

## Impacts économiques de la sécheresse sur l'agriculture

*L'expertise scientifique collective « Agriculture et sécheresse » pilotée par l'INRA en 2006 a mis en évidence le manque de données quantitatives sur l'impact économique d'une sécheresse en France. En réponse, des économistes de l'INRA ont élaboré un couplage original entre le modèle agronomique STICS développé par l'INRA et un modèle de calcul économique. Cette étude a eu pour but d'estimer le coût des épisodes de sécheresse pour un agriculteur représentatif de la région Midi-Pyrénées et de déterminer si ses décisions de court ou de long terme permettent d'atténuer de manière significative ce coût. Les résultats obtenus indiquent qu'à court terme le coût induit par la sécheresse peut être élevé. A long terme, c'est-à-dire dans le cas où les systèmes de culture peuvent être modifiés par l'agriculteur, le coût induit de la sécheresse est atténué de manière sensible par ces capacités d'adaptation supplémentaires. De plus, la mise en place de mécanismes d'alerte sécheresse précoce peut être bénéfique pour les agriculteurs en Midi-Pyrénées.*

### Les enjeux du changement climatique en agriculture

Dans son dernier rapport, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) indique que le réchauffement du système climatique est sans équivoque car mis en évidence par des observations sur l'augmentation des températures de l'air et des océans, la fonte généralisée des glaciers et une augmentation globale du niveau moyen des mers. Ce rapport précise que, dans le sud de l'Europe, on doit s'attendre à des conditions climatiques plus difficiles (sécheresses, températures plus élevées) et à une baisse de la disponibilité de la ressource en eau<sup>1</sup>. Selon l'Agence Européenne de l'Environnement, le processus de changement climatique se traduira aussi dans les pays d'Europe du nord par une augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse estivale. Le territoire français a été concerné de 1976 à 2005 sur une de ses régions par 13 épisodes de sécheresse. Cela correspond environ à l'occurrence d'une sécheresse, 2 années sur 5, soit deux fois plus que dans le passé (12 épisodes de 1905 à 1965), voir Itier (2008).

La question n'est donc plus de savoir si l'agriculture va devoir s'adapter à des conditions climatiques différentes de celles que nous connaissons actuellement mais bien comment elle va pouvoir le faire. Il s'agit d'une question importante car l'agriculture est le secteur économique pour lequel les épisodes de sécheresse se traduisent par les pertes les plus éle-

1. Déjà, quatre pays en Europe (Chypre, Malte, Espagne et Italie) sont en situation de stress hydrique c'est-à-dire qu'ils prélèvent plus de 20 % des ressources en eau disponible à long terme.

vées. En France, la perte pour l'agriculture suite à la sécheresse de 2003 est estimée à 590 millions pour l'agriculture contre 300 millions pour le secteur énergétique (au Portugal, le coût des sécheresses en 2004 et en 2005 a été pour les secteurs de l'industrie, de l'énergie et de l'agriculture respectivement de 32, 261 et 519 millions d'euros). L'importance de ces coûts justifie pleinement que l'on s'interroge sur les capacités d'adaptation de l'agriculture au changement climatique, et notamment au risque de sécheresse.

### L'adaptation au risque de sécheresse

Les possibilités d'adaptation de l'agriculture au risque de sécheresse relèvent soit de décisions collectives (réorganisation des filières, transferts d'eau entre régions, nouvelles sources d'approvisionnement, etc.) soit de décisions individuelles (modifications des itinéraires techniques, changements de systèmes de culture, couverture du risque par des systèmes d'assurance, etc.), voir Amigues et al. (2006)<sup>2</sup>. Nous nous limitons à l'analyse des capacités techniques d'adaptation de l'agriculture au risque de sécheresse via des décisions individuelles en distinguant les stratégies de court et de long terme<sup>3</sup>.

2. L'adaptation par la voie génétique constitue une autre possibilité. Si les médias se sont fait l'écho de résultats intéressants concernant la survie à la sécheresse, le maintien par amélioration génétique de rendements élevés en condition de stress hydrique n'est pas encore à l'ordre du jour, Itier (2008).

3. Un autre moyen pour un agriculteur de se couvrir contre le risque de sécheresse est d'avoir recours à des systèmes d'assurance publics ou privés.

A court terme (c'est-à-dire à une échelle intra-annuelle), les choix de culture et de technologie d'irrigation ont été faits et seuls les facteurs variables (eau, engrais, pesticides, etc.) peuvent être ajustés en fonction des réalisations du risque climatique ou des anticipations de l'agriculteur. La question qui se pose est alors de déterminer si les facteurs de production variables permettent de limiter l'impact du risque de sécheresse sur la fonction objectif de l'agriculteur. L'adaptation de l'agriculteur au risque climatique *via* des modifications des décisions d'irrigation a souvent été abordée par le biais de modèle de programmation mathématique. En termes de politiques publiques, une question importante qui a émergé de cette littérature sur la conduite optimale de l'irrigation en univers incertain est celle de la mesure de la valeur de l'information pour l'agriculteur, c'est-à-dire du montant monétaire que serait prêt à payer l'agriculteur pour disposer d'une information corrélée avec le risque auquel il fait face<sup>4</sup>. Une étude américaine a par exemple déterminé le montant que serait prêt à payer un agriculteur pour obtenir une information plus précise sur la réserve utile, la croissance de la plante et le climat, ce montant dépendant de l'attitude face au risque et augmentant substantiellement si la ressource en eau est limitée. Cette étude montre que la valeur de l'information est d'autant plus élevée que l'eau pour l'irrigation est limitée et que la capacité de rétention de l'eau par le sol est faible.

A long terme (c'est-à-dire à une échelle pluriannuelle), à la fois les technologies d'irrigation et les choix de système de culture peuvent être modifiés par l'agriculteur de manière à atténuer l'impact de la réalisation des sécheresses. On a par exemple observé en Californie un processus d'intensification du recours à des technologies d'irrigation performantes suite à 5 années de sécheresse entre 1987 et 1991 (l'irrigation par goutte à goutte a par exemple augmenté de 40 % pour les fruits et la culture des légumes sur cette période). Un moyen à long terme d'atténuer les impacts de la sécheresse consiste à modifier les systèmes de culture, c'est-à-dire les assolements et les rotations culturales, au profit de variétés plus résistantes au stress hydrique. Selon Amigues et al. (2006) la substitution du maïs irrigué par du sorgho irrigué permet une économie d'au moins 50 % des volumes d'eau. Ces résultats obtenus en France en conditions expérimentales posent des problèmes de faisabilité à grande échelle (adaptation des filières, baisse des marges) qui n'ont pour le moment que peu été étudiés, en tout cas dans le contexte français. Plus généralement, il faut mentionner que les changements de systèmes de culture constituent un des facteurs d'adaptation de l'agriculture au changement climatique mis en exergue par le GIEC, dans son dernier rapport.

### Une approche par couplage de modèles biophysique et économique

Pour mesurer les capacités d'adaptation de l'agriculture au risque de sécheresse, des économistes de l'INRA ont élaboré un couplage original entre le simulateur agronomique STICS développé par l'INRA et un modèle économique de production<sup>5</sup>. Cette étude a eu pour but d'estimer le coût des épisodes de sécheresse pour un agriculteur représentatif de la région Midi-Pyrénées et de déterminer si ses décisions de court ou de long terme permettent d'atténuer de manière significative ce coût.

4. Une mesure de la valeur de l'information constitue en effet un élément important pour conduire une analyse coût/bénéfice de la mise en place de systèmes d'alerte sécheresse précoce.

5. Cette étude est référencée en annexe du rapport final de l'expertise « Sécheresse et Agriculture ». Voir également Reynaud (2008) pour une version plus récente de ce travail.

Ce travail de modélisation est complexe en raison de la dynamique en jeu entre les données climatiques, les productions agricoles et les décisions des agriculteurs. Ainsi, dans ce modèle qui prend en compte l'histoire climatique de 1972 à 2005, dont cinq années de sécheresse, le nombre de systèmes de culture utilisés par un même agriculteur est limité à trois représentatifs :

-**système A** : monoculture de maïs (très consommatrice en eau) ;

-**système B** : rotation blé dur / sorgho (moyennement consommatrice en eau) ;

-**système C** : rotation blé dur / tournesol (très peu consommatrice en eau).

Pour limiter l'impact économique d'une sécheresse, l'agriculteur ne peut modifier à court terme, c'est-à-dire à l'échelle intra-annuelle où les assolements sont déjà déterminés, que des tactiques d'irrigation (combinaisons possibles entre des choix de dates d'irrigation et des quantités d'eau à apporter) associée à un système de culture. A long terme, la réponse de l'agriculteur consiste, en outre, à déterminer quelle proportion de sa surface agricole utile doit être allouée à chacun des trois systèmes de culture de manière à maximiser l'espérance d'utilité de son profit.

La connaissance imparfaite de la situation future par les agriculteurs confère au profit un caractère incertain. Les préférences de l'agriculteur sont alors représentées par une fonction d'utilité avec aversion relative pour le risque constante. Le modèle économique est alors calibré en utilisant des données de la Chambre régionale d'agriculture Midi-Pyrénées.

### Le coût des sécheresses pour l'agriculteur représentatif en Midi-Pyrénées

Nous présentons, dans le tableau 1, le résultat des simulations économiques pour trois sols représentatifs de Midi-Pyrénées (les sols 1, 2 et 3 correspondent respectivement à des sols avec réserve utile faible, moyenne et forte). On se limite dans un premier temps à une discussion sur le niveau des marges brutes et de l'irrigation optimale.

**Tableau 1 : Le coût des sécheresses pour l'agriculteur représentatif en Midi-Pyrénées.**

Systèmes de culture	1972-2005			Années sèches <sup>a</sup>			
	A	B	C	A	B	C	
Sol 1	<b>Marge Brute (euros/ha)</b>	472,3	669,5	595,3	436,7	612,5	532,5
					-7,5 %	-8,5 %	-10,6 %
Sol 1	<b>Irrigation (mm/ha)</b>	134,6	10,3	--	210	12	--
					+56,0 %	+16,5 %	--
Sol 2	<b>Marge Brute (euros/ha)</b>	917,4	725,3	746,7	628,6	725,8	664,48
					-31,5 %	+0,1 %	-11,0 %
Sol 2	<b>Irrigation (mm/ha)</b>	157,7	12	--	246	12	--
					+56,0 %	+0,0 %	--
Sol 3	<b>Marge Brute (euros/ha)</b>	932,0	742,1	778,1	718,1	702,5	675,8
					-23,0 %	-5,3 %	-13,1 %
Sol 3	<b>Irrigation (mm/ha)</b>	145,7	10,3	--	282	10	--
					+93,5 %	-2,9 %	--

<sup>a</sup> : Les années sèches correspondent aux années 1976, 1989, 1990, 2003 et 2005.

La marge brute et l'irrigation correspondent à des moyennes annuelles calculées sur l'ensemble des années pour la colonne 1972-2005 et sur les années sèches pour la colonne Années sèches. Les pourcentages correspondent à la variation par rapport à la colonne 1972-2005. Par exemple, la marge brute moyenne pour une année sèche du système de culture A et un sol de type 1 est 7,5 % plus faible que la marge brute moyenne calculée sur l'ensemble des périodes.

En termes de variation de marge brute par rapport à la moyenne 1972-2005, c'est le système de culture A (monoculture maïs) qui enregistre les plus forts changements suite aux années sèches : de -7,5 % à -31,5 % selon le sol. L'impact des années sèches sur la marge brute moyenne dans le cas d'un système de culture C (Blé dur – Tournesol) semble indépendant du type de sol. La perte moyenne de marge brute varie de -13,1 % pour un sol de type 3 à -10,6 % pour un sol de type 1. Le système de culture B semble légèrement profiter des années sèches dans le cas d'un sol de type 2.

Concernant l'impact des sécheresses sur les niveaux d'irrigation optimaux, c'est encore le système de culture A qui paraît le plus sensible. Par exemple, sur l'ensemble des années 1972-2005, l'irrigation optimale moyenne est de 145,7 mm/ha pour le système de culture A et pour le sol de type 3. Dans le cas d'années sèches, on relève une augmentation de 93,5 % et l'irrigation optimale moyenne passe à 282 mm/ha. Il convient de relever que l'augmentation du niveau optimal d'irrigation dépend bien entendu du prix de l'eau payé par l'agriculteur. Si l'on multiplie par deux le prix de l'eau au mètre cube (le prix de l'eau passant de 0,064 à 0,128 euros par m<sup>3</sup>), l'irrigation optimale moyenne en cas de sécheresse passe à 210 mm/ha contre 282 mm/ha précédemment (-25,5 % en volume). Cela traduit le fait que, même dans un système de monoculture maïs, les agriculteurs sont sensibles à des variations du coût de l'eau.

L'impact des années sèches sur la marge brute optimisée et sur les décisions d'irrigation de l'agriculteur représentatif de Midi-Pyrénées semble important dans le cas du système de culture A (monoculture maïs) – perte de marge brute de 20,7 % en moyenne pour les 3 sols –, très modéré dans le cas d'un système de culture B – perte de marge brute de 4,6 % en moyenne pour les 3 sols – et relativement important dans le cas d'un système de culture C – perte de marge brute de 11,6 % en moyenne pour les 3 sols –.

### Une mesure des capacités d'adaptation de l'agriculteur face au risque accru de sécheresse

Le couplage du modèle économique de décision de l'agriculteur avec le modèle de culture STICS a permis d'abord de mesurer les capacités d'adaptation de l'agriculteur représentatif en Midi-Pyrénées face à un risque de sécheresse accru. Pour ce faire, on modifie les probabilités associées aux années climatiques en attribuant un poids plus important aux années de sécheresse (1976, 1989, 1990, 2003 et 2005) puis on résout le programme d'optimisation de l'agriculteur. Dans ce qui suit nous appliquons un coefficient multiplicateur au risque de sécheresse (de 1 à 2), un coefficient de 2 signifiant que la fréquence de réalisation d'une année de sécheresse est 2 fois plus élevée que dans le cas équiprobable.

A court terme tout d'abord, lorsque l'irrigant ne peut agir que sur ses décisions intra-annuelles d'irrigation, la perte liée à une augmentation modérée (+20 %) de la fréquence des sécheresses reste elle-même modérée (perte de 2,36 %, voir la Figure 1). Le choix de stratégie d'irrigation permet ainsi de limiter l'impact sur la fonction objectif d'une augmentation de la fréquence des années sèches, seulement dans le cas où celle-ci est modérée. Par contre, lorsque le risque de sécheresse est multiplié par 2, la perte mesurée en termes de fonction objectif de l'agriculteur représentatif de Midi-Pyrénées devient substantielle (-11,78 %). La flexibilité à court terme offerte par les choix de stratégie d'irrigation ne permet donc pas de limiter de manière significative la perte économique si la fréquence des années sèches augmente fortement.

Figure 1 : Impact d'une augmentation de la fréquence des années de sécheresse sur la fonction objectif de l'agriculteur représentatif en Midi-Pyrénées.

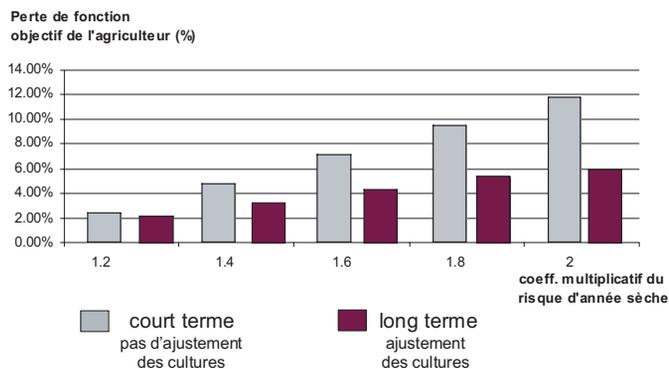
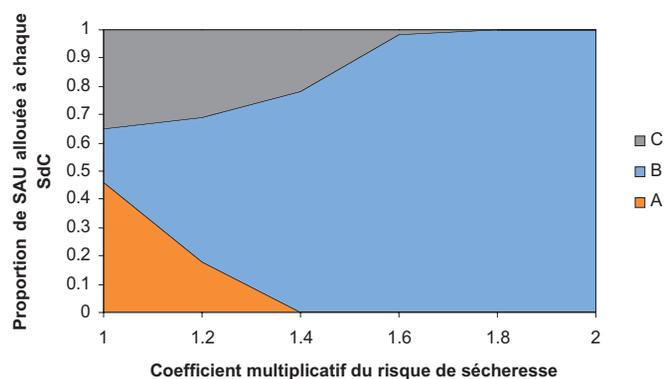


Figure 2 : Impact d'une augmentation de la fréquence des années de sécheresse sur l'allocation optimale de la SAU aux systèmes de culture (choix de long terme)



A long terme cependant, le choix de stratégie d'irrigation combiné à une réallocation des surfaces aux systèmes de culture permet de limiter l'impact sur la fonction objectif d'une augmentation, même forte, de la fréquence des années sèches. La perte liée à l'augmentation de la fréquence des sécheresses ne dépasse alors pas 6,08 % de la fonction objectif de l'agriculteur représentatif : la réallocation des surfaces entre les systèmes A, B et C, ainsi que les ajustements intra-annuels de stratégies d'irrigation permettent d'atténuer de manière sensible l'impact de l'augmentation du risque de sécheresse sur la fonction objectif de l'agriculteur représentatif (espérance d'utilité).

Ce résultat doit s'analyser au regard des choix optimaux d'assolement qui varient de manière très significative avec l'augmentation de l'intensité des sécheresses (Figure 2). Alors qu'on s'attend à ce que le choix du système le moins consommateur d'eau (C) l'emporte quand le risque de sécheresse est le plus élevé, c'est le système intermédiaire (B) qui est retenu. Ce résultat ne peut être analysé qu'au regard des attitudes manifestées à l'égard du risque par les agriculteurs. Dans un univers climatique incertain, un agriculteur présentant de l'aversion pour le risque ne cherche pas à maximiser son profit moyen mais une position médiane jugée plus confortable. Pour ne pas voir son gain trop diminuer si le risque climatique se réalise, l'agriculteur est prêt à opter pour des systèmes de culture qui ne fournissent pas le profit le plus élevé en année climatique « normale ». Ici, le système intermédiaire blé dur / sorgho retenu en cas de risque de sécheresse très élevé présente des coûts de production faibles, mais aussi des rendements relativement faibles.

## Une mesure de l'impact des politiques publiques de gestion de crise sur l'exploitation agricole

Les années récentes de sécheresse ont vu la mise en place de limitations quantitatives des prélèvements en eau à usage agricole (*via* des arrêtés préfectoraux notamment), dont on anticipe qu'elles accompagneront de plus en plus les phénomènes de sécheresse. Il est important pour la puissance publique de pouvoir évaluer les coûts économiques associés à de telles restrictions.

On sait que l'impact du risque de sécheresse sur la fonction d'objectif de l'agriculteur dépend de manière cruciale des possibilités qu'il a d'anticiper, ou non, les éventuelles limitations ou interdictions d'irriguer. Le modèle économique permet de déterminer le coût des sécheresses pour l'agriculteur en fonction de la date à partir de laquelle il sait que l'irrigation en période d'étiage sera rationnée ou interdite. Le modèle permet donc de mesurer les gains privés associés à la mise en place de systèmes d'alerte précoce des sécheresses mis en place par les pouvoirs publics.

Les résultats montrent tout d'abord que la perte pour l'agriculteur en termes de fonction d'objectif d'une interdiction d'irriguer non anticipée peut être très importante à court terme. Lorsque l'agriculteur ne peut pas anticiper les interdictions d'irrigation en période d'étiage lors des années sèches, la perte peut atteindre 54 % de son profit. Ensuite, toujours à court terme, une information sur le risque d'interdiction d'irriguer en période d'étiage transmise de manière précoce aux agriculteurs permet de limiter de manière significative la perte de fonction d'objectif. Celle-ci peut rester inférieure à 15 % si l'interdiction est connue avec certitude avant mi-juillet. Reynaud (2008) montre cependant que les décisions de long terme de l'agriculteur (réallocation des surfaces entre les trois systèmes de culture) permettent d'atténuer de manière très importante le coût des restrictions d'irrigation en période d'étiage : la perte résultant des interdictions d'irriguer est modérée quel que soit leur degré d'anticipation.

Ces résultats suggèrent qu'il est important pour le décideur public de faciliter les changements de système de culture, *via* la mise en place de mécanismes incitatifs, d'aide technique, de transmission d'information, par exemple. Ils suggèrent également que des mécanismes d'alerte précoce des sécheresses peuvent générer des gains substantiels pour l'agriculture.

## Conclusion

L'impact du risque de sécheresse sur la fonction objectif d'un l'agriculteur représentatif de Midi-Pyrénées est évalué en distinguant les décisions optimales de court terme (choix des stratégies d'irrigation) et celles de long terme (choix des systèmes de culture). La méthode a consisté à utiliser des sorties de simulations d'un modèle agronomique (STICS) dans un modèle d'optimisation économique du comportement de l'agriculteur irrigant.

A système de cultures donné, les capacités d'adaptation des agriculteurs au risque de sécheresse (*via* le choix des stratégies d'irrigation) semblent assez limitées et le coût économique induit par les épisodes de sécheresse peut être élevé. Par exemple, multiplier par deux le risque de réalisation d'une année sèche se traduit par une perte de 11,78 % de la fonction objectif de l'agriculteur. A long terme, les résultats des simulations économiques suggèrent une situation assez différente, l'adaptation des systèmes de culture permettant alors de limiter de manière très sensible le coût privé pour l'agriculteur des épisodes de sécheresse. La perte résultant du doublement de la fréquence des sécheresses est par exemple divisée par deux si des réallocations des surfaces entre systèmes de cultures sont possibles (6,08 % contre 11,78 %). Cette dernière possibilité, combinée aux ajustements intra-annuels de stratégies d'irrigation, permet d'atténuer de manière sensible l'impact de l'augmentation du risque de sécheresse sur la fonction objectif de l'agriculteur représentatif (critère d'espérance d'utilité).

Arnaud Reynaud, INRA, UMR 1081 LERNA Laboratoire d'économie des ressources naturelles,  
Toulouse School of Economics, F- 31000 Toulouse, France  
[areynaud@toulouse.inra.fr](mailto:areynaud@toulouse.inra.fr)

### Pour en savoir plus

**Amigues J.P., P. Debaeke, B. Itier, G. Lemaire, B. Seguin, F. Tardieu, A. Thomas. (2006).** *Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau.* Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France), 72 p.

**Itier, B. (2008).** Agriculture et sécheresse : le contexte et les enjeux. *Innovations Agronomiques*, volume 2, page 1-8.

**Leenhardt D. et A. Reynaud. (2008).** Répondre aux enjeux socio-économiques, de l'exploitation agricole au territoire. *Innovations Agronomiques*, volume 2, page 65-81.

**Reynaud A. (2008).** Adaptation à court et à long terme de l'agriculture face au risque de sécheresse : Une approche par couplage de modèles biophysiques et économiques. *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*. A paraître.