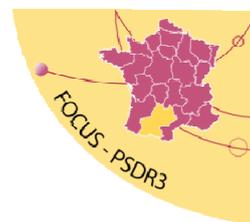




# Adaptation de l'agriculture à la sécheresse et aux risques climatiques en Midi-Pyrénées



Au travers du projet EAUSAGE, sont développés des outils permettant l'évaluation de scénarios en vue d'une « meilleure » planification conjointe des différentes activités (agricoles, industrielles, domestiques) et d'une « meilleure » utilisation des ressources en eau, à une grande échelle (région Midi-Pyrénées).

Les résultats présentés ici sont obtenus pour l'usage agricole de la ressource en eau en Midi-Pyrénées dans un contexte de risques climatiques accrus et de rareté de la ressource.

Climat  
Adaptation  
Risques  
Grandes cultures  
Eau

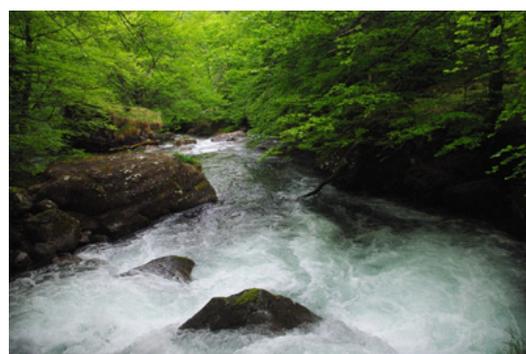
## Contexte de recherche

Dans son dernier rapport, le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat indique que le réchauffement du système climatique est sans équivoque. 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. 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. 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 centrale car l'agriculture est le secteur d'activité économique pour lequel les épisodes de sécheresse se traduisent par les pertes les plus élevées. De plus, avec 1,230 millions de m<sup>3</sup> prélevés en 2007, cet usage représente un peu moins de 50% des prélèvements totaux en Midi-Pyrénées mais plus de 80% de la consommation nette. Cela justifie pleinement que l'on s'interroge sur les capacités d'adaptation de l'agriculture au changement climatique dans un contexte de rareté de la ressource en eau.

## Originalité des résultats

Une originalité du projet EAUSAGE consiste à combiner des travaux économétriques sur de grandes bases de données représentatives de la région Midi-Pyrénées (RICA) avec des approches de couplages entre des modèles microéconomiques de décision d'agriculteur, des modèles agronomiques représentant la croissance des cultures et des approches de programmation mathématique. Cela nous permet alors de tester et d'évaluer différents types de scénarios (climatiques, économiques).



### Auteurs

**Arnaud REYNAUD** (INRA Toulouse – UMR LERNA)  
areynaud@toulouse.inra.fr

**Céline NAUGES** (INRA Toulouse – UMR LERNA)  
Celine.nauges@toulouse.inra.fr

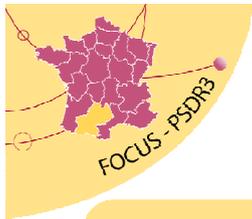
**Delphine Leenhardt** (INRA Toulouse – UMR AGIR)  
Delphine.Burger-Leenhardt@toulouse.inra.fr

### Partenaires

**Laboratoire d'Economie des Ressources Naturelles (LERNA)**

**Programmes Eaux & Territoires (CNRS & MEDD)**

**Agence de l'eau Adour-Garonne (AEAG)**



## Une approche par couplage de modèles biophysiques et économiques

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. 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.

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 systèmes 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 de Midi-Pyrénées.

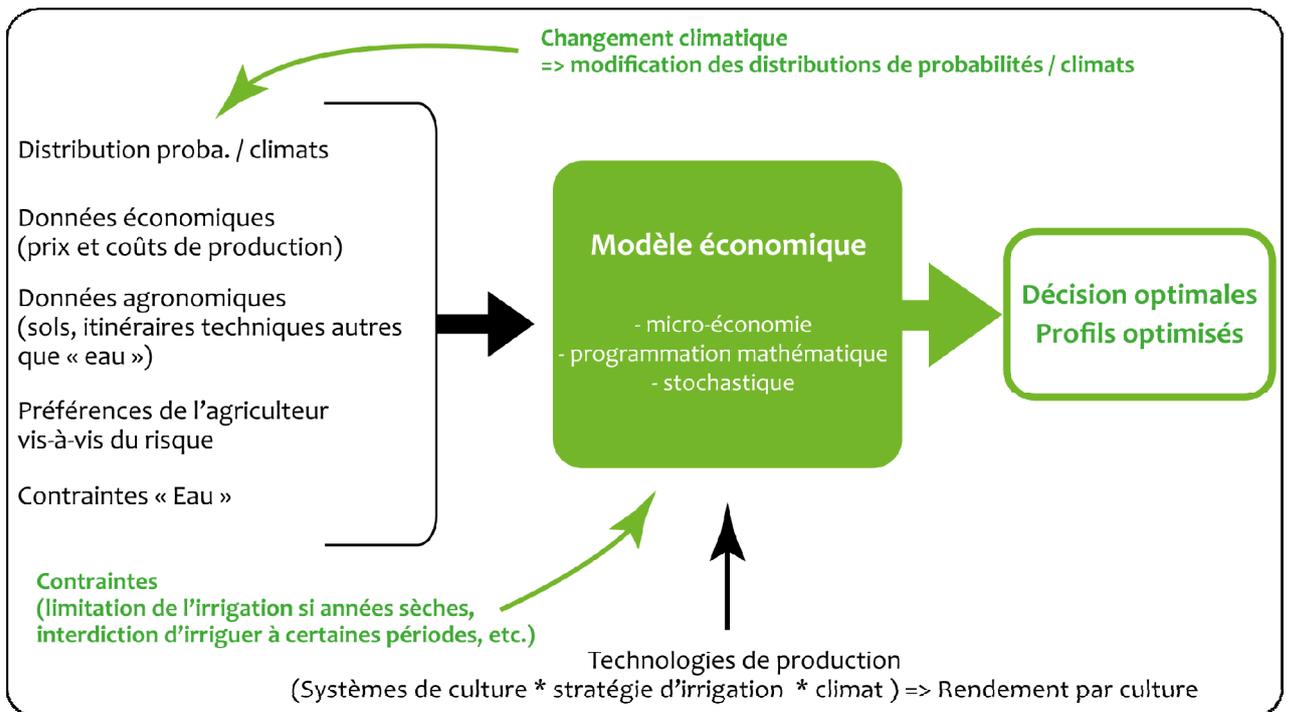


Figure 1. Couplage de modèle économique avec un modèle biophysique

## 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	Marge Brute (euros/ha)	472.3	669.5	595.3	436.7	612.5	532.5
					-7.5%	-8.5%	-10.6%
	Irrigation (mm/ha)	134.6	10.3	--	210	12	--
					+56%	+16.5%	--
Sol 2	Marge Brute (euros/ha)	917.4	725.3	746.7	628.6	725.8	664.48
					-31.5%	+0.1%	-11.1%
	Irrigation (mm/ha)	157.7	12	--	246	12	--
					+56%	+0%	--
Sol 3	Marge Brute (euros/ha)	932.0	742.1	778.1	718.1	702.5	675.8
					-23%	-5.3%	-13.1%
	Irrigation (mm/ha)	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.

**Tableau 1. Evaluation du coût des années sèche pour différents types de sols**

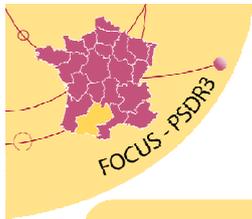
Nous présentons, dans le tableau 1, le résultat des simulations économiques pour trois sols représentatifs de Midi-Pyrénées : les sols 1, 2 et 3 correspondent respectivement à des sols avec réserve utile faible, moyenne et forte.

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 le prix de l'eau au mètre cube est multiplié par deux (passant ainsi 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

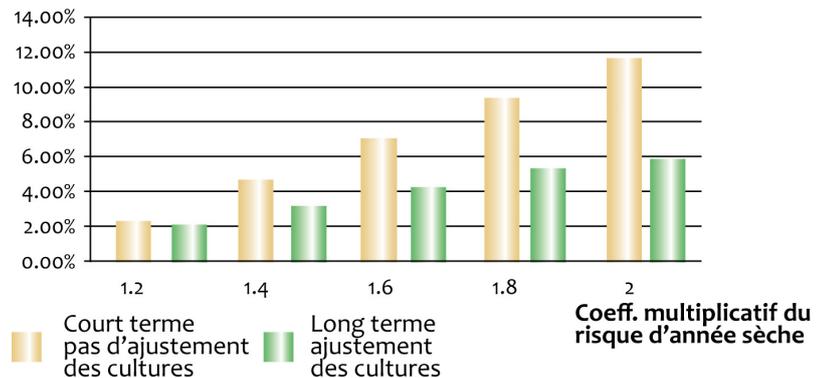
Le couplage du modèle économique de décision de l'agriculteur avec le modèle de culture STICS a permis de mesurer les capacités d'adaptation de l'agriculteur représentatif en Midi-Pyrénées face à un risque de sécheresse accru. Pour ce faire, on modifie les probabilités associées aux années climatiques 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.

### Adaptation à court terme

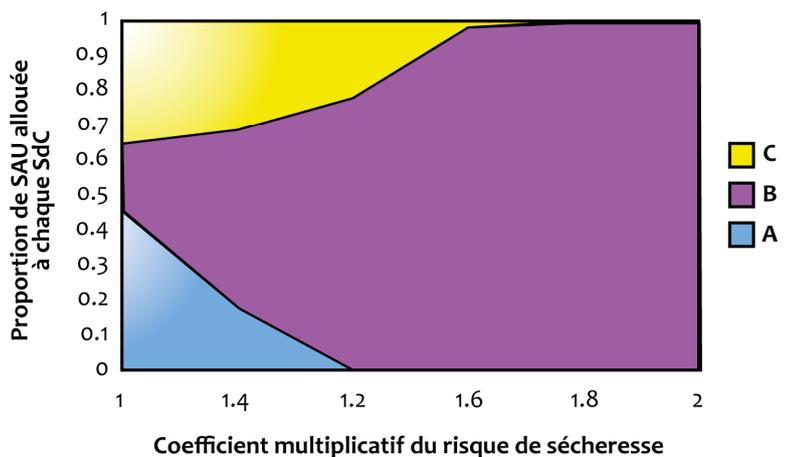
Lorsque l'irrigant ne peut agir que sur ses décisions intra-annuelles d'irrigation, la perte liée à une augmentation modérée (+20%) de la fréquence des sécheresses reste elle-même modérée (perte de 2.36%). Le choix de stratégie d'irrigation permet ainsi de limiter l'impact sur la fonction objectif d'une 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 deux, 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.

Perte de fonction objectif de l'agriculteur



Graphique 1. Impact du risque de sécheresse sur la fonction objectif de l'agriculteur



Graphique 2. Impact du risque de sécheresse sur les systèmes de culture

### Adaptation à long terme

A long terme, 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. 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. 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 » tel le système intermédiaire blé dur / sorgho.

## Risques climatiques et valeur de l'information en agriculture

### Calculer la valeur de l'information

Le processus de changement climatique se traduit pour les agriculteurs par des risques de production plus importants et donc par des coûts plus élevés. Une partie de ces coûts provient du fait que les agriculteurs doivent prendre des décisions (choix de culture, date de semis, choix de contrat de commercialisation) en début de campagne avec une information limitée sur les conditions futures (prix des cultures, météo, disponibilité en eau). Certaines décisions peuvent donc s'avérer inadéquates *ex-post* si les conditions futures réalisées ne sont pas celle prévues par l'agriculteur. Dans un contexte de risques climatiques importants, nous avons quantifié la valeur pour un agriculteur de disposer, à différents moments de l'année, d'une information fiable sur le climat à venir.

Nous avons considéré un agriculteur en Midi-Pyrénées pouvant produire trois cultures (maïs, tournesol, soja) irriguées ou non, avec différentes dates de semis. L'agriculteur peut disposer d'une information sur le type de climat pour le reste de l'année de manière tardive, intermédiaire ou précoce.

Le tableau 2 présente les résultats des simulations obtenus pour un agriculteur type de Midi-Pyrénées en grandes cultures (lire Reynaud (2011) pour plus de détails).

### Quelques enseignements

- Le système de culture optimal semble assez robuste au timing de la résolution de l'incertitude.
- L'irrigation est significativement plus importante avec une résolution tardive de l'incertitude, ce qui peut s'interpréter par un comportement de précaution.
- Naturellement, l'agriculteur en terme de profit par ha préfère une résolution précoce de l'incertitude à une résolution tardive.
- On évalue à 80 euros par ha le montant monétaire qu'un agriculteur serait prêt à payer pour passer d'une résolution tardive de l'incertitude à une résolution précoce (environ 10% du profit). Cela donne une idée de la viabilité d'un marché pour des prévisions météorologiques « fiables ».

Résolution incertitude climatique	Espérance de profit unitaire euros/ha	Décisions optimales				
		Culture	Date semis	Pluvial ou irrigué	Part de surface	Espérance irrigation mm/ha
Tardive (30/08)	690.1	maïs	15/05	irrigué	0.723	158
		tournesol	30/04	irrigué	0.277	87
Intermédiaire (10/07)	682.8	maïs	15/05	irrigué	0.649	98
		tournesol	30/04	irrigué	0.351	27
Précoce (10/06)	765.8	maïs	15/05	irrigué	0.820	113
		tournesol	30/04	irrigué	0.180	22

Tableau 2. Résultat économique et décisions optimales des agriculteurs en fonction de la résolution de l'incertitude climatique



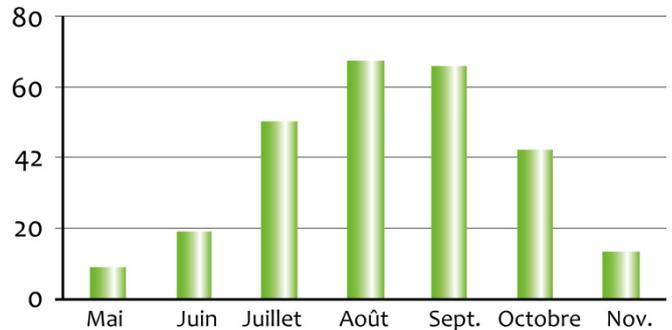
## Stratégie d'évitement et tarification de pointe de l'eau à usage agricole

Dans quelle mesure la mise en place d'une tarification de pointe permet-elle de réduire les pics de consommation d'eau à usage agricole lors des périodes de pic de demande?

Pour répondre à cette question, les chercheurs ont simulé les réactions d'agriculteurs (en terme de choix de culture et de niveau d'irrigation) en Midi-Pyrénées qui font face à des tarifications de pointe (du 10 juillet au 10 août).

### Quelques arguments en faveur d'une tarification de pointe de l'eau à usage agricole

- La rareté de la ressource en eau dépend de la période considérée. Le graphique 3 indique le nombre de départements français ayant pris des arrêtés d'interdiction d'irriguer en 2005. Comme on peut le voir, un pic est observé en août et en septembre.
- La valeur privée de l'eau pour l'agriculture fluctue dans le temps. On sait par exemple que le gain en terme de rendement d'une dose d'irrigation pour du maïs est très différent selon le stade de développement de la culture (Reynaud, 2011).
- La valeur sociale de l'eau fluctue aussi dans le temps. Elle est naturellement plus élevée en été lorsque les différents usages sont en concurrence pour l'utilisation de la ressource.

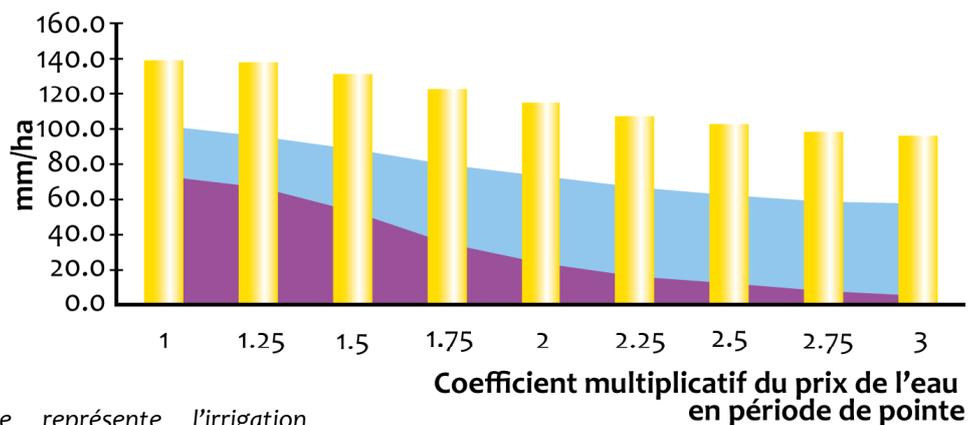


Graphique 3. Nombre de départements français ayant pris des arrêtés d'interdiction d'irriguer en 2005

### Quelques enseignements

- Un faible différentiel de prix de l'eau entre les périodes de pointe et hors-pointe ne permet pas de modifier significativement les stratégies d'irrigation des agriculteurs.
- Lorsque le prix de l'eau en période de pointe augmente de 50%, l'irrigation en période de pointe commence à diminuer au profit de l'irrigation en période hors-pointe.
- La mise en place d'une tarification de pointe pose cependant des problèmes de coûts d'installation de compteurs qui doivent être intégrés à l'analyse.

Graphique 4. Impact de la tarification de pointe sur l'irrigation



Ce graphique représente l'irrigation moyenne annuelle (jaune), en période de pointe (violet), au cours des décades juste avant et après la période de pointe (bleu),

## 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.

### Quelques résultats sur l'intérêt de mécanismes précoces d'alerte sécheresse

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.

Les décisions de long terme de l'agriculteur (réallocation des surfaces entre les trois systèmes de culture) permettent cependant 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.

### Une recommandation pour les politiques publiques

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.



## Pour aller plus loin...

- Site du projet EAUSAGE : <http://www4.inra.fr/psdr-midi-pyrenees/Projets-de-recherche/EAUSAGE>
- Reynaud A., (2009). « Adaptation à court et à long terme de l'agriculture face au risque de sécheresse : Une approche par couplage de modèles biophysiques et économiques ». *Review of Agricultural and Environmental Studies*, 90 (2), pp. 121-154.
- Leenhardt D., Reynaud A. (2008). « Répondre aux enjeux socio-économiques, de l'exploitation agricole au territoire ». *Innovations Agronomiques*, 2, pp. 65-81. Sélection de publications scientifiques ou à destination des acteurs.
- Reynaud A. (2011). « Land use and intra-annual agricultural water use under climate and price uncertainty: A French case study ».

### Pour citer ce document :

RAYNAUD, Arnaud, Céline NAUGES et Delphine LEENHARDT (2011). *Adaptation de l'agriculture à la sécheresse et aux risques climatiques en Midi-Pyrénées*, Projet PSDR, région Midi-Pyrénées, Série Les Focus PSDR3.

Crédits photographiques : © Yaël Kouzmine

### Plus d'informations sur le programme PSDR

[www.inra.fr/psdr](http://www.inra.fr/psdr)

[www.inra.fr/psdr-midi-pyrenees](http://www.inra.fr/psdr-midi-pyrenees)

### Contacts

**PSDR Midi-Pyrénées** : Danielle Galliano (INRA) – [danielle.galliano@toulouse.inra.fr](mailto:danielle.galliano@toulouse.inra.fr)

**Direction nationale PSDR** : André Torre (INRA) – [torre@agroparistech.fr](mailto:torre@agroparistech.fr)

**Animation nationale PSDR** : Frédéric Wallet (INRA) – [wallet@agroparistech.fr](mailto:wallet@agroparistech.fr)

Pour et Sur le Développement Régional (PSDR),  
2007-2011  
Programme soutenu et financé par :



### Partenaires du projet EAUSAGE

