



HAL
open science

Caractérisation de la pratique de l'irrigation en plaine de Crau: de la parcelle à l'échelle de la plaine

Cyril Ballihaut

► **To cite this version:**

Cyril Ballihaut. Caractérisation de la pratique de l'irrigation en plaine de Crau: de la parcelle à l'échelle de la plaine. Sciences du Vivant [q-bio]. 2009. hal-02822301

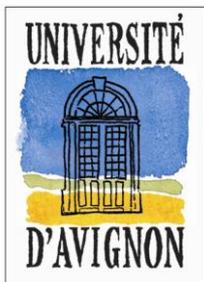
HAL Id: hal-02822301

<https://hal.inrae.fr/hal-02822301>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE



MASTER « *Hydrogéologie, Sol et Environnement* »

Année 2009 (Master 1)

Caractérisation de la pratique de l'irrigation en plaine de la Crau : de la parcelle à l'échelle de la plaine

Présenté par

Cyril BALLIHAUT

Stage réalisé à l'Institut National de la Recherche Agronomique

Tuteur du stage : Rachid HADRIA

Année universitaire 2008-2009

Remerciements

Je souhaite, en premier lieu, remercier Monsieur Rachid Hadria, mon maître de stage, et Monsieur André Chanzy représentant de l'Unité Mixte de Recherche Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes (EMMAH) auprès du projet Astuce & Tic. Leur encadrement m'a été très précieux afin de recadrer mon étude et de définir les objectifs.

Merci également au directeur adjoint du Domaine du Merle, Monsieur François CHARRON, pour son accueil et sa gentillesse, pour m'avoir accordé du temps et me faire part de ses connaissances. Merci aussi à Monsieur Jarrige et à Monsieur Driss SEGHIR (aygadier du domaine du merle) pour avoir permis de réaliser les expérimentations dans de bonnes conditions.

Je tiens à remercier tous les acteurs de l'irrigation en plaine de la Crau (chambre d'agriculture, syndicats mixtes, présidents d'association syndicale, irrigants, sous préfecture ...) que je ne pourrais tous citer et qui ont eu la gentillesse de prendre le temps pour répondre à mes questions.

Enfin merci à tous les stagiaires, thésards, ou employés de l'INRA d'Avignon grâce à qui j'ai passé un excellent stage de part l'ambiance de travail.

Résumé

La plaine de Crau est un territoire de 600 km², délimitée par les villes d'Arles, de Salon de Provence et Fos/Mer. On va s'intéresser aux prairies irriguées qui sont la principale culture irriguées de la plaine de la Crau. Elles ont pour caractéristique d'être arrosées gravitairement et contribue largement à la recharge de la nappe phréatique. La ressource en eau de cette activité provient en majeure partie d'un transfert artificiel depuis la Durance et des réserves en eaux souterraines. L'utilisation agricole de l'eau est très ancienne et repose sur une gestion collective très originale : les associations syndicales des arrosants.

L'objectif de ce travail est de caractériser les irrigations des prairies irriguées dans la plaine de la Crau. La méthodologie suivie pour atteindre cet objectif a été réalisée en deux étapes :

- Nous avons d'abord effectué un ensemble d'enquêtes auprès de différents organismes et responsables de comprendre comment est géré l'irrigation à grande échelle.
- Dans un deuxième temps, nous avons travaillé à une échelle beaucoup plus fine que celle de la plaine afin de comprendre le devenir de l'eau d'irrigation à l'échelle de la parcelle agricole.

La première étape nous a permis de comprendre le plus possible le fonctionnement des associations syndicales des irrigants (ASA) qui sont chargées de la gestion de l'eau d'irrigation à partir des canaux principaux des réseaux hydraulique jusqu'à son arrivée à l'exploitation agricole. Ce sont ces organismes qui gèrent les tours d'eau, les débits et les aspects financiers liés à l'irrigation. Ce travail nous a permis également de récupérer les périmètres de 16 ASA couvrant plus de deux tiers de la surface occupée par les prairies dans la plaine de la Crau.

Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons réalisé un ensemble de mesures à l'échelle de la parcelle à fin de connaître le débit réel et quantifier la part d'eau qui s'infiltrer vers la nappe via le processus de drainage. Ces mesures effectuées sur deux exploitations différentes ont montré que le débit d'irrigation vari entre 120 et 150l/s. Entre 8 et 12% des quantités d'eau apportées par irrigation sont ruisselées et partent en colature de la parcelle. Ces eaux sont soit récupérées et réutilisées pour irriguer d'autres parcelles soit abandonnées pour s'infiltrer tout simplement dans la nappe en cas d'absence de système de récupération. Les résultats obtenus dans cette partie ont montré que la quantité d'eau qui part dans la nappe par

drainage de la parcelle représente 65 % des quantités apportées par irrigation. Cette grande quantité est due au fait que le sol de la Crau est très caillouteux et peu profond.

MOTS CLES : Plaine de Crau, Prairies irriguées, Associations Syndicales Autorisées (ASA), Gestion de la ressource en eau, débit, drainage, fréquence des apports.

Sommaire

Remerciements	3
Résumé	5
Introduction	9
1. Présentation du lieu du stage	11
2. Présentation de la zone d'étude	12
2.1. Le climat	12
2.2. La pédologie	13
2.3. Le contexte hydrologique	14
2.4. Les cultures	14
2.5. L'irrigation	15
3. Gestion de l'irrigation à l'échelle de la plaine de la Crau	18
3.1. Les associations syndicales des arrosants	18
3.2. Les périmètres	19
3.3. Les surfaces	19
3.4. Les débits	20
3.5. Les tours d'eau	20
4. Devenir de l'eau d'irrigation à l'échelle de la parcelle agricole	23
4.1. Les parcelles expérimentales	24
4.2. La mesure des débits : les différents outils utilisés et résultats	25
4.2.1. Les enregistreurs	25
4.2.2. Les débitmètres	25
4.2.2.1. Les seuils Parschall	25
4.2.2.2. Une vanne jaugée	26
4.2.2.3. Un venturi	26
4.2.2.4. Le micro-moulinet	27
4.3. Calcul indirect du débit	29
4.4. Calcul de la réserve utile du sol	30
4.5. Calcul du drainage à l'échelle de la parcelle	32
Conclusions et perspectives	33
Table des figures	35
Table des tableaux	35
Références bibliographiques	37
Tables des annexes	39

Introduction

Le fonctionnement des écosystèmes cultivés et naturels est appelé à évoluer et évolue déjà sous les influences du changement climatique, des changements d'usages des territoires et des changements de pratiques des acteurs et usagers. La région méditerranéenne est particulièrement soumise à ces évolutions. Il semble donc nécessaire d'agir rapidement en collaboration avec les différents acteurs et gestionnaires des territoires pour limiter les effets négatifs liés à ces changements. Mais pour rendre toute intervention efficace et durable, il est primordial de bien étudier les multiples interactions entre les différents éléments qui interviennent dans cette région. Le climat de la plaine de la Crau et la diversité de ses paysages font de cette zone un vaste laboratoire naturel de 642 km² pour réaliser des études dont les résultats peuvent être représentatifs de toute la région méditerranéenne. Les prairies irriguées représentent la culture dominante dans cette plaine (~23%) et l'irrigation gravitaire et très présente dans la région et joue un rôle important à la fois pour le développement des cultures et pour la recharge de la nappe phréatique. Dans ce contexte, un ensemble de travaux a été effectué dans cette plaine pendant les dernières années afin de mieux comprendre le fonctionnement de son écosystème (Mérot 2007, 2008; Mailhol and Mérot, 2008; Courault et al., 2008; Bsaibes 2009).

Dans le même contexte, un nouveau programme nommé «Astuce & Tic: pour Anticipation des Aménagements Sécurisés des Territoires Urbains, des Campagnes et de leur Environnement par les Technologies de l'Information et de la Communication» est en cours sur la même zone d'étude afin de développer des outils de gestion et d'aide à la décision aux différents intervenants dans la plaine de la Crau. Ce programme de recherche vise à proposer des outils de modélisation pour le suivi de la de la nappe de la Crau en tenant mieux compte des pratiques agricoles et de l'évolution de l'occupation du sol et de l'urbanisme. L'objectif de cette modélisation est de prévoir à long terme le devenir de la nappe dans un contexte de changement global (changement climatiques, changement des usages des surfaces). C'est un programme qui fait intervenir plusieurs partenaires publics et privés et qui s'inscrit dans les actions du pôle Adaptation aux Changement Globaux du centre de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) d'Avignon. Des détails supplémentaires peuvent être consultés via le site web du projet: www.g2c.fr/portail/article.php3?id_article=49555».

L'objectif général de ce travail entre dans le même contexte du programme Astuce & Tic et consiste à caractériser les irrigations des prairies irriguées dans la région de la Crau à l'échelle

de la parcelle et à l'échelle de toute la plaine. Cette caractérisation nous permettra de mieux prendre en compte l'irrigation et son rôle dans la recharge de la nappe phréatique que l'on cherchera à appréhender en utilisant dans la suite le modèle de cultures STICS (Brisson et al., 1988, 2003). Ainsi on pourra lui paramétrer les irrigations pour prendre en compte de manière réaliste la variabilité des pratiques. La paramétrisation revient à déterminer les doses apportées et la fréquence des irrigations. La méthode adoptée dans ce travail a consisté à collecter des informations au niveau des associations syndicales (AS), autorisées (ASA) ou libre (ASL), via un ensemble d'enquêtes auprès d'organisations, des présidents d'association et d'agriculteurs. Ceci afin de déterminer et localiser la fréquence des apports. Dans un deuxième temps, nous avons effectué des mesures plus fines à l'échelle de la parcelle pour quantifier les débits d'eau d'irrigation et comprendre le devenir de l'eau apportée à cette échelle et comparer ces valeurs à la bibliographie. Les différentes méthodes utilisées ainsi que les principaux résultats obtenus sont présentés dans ce rapport.

1.Présentation du lieu du stage

L'Institut national de la recherche agronomique (INRA) est un organisme de recherche scientifique publique chargé de la recherche dans le domaine de l'agronomie et de l'agroalimentaire. Il est placé sous la double tutelle du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

Ces recherches sont guidées par l'évolution des questionnements scientifiques, et orientées par les défis planétaires posés par l'alimentation, l'environnement et la valorisation des territoires, que l'agriculture et l'agronomie ont à relever. Changement climatique, nutrition humaine, compétition entre cultures alimentaires et non alimentaires, épuisement des ressources fossiles, équilibre dans la gestion des territoires sont autant d'enjeux qui positionnent l'agronomie comme fondatrice d'un développement harmonieux sur les plans économique, social et environnemental. L'INRA produit des connaissances fondamentales et construit grâce à elles des innovations et des savoir-faire pour la société. Il met son expertise au service de la décision publique. Il vise à entretenir l'excellence scientifique et la pertinence des recherches, à produire des connaissances, des innovations et des savoir-faire pour la société, à être ouvert sur les attentes de la société

Cet institut est présent sur tout le territoire français par 20 centres dont celui d'Avignon qui accueille cette étude. Les axes de recherches dans ce centre s'organisent autour de trois pôles de compétences:

- Le pôle Production Horticole Intégrée
- Le pôle Santé des Plantes
- Le pôle Adaptation au Changement Global

C'est dans ce dernier pôle où s'intègre ce travail réalisé au sein de l'Unité Mixte de Recherche « Environnement Méditerranéen et Modélisation des Agro-Hydrosystèmes » (EMMAH). Les travaux développés dans de cette unité visent à la compréhension des interactions entre le fonctionnement des paysages agricoles (en terme de production, de pratiques culturales et d'occupation de l'espace), les échanges avec l'atmosphère et les transferts surface – nappes.

2. Présentation de la zone d'étude

La plaine de la Crau est située dans le département des Bouches du Rhône et correspond à une zone biogéographique bien particulière: c'est une plaine triangulaire de 642 km² délimitée par les villes de Salon de Provence, Fos sur Mer et Arles. Les limites sont au nord le massif des Alpilles, à l'est l'étang de Berre et à l'ouest le bras du grand Rhône (figure 1).

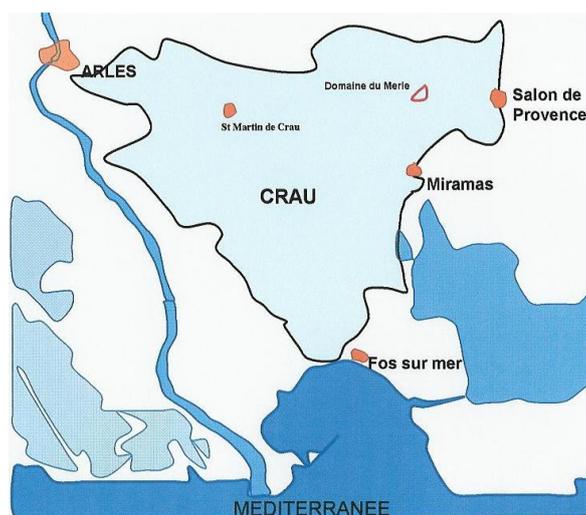


Figure 1 : Situation géographique de la plaine de la Crau

2.1. Le climat

Le climat de plaine de la Crau est un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs, des hivers froids et doux avec la présence de précipitations irrégulières pouvant être accompagnées de vents très violents. Les pluies peuvent également être très violentes, sous forme d'orage pendant la période estivale mais ne durent pas. En effet, la pluviométrie est très variable, sa moyenne interannuelle varie de 550 à 600 mm vers le Nord. Elle est caractérisée par une forte variabilité temporelle, les hauteurs annuelles varient de 400 à 800 mm suivant les années. On peut observer une période sèche de juin à septembre, une saison humide d'octobre à décembre, une période relativement sèche de janvier à février et une saison relativement humide de mars à avril. Du fait des étés chauds et secs qui caractérisent ce climat, l'évapotranspiration potentielle (ETP) est très élevée pendant 5 à 6 mois de l'année.

Un autre facteur climatique important dans cette zone est le vent. Ce vent appelé Mistral souffle en moyenne 110 jours par an à une vitesse moyenne de 60 km/h et souvent à plus de 100 km/h (Mérot, 2007). Ce vent a une incidence sur le type d'irrigation et limite fortement l'utilisation de l'aspersion. La seule irrigation possible en grande culture reste donc l'irrigation gravitaire.

2.2. La pédologie

La plaine de la Crau correspond au delta fossile de la Durance mis en place durant les ères tertiaire et quaternaire. Sa formation débute avec la mise en place du golfe durancien lors de la transgression Miocène. La mer Méditerranée recouvre la Crau et les Alpilles puis se retire rapidement à la fin du Miocène. Pendant cette période se sont mis en place des dépôts caractéristiques des zones littorales. Par la suite, l'ingression Pliocène ennoie la basse vallée rhodanienne et pénètre dans la vallée de la Durance par le défilé de St Pierre de Vence. Au début du Villafranchien la Durance s'encaisse dans ce défilé : elle adopte alors un régime d'écoulement de type torrentiel. Les galets arrachés au long de son parcours viennent se déposer sur les contreforts du massif des Alpilles dans une masse de limons. Le cours de la Durance va par la suite se déplacer vers le sud est, entraînant une migration du delta. Des épandages de cailloutis se mettent en place au cours des glaciations du Riss et de Würm. A la fin du Pléistocène, le seuil d'Orgon s'abaisse, permettant à la Durance de rejoindre son cours actuel.

Les galets retrouvés en Crau sont de nature variable (grès, granite...). Ils reflètent la diversité des terrains traversés par la Durance. Ils ont été cimentés dans une matrice carbonatée formant un poudingue appelé taparas. La cimentation est relativement importante en surface car les eaux de ruissellement provenant des Alpilles étaient chargées en carbonates. L'épaisseur du poudingue peut atteindre plusieurs dizaines de mètres en certains endroits (Andrieux, 1981).

Le réseau hydrologique de surface de la plaine de la Crau est quasi inexistant. Par conséquent, les dépôts actuels sont très faibles. Nous sommes donc en présence d'un conglomérat induré recouvert d'un sol de faible épaisseur dont la teneur en galets varie de 40% à 70%.

Telle quelle, la plaine de la Crau est impropre à la culture; ce n'est que grâce à des travaux de grande envergure et à l'irrigation mise en place depuis le seizième siècle que la culture y est aujourd'hui possible. En effet, les eaux servant à l'irrigation proviennent de la Durance et sont donc chargées en limons. En irriguant des superficies sur lesquelles des travaux d'épierrement ont été effectués, il est possible de constituer des sols cultivables de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur. Il existe donc en Crau deux types de sol dont les profils sont présentés dans la figure 2:

- la Crau sèche ou coussoul correspondant au sol d'origine et ne pouvant servir que pour une activité pastorale,
- la Crau humide correspondant à la zone modifiée par la pratique de l'irrigation et se trouvant sous les prairies.

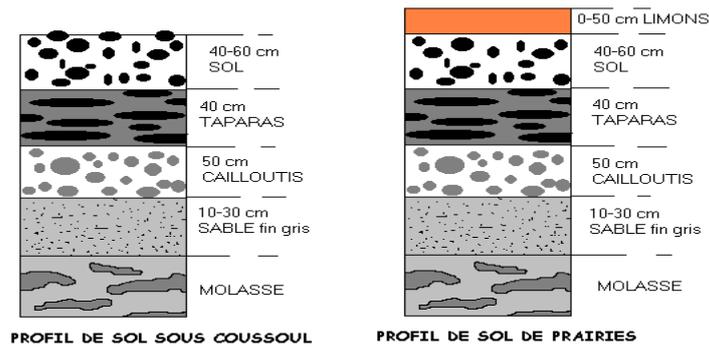


Figure 2 : Les deux types de sol présents en Crau (Martial, 1994)

2.3. Le contexte hydrologique

Comme nous l'avons précisé précédemment, la plaine de la Crau est quasiment dépourvue de réseau hydrographique de surface. La ressource en eau principale de cette région est donc la nappe de la Crau. C'est une nappe libre située dans les cailloutis perméables déposés à la fin de l'ère tertiaire. Elle s'écoule du nord-est vers le sud-ouest et présente des écoulements préférentiels dans les paléo-chenaux de la Durance (Andrieux, 1981). Les limites de cette nappe sont quasiment les mêmes que celles présentées lors de la délimitation de la plaine de la Crau. Les prélèvements sont nombreux et d'usage divers. On trouve:

- des pompages agricoles, essentiellement utilisés pour le maraîchage sous serre,
- des pompages d'alimentation en eau potable des communes de la Crau,
- des pompages industriels.

L'alimentation de la nappe de la Crau a des origines multiples: outre les apports souterrains et l'infiltration des eaux de pluie, il existe une pratique anthropique dont le rôle est fondamental: il s'agit de l'irrigation gravitaire. En effet, les suivis piézométriques réalisés par la Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) de la région Provence Alpes Côte d'Azur ont montré que la période de hautes eaux de la nappe coïncide avec la fin de la période d'irrigation (c'est à dire au début de l'automne, avant que ne commencent les précipitations) (Bessonnet, 2002).

2.4. Les cultures

La culture dominante en plaine de la Crau est les prairies irriguées. Elle permet de produire le foin de Crau d'une grande qualité et qui est une appellation d'origine contrôlée. C'est le seul fourrage qui a ce type de signe de qualité. Elle représente environ 12000 ha (source : le comité du foin de Crau). Ce chiffre sera gonflé dans ce rapport car une partie du territoire n'est pas sur la zone de l'appellation comme la commune de Saint-Chamas.

Il y a ensuite le maraichage, l'arboriculture et l'oléiculture qui sont cultivés mais à moindre mesure sur le territoire : $\approx 5\,500$ ha (source : RGA 2000).

Ces deux types de cultures représentent les principales cultures irriguées sur la Crau. Nous étudierons dans ce rapport les irrigations gravitaires des prairies qui sont dominantes dans cette zone ($\sim 23\%$). Contrairement aux prairies irriguées, les autres cultures sont en majorité irriguées de façon localisée et donc n'alimentent pas en théorie la nappe. Ces dernières y puisent seulement l'eau au même titre que l'industrie ou l'eau potable. Cela ne rentre pas dans cette étude.

2.5. L'irrigation

L'irrigation gravitaire est la technique d'irrigation la plus ancienne utilisée par l'Homme. Elle se décline sous deux formes principales : l'irrigation par ruissellement et l'irrigation par submersion. Dans le cas de la prairie, c'est l'irrigation par ruissellement qui est utilisée. Elle consiste à amener l'eau par l'intermédiaire d'un canal de transport pour la répartir à travers un champ cultivé, soit directement sur la totalité de la surface, soit par l'intermédiaire de petites rigoles ou raies.

Dans la région de la Crau on pratique traditionnellement l'irrigation dite «au calan». La parcelle cultivée est bordée par un canal le long duquel sont disposées des martelières qui jouent le rôle de vannes permettant de fermer le canal et donc de provoquer le débordement de l'eau sur la parcelle. L'eau s'écoule alors sur la parcelle et l'excédent est évacué à l'extrémité opposée de la parcelle par un canal appelé colature. La portion de parcelle arrosée par le débordement du segment de canal entre deux martelières est appelée un calan. La figure 3 ci-dessous illustre le principe de cette pratique.

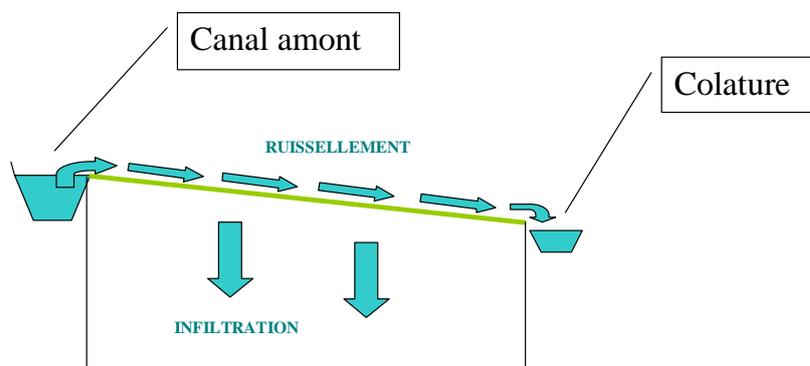


Figure 3 : Schéma du fonctionnement de l'irrigation par ruissellement

Depuis la création du canal usinier d'EDF et du lac de Serre-Ponçon en 1955, une convention a été signée avec cette société pour irriguer la plaine de la Crau. Cette dernière s'est engagée à

fournir 30 m³/s permettent d'irriguer 33 000 ha. Cette quantité d'eau il faut ensuite la répartir entre les différents usagers :

- Les Œuvres Générales

Les Œuvres sont des sociétés privées ayant pour objectif principal la livraison en eau aux concessionnaires : Associations Syndicales, collectivités territoriales, privés... Elles sont au nombre de deux: l'O.G.C (Œuvre générale de Craponne) et l'O.G.A (Œuvre générale des Alpes). Ce sont elles qui fixent les droits d'eau à chaque concessionnaire. Au fondement ces droits étaient fixés à 1,2 l/s par hectare. Avec l'évolution de la surface en culture (perte ou acquisition) cette valeur a pu changer (la nouvelle valeur existe en annexe 1 dans le cas où le président l'a spécifiée lors de l'entretien téléphonique).

- Les associations permettant de gérer collectivement les réseaux

Les branches principales du réseau de canaux sont chacune gérées par une association. Ce sont des associations syndicales libres ou autorisés. En pratique il n'y a pas de différence mais le statut juridique est lui différent. Les associations syndicales sont régies par la loi du 21 juin 1865 maintenant abrogée et à laquelle s'est substituée une ordonnance datée du 1er juillet 2004 et de son décret d'application 3 mai 2006.

Chaque irrigant adhère à une association et paie ce que l'on appelle le " *rôle* ". Le rôle est une cotisation annuelle calculée en fonction du nombre d'hectares irrigables souscrits par les arrosants. En percevant les cotisations, complétées par d'éventuelles subventions, les associations financent la gestion courante des canaux d'irrigation principaux dans le périmètre desservi par l'association :

- salaires des gardes du canal, secrétaires et éventuellement les présidents syndics ;
- travaux d'entretien des canaux (curage, faucardage, ...);
- éventuellement des travaux de restauration et de modernisation du réseau.

Selon que l'on est desservi par telle ou telle autre association, la cotisation au rôle peut varier. Cette différence de prix s'explique tout simplement par le fait que les arrosants prennent en charge la totalité de l'entretien du réseau, alors que pour d'autres irrigants, l'association prend en charge une partie de cet entretien. Ces derniers n'entretiennent que les filioles de leurs parcelles.

Une association syndicale peut également faire partie d'une autre association comme l'Union Boisgelin-Craponne ou l'AS des arrosants de la Crau. La première permet l'entretien du réseau de canaux communs à plusieurs associations. La seconde permet cela également et fournit l'eau aux différentes associations et à des particuliers.

- La Commission Exécutive de la Durance (C.E.D)

La C.E.D. a été créée suite à la loi du 11 juillet 1907 sur la réglementation des eaux de la Durance. Elle réunit les concessionnaires des deux rives du cours d'eau, des départements des Bouches du Rhône et du Vaucluse, les associations d'irrigants et EDF. Les réunions de la C.E.D. ont pour objectif une meilleure gestion de la ressource en eau de la Durance, surtout en périodes d'étiage afin de concilier les différents besoins entre le secteur agricoles et l'économie touristique. Ce sont eux qui fixent la part de chacun lors de restrictions.

3. Gestion de l'irrigation à l'échelle de la plaine de la Crau

On présente dans cette partie les différents outils et méthodes que nous avons utilisés pour étudier en détail la façon dont l'irrigation est gérée dans la plaine de la Crau. Nous cherchons dans cette partie à comprendre le fonctionnement des associations syndicales des irrigants (localisation géographique, tour d'eau, débit d'entrée, surface irriguée) sur toute la plaine de la Crau. Ce travail vise à avoir des moyens de structurer spatialement les pratiques et en particulier pour paramétrer la fréquence des apports.

3.1. Les associations syndicales des arrosants

La première étape réalisée pour atteindre ces objectifs était de faire une étude bibliographique et faire une synthèse sur les différentes études effectuées dans ce sens afin d'optimiser notre méthodologie (optimisation du temps du travail, limitation de contacts avec les présidents d'associations et autres organismes). Cette première étape de travail a été effectuée en s'appuyant principalement sur le fond documentaire du domaine du merle qui est un centre relié à SupAgro de Montpellier (Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques) et qui est fortement impliqué dans les dispositifs expérimentaux sur la thématique de l'irrigation. On cite en particulier une étude sur la quantification des flux d'eau d'irrigation en plaine de la Crau (Saos al., 2005) et une thèse sur l'analyse et la modélisation du fonctionnement biophysique du système prairial irrigué en Crau (Merot, 2007). Cette étude bibliographique a permis, entre autre, de dresser une liste des associations syndicales présentes sur la plaine de la Crau. Cette liste a été ensuite complétée puis validée par la Chambre d'Agriculture des Bouches du Rhône. La version finale actualisée et confirmée par la Chambre d'Agriculture est présentée en annexe 1.

Dans une deuxième étape, nous avons cherché à caractériser les spécificités de chacune des associations. Nous avons donc complété les données récoltées en contactant les différents organismes présents sur la plaine de la Crau (Syndicat mixte d'étude de la nappe de la Crau, syndicat mixte de gestion administrative et financière des associations syndicales, la Chambre d'Agriculture de Bouches du Rhône, le domaine du Merle, la sous préfecture d'Arles). C'est après avoir rencontré l'ensemble de ces organismes que nous avons enfin contacté les présidents des différentes associations pour compléter ou vérifier les données obtenues. En

effet, il se pouvait que l'information soit manquante ou différente d'une source à l'autre. Les différentes données recherchées sont détaillées ci-dessous.

3.2. Les périmètres

Le nombre d'associations syndicales recensées dans toute la région de la Crau s'élève à 24. La chambre d'agriculture nous a fourni le périmètre de 16 associations sous format shapefile (contact en annexe 1). La figure 4 présente les périmètres de ces différentes associations. On constate que ces associations sont localisées dans la partie nord de la plaine de la Crau délimitée sur la figure 4 par le trait jaune. En effet, les prairies irriguées sont localisées dans cette partie tandis que la partie sud est constituée par des coussouls très arides.

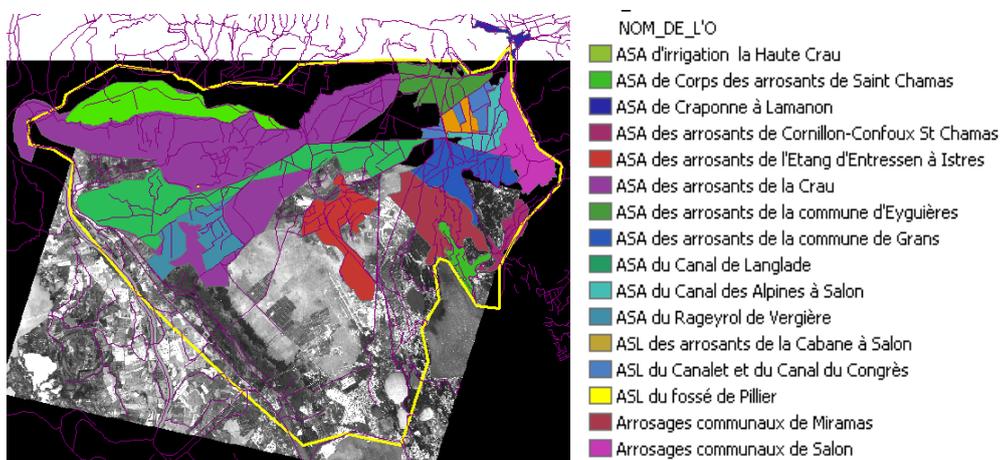


Figure 4: Périmètres des 16 AS sur la plaine de la Crau données par la chambre d'agriculture

Ces périmètres sont imprécis car ils englobent les parcelles desservies par l'association mais pas seulement. Il faut y ajouter des parcelles qui ne sont pas irriguées, des routes et chemins, des habitations, des forêts, des coussouls, des vergers ou des cultures de céréales. Au plus tard en 2012, le périmètre des associations avec seulement les parcelles affiliées sera disponible et utilisable par un système informatique géographique. Cela était demandé par la préfecture des Bouches de Rhône en même temps que la remise en conformité des statuts. Ceci afin de garantir la pérennité des droits d'eau pour chacune d'elles. Les premières cartographiées devraient voir le jour d'ici quelques mois. Pour les obtenir il faut s'adresser à Mme Roquelaure de la sous préfecture d'Arles (voir la liste des contacts en annexe 2).

3.3. Les surfaces

Cette donnée est plus facile à obtenir à partir de la bibliographie mais fait apparaître une nouvelle difficulté qui est une différence de la donnée. Après enquête auprès des présidents

d'AS, on peut s'apercevoir qu'il y a bien des recouvrements entre elles. L'AS des arrosants de la Crau par exemple regroupe dans son périmètre cinq autres associations. C'est une information pour laquelle il faut être attentif car elle n'est pas mentionnée par les présidents. D'un autre côté, les surfaces données sont les surfaces pour lesquelles ils ont un droit d'eau et pas forcément celles réellement irriguées. L'ASA de la Coste Basse a par exemple 40 ha de droit d'eau et seulement 26 ha irrigués. L'AS des arrosants de la Crau a 9800 ha de droit d'eau et devrait avoir 8000 à 9000 ha irriguées. Ils ne peuvent le déterminer de façon précise pour le moment. Il faut attendre la remise à jour des statuts. Les surfaces de toutes les associations sont présentées en annexe 1.

3.4. Les débits

Les dotations pour chaque association évoluent au cours de l'année pour un maximum durant les mois de juillet et août. Ce sont ces débits maximums que nous avons pu obtenir. La règle ancestrale de répartition d'eau entre les irrigants consiste à attribuer 1.2 l/s/ha pour chacun. Sur la compagnie des arrosants de Craonne à Istres, il serait plutôt de 1,5 l/s. Pour l'ASA de la Coste Basse c'est plutôt 6h /ha /par tour d'eau quel que soit le débit. A partir de cette valeur théorique et de la surface de droit d'eau on peut remonter approximativement au débit réservé à chaque association. Il suffit de faire une simple multiplication entre le débit et la surface irriguée. Si on prend par exemple l'ASA de la Haute Crau qui a une superficie de 1500 ha, on obtient bien les 1800 l/s ($= 1.2 \text{ l/s/ha} * 1500 \text{ ha}$) déclaré par le président de l'association. L'ensemble des valeurs pour les autres associations est répertorié en annexe 1.

3.5. Les tours d'eau

Le tour d'eau, qui est la fréquence à laquelle les usagers ont accès à l'eau, est différent d'une AS à une autre et varie entre 7 et 11 jours. Pour les associations de grande taille telles que l'AS des arrosants de la Crau ou l'ASA du canal de Langlade, il n'y a pas un tour d'eau fixe pour l'ensemble du réseau. Il en existe un pour chaque branche secondaire que nous n'avons pas pu connaître car l'information n'est pas répertoriée. Un tour d'eau de 7 jours est souvent utilisé pour les associations comportant des particuliers comme usagers.

Sur la plaine de la Crau en général, un tour d'eau est soit bien détaillé et doit-être respecté par tous, soit il n'est pas fixé et c'est l'entente entre les agriculteurs qui prime. Dans le premier cas, il n'y a aucune modulation possible en fonction d'autres contraintes (conditions météorologiques, fauches, disponibilité ...). Si un irrigant ne peut pas utiliser l'eau le jour où

prévu par le tour d'eau, il n'a qu'à attendre le prochain en espérant qu'une pluie tombe entre les deux tours. Dans ce cas, il est plus facile d'adapter les fauches à l'irrigation et non l'inverse. Il est également peu recommandé de faire un pari sur d'éventuelles précipitations. Les économies d'eau sont moins faciles et peu conseillées pour une bonne récolte.

Dans le deuxième cas, la programmation des tours d'eau est plus flexible. Cela dépend surtout du nombre d'irrigants à gérer et de la possibilité d'avoir des marges sur les tours d'irrigation. L'ASA de la Coste Basse par exemple a 40 ha de droit d'eau mais n'irrigue réellement que 20 ha. Il y a donc moins de pression pour le respect des dates et des horaires. Cependant dans ce cas ils peuvent établir un tour moyen. Ce cas permet d'attendre une possible pluie si elle est proche, ou de rallonger un tour d'eau si des précipitations ont eu lieu. Cela permet également de mieux s'organiser pour les fauches afin de les faire au meilleur moment. Mais l'entente entre agriculteurs n'est possible qu'en petit nombre pour limiter le nombre de conflits. L'ensemble des informations sur les tours d'eau collectées pendant nos enquêtes sont détaillées pour chacune des associations en annexe 1. Dans cette annexe lorsqu'il y a la mention variable au niveau du tour d'eau c'est que les agriculteurs s'entendent entre eux pour pouvoir irriguer l'ensemble de leurs parcelles. Cela dépend des conditions météo, des activités, de la surface foliaire (plus elle est dense, plus l'eau mettra de temps à atteindre le bas de la parcelle).

En pratique, chaque AS établit un calendrier des irrigations pendant le tour d'eau. Cela permet d'éviter les conflits en définissant la personne qui a l'accès à l'eau pendant telle période. Cette dernière est définie en fonction du débit unitaire accordé à chaque irrigant, du tour d'eau, du débit accordé durant la période d'irrigation et de la surface à irriguer. Prenons un cas très simple comme exemple: un irrigant qui dispose de 10 ha et qui a un tour d'eau de 10 jours avec un débit de 100 l/s. Cet irrigant a un droit d'eau de 1,2 l/s. Sur la durée du tour d'eau cela lui donne droit à un volume de : $1,2 * 3600 * 24 * 10 = 1036,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ soit $1036,8 * 10 = 10368 \text{ m}^3$ pour son exploitation. En fonction du débit que lui fournit l'AS qui est dans ce cas égale à 100l/s (360 m³/h), cet irrigant aura donc un accès à l'eau pendant une durée calculée comme suit: $10368/360 = 28,8 \text{ h}$ pour irriguer l'ensemble de son exploitation. C'est ensuite à lui de gérer librement l'irrigation de ses parcelles.

Dans la grosse majorité des cas et pour des raisons pratiques, les premiers usagers à pouvoir irriguer sont ceux situés en amont du canal. Cela se déplace ensuite vers l'aval. Il peut exister des cas particuliers comme pour les grosses exploitations de 150 ha qui ont un accès à l'eau souvent continu. Celles peuvent moduler leurs irrigations en fonction de leurs activités et vis vers ça. Elles ont plus de marge de manœuvre comme pour le domaine du Merle. Le tour

d'eau être au maximum de 13 jour comme on a pu le remarquer sur la parcelle 1J. Cependant ils respectent un tour de 10 jours dans la plus part des cas. Cette valeur est celle mentionnée par le directeur adjoint du domaine. Ces gros domaines sont des cas particuliers qui ne dépendent pas d'un accès à l'eau et sont en minorité sur l'ensemble de la Crau.

Après avoir détaillé les différents méthodes et résultats obtenus à l'échelle des associations d'irrigation sur toute la plaine de la Crau, nous présentons dans le chapitre suivant les différents travaux effectués à l'échelle de la parcelle pour mesurer les débits et quantifier le drainage à l'échelle parcellaire.

4. Devenir de l'eau d'irrigation à l'échelle de a parcelle agricole

On s'intéresse dans cette partie au devenir de l'eau d'irrigation une fois arrivée sur la parcelle. On cherche à mettre en évidence la part servant à remplir la réserve utile du sol, la part réalimentant la nappe et la part évacuée en colature. La dose apportée lors des irrigations reste plus approximative que la fréquence des apports et nécessite un travail au niveau de la parcelle. Ceci va permettre de répondre à différentes questions :

- évaluer le débit d'apport d'eau,
- développer des méthodologies d'estimation de ces débits,
- estimer les pertes par ruissellement,
- vérifier le remplissage de la réserve utile sur l'ensemble de la parcelle,
- évaluer la variabilité sur les tours d'eau.

Dans un premier temps ce sera dans la bibliographie que les réponses seront cherchées. Dans un second temps, pour vérifier les données trouvées et pour répondre aux questions qui resteront toujours en suspend, un bilan hydrique sera réalisé sur plusieurs parcelles expérimentales en utilisant le principe de conservation de la masse. Ces mesures seront réalisées sur deux domaines différents pour voir si les valeurs sont du même ordre de grandeur d'un agriculteur à un autre et si on peut généraliser les cas. Pour ces expérimentations, le sol sera considéré comme un réservoir illustré par la figure 5. On obtient ainsi:

$$I = \Delta S + R + D$$

Avec : I : irrigation

ΔS : variation de la réserve utile

R : ruissellement

D : drainage

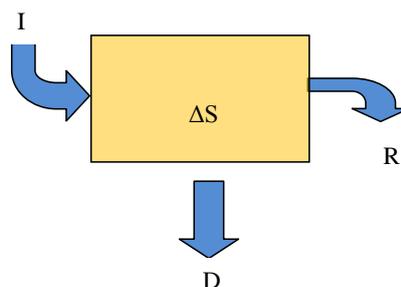


Figure 5 : Illustration du principe de conservation de la masse utilisé pour calculer le bilan hydrique lors d'une irrigation

On note que les autres composantes du bilan hydrique telles que l'évaporation et la remontée capillaire durant l'irrigation sont négligeables ici par rapport à la marge d'erreur que l'on a. On verra par la suite que les débitmètres génèrent plus d'erreur (cf. 4.2.1. les enregistreurs).

4.1. Les parcelles expérimentales

Les parcelles utilisées pour effectuer les différentes mesures sont situées dans le domaine du Merle ainsi que chez Mr Jarrige (agriculteur mettant à disposition son domaine pour les expérimentations de l'INRA). Dans le domaine du Merle, les mesures ont été réalisées sur les deux parcelles 1J et 6N visible sur le plan du domaine présenté en annexe 3. Le choix de ces parcelles s'est basé sur le fait que ces dernières sont équipées de débitmètres en amont et en aval et que de nombreuses mesures ont été effectuées (Mérot, 2007) ou en cours sur ces mêmes parcelles. Les caractéristiques de ces deux parcelles sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des parcelles expérimentales du domaine du Merle

	Parcelles	
	1J	6N
largeur parcelle (m)	90	66
longueur parcelle (m)	425	325
superficie calant (ha)	2.012	1,46
superficie parcelle (ha)	3,83	2,15
pente (%)	0,29	0,25
profondeur de sol (cm)	60	50

Ces parcelles sont bien nivelées et sont irriguées longitudinalement. La parcelle 1J est une prairie ancienne riche en de limon en surface. La 6N est une prairie récente, l'épaisseur de limon est donc faible. Les profils de sol réalisés par Mérot (2007) sur chacune des parcelles sont présentés en annexe 4.

Chez Monsieur Jarrige, les mesures ont été effectuées sur les trois parcelles 8072, 8073 et 8074. Le plan de l'exploitation de Monsieur Jarrige ainsi que le schéma de l'irrigation de ces trois parcelles sont présentés en annexe 5. La surface totale de ces trois parcelles est de 5,6425 ha. Le sol est de type «terre noire» peu profond (40 cm) avec peu de cailloux et donc peu drainant.

4.2. La mesure des débits : les différents outils utilisés et résultats

4.2.1. Les enregistreurs

La mesure des débits sur le domaine du Merle est facilitée par la présence de débitmètres accompagnés d'enregistreurs limnigraphiques. Le codeur enregistreur Thalimède est commandé par un flotteur et permet la mesure en continu du niveau des eaux traversant le débitmètre. Un système de contrepoids/câble de flotteur transmet les variations du niveau de l'eau à une roue de flotteur inscrite dans l'unité de codage. Les variations de niveau d'eau créent ainsi un mouvement rotatoire de la roue de flotteur, qui est alors converti en un signal électrique, transmis à l'unité d'acquisition par un simple câble de liaison. Ces informations sont ensuite enregistrées par la même unité d'acquisition en tant que résultats de mesures. Les cadences de stockage sont de 5 minutes. Cela permet d'avoir une bonne idée de l'eau qui entre ou qui sort de la parcelle par rapport à des irrigations qui durent 6h00. La précision de mesure du Thalimède est de un millimètre. Etant donné que l'on a un enregistrement toutes les cinq minutes, l'erreur sur la durée de l'irrigation est au maximum de dix minutes. Si on considère une irrigation de huit heures à 150l/s l'erreur liée à la mesure de hauteur est de 28 m³ et l'erreur liée à la durée d'irrigation est de 90 m³. Nous faisons donc une erreur de 118 m³ sur les 4320 m³ apportés au cours de l'irrigation (soit moins de 3%). Alors qu'une évapotranspiration de 2 mm représente 20 m³ de perdus.

4.2.2. Les débitmètres

4.2.2.1. Les seuils Parschall

Ce type de déitmètre est un canal jaugeur dont le principe réside dans la création de contractions sur les parois et/ou le fond qui transforment l'écoulement, au droit de la section de contrôle, d'un régime fluvial à un régime torrentiel. Cet écoulement en régime torrentiel est obtenu au moyen d'un convergent, dans le rétrécissement duquel la pente du fond est supérieure à la pente critique. Ce changement de régime a pour conséquence un écoulement en veine dénoyée et le niveau d'eau en amont de la contraction devient alors une fonction croissante et connue du débit. Les enregistreurs sont placés sur ces outils. Les caractéristiques de ces seuils sont présentées en annexe 6. Ces instruments sont implantés en amont et en aval de la parcelle 6N.

4.2.2.2. Une vanne jaugée

La parcelle 1J est alimentée directement par une vanne sur le réseau basse pression du domaine qui alimente ensuite la filiole (figure 6). Cette vanne est équipée d'un orifice calibré. la pression interne de la vanne agit sur le flotteur d'un codeur limnimétrique de type Thalimède, monté sur un tube PVC de 100mm (tube vertical sur la photo ci dessous).



Figure 6 : Photo de la vanne alimentant le canal d'amenée sur la parcelle 1J

4.2.2.3. Un venturi

La parcelle 1J est aussi équipée d'un venturi installé en colature pour pallier à un mauvais fonctionnement du seuil. Un venturi est un rétrécissement de la section du canal. La différence entre la hauteur d'eau en amont et au niveau du rétrécissement est fonction du débit.

L'ensemble des différents outils a été étalonné ou comparé à des mesures faites avec des appareils mobiles (micro-moulinet ...). Le Tableau 2 regroupe les équations de chaque instrument.

Tableau 2 : Equation des débitmètres.

	Débit 6N entrée	débit 1J entrée	débit 1J sortie	débit 6N sortie
Source : rapport IRD n°3 (nov 2003)	$Q = 372 * 0,3 * h^{1,520} * 3,28^{1,520}$			$Q = 372 * 0,2 * h^{1,506} * 3,28^{1,506}$
Source : Elodie NEGRE IRD (avr 2005)		$Q = 150,22 * h^{0,2326}$		
Source : rapport Albergel IRD (oct 2004)				$Q = 372 * 0,2 * h^{1,506} * 3,28^{1,506}$
Source : fournisseur Eijkelkamp (par SDEC)			$Q = 0,0000004 * SH1^3 + 0,001 * SH1^2 + 0,1358 * SH1 - \sqrt{SH1} + 3,488$	

Q = débit (l/s)

h = hauteur d'eau mesurée dans le débitmètre (m)

SH1 = hauteur d'eau mesurée (mm)

4.2.2.4. Le micro-moulinet

Afin de vérifier les valeurs des débits donnés par les appareils cités précédemment, nous avons réalisé des mesures de débit au micro-moulinet. En effet cela fait plusieurs années que les débitmètres sont installés et ils pourraient être détériorés. Cet outil est composé d'une hélice qu'on place face au courant pour mesurer la vitesse de l'eau en tour d'hélice par 30 secondes. Chaque hélice est calibrée (cf annexe 7) et permet de suivre des vitesses plus ou moins rapides en fonction de la forme des pales. Cette vérification n'a pas été faite en colature car le débit évolue très vite et on ne pourra pas faire de comparaison avec les enregistreurs qui ont un pas de temps beaucoup plus court. Cet outil a également été utilisé pour mesurer les débits chez Mr Jarrige qui n'a pas d'équipement pour mesurer le débit sur ces parcelles comme dans le cas du domaine du Merle.

Pour passer des mesures de vitesses à des débits il faut respecter une certaine procédure de relevés. Il faut faire des mesures sur plusieurs verticales sur une même section du canal et à différentes profondeurs sur ces verticales. La section des canaux mesurés faisait entre 160 et 250 cm de large pour une profondeur maximale d'environ 65 cm. Nous avons donc effectué des mesures sur 4 à 5 verticales et 4 à 6 mesures sur chacune. Les figures 7 et 8 montrent un exemple de résultats obtenus sur la parcelle 6N.

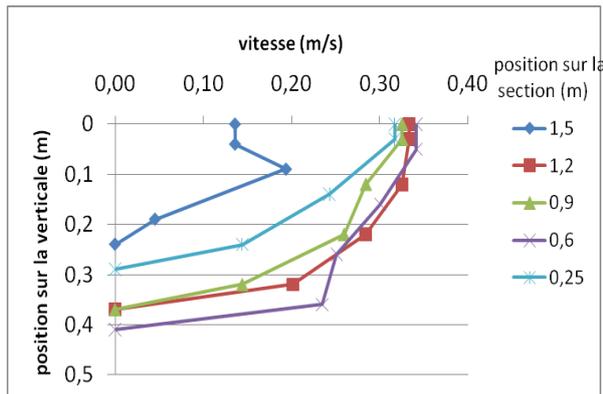


Figure 7 : Répartition de la vitesse sur les différentes verticales d'une section de canal d'amenée

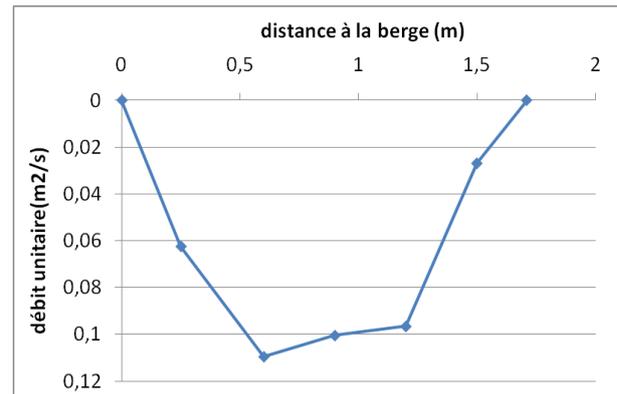


Figure 8: Répartition des débits unitaires sur une section.

En intégrant l'équation des courbes de vitesse obtenue (figure 7), on arrive à calculer un débit unitaire (m^2/s) pour chaque verticale. Cela consiste à calculer la surface que fait la courbe avec l'axe des abscisses et des ordonnées. Ce calcul a été effectué à l'aide du logiciel Digitale (www.lha.univ-avignon.fr). On arrive ensuite à créer le graphique de répartition des débits unitaires comme celui présenté sur la figure 7. De la même façon que pour la courbe des vitesses on calcule la surface entre la courbe des débits unitaires et l'axe des abscisses pour calculer le débit final du canal. Pour l'exemple présenté en figure 7 et 8 on obtient un débit de 120 l/s. Cette valeur correspond à ce que l'on donne comme débit moyen sur la plaine de la Crau d'après François Charron et Didier Tronc.

Le calcul du débit en sortie de la parcelle est effectué seulement avec les débitmètres en place sur le domaine du Merle car le débit évolue très rapidement pour pouvoir le mesurer avec le micro-moulinet. Les débits en sortie des parcelles de Mr Jarrige qui ne sont pas équipées ont donc été déduits des mesures obtenues pour le domaine du Merle. Ces volumes d'eau en sortie de parcelle dépendent beaucoup de l'irrigant : En fonction de son suivie et de son implication il y aura plus ou moins d'eau qui déborde dans la colature. Pour réduire cette

quantité, il faut arrêter l'arrivée d'eau en entrée avant qu'elle n'arrive en bas de parcelle. Il faut donc bien connaître ses parcelles et contrôler régulièrement l'avancement du front. Pour une irrigation bien suivie, comme cela a été fait sur la parcelle 1J lors des mesures, le volume d'eau en sortie de la parcelle par la colature était de l'ordre de 8 à 12 % des entrées lors de nos mesures et autour des 14 % lors des mesures de l'équipe de Mr Saos. Ces «pertes» sont inévitables pour bien remplir la réserve utile en bas de la parcelle. Le calcul de la part d'eau retrouvée en colature de la parcelle 1J est présenté en annexe 8.

Dans le cas où le changement de calant à lieu une fois que le front a atteint la colature, le taux d'eau de sortie peut aller jusqu'à 30% (mesure sur la 6N lors de nos expérimentations). En fonction de l'assiduité de l'irrigant et de la charge de travail qu'il a à côté, le taux de perte en colature peut évoluer. Dans la plus part des cas, les agriculteurs sont soucieux de leurs irrigations car ils n'ont pas l'eau à volonté et en continuité (sauf certains gros domaines). Ils vont donc chercher à optimiser leurs apports en limitant les gaspillages. On peut estimer qu'une valeur de 15% de l'eau qui arrive dans la parcelle se retrouvera en colature est acceptable. En absence de réseau de récupération des eaux en sorties de parcelles, cette quantité partira majoritairement dans la nappe par infiltration. C'est le cas sur le domaine du Merle. Lors de l'étude sur la quantification de flux (Saos & al. 2006) ils ont fait l'hypothèse que l'eau arrivée en colature rechargée la nappe.

D'après l'étude sur la quantification des flux et Didier Tronc (agriculteur de la plaine de la Crau et directeur du comité du foin de Crau), le débit moyen d'entrée à la parcelle est de 120 l/s sur la plaine de la Crau. J'ai pu vérifier cette valeur sur les mesures que j'ai pu faire. Il varie toutefois de 100 à 150 l/s. Cette valeur dépend du débit fourni par l'AS. Si elle fourni un débit de 280 l/s, il sera plus facile d'irriguer deux parcelles à 140 l/s plutôt qu'une à 120 l/s. De plus la régularité des débits sur une même parcelle n'est pas stable. Comme on a pu s'en rendre compte lors des mesures par le débitmètre en place sur la parcelle 1J, les débits vont de 135 à 155 l/s avec une certaine stabilité autour des 145-150 l/s.

4.3. Calcul indirect du débit

Finalement, nous avons cherché une méthode simple de mesure de débit dans le cas où on ne dispose pas d'outils de mesures qui peuvent être coûteux ou lourds à mettre en place. Une telle méthode permettrait de faire des mesures rapides de débit sur d'autres parcelles réparties dans toute la plaine de la Crau et qui ne sont pas forcément équipées de débitmètres.

La méthode que nous avons testée consiste à trouver une relation entre la surface de débordement de la filiole et le débit. Pour cela, nous avons réalisé des mesures de la hauteur de débordement tous les 50 centimètres sur toute la longueur du canal d'amené des deux parcelles 6N et 1J. La surface de débordement est calculée par la multiplication de la longueur de débordement par la moyenne des valeurs non nulles de hauteur d'eau. La figure 9 présente la relation obtenue entre la surface de débordement et le débit pour trois mesures sur une même parcelle (1J) (Figure 9 à gauche) et deux mesures pour deux parcelles différentes (6N et 1J) (Figure 9 à droite). Dans le cas d'une même parcelle, on obtient une relation linéaire avec une pente positive entre les deux grandeurs. Cela va dans le sens qu'on peut bien trouver une relation entre le débit et la surface de débordement. En revanche, la comparaison des résultats obtenus pour deux parcelles différentes donne une relation inversée par rapport à la première. On conclut donc qu'il n'est pas évident de trouver une relation simple entre le débit et la surface de débordement et qu'il faut tenir compte d'autres paramètres qui auraient des impacts majeurs sur cette relation. On cite en particulier la vitesse de l'écoulement et le niveau de nivellement du canal et de la parcelle à la limite de débordement. Le micro-moulinet restera donc un outil relativement simple d'usage pour la mesure de débit en attendant d'améliorer les recherches sur les relations simples de mesures de débit.

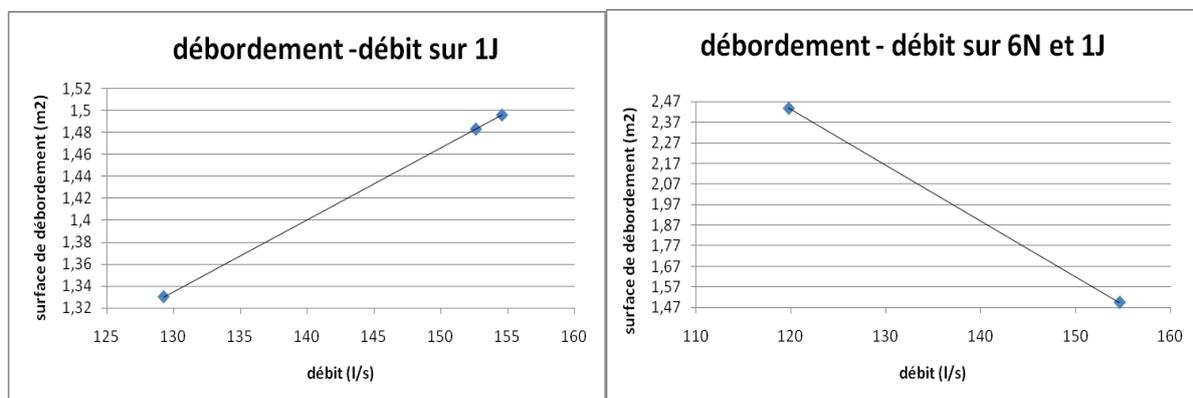


Figure 9 : Relation débit-surface de débordement sur une ou deux parcelles

4.4. Calcul de la réserve utile du sol

Afin de quantifier l'eau apportée par irrigation pour remplir la réserve utile du sol, nous avons réalisé des mesures gravimétriques dans les deux parcelles 6N et 1J du domaine du Merle et dans une parcelle chez Monsieur Jarrige. Nous avons prélevé à la tarière des échantillons de sol tous les 10 centimètres en amont et en aval de chaque parcelle. Cette opération a été réalisée avant et après l'irrigation (minimum 4h00 après la disparition de la lame d'eau). Les échantillons prélevés sont ensuite pesés puis mis à sécher à l'étuve à 105 °C pendant 24h00

avant de les peser une dernière fois. Cette opération permet d'obtenir la masse d'eau dans chaque échantillon. L'humidité pondérale du sol est ensuite calculée par le rapport entre le poids d'eau dans le sol et son poids sec. L'humidité volumique du sol est calculée en multipliant l'humidité pondérale par la densité apparente du sol par horizon. D'après les travaux de Mérot (2007), la densité apparente des parcelles étudiées est de l'ordre de 1.4g/cm^3 pour l'horizon [1-20] et $1,6\text{ g/cm}^3$ pour l'horizon [20-50]. Finalement, la multiplication de l'humidité volumique par la profondeur du sol, auquel on a préalablement enlevé la teneur en cailloux, donne la dose d'eau apportée par irrigation à la réserve utile du sol.

Les relevés de sol après l'irrigation ont servi pour vérifier que la réserve utile était bien remplie en amont comme en aval de la parcelle après l'irrigation. En effet, les échantillons de sol prélevés quatre heures après la disparition de la lame d'eau étaient gorgés d'eau. Il y a donc bien un remplissage complet de la réserve utile après l'irrigation. Cette réserve utile est remplie à hauteur de 50 à 60 mm lors des irrigations suivies. Elle n'était donc pas totalement épuisée car elle est estimée à 70 mm par Mérot (2007). Cela représente 20 à 30 % de l'eau entrée dans la parcelle comme présenté dans le tableau 3. Le 20% est obtenu pour la parcelle 6N où l'arrêt de l'irrigation a été tardif. C'est du même ordre de grandeur que ce qui a été démontré dans l'étude sur la quantification des flux. Après ressuyage total du sol et du taparas (Saos J.L, 2006) ils trouvent entre 18 et 32 % de l'eau apportée qui a été évapotranspirée. La parcelle de Mr Jarrige n'a pas été retenue car il y avait des remontées de la nappe comme on a pu le constater lors des prélèvements à la tarière.

Tableau 3 : Calcul de la part d'eau d'irrigation retenue par le sol par rapport à la dose totale apportée

	débit (l/s)	durée (h)	volume (m ³)	surface (m ²)	dose totale (mm)	dose au sol (mm)	volume dans le sol (m ³)	volume remplissant la Ru / volume total
jarrige	120	27.5	11880	56425	210,54	35	1974,88	16,62
1J	150	14.84	8013,6	38300	209,23	63	2419,51	30,19
6N	120	11.5	4968	21500	231,07	48,4	1040,48	20,94

Si l'on compare la dose réellement apportée au droit d'eau (1,2 l/s/ha) on n'obtient pas le même chiffre ($1.2*3.600*240 = 1037\text{ m}^3/\text{ha}$) La dose est plus élevée et multipliée par 2. Ceci est en partie du car ces domaines n'ont pas de problèmes de temps pour irriguer par un accès à l'eau continu. Ces deux domaines possèdent de l'eau supplémentaire par forage pour Mr Jarrige et par les résidus de l'eau de l'ASA d'Eyguière pour le domaine du Merle. Ces eaux

ne sont pas régulières car ce sont des eaux qui ne sont pas utilisées par ces irriguants. Elles sont stockées dans un lac pour être utilisées quand il y a besoin.

4.5. Calcul du drainage à l'échelle de la parcelle

Avec toutes les informations que nous avons pu obtenir dans ce travail, nous pouvons maintenant faire un bilan hydrique à l'échelle de la parcelle et qui nous permettra d'estimer enfin la composante « drainage » en utilisant l'équation du bilan hydrique décrite au début de ce chapitre :

$$\mathbf{D = I - R - \Delta S}$$

Où D, I, R et ΔS représentent respectivement: le drainage, l'irrigation, le ruissellement et la variation de la réserve utile du sol.

Nous avons montré dans les sections 1-2 et 1-4 de ce chapitre que le ruissellement et la variation de la réserve utile du sol sont de l'ordre de 8-12% et 20-30% de l'irrigation, respectivement. Si on retient des valeurs moyennes de ces deux variables, l'équation du drainage devienne alors :

$$\mathbf{D = I - (I * 0,1) - (I * 0.25)}$$

On obtient donc que 65% de l'eau apportée par chaque irrigation va dans la nappe phréatique via le processus de drainage. Cette valeur est bien du même ordre de grandeur (60-65%) que l'on retrouve dans la littérature (Mailhol et Merot, 2008, Merot et al., 2008, Chabas M, 2003). Ce grand pourcentage s'explique par le fait que le sol de la Crau est très caillouteux et peu profond.

Conclusions et perspectives

A la date de la réalisation de ce travail, les ASA sont en pleine remise à jour des statuts et sont en train de réaliser leurs périmètres à la parcelle qu'elles devraient communiquer à la préfecture avant 2012 car jusqu'à maintenant, la plus part d'entre elles fonctionnent sur des acquis sans répertorier les informations. D'après la préfecture d'Arles, toutes les informations concernant les ASA seront répertoriées d'ici 2012. Les premiers périmètres sont déjà soumis à la préfecture et les autres seront bien complétés d'ici la fin de l'année 2010. Ces informations seront à récupérer pour plus de précisions.

Les résultats obtenus dans ce travail sont très intéressants et très importants pour comprendre le fonctionnement de l'irrigation dans la plaine de la Crau. Un travail supplémentaire sur les associations syndicales d'assainissement sera nécessaire pour connaître le devenir des eaux ruisselées des parcelles. La quantification de la part de ces eaux qui est réutilisée pour l'irrigation est celle qui s'infiltre directement dans la nappe permettra d'affiner nos connaissances sur la pratique de l'irrigation des prairies dans la Crau. Il sera également judicieux de contacter l'agence de l'eau Rhône méditerranée Corse ainsi que la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt pour avoir les chiffres exacts sur les dotations de chacune des associations.

Une autre information que nous n'avons pas étudiée dans ce rapport est les forages agricoles et leurs caractéristiques. Cette information devrait être fournie par le syndicat mixte d'étude de la nappe de la Crau. La prise en compte des pompages permettra de faire un bilan exact de la recharge de la nappe.

La dernière extension que l'on peut faire à ce travail est d'évaluer la variabilité des doses apportées en fonction des configurations des parcelles. Cette information pourra être utilisée avec les photos aériennes et à la configuration des parcelles.

Finalement, l'extension de cette étude à d'autres types de cultures tels que l'arboriculture permettra d'avoir une idée globale sur la gestion d'eau à l'échelle de toute la Crau.

Ce stage réalisé dans le milieu de la recherche fut très intéressant et important pour ma formation. Il a conforté mon objectif de carrière qui se situe plutôt dans la création de services pour les irrigants. Professionnellement parlant, j'ai pu approfondir mes connaissances sur l'irrigation gravitaire. J'ai aussi compris toute la difficulté à collecter des informations auprès de divers usagers. L'établissement d'un contact, trouver la bonne personne qui peut répondre

à mes questions ainsi que la disponibilité des données sont les principales difficultés que j'ai rencontrées lors de la réalisation de ce travail. C'est également une chance de pouvoir réaliser entièrement une étude en étant seulement recadré de temps en temps. Malheureusement elle n'a pu répondre à toutes les interrogations qui peuvent faire l'objet d'un autre stage.

Table des figures

Figure 1 : <i>Situation géographique de la plaine de la Crau</i>	12
Figure 2 : <i>Les deux types de sol présents en Crau (Martial, 1994) </i>	14
Figure 3 : <i>Schéma du fonctionnement de l'irrigation par ruissellement </i>	15
Figure 4: <i>Périmètres des 16 AS sur la plaine de la Crau données par la chambre d'agricultures</i>	19
Figure 5 : <i>Illustration du principe de conservation de la masse utilisé pour calculer le bilan hydrique lors d'une irrigation</i>	23
Figure 6 : <i>Photo de la vanne alimentant le canal d'amenée sur la parcelle 1J</i>	26
Figure 7 : <i>Répartition de la vitesse sur les différentes verticales d'une section de canal d'amenée</i>	28
Figure 8: <i>Répartition des débits unitaires sur une section.</i>	28
Figure 9 : <i>Relation débit-surface de débordement sur une ou deux parcelles</i>	30

Table des tableaux

Tableau 1 : <i>caractéristiques des parcelles expérimentales du domaine du Merle</i>	24
Tableau 2 : <i>Equation des débitmètres</i>	27
Tableau 3 : <i>Calcul de la part d'eau d'irrigation retenue par le sol par rapport à la dose totale apportée</i>	31

Références bibliographiques

- Andrieux P.**, 1981. Etudes des sols du Domaine du Merle. Méthodes et premiers Résultats ; Mémoire de D.D.A. ENSAM. 45 p
- Bsaibes, A.**, Courault, D., Baret, F., Weiss, M., Oliosio, A., Jacob, F., Hagolle, O., Marloie, O., Bertrand, N., Desfond, V., Kzemipour, F., 2009. Albedo and LAI estimates from FORMOSAT-2 data for crop monitoring. *Remote sensing of environment* 113 (4), 716-729
- Carlier, M.**, 1972. Hydraulique générale et appliquée. Paris, Eyrolles. *Coll du centre de Recherche et d'Essais de Chatou. MH 10372. 565 pp.*
- Chambre d'agriculture régionale de PACA**, « <http://hydra.dynmap.com> ».
- Courault, D.**, Bsaibes, A., Kpemlie, E., Hadria, R., Hagolle, O., Marloie, O., Hanocq, J.F., Oliosio, A., Bertrand, N., Desfonds, V., 2008. Assessing the Potentialities of FORMOSAT-2 Data for Water and Crop Monitoring at Small Regional Scale in South-Eastern France. *Sensors* 8, 3460-3481.
- Mailhol J.C.** and Merot A, (2008). SPFC: a tool to improve water management and hay production in the Crau region. *Irrig Sci* 26 : 289–302.
- Martial L.** : Etude préalable à la conception d'un nouveau réseau d'irrigation gravitaire au Domaine du Merle- Mémoire de D.A.A. option génie agronomique. 1994. 64 p.
- Merot A.**, Wery J., Isbérie C., Charron F., (2008). Response of a plurispecific permanent grassland to border irrigation regulated by tensiometers. *Europ. J. Agronomy* 28: 8–18.
- Merot, A.**, 2007. Analyse et modélisation du fonctionnement biophysique et décisionnel d'un système prairial irrigué. Thèse de doctorat, SupAgro, Montpellier, France, 207p.
- Quantification des flux d'eau d'irrigation gravitaire en plaine de la Crau :
- **Bessonnet. N.**, impact de l'irrigation gravitaire sur la recharge de la nappe de la crau. Rapport de stage de maîtrise, IRD-US DIVHA, 2002, 61 p.

- **Chabas. M**, Quantification des Flux en irrigation gravitaire : bilan hydrique à l'échelle de la parcelle. Rapport de stage de Dess, IRD-US DIVHA, 2003, 38 p.
- **Djouabi. F**, Diagnostic territorial et environnemental des périmètres irrigués gérés par les associations syndicales dans la plaine de la Crau. Rapport de stage de Mastères, IRD-US DIVHA, 2004, 40 p.
- **Le Rolland. T**, Quantification des flux d'eau en irrigation gravitaire en Crau : Transport, contrôle et gestion de l'eau. Rapport de stage de Dess, IRD-US DIVHA, 2003, 46 p.
- **Saos. J-L**, Quantification des flux d'eau en irrigation gravitaire en Crau. IRD-US DIVHA, 2006, 149 p.

Tables des annexes

Annexe 1 : caractéristiques des AS

Annexe 2 : Cordonnées des différents organismes contactés lors de la réalisation de ce travail

Annexe 3 : Plan du domaine du Merle et situation des parcelles 6N et 1J suivies

Annexe 4 : Profil moyen des parcelles 1J et 6N

Annexe 5 : Plan du domaine de monsieur Jarrige et schéma de l'irrigation sur les parcelles suivies dans ce domaine

Annexe 6: Description du seuil Parschall

Annexe 7 : Calibration des hélices du Micro-Moulinet SEBA utilisé dans cette étude

Annexe 8 : Calcul de la part d'eau d'irrigation retrouvée en colature sur la parcelle 1J

Annexe 1 : caractéristiques des AS

N°	Nom de l'organisme	Date de création de l'organisme	CD	commune	Autres communes concernées par le périmètre	sous pref	Adresse du siège	Forme juridique
1	ASA des arrosants de la Crau	13/07/1625	13200'	Arles	Aureille Eyguières Mouries Saint Martin de Crau	arles	Pont de Crau - Moulin St Victor	ASA
2	ASA de la Haute Crau	18/04/1955	13637'	Arles	St Martin de Crau	arles	SMGAS Pays d'Arles Pavillon du canal Chemin de barriol BP 30181'	ASA
3	Association Syndicale du Canal de Langlade	10/10/1928	13637'	Arles	St Martin de Crau	arles	SMGAS Pays d'Arles Pavillon du canal Chemin de barriol BP 30181'	ASA
4	ASA d'irrigation de la Coste Basse	03/01/1989	13637'	Arles		arles	SMGAS Pays d'Arles Pavillon du canal Chemin de barriol BP 30181'	ASA
5	ASA des Arrosants d'Eyguières	28/12/1832	13430	Eyguières		arles	Mairie	ASA
6	Compagnie des alpines d'Istres et Entressen	1787	13800	Istres		istres	Domaine de la Massugière	Autre
7	ASL du canal Joly							
8	ASL des Biens Neufs							
9	Canal du Congrès		13300	Salon de Provence		aix	Petite carraire Bel Air	Autre
10	canal du Canalet		13300	Salon de Provence		aix	Petite carraire Bel Air	Autre

11	ASL des arrosants de la Cabane à Salon	01/01/1886	13300	Salon de Provence		aix	impasse du mas neuf	ASL
12	ASL des Chanoines							
13	ASA des arrosants de Craponne à Cornillon-Confoux							
14	ASL du fossé de pilier		13310	St Martin de Crau			domaine Grand Mas de Pillier, chemin départemental	
15	Corps des arrosants de Saint Chamas	01/01/1776	13250	Saint Chamas	Miramas	istres	Ancienne poudrière BP 7 Rue Auguste Fabre	ASA
16	Arrosages communaux de Salon		13300	Salon de Provence		aix	Mairie	Commune
17	ASA du Canal des Alpines à Salon	29 août 1813	13300	Salon de Provence		aix	Mairie	ASA
	Sans confirmation du président à la fin du stage							
18	ASA de GRANS	26/04/1948	13450	Grans		aix	Mairie	ASA
19	ASA des arrosants de Craponne à Péligasse							
20	ASA Lamanon							
21	ASA des Arrosants d'Entressen	21/01/1947	13800	Istres		istres	Centre administratif-rue Abel Aubrun Mairie	ASA
22	ASA des Arrosants de Craponne à Istres	07/11/1924	13800	Istres		istres	Centre administratif-rue Abel Aubrun Mairie	ASA
23	ASA du Rageyrol de Vergières	08/02/1896	13637'	Arles	St Martin de Crau	arles	SMGAS Pays d'Arles Pavillon du canal Chemin de barriol BP 30181'	ASA
24	Arrosages communaux de Miramas	21/03/1588	13140	Miramas		istres	Mairie	Commune

N°	Fonction de l'organisme	Président	tel	e-mail	cartographié	surface en droit d'eau (ha)	% en prairie
1	irrigation	Louis Arlot	Gaëtan Guichard 06.84.83.96.09	canaldecraponne@wanadoo.fr	oui	9800 mais 8000 à 9000 réellement irriguée (comprend les AS a qui il fourni de l'eau sauf pour moitié celle de Langlade et sauf Istres	90
2	irrigation	Manificat Michel	0490984722 / 0686778027		oui	1500	60-70%
3	irrigation	De Caussans Michel	04 90 96 44 91		oui	2100	
4	irrigation	BALDY René	04 90 96 26 80		non	40 théorique mais 26 réel	100
5	irrigation	Alain Briegne	Fage Raymonde 04.90.59.89.76 06 25 47 02 84 (Briegne)	asa.arrosantseyguieres@gmail.com	oui	1270	70
6	irrigation	Christian Trouillard	JeanFrançois Steinbach 06 09 06 13 64	jfsteinbach@yahoo.fr	non	≈ 900	96
7		Steinbach jean-françois			non	+ de 100	
8		Maurice Tricon			non	96 à 100	
9	irrigation		04 90 53 39 41			6000	90-95

10	irrigation						
11	irrigation	Gibellin	04.90.53.00.38		oui	420	70
12		Jean-Pierre Fejoz	04 90 98 00 56		non	250 à 300	
13		M Gilbert GRASSET	04.90.50.85.83secrétaire Mme Bonhomme : 04-90-57-22-30		oui	350	90
14		Roux Teixier	04 90 47 05 23 ; 06 03 01 65 33		non	306	
15	irrigation	GIMET	Mme Sabine Nicolas 04.90.50.99.82	syndicatducorpsdesarrosants@orange.fr	oui	424	
16	irrigation	service irrigation : Mr Mèfre	04 90 44 89 00		oui	700 plus particuliers	
17	irrigation				oui		
18	irrigation	André BELMOND	Mme Bertorello 04 90 55 80 54	syndicat.arrosants.grans@orange.fr	oui	1040	90
19		Guy Constant	secrétaire : mme Puccini : 04 90 55 35 31	asapelissanne@free.fr	non	320	5
20		Gilbert JENTET	08 77 59 71 24	gilbert.jentet@orange.fr	oui		
21	irrigation	Jean-Marie Manzon	04 42 56 00 76 (Patricia Martinez ou Sabine Nicolas)		oui	560	100
22	irrigation	Louis Tronc et Louis Lescot	04 42 56 00 76 (Patricia Martinez ou Sabine Nicolas)	asacraponneistres@orange.fr	oui	1050	90
23	irrigation	Cauvin Fernand	0490470565 / 0676713117		oui		
24	irrigation	service technique : Mr Georges BOCHOT	04 90 58 79 79		oui		

N°	% en verger	% en maraîchage	% autres	tour d'eau (jours)	Q max entré(l/s)	Remarques
1	5	5	0	9,10 ou 11 le plus court est en aval de l'AS et le plus long en amont	13180	Les AS suivantes sont fournies en eau par les arrosants de CrauASA : des fioles d'aureille, de Langlade, de la Haute Crau, du Rageyrol-de-vergières, de Coste Basse, Yvaren-fourchon-cornillon ; ASL : du fossé de pillier, du fossé de chanoines, du fossé de servannes
2				8	1800	droit d'eau à l'ha : 1,2 l/s
3				continue chaque branche à son tour d'eau		
4				≈ 10 jr la modification de la surface en logement permet une flexibilité du tour d'eau	50 (6h/ha)	
5	15	2	13	10	1620	droit d'eau à l'ha : 1,2 l/s
6	2	2	0	10	3785 dont 700 l/s qui part à la commune de Fos sur Mer le reste est réparti à part égale entre les 2 branches	droit d'eau à l'ha : 1,5 l/s
7				8	120	
8				7	1479,2	
9 10				8,9 ou 10	9200	C'est un même canal mais les irrigants ont soit des droits d'eau avec l'une soit avec l'autre
11				8 variable (entente)	504	droit d'eau à l'ha : 1,2 l/s

12				10,5	326 (56min/ha)	
----	--	--	--	------	----------------	--

13	0	2	9	7 (variable)	600	
14				10	368	droit d'eau à l'ha : 1,2 l/s
15				7	1263,75	
16				10 en théorie irrigue plutôt à 8	860 à 900 pour les prairies	droit d'eau 1,25 à 1,3 l/s/ha
17						

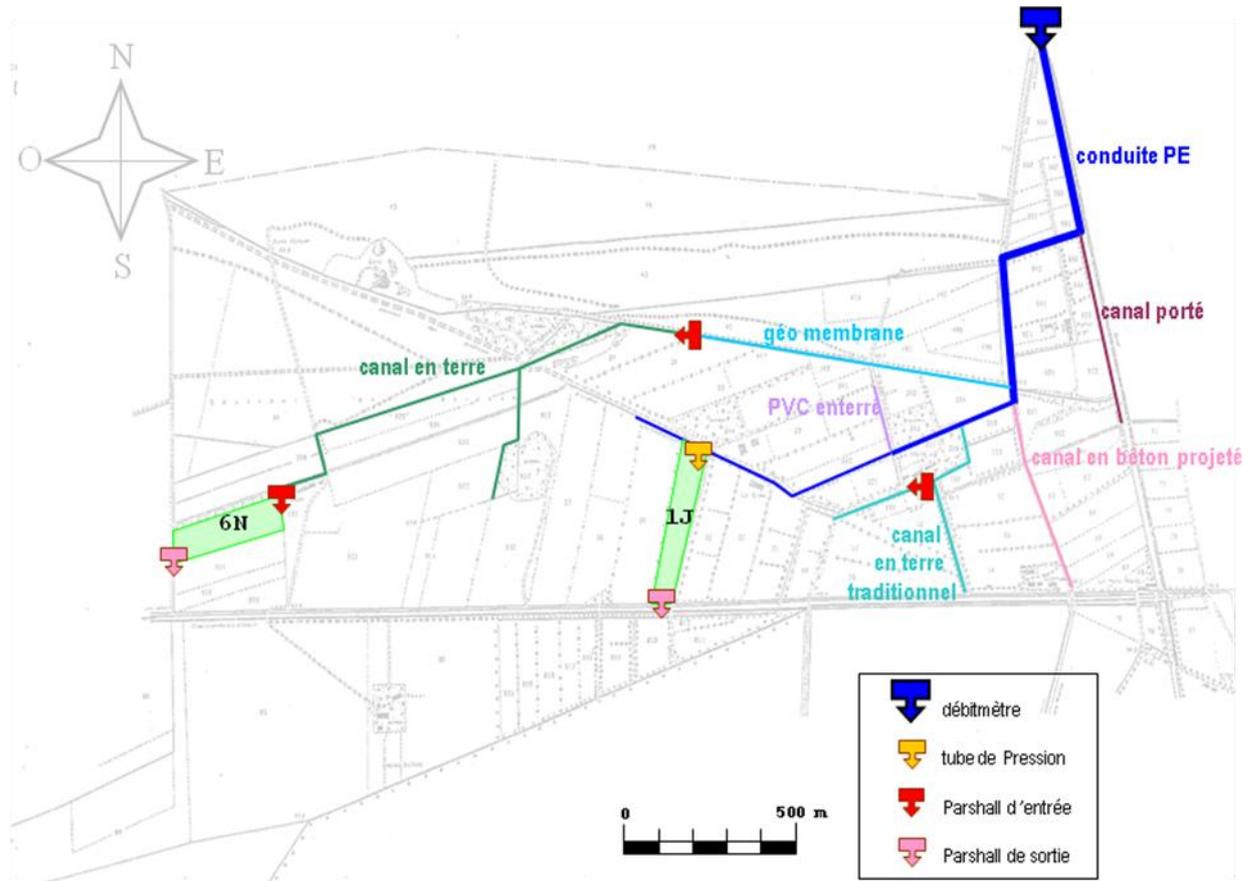
18	3	4	3	10 jours		
19	5	7	83			
20						
21	0	0	0			
22				continue (grands domaines), 7 jours (autres)		
23				10,5 jours, petites surfaces pas de tours		

24						
----	--	--	--	--	--	--

Annexe 2 : Cordonnées des différents organismes contactés lors de la réalisation de ce travail

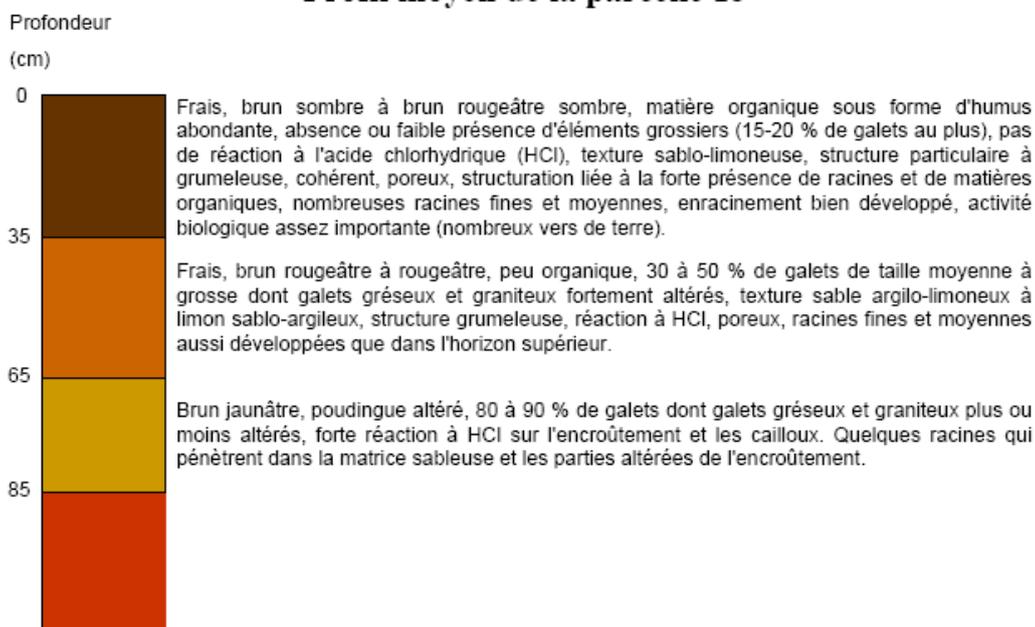
Organisme	Personne à contacter	adresse	Téléphone	Fax / email
Syndicat mixte de gestion administrative et financière des associations syndicales	Claire Marcos	Pav canal Chemin de Barriol 13 200 Arles	0490964491	0490499077 Smgas.pace@orange.fr
Syndicat mixte d'étude et de gestion de la nappe phréatique de la Crau	Charlotte Fischer	Cité des entreprises ZI du Tubé 13 800 Istres	0442566486/ 0627472215	0442554673 symcrau@orange.fr
Sous préfecture d'Arles	Mme Roquelaure	16 Rue de la bastille BP 20198 13200 Arles	0490183600	0490965323
Fédération départementale des structures hydrauliques et Chambre d'Agriculture des Bouches du Rhône	Anna Morisset	Maison des agriculteurs 22, avenue Henri Pontier 13 626 Aix en Provence	0442238618	0442238107 a.morisset@bouches-du-rhone.chambagri.fr
Comité du foin de Crau	Didier Tronc		0608413263	didier.tronc13@orange.fr

Annexe 3 : Plan du domaine du Merle et situation des parcelles 6N et 1J suivies

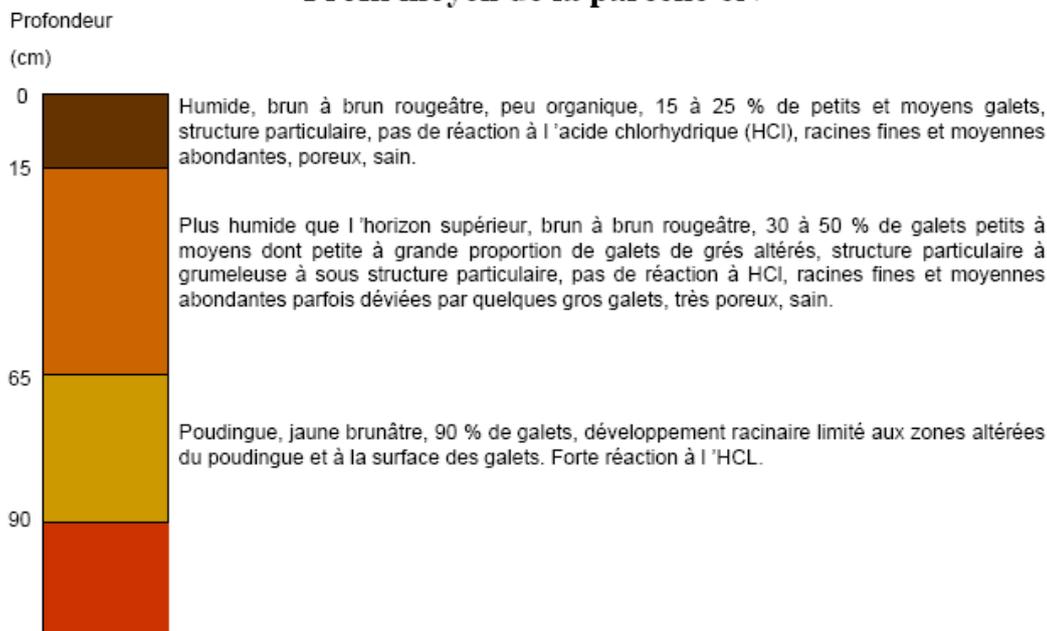


Annexe 4 : Profil moyen des parcelles 1J et 6N

Profil moyen de la parcelle 1J

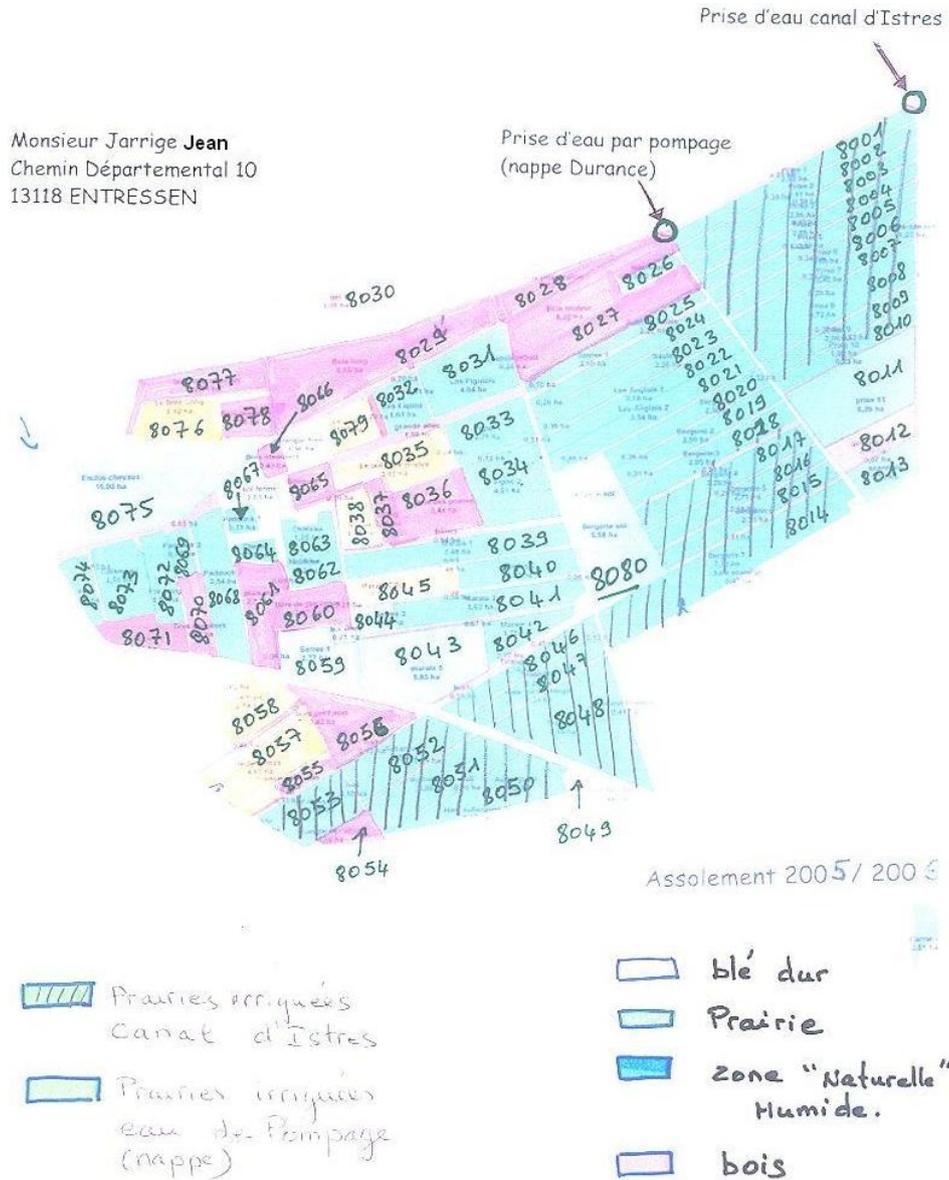


Profil moyen de la parcelle 6N



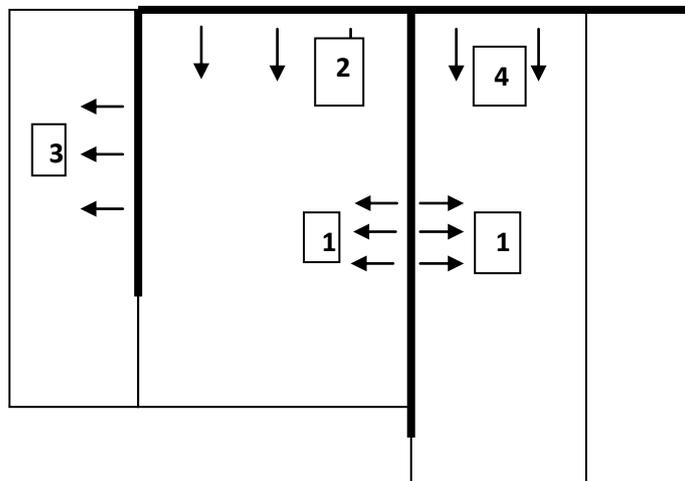
Profils réalisés par A. Mérot (Merot, 2007)

Annexe 5 : Plan du domaine de monsieur Jarrige et schéma de l'irrigation sur les parcelles suivies dans ce domaine



Légende :

- Sens d'écoulement de l'eau
- 1 Ordre d'irrigation des calans
- Bordure des parcelles
- Canaux d'amenée



Annexe 6: Description du seuil Parschall

Le seuil Parschall a pour avantage de fonctionner avec des pertes de charge très réduites, grâce à un canal divergent qui fait suite au col (voir la figure).

Les dimensions utilisées généralement dans la confection d'un Parschall respectent une certaine géométrie (voir la figure).

Ainsi la largeur du col l_2 est souvent comprise entre $l_1/3$ et $l_1/2$ sachant que l_1 représente la largeur d'entrée. La profondeur à l'amont h_1 est mesurée au $2/3$ de la distance entre le seuil d'entrée du convergent et l'entrée du col.

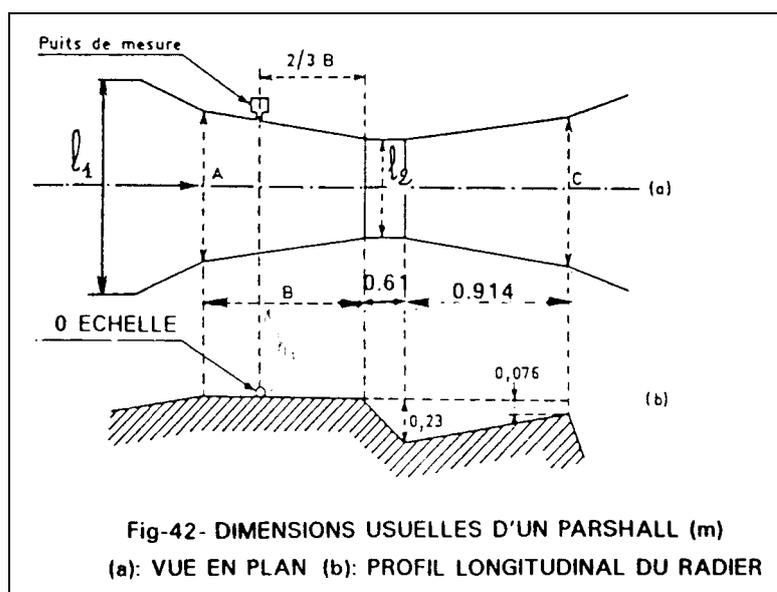


Schéma d'un seuil Parschall (d'après M. Carlier, 1972)

Rapports entre les dimensions principales de l'appareillage préconisés par Parschall (toutes les valeurs sont exprimées en mètres) :

$$A = 1,196.l_2 + 0,479$$

$$B = 0,49.l_2 + 1,194$$

$$C = l_2 + 0,305$$

Avec : Q = le débit (l/s)

l_2 = largeur du col (m)

h_1 = profondeur à l'amont (m)

n = un exposant fonction de

l_2 , tel que :

Le débit est ensuite donné par la formule :

$$Q = 372 . l_2 . h_1^n . 3,28^n$$

l_2 en m	0,2	0,6	0,8	1,0	2,0	2,6
n	1,506	1,548	1,560	1,569	1,598	1,609

Annexe 7 : Calibration des hélices du Micro-Moulinet SEBA utilisé dans cette étude

n en t/s et v en cm/s

Hélice n° 050.395 :

$$n \leq 3,00 \quad v = 2,71 + 5,84 \bullet n$$

$$3,00 < n < 8,50 \quad v = 3,40 + 5,61 \bullet n$$

$$8,50 < n < 10,00 \quad v = 5,10 + 5,41 \bullet n$$

Hélices n° 050.609 et n° 50.653

$$n \leq 0,66 \quad v = 1,67 + 49,43 \bullet n$$

$$0,66 < n < 3,90 \quad v = 0,46 + 51,27 \bullet n$$

$$3,90 < n < 10 \quad v = -8,83 + 53,65 \bullet n$$

Hélices n° 100.267, n° 100.491 et n° 100.507

$$n \leq 2,00 \quad v = 1,15 + 10,62 \bullet n$$

$$2,00 < n < 10,00 \quad v = 1,21 + 10,59 \bullet n$$

Hélices n° 250.817, n° 250.1537 et n° 250.1616

$$n \leq 1,74 \quad v = 1,23 + 24,73 \bullet n$$

$$1,74 < n < 10 \quad v = -0,42 + 25,68 \bullet n$$

Annexe 8 : Calcul de la part d'eau d'irrigation retrouvée en colature
sur la parcelle 1J

BILAN	Durée totale (h)		14,840		13,660	Dose d'arrosage (m3/ha)	3 537,6
Surface du calan : 2,012 ha	Débit moyen (l/s)		149,4		15,4		
	Volume total (m3)	Débit et volume d'entrée	7 885,846	Débit et volume de sortie	768,281	% sortie/entrée	9,7
Volume par ha (m3/ha)	3 919,406		381,850				
Dose (mm)	391,9		38,2				