



Sécheresse et agriculture

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

Expertise scientifique collective

Rapport d'expertise réalisé par l'INRA
à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Octobre 2006

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

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)

Octobre 2006



Pour citer le rapport :

Amigues J.P., P. Debaeke, B. Itier, G. Lemaire, B. Seguin, F. Tardieu, A. Thomas (éditeurs), 2006.
Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau.
Expertise scientifique collective, Rapport, INRA (France), 380 pages + annexes

Ce rapport a été élaboré par les experts scientifiques sans condition d'approbation préalable par les commanditaires ou l'INRA.

La liste des auteurs et contributeurs de l'expertise figure en Annexe.

Responsable de la publication :

Bernard Itier, Président du Centre INRA de Montpellier
itier@ensam.inra.fr

Secrétariat d'édition :

Unité Expertise scientifique collective, INRA

Sommaire

Introduction	7
1. Sécheresse et agriculture : état des lieux et enjeux	10
1.1. Sécheresses, sensibilité des productions agricoles au manque d'eau et impacts de l'agriculture sur les ressources en eau	11
1.1.1. Sécheresse, climat et hydrologie	12
1.1.1.1. Le cycle de l'eau	
1.1.1.2. Le bilan hydrique et le bilan d'énergie de surface	
1.1.1.3. Le bilan hydrologique	
1.1.1.4. La ressource en eau et l'agriculture : définitions de la sécheresse	
1.1.1.5. Effet de l'agriculture sur la ressource en eau et le climat en France	
1.1.1.6. La ressource en eau en France	
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexes</i>	
1.1.2. Perception de la sécheresse par la plante. Conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés	49
1.1.2.1. Définitions de la sécheresse pour la plante	
1.1.2.2. Conséquences de la sécheresse sur le fonctionnement des plantes	
1.1.2.3. Expression des gènes	
1.1.2.4. Conséquences de périodes de déficit hydrique sur la qualité des produits récoltés	
1.1.2.5. Conséquences en termes de stratégies de tolérance à la sécheresse et de tolérances relatives de différentes espèces au déficit hydrique	
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexe</i>	
1.1.3. Sensibilité à la sécheresse des systèmes de culture (grandes cultures, vigne et arboriculture fruitière)	68
1.1.3.1. La sécheresse agricole dans le contexte français	
1.1.3.2. Les impacts annuels et pluriannuels de la sécheresse	
1.1.3.3. Réaction des agriculteurs face à la sécheresse	
1.1.3.4. Le conseil en irrigation	
<i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexe</i>	
1.1.4. Sensibilité à la sécheresse des systèmes fourragers et de l'élevage des herbivores	88
1.1.4.1. Introduction	
1.1.4.2. La variabilité de la production des prairies en fonction du climat. Outils d'analyse	
1.1.4.3. L'ajustement à la variabilité du climat fait partie inhérente des systèmes fourragers et des systèmes d'élevage des ruminants	
1.1.4.4. Les dégâts de la sécheresse sur les prairies naturelles	
1.1.4.5. La sécheresse chez les herbivores	
1.1.4.6. Adaptation régionale des systèmes d'élevage d'herbivores aux conditions de sécheresse	
<i>Références bibliographiques</i>	
1.1.5. Impacts des modes d'occupation des sols par l'agriculture sur la recharge des aquifères et la gestion des ressources en eau	108
1.1.5.1. Problématique territoriale de la gestion des ressources en eau	
1.1.5.2. Des tentatives de simulation de l'Infiltration Efficace	
1.1.5.3. L'utilisation des systèmes de fonctionnement de culture	
1.1.5.4. Conclusion	
<i>Références bibliographiques</i>	

1.2. Usages agricoles et ressource en eau	127
1.2.1. Eau et usages agricoles en France	130
1.2.1.1. Etat des lieux de l'usage agricole de l'eau en France	
1.2.1.2. Diversité régionale des problèmes de sécheresse, de pénurie d'eau et de gestion quantitative de la ressource	
1.2.1.3. La petite hydraulique agricole : les retenues collinaires	
1.2.1.4. Impacts des sécheresses passées	
1.2.1.5. Economie de l'irrigation	
1.2.2. Le droit de l'eau	146
1.2.2.1. L'eau objet de protection	
1.2.2.2. L'eau objet de conciliation	
1.2.2.3. L'eau objet d'appropriation	
1.2.3. Les dispositifs et les acteurs de l'eau	157
1.2.3.1. Les acteurs de l'eau : le rôle de l'Etat	
1.2.3.2. Les acteurs locaux	
1.2.4. Territoires et acteurs	161
1.2.4.1. Les dynamiques de l'irrigation	
1.2.4.2. Les territoires hydrauliques. Qui irrigue, comment et où ?	
1.2.4.3. L'eau et ses usages dans les dynamiques territoriales. De l'eau support à l'eau facteur de développement	
1.2.5. Gestion collective localisée	173
1.2.5.1. Evolution de la gestion de la sécheresse dans l'action publique	
1.2.5.2. Une situation de dérégulation croissante de la gestion quantitative de l'eau	
1.2.5.3. Les voies concrètes de régulation actuellement observables visant à gérer la pénurie en eau et à améliorer la gestion quantitative de l'eau	
 <i>Références bibliographiques</i>	
<i>Annexe</i>	
 1.3. Evolutions climatiques et économiques : enjeux et questions	 208
1.3.1. Le changement climatique	209
1.3.1.1. Le contexte de l'effet de serre et de son renforcement anthropique	
1.3.1.2. Le changement climatique : les prédictions pour le futur	
1.3.1.3. Le changement climatique : les impacts sur la production végétale	
1.3.1.4. Le changement climatique : les évolutions récentes à l'échelle globale	
1.3.1.5. Les impacts observés sur les écosystèmes terrestres	
1.3.1.6. Réchauffement climatique et ressources en eau	
1.3.1.7. Conséquences pour l'expertise	
 <i>Références bibliographiques</i>	
1.3.2. Enjeux économiques et politiques	225
1.3.2.1. Les conséquences de la réforme de la PAC	
1.3.2.2. Les enjeux de la politique de l'eau	
 <i>Références bibliographiques</i>	
 2. Adaptations de l'agriculture au risque de sécheresse	 241
2.1. Amélioration génétique de la tolérance des cultures à la sécheresse	242
2.1.1. Le progrès génétique déjà obtenu	243
2.1.1.1. Stratégies génétiques utilisées : sélection classique, sélection assistée par marqueurs, transgénèse	
2.1.1.2. La sélection classique	

2.1.1.3. La sélection ciblée	
2.1.1.4. Les transferts de gènes	
2.1.2. Voies possibles pour l'amélioration de la tolérance au déficit hydrique	249
2.1.2.1. Cadre d'analyse	
2.1.2.2. Les stratégies "conservatrices" : esquive et évitement	
2.1.2.3. L'augmentation de l'efficacité de l'eau	
2.1.2.4. Les stratégies de maintien de la croissance	
2.1.3. Conclusion	253
<i>Références bibliographiques</i>	
2.2. Adaptations agronomiques au risque de sécheresse	258
2.2.1. Systèmes de grande culture	259
2.2.1.1. Bases pour le raisonnement des itinéraires techniques en conditions d'eau limitante	
2.2.1.2. Cas des systèmes pas ou peu irrigués	
2.2.1.3. Cas des systèmes fortement irrigués	
2.2.1.4. Conclusion : Quelles solutions pour les systèmes de grande culture ?	
<i>Références bibliographiques</i>	
2.2.2. Cultures pérennes	307
2.2.2.1. Réduire la sensibilité des systèmes de culture à des sécheresses excessives	
2.2.2.2. Evaluer l'opportunité d'introduire l'irrigation	
2.2.2.3. Gérer plus efficacement les systèmes irrigués	
<i>Références bibliographiques</i>	
2.2.3. Systèmes fourragers et élevage	312
2.2.3.1. Le maïs ensilage, une ressource fourragère essentielle... mais parfois remise en cause	
2.2.3.2. Le sorgho grain ensilé, une alternative possible au maïs en région sèche avec des atouts environnementaux	
2.2.3.3. Une stratégie fourragère pour valoriser au mieux les ressources naturelles en eau : pluies et réserves du sol	
<i>Références bibliographiques</i>	
2.3. Adaptations socio-économiques au risque de sécheresse	323
2.3.1. Adaptation socio-économique à l'échelle de l'exploitation	324
2.3.1.1. Le manque d'eau : la nécessaire analyse (micro-)économique	
2.3.1.2. De l'importance du timing de l'irrigation	
2.3.1.3. Evaluation économique du risque	
2.3.1.4. Irrigation et risque de production : analyse empirique des stratégies	
2.3.1.5. La valeur de l'information	
2.3.2. Assurances contre la sécheresse	336
2.3.2.1. Les mesures de couverture privées contre le risque de sécheresse	
2.3.2.2. Expériences d'assurances sécheresse	
2.3.2.3. Les limites des modèles d'assurance classiques	
2.3.2.4. Les autres mesures de couverture contre le risque de sécheresse	
2.3.2.5. Commentaires et esquisses de conclusions sur les assurances sécheresse	
2.3.3. Adaptation collective à la sécheresse	342
2.3.3.1. Problématique américaine des marchés pour services écosystémiques	
2.3.3.2. Les principes	
2.3.3.3. Trois études de cas	
2.3.3.4. Les enjeux du choix des instruments	
2.3.3.5. Application à un nouveau cas australien	
2.3.3.6. Critiques contre ces compensations et leurs conséquences gênantes	
2.3.3.7. Des échanges de volumes d'eau en Californie	
2.3.3.8. Le Plan pour l'Eau de la Californie	

2.3.3.9. Quelques questions relatives à la gestion collective dans le cas français
2.3.3.10. Conclusion

2.3.4. Les outils économiques dans le cadre de la politique de l'eau 359

2.3.4.1. Accroître les disponibilités
2.3.4.2. Régulation de la demande en eau agricole : restrictions ou tarification ?
2.3.4.3. Solutions de second rang
2.3.4.4. Les marchés de droits
2.3.4.5. Conclusions

Références bibliographiques
Annexe

Conclusions 371

Annexes

L'utilisation de l'eau dans une agriculture durable : le cas de l'Unité Hydrogéologique de la Mancha Oriental (Espagne)

Liste des experts

Voir aussi deux études réalisées en 2006 pour le MAP, citées dans l'expertise