la ressource (Pluie + ressources exogènes) que l'on souhaite atteindre est un préalable à toute étude ayant pour objectif de fixer des proportions de systèmes de culture dans le cadre d'accords de gestion volumétrique.

Si les ressources proviennent de nappes on pourra raisonner la durabilité des pratiques par une **approche de type bilan de réservoir**. Le raisonnement sera pertinent à l'échelle annuelle car, pour descendre à une échelle temporelle plus fine, il faudrait disposer d'études hydrogéologiques tenant compte des temps de réponse des différents aquifères. Si les ressources proviennent de cours d'eau, le raisonnement ne pourra pas être tenu à l'échelle annuelle car le besoin d'irrigation est le plus fort au moment de l'étiage et de ce fait, c'est une **approche en termes de débit** et non plus de réservoir qu'il convient d'avoir.

Dans tous les cas, c'est bien sur un ensemble de systèmes de culture irrigués et pluviaux que le raisonnement doit porter. L'agriculture contribue, en effet, via des systèmes de culture qui maintiennent le sol sans végétation active sur de longues périodes, à une réalimentation des nappes plus importante que celle résultant des surfaces non cultivées comme la forêt et la prairie. L'agriculture n'est donc pas exclusivement une consommatrice d'eau. En valeur relative par rapport aux surfaces naturelles, elle couple les deux rôles de consommateur et de contributeur. Dans les débats à engager à l'échelle du bassin versant, il existe ainsi une **interdépendance de fait entre l'agriculture irriguée et l'agriculture pluviale**.

Aussi, pour aller plus loin dans des conclusions sur ce sujet, il faut engager des études mettant en œuvre des simulations sur des bases de données croisant sols x climat x systèmes de cultures à l'échelle des territoires au sein desquels se posent les problèmes de gestion de la ressource en eau. Nous y reviendrons dans le paragraphe suivant.

2. Maintien et développement d'une production agricole en conditions de sécheresse

Ce thème conditionne le premier, car pour inviter l'agriculteur à s'investir dans la préservation de la ressource il faut pouvoir lui présenter des modes alternatifs de production qui lui permettent d'assurer un revenu à son exploitation et de maintenir sa capacité à cultiver.

L'expertise a exploré deux pistes : l'amélioration des espèces cultivées ou pâturées, la mise en place de systèmes de culture et d'élevage aptes à assurer une production rentable tout en étant plus économes en eau.

2a. La voie génétique

Il est important de bien faire la **différence** entre les résultats concernant la **survie** et ceux concernant la **production**. Si la survie des plantes est essentielle (par exemple pour la reprise de végétation herbacée après la sécheresse), ce qui intéresse principalement l'agriculteur, c'est une plante continuant à produire en conditions de sécheresse. Or, il n'est **pas de production possible sans transpiration du végétal**. Toute réduction drastique de sa consommation d'eau aurait pour effet non seulement d'augmenter le risque de stress thermique en augmentant la température du végétal, mais aussi de pénaliser la photosynthèse en raison des communautés de processus entre les échanges d'eau et de gaz carbonique. La tolérance à la sécheresse consiste donc principalement à optimiser les échanges d'eau et de carbone, plus qu'à insérer des gènes intrinsèques de résistance comme dans le cas de la résistance aux herbicides ou de la survie des plantes à l'aridité. Des marges importantes de progrès existent pour cette optimisation dans nos conditions climatiques, **l'amélioration génétique vis-à-vis de l'efficacité de l'eau** (matière sèche formée par unité d'eau dépensée) n'ayant jusqu'ici été mise en œuvre avec efficacité que dans des conditions d'aridité (comme en Australie pour des précipitations annuelles inférieures à 500 mm).

La sélection génétique menée ces vingt dernières années a abouti à des progrès de production en conditions sèches. En particulier, la sélection chez le maïs a permis une réduction de la sensibilité à la sécheresse pendant la floraison (période critique) en améliorant le maintien de la croissance reproductive en conditions sèches. On pourrait donc dès maintenant envisager une réduction de l'irrigation pendant cette phase.

Les voies d'amélioration pour l'avenir passent par **trois stratégies** :

- La stratégie d'**esquive** consiste à déplacer les cycles culturaux dans l'année pour que les plantes soient soumises à des demandes évaporatives plus faibles (variétés précoces ou à cycle court). La plus faible sensibilité aux déficits estivaux est cependant accompagnée d'une réduction du rendement potentiel par suite de la plus faible valeur du rayonnement intercepté et donc, de la photosynthèse.

- La stratégie d'**évitement** consiste à réduire la transpiration par une réduction de la croissance. On diminue ainsi le risque de perte totale de rendement mais la réduction des échanges gazeux qui accompagne la réduction de la croissance conduit là aussi à une réduction du rendement potentiel. L'augmentation de la vigueur racinaire participe de cette stratégie ; elle a un coût en termes de biomasse investie et ne se justifie qu'en sol profond.

- La stratégie la plus prometteuse actuellement consiste au contraire à essayer de **maintenir de façon raisonnée la croissance pendant les périodes de sécheresse, en privilégiant les organes essentiels** pour la production. Cette "reprogrammation" de la plante met en jeu les signaux de stress, les mécanismes de croissance et l'ensemble du métabolisme de la plante. Elle sollicite conjointement les domaines de compétence de la génétique, de la génomique et de la modélisation.

En conclusion, s'il ne faut pas attendre de "miracles" de la génétique pour obtenir une production abondante en situation de sécheresse, des marges de progrès existent pour conférer à des espèces existantes des caractéristiques de tolérance. Pour disposer d'évaluations fiables de la tolérance à la sécheresse de variétés existantes ou à venir, il serait souhaitable de **mettre en place des protocoles standards d'évaluation** dans le cadre d'essais conduits lors des tests préalables à l'inscription des variétés.

2b. La voie des systèmes de culture

Les cultures fruitières étant le plus souvent irriguées et situées principalement dans le Sud-Est, région de ressources en eau exogènes et abondantes, nous nous concentrerons sur les systèmes de culture annuels et les fourrages.

Notons tout d'abord que **l'élevage est plus sensible à la sécheresse que l'agriculture *stricto sensu*** pour deux raisons :

- pour une même sécheresse, à une baisse de production du blé de 20% pourra correspondre une baisse de production fourragère de l'ordre de 50%,

- la consommation des animaux étant peu plastique sur une longue période, l'anticipation est indispensable pour l'éleveur s'il ne veut pas "décapitaliser" en réduisant son cheptel.

Malgré son effet bénéfique sur le plan phytosanitaire, la sécheresse a, de façon générale, un **effet négatif sur la culture** : levée tardive et irrégulière, enracinement médiocre, mauvaise utilisation des engrais, surface foliaire moins développée. Il en résulte une **production inférieure en quantité** (nombre de grains, remplissage des grains), l'effet étant variable sur la qualité (baisse de teneur en huile des oléagineux mais augmentation en protéine du blé par exemple).

Les possibilités d'adaptation ne se réduisent pas à l'irrigation. Elles concernent également l'agriculture pluviale, qui occupe plus de 90% des surfaces cultivées et qui est

très directement affectée par cette sécheresse. Ces **adaptations passent par des changements de systèmes de cultures** ou de leurs parts relatives, et par des adaptations d'itinéraires techniques au sein de ces systèmes.

Les systèmes intrinsèquement les moins vulnérables sont les **systèmes à base de cultures d'hiver** qui font coïncider le parcours phénologique de la culture avec les périodes de plus forte ressource (pluie) et de plus faible demande (évapotranspiration potentielle moindre).

Pour ce qui concerne les cultures d'été, il existe des marges de manœuvre par la stratégie d'"esquive" évoquée plus haut, par le biais de **variétés précoces ou à cycle court**. Ceci étant, les pistes les plus intéressantes sont celles offertes par des espèces couplant l'évitement (meilleur enracinement et/ou surface foliaire moins développée) et des caractères de tolérance.

Les deux espèces qui ressortent clairement sont le tournesol et le sorgho, espèces qui ont fait conjonctuellement l'objet des adaptations déjà réalisées par les agriculteurs lorsque l'annonce de la sécheresse a pu être faite suffisamment tôt.

Le **tournesol** est connu pour sa teneur en huile et ses possibilités d'utilisation bioénergétique. Il présente des variétés précoces qui, ajoutant l'esquive à l'évitement et à la tolérance, en font un excellent candidat à un assolement alternatif en situation de sécheresse. Il est toutefois handicapé aujourd'hui par son défaut de productivité et par la faible marge brute induite.

Le **sorgho** cumule plusieurs avantages : thermophile dans un contexte de réchauffement climatique, il peut être cultivé en pluvial. Lorsqu'il est irrigué, il a des besoins en eau nettement inférieurs à ceux du maïs et malgré une production inférieure à ce dernier, la marge brute qu'il dégage n'est pas très éloignée en raison de la plus faible part des charges associées à sa production. Ses débouchés (potentiels sinon actuels) existent dans l'alimentation animale (les élevages espagnols et américains y ont recours). Le principal problème pour le maintien de la marge brute en situation d'augmentation de la production réside dans la **nécessité de structuration de la filière**.

Qu'il s'agisse du tournesol ou du sorgho ou de toute autre culture présentant des caractéristiques voisines, le bénéfice attendu concerne aussi bien la production (système d'auto-protection en situation de pénurie d'eau tant en pluvial qu'en irrigué) que la ressource en eau. En effet, pour le tournesol, la consommation d'eau est antérieure à la période aiguë de pénurie et pour le sorgho, même irrigué, elle est inférieure à celle du maïs pendant la période estivale.

S'agissant des **itinéraires techniques**, l'adoption des techniques de l'aridoculture (travail du sol réduit, apport de fertilisants au semis, forte réduction de la densité de semis) n'est pas justifiée dans les situations de sécheresse que nous connaissons actuellement. Si ces techniques s'avèrent efficaces occasionnellement, leurs effets restent marginaux. Néanmoins, selon la disponibilité en irrigation, les doses d'intrants chimiques et minéraux doivent être adaptées au potentiel de rendement accessible.

L'essentiel des améliorations attendues des itinéraires techniques portent sur les **doses** et le **rythme des apports** d'irrigation. Il faut à ce propos distinguer clairement les situations d'irrigation à partir de cours d'eau, de nappes alluviales, de lacs ou de canaux, de celles effectuées à partir de nappes phréatiques. Dans le premier cas, les outils existants d'optimisation des apports trouvent leur pleine application dans une économie d'eau qui bénéficie à la fois à l'agriculteur, dans la mesure où elle optimise la surface irrigable à partir de volumes d'eau fixés, et aux autres usagers, dans la mesure où elle permet de réduire les débits de prélèvements pendant les périodes d'étiage. Dans le cas du pompage d'eau de nappes, sans négliger l'intérêt pour la qualité de l'eau d'une irrigation plus économe, l'incidence des doses d'eau sur la gestion de la ressource peut être moins problématique puisque l'eau apportée éventuellement en excès retourne vers la nappe dans un délai plus ou moins long cependant. Dans ce dernier cas, le maintien de la ressource en eau sur le long terme passe par le **couplage de l'optimisation des doses d'irrigation avec une action sur la répartition des différents systèmes de culture**.

Il n'existe **pas de règle générale pour répondre à la question du meilleur "panier" de systèmes de culture**. Le seul cadre pertinent à l'établissement d'une règle est le bassin versant, avec comme conditions déterminantes les réponses aux questions suivantes :

- quels sont la part et le mode d'utilisation des ressources en eau endogènes et des ressources exogènes ?
- quels sont les temps de réponse des aquifères mobilisés ?
- quels sont les temps de réponse des exutoires ?

Dans ce cadre, il est important d'insister sur le couplage des différents systèmes de culture au sein d'un même territoire à ressource en eau endogène : **la part et le type des systèmes pluviaux interviennent dans la gestion globale des ressources en eau** au niveau local, ce qui influe fortement sur les possibilités d'irrigation au niveau du bassin versant au même titre que la part et le type des différents systèmes irrigués (en irrigation totale ou en irrigation de complément).²

Pour chiffrer les bénéfices attendus de tel ou tel système pluvial sur le pourcentage allouable à des systèmes irrigués, il est nécessaire **d'entreprendre des études spécifiques** croisant les distributions **climat x sols x systèmes de culture**. Tout système de culture n'étant pas envisageable dans n'importe quel contexte pédoclimatique, l'établissement d'une base de données spatialisée sur les systèmes plausibles est un prérequis. Cela peut paraître lourd à mettre en œuvre, mais comment envisager d'engager des négociations entre acteurs sur des objectifs de gestion volumétrique sans se donner les bases physiques permettant de les atteindre ?

On peut conclure que retrouver une certaine **diversité dans les systèmes de culture** aurait un double intérêt :

- assurer une **autoprotection** de la production de l'agriculteur,
- permettre une **gestion améliorée de la ressource en eau**.

Pour cela, il est nécessaire d'assurer la rentabilité des systèmes alternatifs. Cela passe par des recherches de débouchés et des structurations de filières. C'est en effet parce que ces deux points ne sont pas pleinement satisfaits aujourd'hui que la diversification des systèmes de culture n'est souvent que conjoncturelle et disparaît une fois la situation apparemment redevenue normale.

3. Les voies d'action économique et politique

L'agriculteur et l'éleveur sont les premières victimes de la sécheresse puisque l'agriculture non irriguée est très majoritaire. Aider l'agriculture à s'adapter, c'est lui permettre d'être rentable tout en veillant à la meilleure utilisation collective de l'eau, en partageant de façon non conflictuelle la ressource en eau avec les autres acteurs de la société.

L'action publique peut envisager trois directions :

- l'augmentation de la ressource, ajustant l'offre à la demande,
- l'économie d'eau, ajustant la demande à l'offre,
- l'action compensatoire a posteriori via l'assurance publique ou privée.

Les deux premières ne sont pas mutuellement exclusives et peuvent être complémentaires. La construction de priorités entre elles ne peut s'envisager qu'à l'échelle territoriale par un croisement des caractéristiques du milieu et des spécificités territoriales et économiques de l'activité agricole.

A. L'augmentation de la ressource par les barrages correspond à la vision traditionnelle de l'aménageur. Elle n'est pas du ressort de cette expertise, le Ministre de l'agriculture ayant demandé une étude parallèle sur le sujet. S'agissant des retenues collinaires, il est nécessaire d'établir au cas par cas la relation entre leur intérêt pour la production et deux points critiques :

- l'effet potentiel de l'augmentation de demande consécutive à l'augmentation de l'offre, reportant le problème à la prochaine sécheresse,
- les éventuels problèmes écologiques associés et, dans certains cas, les problèmes de sécurité pour les populations situées en aval.

B. L'action de compensation a posteriori, conduite au travers des indemnités versées par la commission des calamités agricoles ne relève pas de ce travail qui s'intéresse à l'adaptation structurelle possible à un événement circonstanciel mais récurrent. L'assurance privée constitue une option intéressante en cours de développement aujourd'hui. Elle ne saurait toutefois se substituer entièrement au fonds de calamités agricoles car son coût pour l'agriculteur est lié à la récurrence du phénomène et, surtout, nous n'avons pas affaire ici à un phénomène spatialement distribué comme dans le cas de la grêle et du gel. En effet, la sécheresse est

² Le raisonnement ne s'applique pas aux territoires à ressources en eau exogènes (grosso modo ceux desservis par les SAR - SCP, BRL, CACG), puisqu'il y a découplage entre agriculture irriguée et agriculture pluviale.

fortement corrélée dans l'espace et cela se traduit par un coût d'indemnités élevé. Se pose alors le **problème de la réassurance**. En Espagne et aux Etats-Unis, c'est l'Etat qui prend à sa charge la plus grande partie du coût de la réassurance. L'implication des pouvoirs publics dans la réassurance en France passe par une négociation avec les assureurs et leurs réassureurs. Dans ce contexte, l'Etat doit tenter d'éviter d'alourdir sa charge financière, le développement inégal de l'assurance privée ne lui permettant pas d'abandonner entièrement son rôle d'assureur en dernier ressort au travers des fonds de calamités agricoles.

C. Reste la troisième voie, celle de l'**ajustement de la demande à l'offre**. C'est sur ce point que nous avons porté notre attention pour identifier des marges de progrès, sans exclusive vis-à-vis de l'intérêt des autres voies d'action possibles.

La première façon d'envisager une action de l'Etat dans cette direction serait de **ne pas favoriser la pratique de l'irrigation**. Le choix fait par la France, dans le cadre de la PAC avant 2003, de différencier les aides aux cultures irriguées a certainement contribué à l'accroissement de l'irrigation constaté entre 1994 et 2000. Inversement, le "découplage" à 75%, adopté en 2003 et entré en vigueur cette année, devrait contribuer à la baisse des surfaces irriguées.

La deuxième façon de diminuer la consommation en eau est le mode coercitif correspondant aux **arrêtés préfectoraux**. Il a un double inconvénient :

- un effet pénalisant fort pour les agriculteurs s'ils sont obligés d'interrompre l'irrigation à des périodes cruciales pour leur(s) culture(s). A ce propos, les agriculteurs apprécient fortement les annonces précoces de sécheresse qui permettent de changer de cultures à temps, avec des pertes nettement inférieures à celles pouvant résulter des interdictions insuffisamment anticipées ;
- le fait de confier à une procédure, destinée à gérer des situations de crise, la mission de régler des conflits d'usage liés structurellement à des déséquilibres entre demandes et disponibilités du milieu en été. A cette gestion "à chaud" des problèmes devrait se substituer un traitement "à froid" conçu comme une recherche de solutions durables aux problèmes d'équilibre entre l'offre et la demande.

La troisième façon de réguler la consommation est la **tarification de l'eau**. Elle se justifie en particulier dans des situations de fort individualisme des irrigants, lorsque ceux-ci sont peu conscients des enjeux locaux de partage de l'eau à l'échelle du territoire. Elle peut avoir un impact très négatif à court terme si elle se cumule avec des pertes de revenu liées aux restrictions d'irrigation. Conçue sur le long terme, en revanche, elle a un rôle important à jouer dans le raisonnement des choix de systèmes de culture sur une base de rentabilité relative. L'objectif d'une telle tarification fixée à un niveau modéré, serait de fonctionner comme un **signal de rareté locale** de la ressource pour l'irrigant. La prise en compte de ce signal en amont des décisions d'équipement de périmètres et d'orientations culturelles devrait ainsi permettre d'éviter des choix non viables au regard des possibilités hydriques du milieu. Des systèmes

tarifaires plus élaborés pourraient permettre de moduler ce signal en fonction de la rareté de la ressource. De tels systèmes ne seront de toute manière acceptables pour les agriculteurs que dans le cadre d'une négociation et d'un effort important de communication et de transparence en direction des acteurs agricoles. Les règles tarifaires devraient être établies suffisamment tôt avant la campagne pour que les irrigants puissent les prendre en compte dans leurs choix d'assolement. L'expérience étrangère montre de nombreuses tentatives de mise en place de systèmes de **marchés de droits d'eau** (quotas transférables). Le bilan de ces expériences apparaît assez contrasté même s'il a permis certaines améliorations de la situation dans divers pays. De telles expériences "libérales" semblent aujourd'hui encore peu transposables à notre pays, de tradition juridique et politique très différente.

Une hypothèse de progrès réaliste à court terme consiste, dans le cadre d'une démarche d'accompagnement et de conseil, à favoriser la mise en place d'**accords de gestion volumétrique de l'eau**, à l'échelle du bassin versant, négociés entre parties prenantes sous les auspices de l'Etat. A l'inverse de la tarification qui vise à influencer les comportements opportunistes individuels des irrigants, cette démarche cherche à développer la **solidarité** des acteurs face à un problème commun, solidarité des irrigants entre eux comme avec les autres usagers de la ressource. A cet effet, il est important :

- de **favoriser la mise en place d'organisations d'irrigants** comme il en existe déjà chez nous et chez nos voisins espagnols ;
- de **fonder les accords sur des bases techniques** plus pertinentes comme support aux décisions politiques ou collectives. Ces bases biologiques et physiques reposent sur la notion de "restitution au milieu" que nous avons développée précédemment. Cette restitution au milieu est beaucoup plus dépendante du jeu de systèmes de culture mis en place, irrigués et non irrigués, que d'éventuelles avancées technologiques en raison du double lien entre bilan d'eau et de carbone et entre bilan d'eau et d'énergie.

En résumé, il nous paraît important de :

- **passer d'une action a posteriori à une action a priori**,
- passer d'une action conjoncturelle d'ajustement (interdiction d'arroser, dérogation obtenue de l'UE pour pâturer des jachères...) à une **action structurelle** : gestion volumétrique négociée sur des bases politiques et physiques.

Pour cela, les pouvoirs publics pourraient :

- commanditer les **études nécessaires** à l'établissement de bilans hydriques de bassins versants à partir des croisements sols x climats x systèmes de culture ;
- travailler avec les organismes de développement et les agriculteurs sur le principe d'autoprotection : un "panier" de systèmes de culture peut rapporter un peu moins qu'une monoculture irriguée en année normale mais éviter de fortes pertes en année exceptionnelle ;
- veiller à la **sécurisation des filières** susceptibles d'offrir des débouchés rentables aux systèmes de culture alternatifs proposés ;

- faire évoluer l'appareil législatif en levant les difficultés réglementaires et juridiques afin de **favoriser la mise en place de gestions volumétriques concertées**.

4. Besoins de recherche

Les bases physiques existent pour traiter la question de l'incidence des systèmes de culture et des itinéraires techniques associés sur le **bilan hydrique** à l'échelle de la parcelle. Pour les bassins versants en revanche, on ne peut à l'heure actuelle que déterminer une incidence globale à l'échelle annuelle des croisements climats x sols x systèmes de culture, en cumulant les effets à l'échelle parcellaire. Il est donc important de **poursuivre l'effort entrepris en hydrologie et en hydrogéologie** pour atteindre une véritable **intégration spatio-temporelle** du phénomène à l'échelle appropriée.

Dans le domaine de la **génétique**, en sus des travaux sur l'"esquive" et l'"évitement", il faudrait **appuyer les travaux entrepris sur la "reprogrammation"** pour obtenir dans le domaine de la production, des résultats aussi importants que ceux obtenus sur la survie des plantes en conditions sèches.

En **écophysiologie**, un meilleur couplage des connaissances et des modèles de réaction des plantes avec les études génétiques et génomiques est une condition nécessaire à la réussite de celles-ci pour les principales plantes d'intérêt agronomique. L'évaluation écophysiologique du progrès génétique pour des espèces comme le maïs, le sorgho et le tournesol permettrait d'en connaître l'état actuel et, éventuellement, d'adapter les techniques aux cultivars concernés. Il serait, de plus, utile de "renseigner" les caractéristiques écophysiologiques des espèces bioénergétiques les moins classiquement étudiées (myscanthus, canne de Provence...) susceptibles d'intégrer des systèmes de culture alternatifs. De même serait-il nécessaire de **renforcer les études concernant les prairies** (potentialité de reprise et évolution de la biodiversité après la sécheresse).

Concernant les **systèmes de culture**, nous avons vu que les **situations de transition** entre aridoculture et culture pluviale en zone tempérée sont les plus difficiles à appréhender et les moins documentées. **L'effort engagé** par les instituts de recherche et les instituts techniques opérant conjointement dans le Sud-Ouest sur ce sujet **doit être poursuivi**. Il doit être soutenu par les atmosphériciens dans une recherche **d'amélioration des modèles météorologiques à moyen terme** permettant une **optimisation du choix des cultures d'été** dans le cadre de systèmes de

culture en place. Il doit être accompagné d'une amélioration des prévisions à plus long terme concernant le **changement climatique sur le poste "pluviométrie"** dans les régions méridionales concernées, afin **d'optimiser la part respective des assolements de cultures d'hiver et d'été** dans les systèmes de culture à mettre en place.

Enfin, concernant l'économie, un important besoin d'études apparaît au niveau de la micro-économie, tant au niveau de la **micro-économie des exploitations** qu'à des échelles plus vastes, dans notre pays. Ces études devraient porter en priorité sur la connaissance des coûts et des bénéfices de l'irrigation et, plus généralement sur la **maîtrise économique des choix de systèmes de culture** et d'équipements techniques des périmètres irrigués. Elles devraient ensuite être étendues à la **gestion intégrée de l'utilisation de l'eau** par l'agriculture à l'échelle des bassins versants. Il sera en effet de plus en plus difficile de concevoir l'économie de l'irrigation sans s'interroger sur la place de l'irrigation vis-à-vis des autres usages de l'eau.

Répondre aux attentes des gestionnaires et des responsables de la politique de l'eau dans le contexte de la mise en place de la directive cadre sur l'eau passe par la construction d'un savoir-faire en matière d'analyses socio-économiques. Ces besoins de savoir-faire s'étendent de la conception de méthodologies adaptées à la mise à disposition des gestionnaires, d'outils d'appui opérationnels tant pour leurs décisions que pour l'organisation de la concertation avec l'ensemble des utilisateurs de la ressource. Ils passent aussi par les produits de l'analyse de dispositifs d'acteurs et la réflexion socio-politique ou juridique.

Pour en savoir plus

Jean-Pierre Amigues, Philippe Debaeke, Bernard Itier, Gilles Lemaire, Bernard Seguin, François Tardieu, Alban Thomas (eds), 2006, *Sécheresse et agriculture : Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau*.

Le rapport d'expertise et la "synthèse" sont disponibles sur le site INRA : [www.inra](http://www.inra.fr)

Contacts :

- . Bernard Itier : itier@ensam.inra.fr
- . Claire Sabbagh : Unité Expertise scientifique collective – INRA – 147 rue de l'Université – 75338 Paris cedex ; sabbagh@paris.inra.fr