

**Expertise scientifique collective "Sécheresse et agriculture"**

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



**Universidad de  
Castilla La Mancha**

Francisco Martín de Santa Olalla Mañas  
Universidad de Castilla La Mancha, Albacete

1. Introduction
  2. L'Unité Hydrogéologique de la Mancha Oriental
  3. L'évolution des irrigations et de la demande d'eau. Les antécédents et la situation actuelle
  4. La participation des usagers dans la gestion de l'eau.  
Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental
  5. Les outils techniques utilisés dans le processus de prise de décisions
    - 5.1. Le Service de Consultation des Arrosages (SAR)
    - 5.2. Une identification et un suivi des cultures par télédétection
  6. Des défis et des incertitudes pour l'avenir
- Références bibliographiques

## 1. Introduction

Le présent travail décrit les travaux réalisés dans les dix dernières années sur l'aquifère 08.29 de la Mancha Oriental en Espagne, avec l'objectif d'obtenir un usage durable de ses ressources hydriques. Cela représente un effort conjoint des administrations publiques et des usagers pour aboutir à cette fin. Bien que, comme nous le soulignons à la fin de l'exposé, le dernier objectif n'ait pas été atteint jusqu'à présent, nous pensons que les tâches développées, les méthodologies utilisées et les résultats obtenus peuvent être d'utilité en dehors du cadre où ils ont été mis en pratique.

Nous comprenons que le but qu'on essaie d'atteindre avec les travaux décrits diffère de celui qu'a le groupe d'experts de l'INRA.

Dans les conditions semi-arides d'une bonne partie du territoire de l'Espagne péninsulaire, l'agriculture pluviale acquiert un caractère de plus en plus marginal. Le changement climatique, qui peut avoir une influence sur une diminution significative des précipitations ajoute en plus un élément d'incertitude.

Dans ces territoires, seule une utilisation rationnelle de leurs ressources hydriques, chaque fois moins abondantes, peut permettre le développement d'une agriculture compétitive basée sur une irrigation soutenable. A cette réussite sont consacrés prioritairement les efforts actuels de tous ceux qui s'occupent de ces sujets. Il en résulte que notre apport s'oriente aussi dans cette direction. Nous ne pensons pas pouvoir faire une contribution éminente sur des échanges théoriques sur l'introduction de l'agriculture pluviale qui est de moins en moins compétitive dans notre environnement.

Nous voulons attirer l'attention sur deux aspects du travail que nous présentons qui nous semblent d'une utilité spéciale pour le groupe d'experts de l'INRA :

- Le premier est la **participation des usagers dans la gestion** des ressources naturelles, dans ce cas de l'eau. La dispersion géographique et temporelle de cette utilisation, les particularités dans la forme de réalisation des aménagements, parfois liés aux traditions séculaires, la diversité des cultures, des itinéraires techniques et des modes d'irrigation, et finalement, mais ce n'est pas moins important, la composante émotive que l'usage de l'eau dans l'agriculture comporte, invite à conclure que ceux qui doivent organiser la gestion sont les usagers eux-mêmes. Les expériences réalisées dans des lieux très dispersés de la planète avalisent cette théorie. Les résultats que nous présentons vont clairement dans ce sens.

- Le second est l'**utilisation** de quelques **technologies innovatrices** dans le **processus de prise de décisions** de la gestion soutenable des ressources hydriques. En ce qui concerne l'usage de l'eau et particulièrement dans les pays comme l'Espagne où le pourcentage de l'agriculture dans cette utilisation est élevé, il existe une perception sociale, de plus en plus répandue que l'agriculture abuse de la ressource hydrique, tant dans les aspects quantitatifs que qualitatifs. On ne peut pas nier qu'il existe des exemples qui appuient cette perception. Il est certain que cela a provoqué de nombreux désastres ; il n'y a aucune justification pour ces erreurs. Dans ces dernières décennies une culture technique et économique suffisante a été développée pour éviter un gaspillage de l'eau dans l'agriculture quand elle est peu abondante.

Aujourd'hui de nombreux outils ont été développés qui permettent un usage de l'eau dans l'agriculture compatible avec le développement durable que nous souhaitons. Nous allons présenter certains d'entre eux, utilisés dans la gestion des ressources de l'aquifère 08.29 dans la Mancha Oriental en Espagne.

## 2. L'Unité Hydrogéologique Mancha Oriental

L'Unité Hydrogéologique Mancha Oriental (UHMO) est traitée par la Confédération Hydrographique du Júcar (CHJ) et appartient au sous-ensemble dénommé Système Júcar. Elle comprend l'ensemble des ressources hydriques, aussi bien les superficielles que les souterraines, localisées dans l'aire

géographique que montre la figure 1. Parmi ces ressources 08.29, celles correspondant aux parties souterraines de l'aquifère ont une importance spéciale. L'unité a pour élément de drainage principal la rivière Júcar, bien qu'il existe d'autres voies superficielles d'une importance mineure.

L'aquifère 08.29 a une superficie proche de 8.500 km<sup>2</sup> et constitue l'une des réserves les plus importantes d'eau souterraine de l'Espagne. Une étude réalisée par l'Institut Géologique et Minier de l'Espagne (IGME) estime ses réserves totales à 100.000 hm<sup>3</sup> et les réserves disponibles à 20.000 hm<sup>3</sup> (IGME, 1980). Malheureusement, après le processus intensif d'exploitation qu'il a subi dans les vingt dernières années, remarquablement supérieur à sa recharge, les réserves utiles de l'aquifère, qui n'ont pas été scientifiquement réévaluées, sont nécessairement nettement inférieures au chiffre déjà indiqué (Martin de Sainte Olalla, 2001) bien qu'il existe de nombreux travaux dans lesquels on estime la recharge annuelle de l'aquifère. Une compilation des ces travaux pourra être trouvée dans Fernand Mejuto (2002).

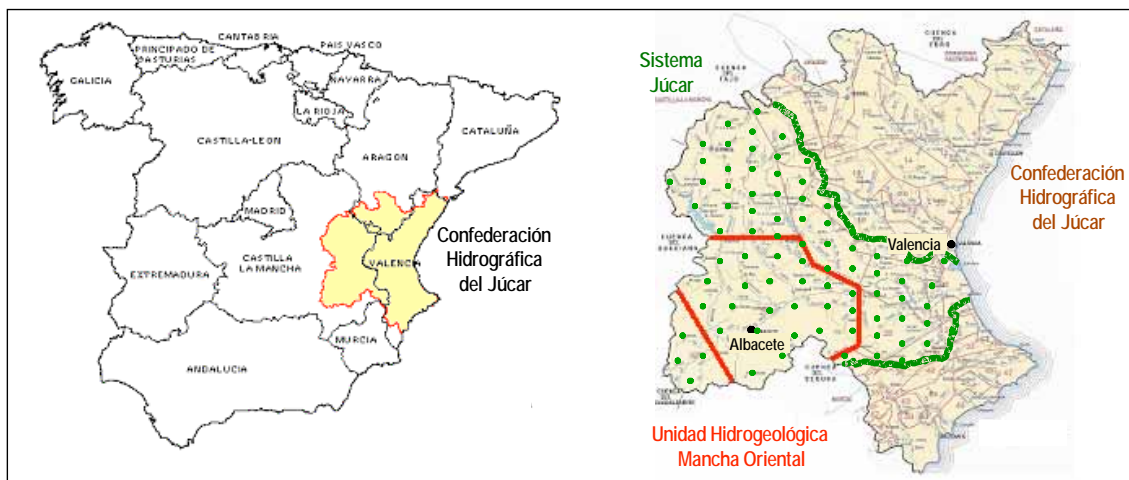


Figure 1. L'Unité Hydrogéologique Mancha Oriental (UHMO) (CHJ, 2004)

Les caractéristiques agroclimatiques de l'UHMO, selon la classification de Papadakis, sont : un climat Méditerranéen Tempéré (Met), un hiver type *Avoine Frais* (av), un été *Mais* (M), un régime thermique *Tempéré chaud* (TU) et une humidité *Méditerranée sèche* (Je). Selon l'index de classification de l'UNESCO, exprimé comme le quotient entre la précipitation et l'évapotranspiration potentielle, il s'agit d'un climat semi-aride (figure 2).

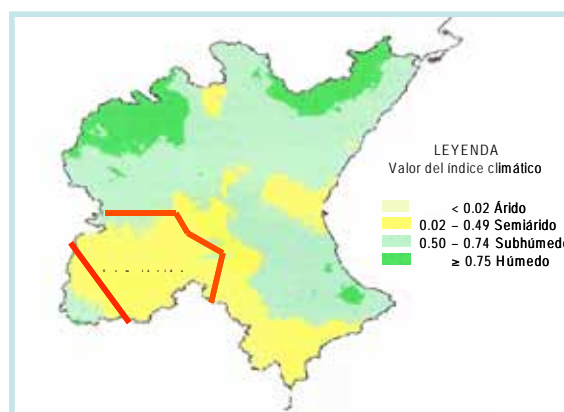


Figure 2. L'index d'humidité de l'UNESCO dans la CHJ (Estrela, 2003)

L'ample étendue de la zone d'étude fait qu'il existe deux zones clairement différenciées en ce qui concerne le pluviométrie, comme on peut le voir sur la figure 3, le volume des précipitations étant compris entre 300 et 500 mm par année.

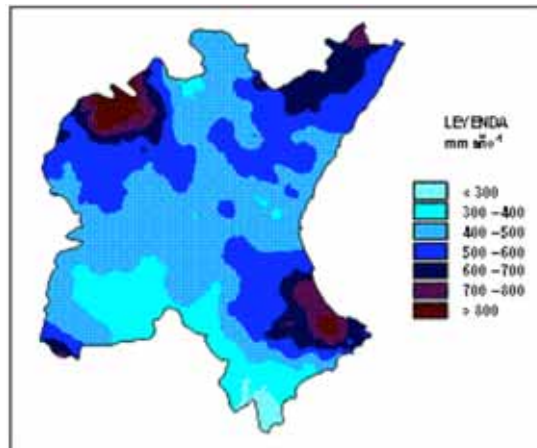


Figure 3. Précipitations moyennes sur la CHJ (Estrela, 2003)

La distribution des ressources hydriques du Système Júcar pour différentes utilisations est présentée dans le Plan Hidrológico del Júcar (PHJ, 1999). Dans la référence à l'UHMO, et plus concrètement pour l'aquifère 08.29, ce document reprend les assignations suivantes :

- Les irrigations situées dans l'enceinte de l'aquifère de la Mancha Oriental reçoivent une attribution des eaux souterraines de 275 hm<sup>3</sup> par année nets, équivalents à une extraction brute de 320 hm<sup>3</sup> par année (article 24. B. des assignations).
- L'objectif de substitution des eaux de pompages de l'aquifère de la Mancha Oriental par des eaux superficielles fixe un maximum de 80 hm<sup>3</sup> par année. Cette substitution implique la fermeture des puits affectés. En plus, on établit une réserve de 65 hm<sup>3</sup> par année, liée à cette **suppression** de pompages, par une consolidation d'irrigations et le développement possible de nouvelles irrigations dans la zone (article 24. C, réserves).
- Les déversements calculés pour le maintien du débit écologique des eaux de la rivière Júcar à Alarcón devront être d'un minimum de 2 m<sup>3</sup>/s.

Il est impossible d'alimenter l'aquifère avec le niveau actuel d'extractions. La substitution de pompages par des eaux superficielles, comme il est indiqué dans le PHJ, a pour but d'inverser cette situation. En 2003, on n'a utilisé que 24 hm<sup>3</sup> sur l'ensemble constitué par les 80 hm<sup>3</sup> dédiés uniquement à cette tâche, ainsi que par la partie correspondante de 65 hm<sup>3</sup> avec lesquels on envisage de consolider les irrigations existantes et de développer des nouvelles. Ceci est une conséquence de l'insuffisance de l'infrastructure existante dans l'enceinte de l'aquifère. Depuis le début de l'année 2004, on dispose d'une capacité structurelle de 30 hm<sup>3</sup> qui pourra correspondre à une substitution équivalente pourvu qu'il y ait les ressources nécessaires (CHJ, 2004b ; JCRMO, 2004).

### 3. L'évolution des irrigations et de la demande d'eau. Antécédents et situation actuelle

Le développement de la surface d'irrigation a été spectaculaire depuis 1975 jusqu'à la fin de la décennie passée, en constituant sans doute une source de développement important dans la Région. Ce développement a entraîné une consommation accrue d'eau, comme il est indiqué dans la figure 4.

Comme nous l'avons indiqué, les consommations, particulièrement pendant les quinze dernières années, et dans l'ensemble de l'Unité Hydrogéologique, ont été si élevées que cela a produit des extractions supérieures à sa recharge. Pendant cette période une augmentation spectaculaire de la demande a coïncidé avec quelques périodes importantes de sécheresse comme on peut le voir dans la figure 5.

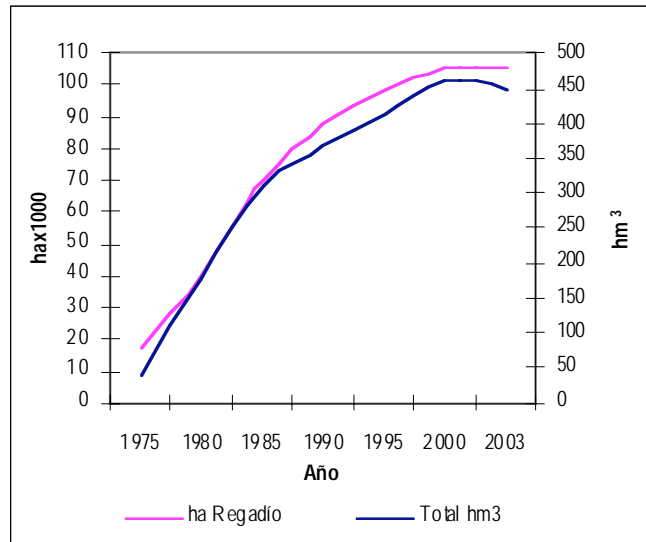


Figure 4. Evolution des irrigations et de la consommation d'eau dans l'Unité Hydrogéologique Mancha Oriental. (Montoro et al., 2005)

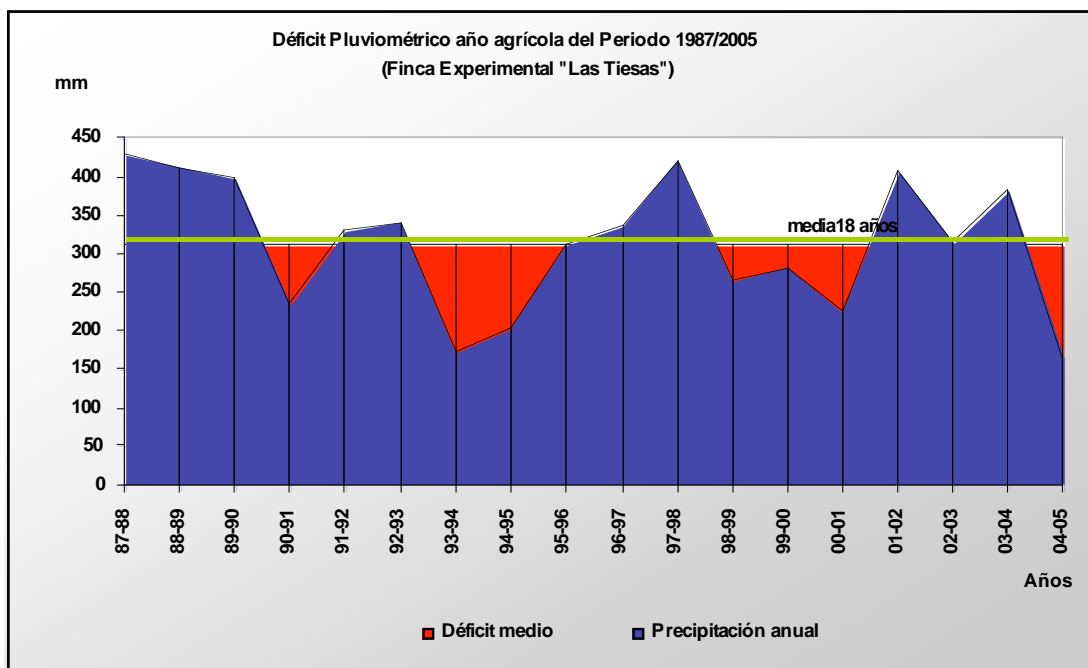


Figure 5. Déficit pluviométrique pour la période 1987-2005. (Montoro et al., 2005)

Les descentes des niveaux piézométriques ont dépassé en moyenne le mètre et demi annuel, bien que dans quelques zones, ce chiffre ait doublé. La figure 6 montre la descente subie dans les dernières années, pour les onze unités de l'ensemble de l'aquifère divisées par l'IGME.

Pendant l'année 2004, particulièrement pluvieuse, 108.539 ha ont été irrigués sur l'ensemble de l'Unité avec une consommation estimée de 363 hm<sup>3</sup>. De ceux-ci, 314,6 hm<sup>3</sup> provenaient d'eau souterraine. Avec une distribution similaire de cultures en 2005, année extrêmement sèche, la consommation estimée a été de 482 hm<sup>3</sup> dont 444,1 hm<sup>3</sup> provenaient d'eau souterraine. Les données sont portées sur les tableaux 1 et 2.

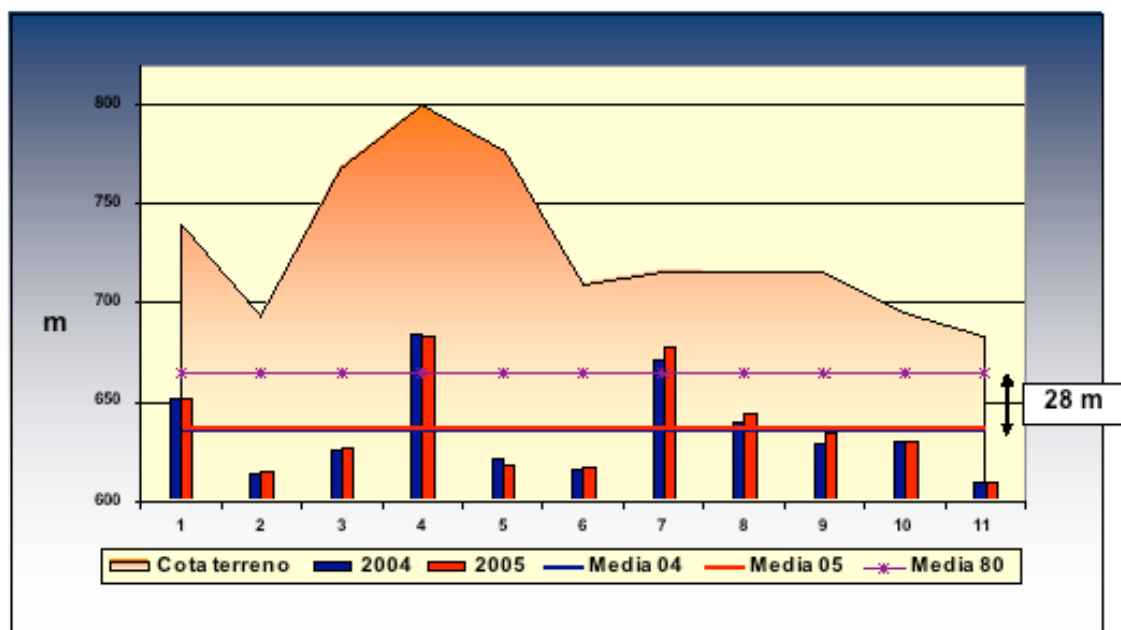


Figure 6. La descente moyenne des piézomètres de l'aquifère 08.29 de 1980 jusqu'à 2004. (Montoro et al., 2005)

Tableau 1. La distribution de cultures et de la consommation d'eau dans l'Unité Hydrogéologique Mancha Oriental en 2004 et 2005. (Montoro et al., 2005)

	2.004			2.005		
	Surface dans l'Unité (ha)	Consommation d'eau pour irrigation (m <sup>3</sup> /ha)	Total consommation dans l'Unité (hm <sup>3</sup> )	Surface dans l'Unité (ha)	Consommation d'eau pour irrigation (m <sup>3</sup> /ha)	Total consommation dans l'Unité (hm <sup>3</sup> )
Blé	16.233	2.450	40	15.942	4.170	66,5
Ail	6.236	2.130	13	4.801	3.700	17,8
Colza	182	1.900	0	45	3.680	0,2
Pavot	3.900	1.460	6	3.362	3.200	10,8
Avoine et d'autres céréales d'hiver	788	2.200	2	1.077	3.250	3,5
Orge	16.317	2.270	37	16.986	3.300	56,1
Pois et d'autres protéagineuses	1.171	1.900	2	1.419	3.250	4,6
Pois vert	1.506	1.570	2	1.685	3.040	5,1
Jachère	9.349	0	0	11.930	0	0,0
<b>Total cultures d'hiver</b>	<b>55.682</b>		<b>102</b>	<b>57.248</b>		<b>164</b>
Luzerne	8.161	6.500	53	8.008	9.011	72,2
Betterave	3.500	6.000	23	3.388	7.770	26,3
Pomme de terre	1.087	5.010	5	1.086	6.300	6,8
Maïs	19.684	6.000	117	18.641	7.061	131,6
Oignon	6.802	4.320	29	6.239	5.990	37,4
Maïs doux	1.547	5.000	8	941	5.006	4,7
Kenaf	54	4.320	0	0	-	-
Toumesol	1.078	4.000	4	1.154	4.310	5,0
Haricot	790	2.250	2	628	2.510	1,6
Outres cultures	4.251	3.000	13	5.118	3.600	18,4
<b>Total cultures d'été</b>	<b>46.954</b>		<b>254</b>	<b>45.203</b>		<b>304</b>
Vigne				7.450	1.500	11,2
Olivier				582	1.500	0,9
Amandier				329	1.500	0,5
Autres cultures ligneuses				367	2.000	0,7
<b>Total cultures ligneux</b>	<b>5.903</b>		<b>6</b>	<b>8.727</b>		<b>13</b>
<b>TOTAL CULTURES</b>	<b>108.539</b>		<b>363</b>	<b>111.178</b>		<b>482</b>

Tableau 2. Origine de l'eau consommée dans l'Unité Hydrogéologique de la Mancha Oriental.  
(Montoro *et al.*, 2005)

Année 2004		Année 2005	
Origine de l'eau	m <sup>3</sup> /an	Origine de l'eau	hm <sup>3</sup> /an
Eau souterraine	314,6	Eau souterraine	444,1
Substitution de pompages	22,4	Substitution de pompages	27,9
Systèmes d'irrigation traditionnels (eaux superficielles)	26	Systèmes d'irrigation traditionnels (eaux superficielles)	10
<b>TOTAL</b>	<b>363</b>	<b>TOTAL</b>	<b>482</b>

L'évolution des cultures d'irrigation pendant les vingt dernières années a été particulièrement intéressante. Entre 1985 et 1990, la culture de maïs est arrivée à occuper une surface proche de cinquante mille hectares à la période de prix les plus élevés de cette céréale. Aujourd'hui, une différenciation importante de cultures s'est produite comme nous le montre le Tableau.

Cette différenciation s'est produite dans un double sens :

- à l'intérieur des cultures qui reçoivent une subvention de la Politique Agricole Commune (PAC), une diminution des cultures d'été et une augmentation de celles d'hiver ;
- dans l'ensemble des cultures, une diminution de celles qui reçoivent une subvention de la PAC et une augmentation de celles qui ne la reçoivent pas. Dans ce dernier groupe les cultures horticoles et ligneuses augmentent d'une manière significative.

En 2005, seize cultures ont dépassé les mille hectares de surface, le maïs étant celle qui a occupé la plus grande étendue. L'orge et le blé ont dépassé les quinze mille hectares. Le gel de terres, obligatoire et volontaire, dépasse les onze mille hectares, en quatrième position en étendue, suivi par la luzerne.

C'est à grands traits, la situation actuelle de l'exploitation de l'aquifère. Malgré le succès de quelques mesures prises au cours des dernières années, surtout grâce aux politiques développées par la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRMO), le maintien de son niveau donne l'impression d'être sérieusement compromis. Réussir à équilibrer l'Unité est le défi le plus important auquel on doit faire face au cours des prochaines années, tant de la part de l'administration hydraulique que de la part des utilisateurs.

#### **4. La participation des utilisateurs dans la gestion de l'eau. La Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental**

L'ordonnance juridique espagnole recommande à l'Administration Publique la gestion du domaine public hydraulique, celui-ci lui appartenant depuis la promulgation de la Loi des eaux souterraines de 1985. On peut confier par des conventions ou par d'autres procédés aux utilisateurs, partiellement ou en totalité, la gestion des eaux qu'ils utilisent. Le Comité directeur Marco de l'Union Européenne (le Comité directeur 2000/60/CE) établit une gestion intégrale et intégrée de l'eau, en faisant référence à ce type de participation. Dans le cas de l'irrigation, ses caractéristiques spéciales conseillent d'agir de cette façon. De nombreuses expériences internationales le conseillent également, malgré l'existence de quelques échecs (Chandler, 1994 ; Blackmore, 1995 ; Humphries et Robinson, 1995 ; Maaren et Dent, 1995 ; Aragonés *et al.*, 1996).

Pour la gestion de l'aquifère 08.29, on a suivi ce principe. En 1994 est née la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRMO). La forme juridique qu'elle a adoptée l'a transformée en Corporation de Droit public affectée à la Confédération Hydrographique du Júcar.

Elle est née avec un double objectif. D'un côté traiter les aménagements hydriques à l'intérieur de son enceinte en collaboration avec la CHJ de façon à obtenir une utilisation durable des ressources. De

l'autre représenter et défendre les intérêts collectifs de ses adhérents devant les autorités publiques et privées en ce qui concerne l'utilisation de l'eau.

Dans la première phase de sa vie, jusqu'à l'approbation du Plan Hydrologique du Júcar en 1997, *les adhérents présentaient uniquement des revendications pures, au fil du temps, ils se sont investis de plus en plus dans la gestion*. Avec ces travaux on a clairement vu qu'il n'est possible de mettre en œuvre efficacement ces activités qu'au travers d'une bonne collaboration avec l'administration publique, dans notre cas la Confédération Hydrographique du Júcar où les usagers sont représentés par la JCRMO.

Pour sa meilleure compréhension, nous avons structuré ces tâches en **cinq grandes procédures**.

**La première procédure** se rapporte au développement des travaux qui conduisent à la connaissance des utilisations de l'eau dans l'aquifère. On inclut dans cette partie l'Inventaire d'Irrigations et sa caractérisation du point de vue administratif, comme technique. Depuis que l'inventaire a été établi, on l'actualise en permanence.

Les outils dont elle a disposé dans cette première phase ont été : le Cadastre Rural Numérisé, disponible pratiquement dans toute la zone d'arrosage, les propres dossiers administratifs de la CHJ, de l'identification et du suivi de cultures au moyen des techniques de télédétection et les visites sur le terrain pour valider l'information obtenue.

La mise au point des techniques de télédétection, réalisée par le Département correspondant de l'Institut de Développement Régional (IDR) de l'Université de Castilla-la Mancha, a été un processus particulièrement utile pour la prise de décisions dans la gestion de l'eau. Nous nous rapporterons à elles plus tard. Comme exemple des résultats qu'il permet d'obtenir, la figure 7 montre l'évolution des irrigations dans une zone de l'aquifère entre les années 1985 et 1997.

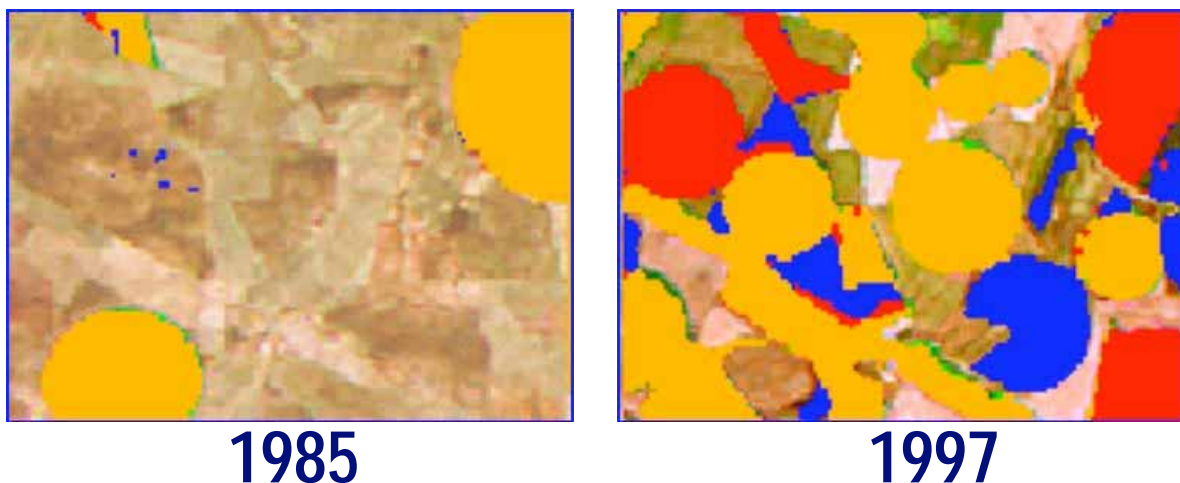


Figure 7. Exemple d'évolution de la surface irriguée obtenue par télédétection. Source : IDR (UCLM)

La **deuxième procédure** a pour but de définir les ensembles de parcelles cadastrales dans lesquelles la gestion de l'eau est réalisée de façon unitaire étant donné qu'on dispose des infrastructures nécessaires communes. Nous les avons dénommées Unités de Gestion Hydrique (UGH). Ces UGH peuvent appartenir à un ou plusieurs propriétaires, et évidemment le même propriétaire peut appartenir à plusieurs UGH. La figure 8 montre un exemple.

A chacune de ces unités on a assigné, conformément à ce qui a été établi par le Plan Hydrologique du Júcar, un volume d'eau qui est le maximum qu'elle peut utiliser dans son Plan d'Exploitation. De cette façon, chaque usager dispose d'un document qui accrédite ses droits d'usage de l'eau, comme un droit privé, avec inscription dans le Registre (Contrôle) ou le Catalogue ou bien comme une Concession Administrative.

Les instruments qui ont été utilisés dans cette procédure sont : l'inventaire d'irrigations et d'exploitation et le Cadastre Rural Numérisé et, de manière très spéciale, les données obtenues par télédétection sur l'évolution historique des cultures qui ont été irriguées dans ces parcelles.

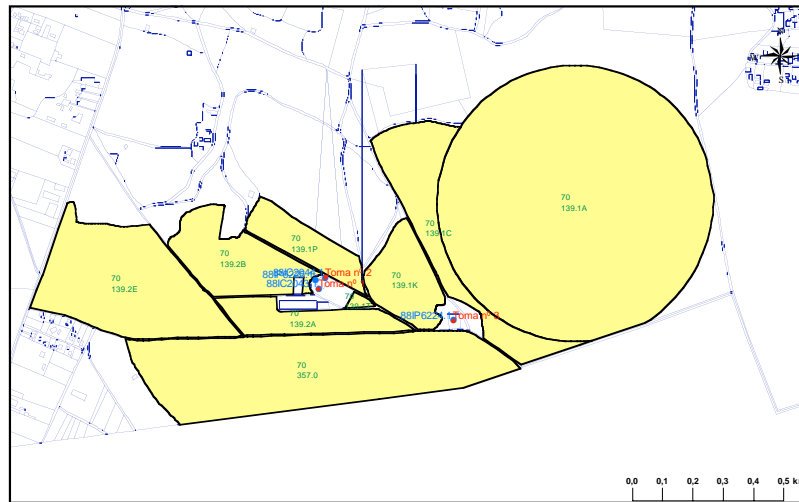


Figure 8. Un exemple d'Unité de Gestion Hydrique (UGH). Source : JCRMO

**La troisième procédure** de travaux a eu comme objet de limiter la consommation de chaque exploitation au maximum admissible. On a atteint cet objectif à travers des Plans d'Exploitation de l'aquifère qu'établit annuellement la Junta et qui correspondent à une mesure d'autorégulation que les utilisateurs s'imposent. Une fois assigné à chaque utilisateur un volume de l'eau qu'il peut utiliser dans les UGH qu'il gère, celui-ci établit son propre Plan d'Exploitation applicable à cette surface et le présente à la JCRMO pour son visa.

Les outils utilisés dans cette procédure ont été d'un côté l'analyse de la situation de l'aquifère, particulièrement l'évolution de ses niveaux piézométriques, les besoins d'eau des cultures, établies par le Service de Consultation d'Arrosages et les données apportées par l'utilisateur lui-même sur sa proposition de distribution de cultures dans son exploitation. Récemment on a commencé à utiliser un modèle de gestion de l'aquifère mis au point par L'Université de Castilla la Mancha et la Confédération Hydrographique du Júcar.

Tous les processus de gestion antérieurement décrits seraient inefficaces si l'on n'établissait pas les mécanismes adéquats de contrôle, qui vont nous assurer l'utilisation correcte.

Ce contrôle doit être réalisé d'une part par la propre Confédération Hydrographique, fondamentalement au travers de son service de garde, et d'autre part par La Junta de Regantes par l'intermédiaire du Jury des Arrosages. Cette activité de contrôle constitue la **quatrième procédure** des tâches que nous commentons.

Il est important de vérifier deux points :

- de la part de La Junta de Regantes, l'accomplissement du Plan d'Exploitation,
- de la part de la Confédération Hydrographique du Júcar, la vérification de l'irrigation par ceux qui ont le droit de le faire.

La tâche d'inspection est évidemment la moins agréable de toutes celles que doit aborder la JCRMO, mais précisément par respect pour ceux qui suivent la norme et qui représentent une grande majorité, c'est un devoir indispensable de la réaliser.

**La cinquième procédure** des rôles conjoints développés par la JCRMO et la CHJ a été la mise en marche du processus de *substitution* aux pompages. Comme nous l'avons indiqué, le Plan Hydrologique du Júcar prévoit que, dans une première phase, un volume de 80 hm<sup>3</sup> prélevé dans les eaux souterraines doit être remplacé par la même quantité en provenance des eaux superficielles. Sa

mise en pratique conduit à doter les systèmes d'irrigations pompant aujourd'hui dans l'aquifère des infrastructures nécessaires, aujourd'hui clairement insuffisantes. Cette substitution des eaux souterraines par des eaux superficielles est un élément clef pour le maintien de l'ensemble, comme de nombreuses études l'ont mis en évidence et parmi elles, quelques modèles développés par l'Université de Castilla la Mancha (Martin de Santa Olalla et al., 2005). La collaboration entre les deux institutions s'avère être un élément des plus efficaces pour conduire cette tâche à terme.

## 5. Les outils techniques utilisés dans le processus de prise de décisions

La gestion suppose une prise pratiquement permanente de décisions. Ces décisions doivent être aujourd'hui appuyées sur des outils fiables, un aspect sur lequel on a beaucoup avancé au cours de ces dernières années.

Pour le cas dont on parle, l'Université de Castilla la Mancha (UCLM) et l'Institut Technique Agronomique Provincial (ITQP) ont développé et mis au point nombre de ces outils. Nous avons dû forcément sélectionner certains dans cette présentation. Dans cette sélection nous avons essayé d'insérer des éléments novateurs d'une utilité avérée.

Bien que le Service de Consultation des Arrosages ait une structure que nous pouvons qualifier de conventionnelle, dans son processus d'actualisation permanente elle incorpore de façon permanente des nouvelles technologies avec l'information qu'elles fournissent et sa diffusion. On peut penser que l'aspect le plus nouveau apporté cette année est l'obtention de l'évapotranspiration de la culture au moyen de la télédétection. Cette technologie est mise au point dans le cadre du Projet Demeter ([www.demeter-ec.net](http://www.demeter-ec.net)) financé par l'UE.

L'identification et le **suivi** des irrigations à travers la télédétection ont été réalisées dès 1997 dans l'aquifère 08.29. L'évolution spectaculaire de ces techniques est bien connue. Il apparaît continuellement des produits nouveaux et des applications qui s'incorporent au processus de gestion.

Dans cette sélection, nous avons laissé de côté, pour des problèmes d'espace, quelques éléments qui sont actuellement en cours d'élaboration. Nous nous référons aux modèles d'appui dans la prise de décisions dans la gestion de l'eau. Un d'eux, spécifiquement développé pour l'Unité hydrogéologique de la Mancha Oriental, l'a été dans le cadre du Projet Merit financé également par l'UE ([www.merit-eu.net](http://www.merit-eu.net)).

### 5.1. Le Service de Consultation des Arrosages (SAR)

Le SAR a été créé en 1988, fruit d'une convention entre l'Université de Castilla-la Mancha (UCLM) et l'Institut Technique Agronomique Provincial (ITAP). Son but principal est la consultation des usagers de la zone, en leur fournissant l'information sur les besoins en eau d'arrosage pour leurs cultures. De même, il collabore avec la JCRMO pour assurer l'accomplissement des Plans d'exploitation des utilisateurs. Comme conséquence, il contribue au suivi et au contrôle des ressources renouvelables et de la demande d'eau d'irrigation dans l'UHMO.

Pour le calcul de l'évapotranspiration de référence (Eto ou ETP) et de culture (Etc ou ETM), on utilise la méthodologie classique de la FAO (Doorenbos et Kassan, 1986 ; Doorenbos et Pruitt, 1977), par la suite actualisée par Allen *et al.* (1998), en s'appuyant sur la station lisimétrique à laquelle on fera référence plus tard. Dans la figure 9 on présente un schéma de son système de travail.

L'accumulation d'information tout au long des douze campagnes d'arrosage, permet d'accepter les résultats que le SAR présente comme une bonne approche de la consommation réelle des plantes. D'autre part il faut tenir compte du processus de l'actualisation à laquelle cette information est soumise d'une manière permanente. L'utilisation correcte des données qui arrivent à l'utilisateur est vérifiée au champ dans un nombre élevé de parcelles, et les résultats qui sont obtenus s'incorporent à nouveau au système.

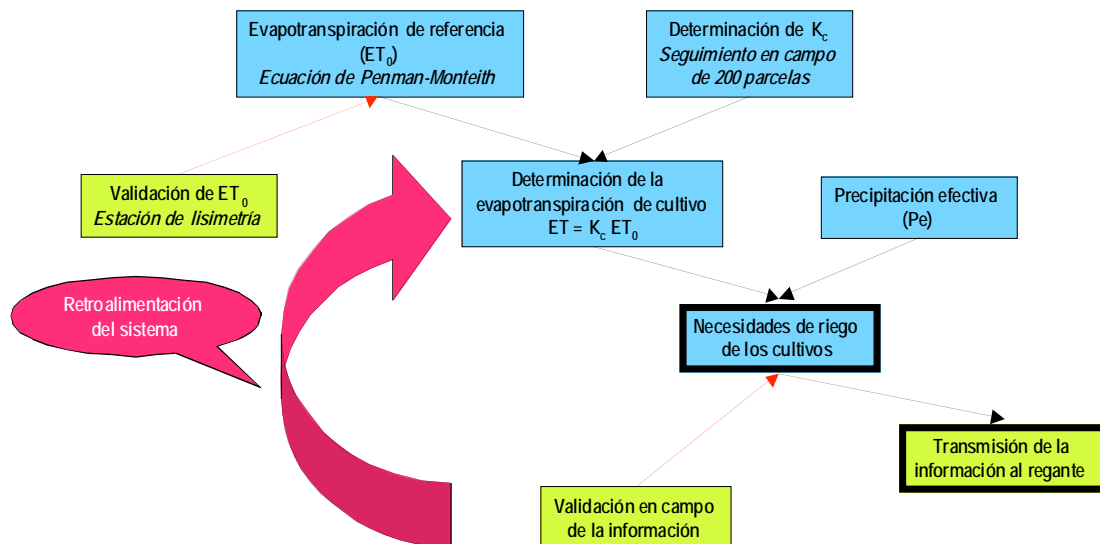


Figure 9. Metodología utilizada por el Servicio de Consultación des Arrosages d'Albacete. Source : ITAP

Ce processus est absolument indispensable pour un rapprochement progressif de la vérité. Il s'est initié en 1994 sur une surface de 3.205 hectares et en 2000 il a atteint 21.618 hectares, un chiffre qui correspond au quart de la surface irriguée dans sa zone d'influence.

En extrapolant ces données, nous pouvons connaître avec un bon niveau d'approche, la conduite réelle de l'ensemble des usagers. Ces données sont portées sur la figure 10, et correspondent à la moyenne des campagnes 1996-2004.

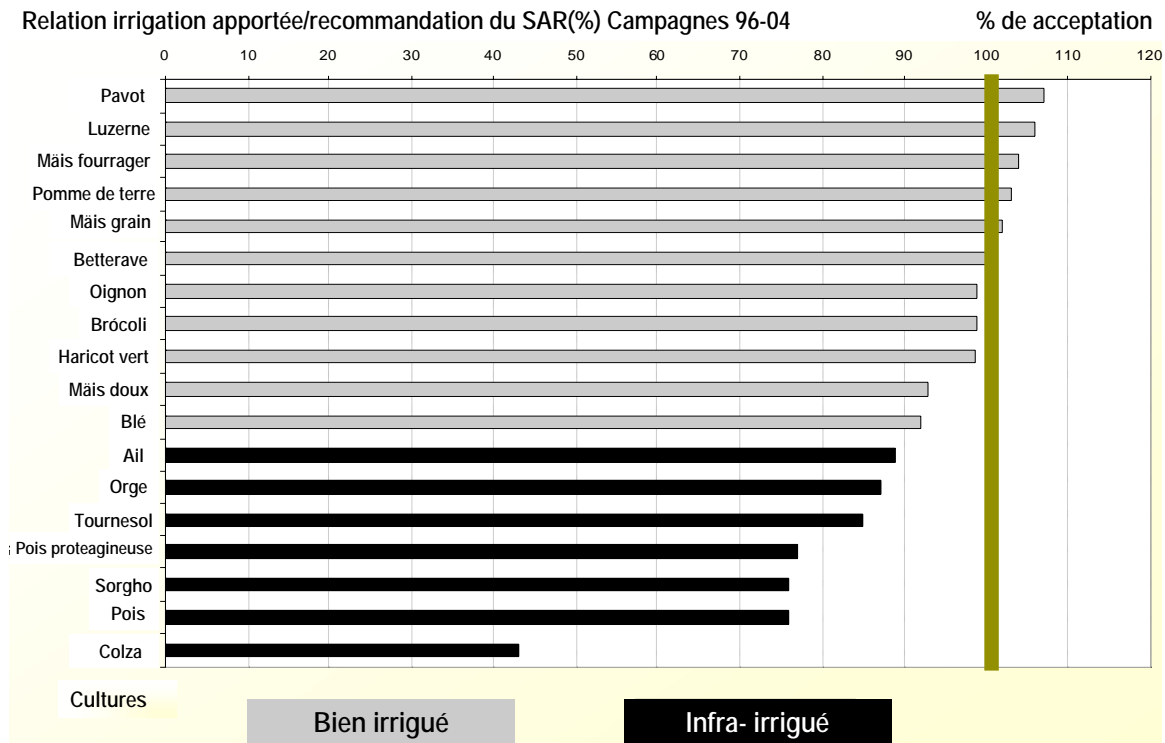


Figure 10. Relation irrigation apportée / recommandée SAR (en %), valeurs moyennes 1996-2004. (Montoro *et al.*, 2004b)

On peut extraire de l'examen de ce graphique quelques conclusions :

- Les cultures les plus consommatrices d'eau sont celles qu'on irrigue en surplus et les moins consommatrices celles qu'on irrigue le moins.
- Le "sur-arrosage" ne dépasse pas 115% ; de même le sous-arrosage ne descend pas au dessous de 70%, sauf pour le Colza d'hiver, qui est arrosé à 50%, étant donné que cette conduite a plus à voir avec la subvention que l'utilisateur reçoit de la PAC qu'avec les nécessités hydriques réelles de la culture.
- Les agriculteurs qui surarrosent le font normalement parce qu'ils estiment qu'un bienfait marginal existe dans cet apport supplémentaire d'eau. Au fil des années, ils ont pu vérifier le côté incertain de cette supposition.

Les méthodes de diffusion des résultats ont évolué comme la technologie de l'information l'a fait dans cette période. Le SAR a commencé à informer uniquement à travers la presse locale et par un répondeur automatique. Actuellement, sans perdre cette information, les données sont sur la page Web de l'ITAP ([www.itap.es](http://www.itap.es)), et le nombre de visites que cette page reçoit augmente chaque année. On y porte normalement les données hebdomadaires qui sont les plus maniables pour l'utilisateur.

Le SAR dispose d'un réseau important de stations agrométéorologiques distribuées de façon stratégique tout au long de l'Unité. Par ailleurs, une station de base existe, qui mesure les paramètres nécessaires au calcul de l'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>), conformément à la méthodologie indiquée précédemment.

Cette station de base est située dans une propriété expérimentale équipée de plusieurs stations de lisimétrie formées par trois lisimètres de pesage continu, et d'un champ pour des essais d'Arrosage Déficitaire Contrôlé (RDC) positionné près d'autres parcelles pour diverses expériences. Cette station est aussi utilisée pour la validation de l'ET<sub>0</sub>. La figure 11 présente un schéma de l'ensemble.

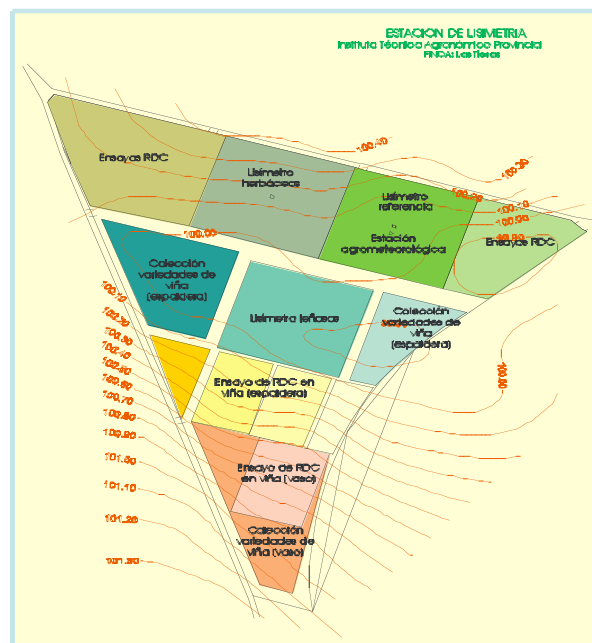


Figure 11. Station de lisimétrie dans la propriété Las Tiesas

## 5.2. Identification et suite de cultures par télédétection

L'un des usages principaux de la télédétection dans les systèmes agricoles irrigués est d'identifier des cultures et des parcelles. La capacité d'élaborer des cartes de cultures au moyen des images satellitaires, de les actualiser, d'estimer les surfaces, et comme conséquence, de calculer la distribution spatiale et temporelle de la consommation d'eau pour arrosage dans des régions étendues, fait de cette

application l'une des plus importantes pour la gestion des ressources hydriques (Martin de Santa Olalla, 2003). De nombreux travaux ont été réalisés en utilisant différentes techniques, dans pratiquement tous les lieux du monde. On peut trouver une revue générale de ces travaux dans Bastiaansen (1998) et Menenti (2000). Ceux développés par l'unité de télédétection de l'Université de Castilla la Mancha sont synthétisés dans Martínez et Calera (2001).

La combinaison des cartes thématiques qui montrent la distribution spatiale des cultures en irrigation avec les technologies de Systèmes d'Information Géographique permet de renforcer l'usage et la potentialité de ces cartes, puisqu'il est possible d'introduire des couches d'information supplémentaires, comme le cadastre digital de la propriété rurale et ainsi, d'associer l'information provenant de la carte thématique à celle du parcellaire cadastral ce qui permet d'incorporer une information concernant des caractéristiques agronomiques et administratives (Calera et al., 1999). De la même manière, la grande capacité d'analyse **qu'offrent** les différentes couches d'information permet l'extraction d'informations aux échelles spatiale et temporelle appropriées.

La valeur de la carte est en relation avec l'opportunité du moment auquel l'information est fournie à l'utilisateur, qui dépend de l'utilisation qu'il en fera à son tour. Par exemple, une carte thématique sera utile aux effets de réalisation d'une étude statistique, ou d'une reconnaissance de droits d'usages de l'eau quelques mois, ou même des années, après la campagne agricole correspondante. Des expériences d'utilisation des cartes thématiques pour la reconnaissance des droits d'arrosage commencent à être courantes dans beaucoup de régions, parmi lesquelles La Mancha (Calera y de la Cruz, 2003).

Cependant, s'il agit de suivre la surface de cultures sous irrigation pour contrôler l'accomplissement d'un plan d'exploitation, dans lequel des limitations de consommation d'eau sont établies, ce qui donne une grande valeur à la carte c'est d'être établie quand les cultures sont encore sur pied ce qui permet une vérification de terrain sur une parcelle.

Il est évident que l'obtention d'une carte de cultures d'irrigation pour chaque campagne agricole permet l'analyse de l'évolution des surfaces irriguées, et ainsi de construire l'"histoire" des cultures soit d'une parcelle individuelle, soit d'une entité spatialement plus étendue. La figure 12 montre l'évolution temporelle de la surface identifiée comme irriguée au moyen de télédétection pour l'aquifère 08.29.

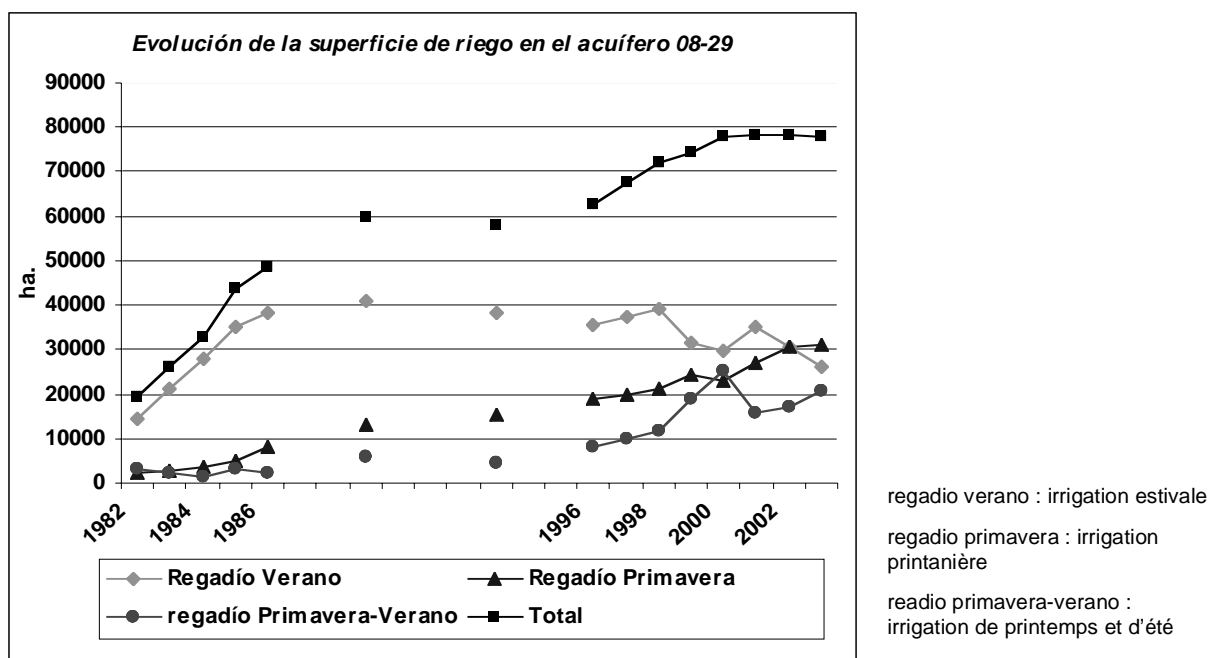


Figure 12. Evolution des surfaces identifiées comme irrigation au moyen de la télédétection dans l'enceinte de l'aquifère 08.29, par groupe de cultures et au total. (Calera y de la Cruz, 2003)

Les applications sur lesquelles l'Unité de télédétection de l'Université de Castilla la Mancha a travaillé dans l'aquifère 08-29 sont :

- Une réalisation de cartes thématiques de cultures irriguées ; elle est actualisée en permanence depuis 1997.
- La gestion de l'irrigation : la Suite du Plan d'Exploitation ; à partir de 2001.
- Une détermination des besoins hydriques des cultures par télédétection ; à partir de 2005.

Le but global de ces travaux est de mettre au point des outils, pour les gérants de l'aquifère comme pour les usagers, qui permettent d'améliorer l'efficacité de l'usage de l'eau en contribuant ainsi à une utilisation soutenable des ressources hydriques.

Nous faisons ensuite un bref rappel des méthodologies utilisées et des résultats obtenus.

La méthodologie utilisée pour la classification de cultures est celle de la Classification supervisée selon un mode temporel (Temporal pattern recognition), ce qui requiert l'ensemble des images multitemporelles convenablement sélectionnées. Dans ce cas, on utilise l'évolution temporelle d'une couverture comme critère principal d'attribution à chacune des classes. Ainsi, au lieu d'utiliser une distribution ou une signature spectrale, on utilise une distribution ou une signature temporelle pour chaque classe ou catégorie. Ainsi l'affectation d'un pixel à une catégorie correspondra à celle dont son évolution temporelle est la plus proche. Pour réaliser cette affectation, on applique les algorithmes de probabilité maximale, un classificateur en arbre et le contexte ; dans ce cas, les bandes sont les valeurs de l'indice de végétation "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) pour les différentes images utilisées.

Le besoin d'utiliser la classification multitemporelle est une conséquence de la grande diversité de cultures et de végétations naturelles avec des différents patrons temporels de semences et de développement. La grande variabilité spatiale des cultures et de la végétation naturelle et sa dynamique temporelle, peuvent donner lieu au fait qu'au moment de l'acquisition d'une image, quelques cultures n'ont pas encore émergé, parce qu'elles n'ont pas été encore semées ou parce qu'elles se trouvent dans une phase trop précoce. D'autres ont été récoltées, alors elles risquent de ne pas être identifiées car elles donnent une réponse correspondant au sol nu ; la carte thématique correspondant à une campagne agricole peut, de ce fait, être incomplète.

Le critère principal de discrimination des cultures est donc la différence d'évolution phénologique. Il s'agit donc d'obtenir une connaissance très détaillée de cette évolution. Les cultures qui ont une évolution temporelle similaire seront affectées à la même classe ou la même catégorie.

La grandeur physique dérivée des images qui décrit le mieux l'évolution phénologique et les paramètres biophysiques des cultures correspond aux Indices de Végétation (Moran et al., 1997). Par cela la signature ou la distribution temporelle d'une culture seront décrites par le NDVI. Le choix du NDVI est basé, en plus de sa capacité à décrire l'évolution temporelle des paramètres biophysiques, sur le fait qu'il exige pour son obtention l'utilisation de différents capteurs avec une résolution spatiale et une largeur de bandes différentes (Steven et al., 2003 ; Martinez et al., 2003). L'évolution typique du NDVI pour une culture est connue au préalable au moyen d'une information auxiliaire, ce qui facilite la sélection des parcelles de vérification. La figure 13 présente l'évolution temporelle du NDVI dans différentes cultures.

Utiliser comme critère de classification la similitude dans l'évolution temporelle du NDVI est pertinent du point de vue des besoins hydriques des cultures. Quand il y a des cultures déterminées par une évolution temporelle semblable du NDVI, les coefficients de culture le seront aussi ; on peut alors affecter les besoins hydriques en moyenne par classe (Martin de Santa Olalla et al. 2003).



En ce qui concerne la suite des Plans d'Exploitation, à partir de la carte thématique des cultures d'irrigation, les besoins hydriques s'estiment par unité de surface (NHR) pour une surface déterminée, de la façon suivante :

$$NHR = (\sum Si NHRi) / \sum Si$$

NHR : besoins hydriques d'irrigation en moyenne par unité de surface [m<sup>3</sup>/ha]

NHRi : besoins hydriques d'irrigation par unité de surface pour chacune des classes présentes dans la carte thématique [m<sup>3</sup>/ha]

Si : Surface de la classe i présente dans l'enceinte spatiale étudiée [ha]

Les besoins hydriques d'irrigation pour chaque classe doivent être déterminées par ailleurs, ce qui est fait classiquement par le Service de Consultation des arrosages (Martin de Santa Olalla et al., 2003) ou par télédétection, comme il est indiqué plus loin. La superficie pour laquelle on peut réaliser ce calcul va de la parcelle, comme unité élémentaire de gestion de l'exploitation agricole, ce qui permet la suite du plan individuel d'exploitation, jusqu'à la totalité de la superficie de l'aquifère qui permet les extractions.

La figure 14 montre l'évolution des volumes totaux d'eau extraits pour irrigation de l'aquifère 08.29.

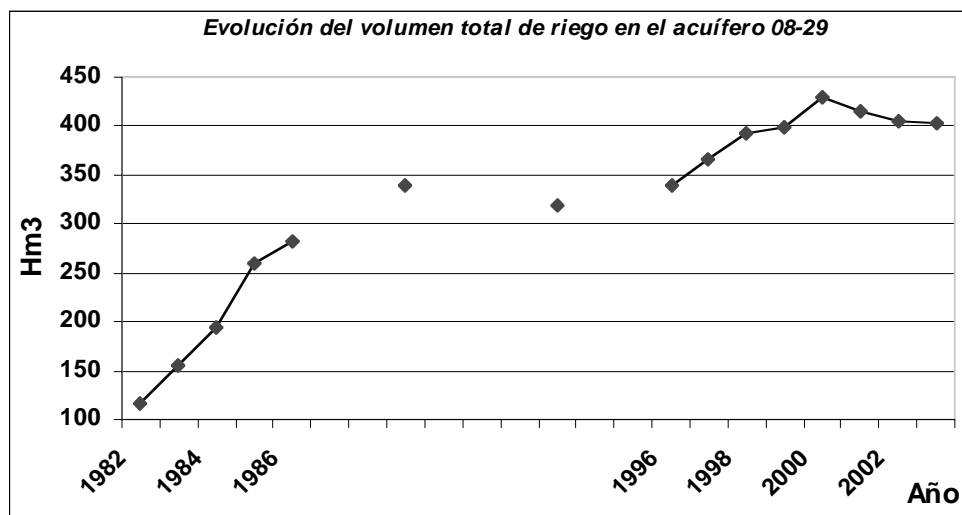


Figure 14. Evolution de la consommation d'eau pour l'irrigation sur la superficie de l'aquifère 08.29 (Calera y de la Cruz, 2003)

L'estimation des besoins hydriques d'arrosage en utilisant la télédétection est entrée dans une phase opérationnelle en 2005 et s'est développée dans le cadre du projet européen DEMETER ([www.demeter-ec.net](http://www.demeter-ec.net)), en donnant lieu à la naissance de ce qui est nommé Service de Consultation d'Arrosage Assisté par Satellite, et-SARAS. La méthodologie utilisée consiste à obtenir le coefficient de culture depuis les images, et à introduire la carte de coefficients de culture dans le fonctionnement routinier du Service de Consultation traditionnelle des arrosages. L'usage d'outils basés sur des Systèmes d'Information Géographique et les Technologies d'Information permet de fournir en temps réel l'information spatiale personnalisée à l'agriculteur.

En ce qui concerne les résultats obtenus, l'identification de cultures réalisée embrasse une série historique qui commence en 1982 et va jusqu'à l'année actuelle. Les cartes thématiques obtenues ont été l'outil fondamental qui a permis la régularisation des droits d'irrigation. Etant donnée l'importance économique de ce processus, pratiquement toutes les cartes de cultures générées ont été vérifiées par tous les agriculteurs concernés .

La Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRMO) a incorporé les images du satellite dans son fonctionnement routinier pour la suite des Plans d'Exploitation, tant individuels que de l'ensemble de l'aquifère. Les progrès obtenus dans la réduction du temps de réception de l'image après son

acquisition par le capteur (approximativement 1 jour) et dans le processus de base (approx. 1 jour) permettent d'agir pratiquement en temps réel. Le problème de la distribution de l'image aux usagers a été résolu en utilisant des technologies Web. Au moment de rédiger cette information, le Service de Consultation des arrosages est dans la phase d'incorporation de manière routinière des coefficients de culture dérivés des images satellitaires.

## 6. Des défis et des incertitudes pour l'avenir

Les travaux que nous avons décrits se sont développés tout au long des dix dernières années. C'est une période qui permet déjà une certaine réflexion sur les faits et un regard sur ce qui reste à faire.

Il est difficile, en connaissant le travail réalisé, de douter de son utilité. Bien que, en dernier recours, la responsabilité de la gestion des ressources naturelles, et donc de l'eau, retombe sur l'Administration Publique, la participation des usagers, dans ce cas de la Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental (JCRMO), s'est avérée un élément indispensable.

La JCRMO jouit du respect tant de ses propres adhérents, que des institutions avec lesquelles elle est en rapport dans son travail quotidien. Elle reçoit de nombreuses visites des usagers et des spécialistes de la gestion de l'eau intéressés par les détails de son fonctionnement. Ses cadres et techniciens ont été invités à de nombreuses occasions pour en parler dans différents forums sur ces sujets.

Le bilan semble indubitablement positif.

A quels défis fait-elle face pour l'avenir ? Selon mon opinion, l'un se détache des autres. Il s'agit de l'obtention d'une utilisation durable de l'eau de l'aquifère. On a beaucoup avancé, il y a des résultats positifs et encourageants, mais le but principal, objectif de sa création, n'a pas encore été atteint. Il faut équilibrer les extractions et les recharges et freiner ainsi la descente continue des niveaux piézométriques.

Du côté du contrôle de la demande en eau, il y a encore un chemin à parcourir, tant en ce qui concerne la clôture de quelques irrigations illégales que de l'accomplissement des plans annuels d'exploitation. Dans les deux cas, le degré de tolérance face à l'inaccomplissement doit être zéro. Les rôles tant de l'Administration, de la Confédération Hydrographique du Júcar, que des usagers à travers son Jury des arrosages, doivent être absolument transparents et la fiabilité des données sur lesquelles se base son actualisation maximale. C'est à ces conditions que se maintiendra l'autorité nécessaire pour que ses décisions soient suivies.

Tout en exigeant des utilisateurs l'accomplissement strict de la réglementation dans l'utilisation des ressources, on ne doit pas oublier que ces mêmes utilisateurs sont, dans la situation actuelle de l'agriculture et avec les attributions limitées de ressources hydriques que permet le Plan Hydrologique du Júcar, à la limite de leurs possibilités économiques. On ne peut pas leur demander ce qu'ils ne peuvent pas donner.

Du côté de l'offre, l'aquifère est à la limite. Il ne faut pas non plus lui demander ce qu'il ne peut pas offrir.

L'équilibre recherché doit provenir de la substitution des pompages des eaux souterraines par des apports d'eau superficielle. Comme nous avons déjà remarqué, le Plan Hydrologique du Júcar le prévoit, en destinant 80 hm<sup>3</sup> à cette fin. Le manque des infrastructures dédiées, des radeaux et des conduites, est en train de retarder la mise en place de cette substitution dans sa totalité.

Différents modèles de simulation de la situation future de l'aquifère montrent que la substitution de 80 hm<sup>3</sup> n'est pas suffisante, et qu'il est nécessaire d'aller plus loin, c'est-à-dire de l'augmenter de 40 hm<sup>3</sup>. Le Plan Hydrologique en vigueur prévoit cette substitution additionnelle. A mon avis, c'est quelque chose qui devra se faire nécessairement.

Une question importante n'a pas été abordée jusqu'au présent, au moins dans les documents publiés.

Le changement climatique a une incidence sur la diminution des précipitations sur une bonne partie du territoire péninsulaire, ce qui aura pour conséquence de réduire la recharge des aquifères. Si les prévisions s'accomplissent, cela affecterait l'aquifère 08.29 dans un délai relativement bref.

A ce stade, les changements à opérer seraient très profonds, affectant non seulement les cultures, mais aussi les systèmes de production, la technologie de l'arrosage, et très certainement, le type d'agriculture qui peut se développer dans les conditions semi-arides (ou arides ?) de notre territoire. Je pressens que c'est le défi que les nouvelles générations vont avoir devant elles ; ce défi fera suite à ceux auxquels nous avons dû faire face en faisant les premiers pas dans la gestion durable des ressources.

Une question semble certaine : celui qui a surmonté un défi est plus préparé pour surmonter le suivant que ceux qui ne sont jamais passés par cette situation critique. Ce qui a été accompli peut servir de socle aux entreprises futures.

## Références bibliographiques

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water FAO, Rome.
- Aragonés, J.M., Codina, J., Tu Sonnes, M.R., 1996. Importancia de las comunidades de Usuarios de Aguas Subterráneas (CUAS). Revista de obras públicas, 3355, 77-78.
- Bastiaanssen, W.G.M. 1998. Remote sensing in water resources un management: the state of the lwmi astucieux, Colombo.
- Blackmore, D.I., 1995. Murray-Darling basin commission : à mariez study in integrated catchment un management. Water Sci. Technol., 32, 15-25.
- Calera y A De la Cruz., 2003. Evolución de superficies de regadío mediante teledetección en el ámbito del acuífero Mancha Oriental. Ermot 2003. Universidad de castilla la Mancha, confederación Hidrográfica del Júcar; Junta de Comunidades de Castilla La Mancha ; Junta General de Regantes de la Mancha Oriental.
- Calera, A., Medrano, J., Vela, A., and Castaño, S., 1999. GIS tools appllied to sustainable un management of water resources. Application to the aquifer system 08-29. Agricultural Water Management 40:207-220.
- Chandler, J., 1994. Integrated catchment un management planning. J. Inst. Water Env. Man., 8, 93-96
- CHJ (Confédération Hydrographique du Júcar), 2004a. [en ligne] <http://www.chj.es>. II(Elle) consulta 2 de febrero 2004.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1986. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos Estudio FAO, Riego y Drenaje, 33. Rome, Italie.
- Doorenbos, J., Pruiitt, W.O., 1977. FAO24 Guidelines for predicting crop water requirements F.A.O., Rome.
- Estrela, T., 2003. La evaluación de las guías de la Directiva Marco Europea de aguas en aspectos relacionados con las aguas subterráneas en la Cuenca del Júcar. España. Confederación Hidrográfica del Júcar. Valencia. España.
- Fernández Mejuto, M.2002. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Hídraulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. España
- Humphries, R., Robinson, S., 1995. Assessment ofthe success of the Peel-Harvey estuary system un management strategy - À Westero Australian attempt at Integrated Catchment le Management. Water Sci. Technol., 32, 255-264.
- ITAP (Instituto Técnico Agronómico Provincial), 2004. Evolución de los regadíos en la Unidad Hidrogeológica Mancha Oriental. Informe interno. No Publicado. Diputación de Albacete.
- Maaren, H., Dent, M., 1995. Broadening participation in integrated catchment un management for sustainable water resources development. Water Sci. Technol., 32, 161-167.
- Martin De Santa Olalla, F., Dominguez, A., Artigao, A., Fabeiro, C., Ortega, J.F., 2005. Integrated water resources un management of the Hydrogeological Unit "Easter Mancha" using Bayesianan Belief Networks. Agricultural Water Management 77, 21-36.
- Martin De Santa Olalla, F., Calera, A. and Dominguez, A., 2003. Monitoring irrigation water utilise by combining Irrigation Advisory Service, and remotely sensed date with à geographic information system. Agricultural Water Management 61,111-124.

- Martin de Santa Olalla, F., 2001. La gestión del agua en el Sistema Mancha Oriental. Symposium "Las nuevas tecnologías hacia la agricultura sostenible » XX Aniversario del Instituto Técnico Provincial. Servicio de Publicaciones de la Diputación de Albacete. Albacete, España.
- Martinez, C., and Calera, A., 2001. Irrigated crop air estimation using Landsat TM imagery in Tache, Spain. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67:1177.
- Martinez, C., Calera, A., Jochum, A., 2003. Intersatellite cross-calibration : Integration of reflectance and NDVI from different satellites by means of a linear model. *In* Owe : M.; G. D'Urso; A. Calera J. Moreno, (Ed.). Vol. 5232, 128-10. Xth International Symposium on Remote Sensing. SPIE. Barcelona, Spain.
- Menenti, M. 2000. Irrigation and drainage, p. 377-400, *In* G. A. Schultz and E. Engman, eds. *Remote sensing in hydrology and water management*. Springer, Berlin.
- Montoro Rodríguez, A.; López Fuster, P. 2005. Informe Técnico para la toma de decisiones en el "Plan de Explotación 2006", de la Unidad Hidrogeológica de La Mancha Oriental. Anuario Técnico del Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP) 2005. Ed. ITAP, Albacete, España.
- Montoro, A. ; López Fuster, P.; Castillo, P.; Lejarrega, M.J; Martínez, A.; Martínez , C.; Sánchez , L.; Sanabria I., L.; Tárraga , I. 2004 b Informe anual del seguimiento del SAR. Campaña 2004. Anuario Técnico del Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP) 2004. Ed. ITAP, Albacete, España.
- PHJ (Plan Hidrológico del Júcar), 1999. Orden del 13 de Agosto de 1999 por la que se dispone la publicación de las determinaciones del contenido normativo del Plan hidrológico de la Cuenca del Júcar, aprobado, por el Real Decreto 1664/1998, de 24 de Julio. Boletín oficial del Estado número 25 ( 27 de Agosto de 1999). Madrid, España.
- Steven, M.D., T.J. Malthus, Fort. Baret, H. Xu, and M.J. Chopping. 2003. Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. *Remote Sensing of Environment* 88:412.