

République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Université Hassiba Benbouali Chlef - UHBC
جامعة حسيبة بن بو علي - الشلف
Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques
كلية العلوم الفلاحية و العلوم البيولوجية
Département de Biologie
قسم البيولوجيا



Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Sciences de l'Eau et Bioclimatologie

Thème

***Bilan hydrosalin à l'échelle de la parcelle et d'une zone
homogène drainée dans le Bas-Chélif.***

Présenté et soutenu par
BELOUAZNI Ahmed

Soutenu publiquement le 22 novembre 2010 devant le jury composé des Messieurs :

M'HAMMEDI BOUZINA M	Maître de Conférences A (UHB - Chlef)	Président
HARTANI T	Professeur (ENSA - Alger)	Encadreur
BOUTHIBA A.E.K	Maître de Conférences A (UHB - Chlef)	Examineur
DOUAOUI A.E.K	Maître de Conférences A (CUKM- Ain Defla)	Examineur
SAIDI Dj	Maître de Conférences A (UHB - Chlef)	Examineur

Remerciements

Remerciements

Primo, je commence par remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné la force, la patience, la persévérance et la santé pour accomplir au plus ample ce modeste travail.

Secondo, ce travail a été réalisé au laboratoire de pédologie de la Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques de l'université Hassiba Ben Bouali de Chlef entre Février 2008 et Aout 2009. Il a été confectionné grâce à la collaboration de certaines personnes que je tiens à remercier. Je tiens surtout à remercier mes encadrants : Tarik HARTANI et Abdelkader DOUAOUI pour m'avoir guidé, me transmettre des compétences et qui ont su trouver les mots dans les moments de doute. Je les remercie également pour leur gentillesse, leur disponibilité, leurs conseils et leurs confiances tout au long de ces 3 ans. Je leur dois en effet beaucoup. Je les remercie pour avoir trouvé du temps pour lire, relire et corriger tous mes travaux. D'une manière générale, j'ai beaucoup apprécié l'autonomie qu'ils m'ont accordée dans l'organisation de mon mémoire.

Ce travail de magister a été aussi largement motivé par la participation au projet Franco-Magrébin **FSP-SIRMA** (**F**ond de **S**olidarité **P**rioritaire - **S**ystèmes **I**Rrigués au **M**Aghreb) dans son action structurante 1 (Gestion de la salinité en périmètre irrigué et valorisation des eaux non conventionnelles) dans laquelle mes encadrants m'ont donné l'opportunité de m'impliquer ce qui m'a permis de rencontrer et de travailler avec de nombreux chercheurs d'autres établissements universitaires qui m'ont aidé à mener à bien mon travail. Dans ce cadre, je citerais : Marcel KUPER, Bernard VINCENT, Jean Claude MAILHOL et Sami BOUARFA que je tiens également à remercier et en particulier Sami BOUARFA : mon maître de stage. Qu'il trouve ici le témoignage de ma reconnaissance pour sa disponibilité et ses orientations lors de mon stage au CEMAGREF de Montpellier.

Le stage dont j'ai bénéficié, m'a permis de faire tourner le modèle PILOTE et de discuter avec son concepteur Jean Claude MAILHOL (CEMAGREF, Montpellier).

J'aimerais également remercier les membres du Jury qui ont accepté de lire et de commenter ce mémoire, pour cela:

Je remercie vivement Monsieur Mahfoud M'HAMMEDI BOUZINA pour l'honneur qu'il m'a fait en présidant ce jury.

Remerciements

Je tiens également à remercier chaleureusement tous les examinateurs pour avoir pris de leur temps afin de lire et juger mon travail :

- Mr. Abdelkader BOUTHIBA;
- Mr. Abdelkader DOUAOUI;
- Mr. Djamel SAIDI.

Qu'ils trouvent ici le témoignage de mon respect et mes affections envers eux, notamment monsieur SAIDI pour l'opportunité qu'il nous a donné en ouvrant cette spécialité de magister que moi et l'ensemble de mes collègues avons tant attendu.

J'exprime toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude à tout le corps enseignant de la faculté pour le savoir qu'ils nous ont transmis. Je ne saurai jamais oublier de remercier ceux qui ont contribué à ma formation et surtout celle de Magister notamment: Djamel SAIDI, Abdelkader DOUAOUI, Mahfoud M'HAMMEDI BOUZINA, Sasi NEDJAAI, Abdelkader BOUTHIBA, Mohamed ACHITE, Aziz ZEMOURI et Habib AMRI. Je ne les remercierais jamais assez.

Je remercie également Monsieur Abdelkader HOUARI, Benali SETTI et surtout Abd el Hamid BARADAI pour leur aide considérable et leur soutien moral et technique et leurs encouragements.

Je tiens à adresser toutes mes salutations aux ingénieurs et techniciens de laboratoires : Elhadje SAHNOUNE, Mme OUCHANE et BELHIRECHE pour leur aide précieuse.

Je tiens à adresser toute mon amitié à mes collègues Djamel MOKHTARI, Mohamed RATA, Benyahia BACHA, Djamel BELAGUE, Rachide AMRANI, Youcef DAAMACHE, Brahim YAHIAOUI, Djahida HADIDI et Hassiba MOSTFAOUI et Yamina EL MEDDAHI. Je les remercie pour leurs esprits de famille dont je peux témoigner.

Je ne saurais jamais oublier tous les étudiants passés par le laboratoire et qui ont contribué chacun à sa façon. Enfin, merci à toi que j'ai pu oublier.

Ahmed BELOUAZNI

Dédicaces

J'aimerais dédier ce travail à deux personnes qui savent déjà que je les dois énormément. Un « gros » merci à mes parents pour m'avoir encouragé et soutenu pendant ces longues années et plus spécialement pendant ces années charnière de magister. Sans eux, jamais je n'aurais pu en arriver où j'en suis. Pour leurs efforts déployés pour la réussite de ma formation. Qu'ils voient en ce travail le fruit de leurs efforts.

Pour sa tendresse, sa confiance et son soutien, mes pensées les plus tendres vont à ma mère. Pour sa présence et son soutien, mes gratitudes vont à mon père. C'est sur leurs fronts que le médaillon doit décorer. Merci infiniment.

Merci également à tous mes frères et sœurs témoignage de mes sincères sentiments et mon tendre attachement. Merci de m'avoir supporté dans les moments les plus difficiles.

Ahmed

Résumé

L'étude réalisée au niveau de la plaine du Bas-Chélif a pour but de caractériser les composantes du bilan hydrique et salin à l'échelle de parcelles irriguées et drainées durant la campagne 2008/2009. Les enquêtes sur terrain auprès des agriculteurs, les mesures en laboratoire sur les échantillons d'eau et de sol prélevés ainsi que l'application du modèle Pilote pour simuler le bilan hydrique ont constitué le principal support méthodologique.

Les résultats montrent que les agriculteurs ont une bonne perception de la situation : ils intègrent les contraintes de salinité actuelles, les risques conjoncturels et les risques à long terme d'apparition de l'une des formes de la salinité des sols. A priori, ces agriculteurs sont de véritables experts puisqu'ils suivent au quotidien l'évolution de leurs parcelles. Par ailleurs, les résultats de terrain ont permis de cerner l'effet du couple précipitation - irrigation qui agit en sens inverse. L'irrigation provoque une augmentation de la salinité au sein des parcelles compte tenu de la mauvaise qualité de l'eau utilisée surtout si elle est issue du sous-sol. Quand aux précipitations, elles entraînent un lessivage des sels stockés au cours de la période d'irrigation notamment si les parcelles ont un système de drainage fonctionnel. Cette situation a été vérifiée grâce à une saison exceptionnelle où un cumul de pluie en hiver de 260 mm a été enregistré. Cette lame de pluie a servi d'évacuer 50 à 66% du stock initial de sels.

Le modèle de simulation du bilan hydrique Pilote a été par ailleurs testé sur deux parcelles drainées du Bas Chelif. L'idée initiale était de simuler les volumes d'eaux lessivées et de les comparer aux débits. Il s'avère en conclusion que l'utilisation future de Pilote requiert un protocole expérimental adapté aux épisodes de drainage locaux.

Mots clés : Bas-Chélif, parcelle irriguée, enquêtes, salinité, perception, spatio-temporelle, bilan, Pilote.

Abstract

The present study aimed to determine the water and salt balance components on irrigated drained plots of Low Chelif during the season 2008/2009. The methodology was based on farmers discourse analysis, laboratory measurements on water and soil samples and Pilote model use to simulate water balance.

Results show that farmers have a good perception of the salinity: they include salinity in their usual practices, immediate and long term threatens with regard to future apparition of new salinity patterns. According to their daily practices in relation with salinity management, they appear like real experts.

In addition, fields trials the couple precipitation – irrigation confirmed the inverse effect of each component: irrigation increases soils salinity particularly when its water quality is poor meanwhile precipitation acts in leaching the salts stored during irrigation stages especially when a drainage system holds.

This situation was assessed thanks to an exceptional season where 260 mm of rain was recorded during winter. This amount leached between 50 to 66% of the stored salts in the soils.

Finally, the model Pilote was tested on two plots of the Low Chelif. The idea was to compare the simulated drained discharges to the measured. In conclusion, it appears that an adapted experimental protocol to local conditions is necessary.

Key words: Low Chelif, irrigated area, survey, salinity, perception, space-time, balance, Pilote.

هذه الدراسة التي أنجزت على مستوى سهل الشلف الأدنى كان الهدف منها التعريف بالعوامل التي تدخل في الموازنة المائية وكذا الملحية المتعلقة بالأراضي المسقية والمزودة بنظام الصرف خلال موسم 2009/2008.

التحقيقات مع الفلاحين وكذا التحاليل المخبرية لعينات الماء و التربة، إضافة إلى استعمال برنامج « Pilote » كانت أساس المنهجية المتبعة لضبط عناصر الموازنة المائية.

النتائج المتحصل عليها أوضحت أن فلاحي المنطقة لهم تقييم جيد للوضعية: إذ أنهم يدمجون أخطار الملوحة الحالية، الأخطار المحتملة و الأخطار على المستوى البعيد لظهور احد أشكال ملوحة التربة. فيما لا شك فيه، هؤلاء الفلاحين خبراء بالمعنى الحرفي للكلمة لأنهم يتبعون يوميا تطور أراضيهم. من جهة ثانية، النتائج الميدانية سمحت بالتحقق من أثر الزوجي "تساقط - سقي" من حيث تأثيريهما العكسي. السقي يسبب ارتفاع الملوحة داخل الحقول إذا أخذنا بعين الاعتبار النوعية الرديئة للمياه المستعملة خصوصا إن كان مصدرها باطني. أما فيما يخص مياه الأمطار، فهي على عكس مياه السقي، تقوم بغسيل الأملاح المتراكمة طوال حملة السقي خصوصا إذا كانت هذه الحقول مزودة بنظام صرف يعمل بصفة عادية. هذه الوضعية تم التحقق منها بفضل موسم الشتاء غير العادي من حيث كمية التساقط الذي سجلنا خلاله 260 مم. طبقة الأمطار هذه، ساهمت في صرف 50 إلى 66 % من مخزون الملح في بداية الدراسة.

فيما جرب برنامج تقليد الموازنة المائية Pilote على قطعتين من الأرض مزودتان بنظام الصرف في سهل الشلف الأدنى. الفكرة الأولية كانت تقليد أحجام المياه المصرفة و مقارنتها مع التدفق الحقيقي في قنوات التصريف. يظهر جليا أن الاستعمال المستقبلي للبرنامج Pilote يتطلب خطة تجريبية ملائمة لفترات الصرف المحلي للمياه.

الكلمات المفتاحية: سهل الشلف الأدنى، أرض مسقية، تحقيقات، ملوحة، تقييم، دراسة زمانية و مكانية، موازنة مائية، Pilote .

Liste des Figures

Figure 1: Situation géographique de la plaine du Bas-Chélif sur le bassin hydrographique Chélif - Zahrez	3
Figure 2: La plaine du Bas-Chélif (Source: Douaoui, 2005)	4
Figure 3: Variation de la pluviométrie annuelle de quelques stations pluviométrique dans la plaine du Bas-Chélif	5
Figure 4: Système théorique des vents ascendant et descendant dans la vallée du Chélif	6
Figure 5: Atlas de la vitesse moyenne du vent de la vallée de Cheliff estimée à 10 m du sol. (Source : Boukli et al., 2007)	7
Figure 6: Variation de l'humidité relative journalière moyenne de l'air du 01/09/07 au 31 /08/08	8
Figure 7: Variation de l'ETP journalier -Penman- du 01/09/07 au 31/08/08	8
Figure 8: Diagramme ombrothermique de Gausсен de la station de Relizane de la période (1985/2007)	9
Figure 9: Position de la station de H'madena sur le climagramme d'Emberger	10
Figure 10: Carte des sols (Boulaine, 1956)	12
Figure 11: Qualité des eaux des barrages de Gargar et de Merdjet Sidi Abed	16
Figure 12: Ressources en eaux souterraines dans le bassin hydrographique Chlef-Zahrez	17
Figure 13: Principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif	18
Figure 14: Carte d'occupation des sols de la plaine du Bas-Chélif (Ghérina, 2008)	19
Figure 15: Schéma synthétique des processus géochimiques des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur les propriétés physiques des sols et sur les cultures (Source: Tabet, 1999)	21
Figure 16: Schéma du bilan hydrique du sol	33
Figure 17: Répartition des différentes parcelles dans le Bas-Chélif	41
Figure 18: Présentation de la parcelle d'Ouarizane	43
Figure 19: Installation des piézomètres, mesure du niveau piézométrique et échantillonnage de la nappe superficielle	44
Figure 20: Plan d'échantillonnage pour la caractérisation et le suivi de la parcelle de Ouarizane	45
Figure 21: Plan d'échantillonnage pour la caractérisation et le suivi de la parcelle de Hmadna.....	45

Figure 22: Perception de la salinité des eaux par les agriculteurs enquêtés dans la plaine du Bas-Chélif	62
Figure 23: Perception de la salinité des sols par les agriculteurs enquêtés dans la plaine du Bas-Chélif comparée à la norme ISO 10 390 (A.F.N.O.R, 1994)	63
Figure 24: Carte zoning pH pour les deux parcelles de Boukatai	68
Figure 25: Carte zoning CE pour les deux parcelles de Boukatai	68
Figure 26: Carte zoning pH pour les deux parcelles de Tarmoule	69
Figure 27: Carte zoning CE pour les deux parcelles de Tarmoule	69
Figure 28: Variation du niveau de la nappe dans les piézomètres durant les deux premier mois	72
Figure 29: Evolution temporelle du sondage R1	74
Figure 30: Evolution temporelle du sondage R1"	74
Figure 31: Evolution temporelle du sondage R1 *	74
Figure 32: Evolution temporelle du sondage R1'	74
Figure 33: Evolution temporelle du sondage W3	75
Figure 34: Evolution temporelle du sondage W3'	75
Figure 35: Evolution temporelle du sondage X1	75
Figure 36: Evolution temporelle du sondage X3'	75
Figure 37: Evolution temporelle du sondage O3	76
Figure 38: Evolution temporelle du sondage Y3	76
Figure 39: Evolution temporelle du sondage Z3	76
Figure 40: Evolution temporelle du sondage 1	76
Figure 41: Evolution temporelle du sondage H65	77
Figure 42: Evolution temporelle du sondage H85	77
Figure 43: Evolution temporelle du sondage H39	77
Figure 44: Evolution temporelle du sondage H40	77
Figure 45: Evolution temporelle du sondage B1	78
Figure 46: Evolution temporelle du sondage B2	78
Figure 47: Evolution temporelle du sondage B3	78

Figure 48: Boxplots des statistiques descriptives de la première campagne de suivi	79
Figure 49: Boxplots des statistiques descriptives de la deuxième campagne de suivi	79
Figure 50: Cercles de corrélation pour les deux campagnes avec varimax	83
Figure 51: Comparaison être les stocks de sels dans les deux parcelles.....	83
Figure 52: Variation journalière de l'ETo et du bilan climatique ETo-Pluie pour la période de suivie	86
Figure 53: Evolution de la lame d'eau d'irrigation journalière et cumulée à l'échelle de l'exploitation de Tarmoule	87
Figure 54: Evolution des lames d'eau d'irrigation journalière et cumulée à l'échelle de l'exploitation de Boukatai	87

Liste des Tableaux

Tableau 1: Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de H'madna (1985-2007)	6
Tableau 2: Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chélif d'après la carte pédologique de Mc Donald et BNEDER (1990)	11
Tableau 3: Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de saturation à 25° C	22
Tableau 4: Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25° C	23
Tableau 5: Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation	24
Tableau 6: les intérêts et les limites des deux modèles	38
Tableau 7: Caractéristiques génériques des dix exploitations retenues	41
Tableau 8: Les sondages suivis mensuellement et quelques informations génériques.....	47
Tableau 9: Récapitulatif des mesures et des analyses de sol aux laboratoires	48
Tableau 10: Récapitulatif des mesures et des méthodes d'analyses des eaux aux laboratoires.	49
Tableau 11: Méthodes d'irrigation pratiquées	60
Tableau 12: Résultats d'analyses au labo des eaux de forages confrontés au perceptions des agriculteurs	62
Tableau 13: Résultats d'analyse au laboratoire des sols des parcelles confrontés aux affirmations des agriculteurs sur la salinité	64
Tableau 14: Statistiques descriptives des échantillons qui ont fait l'objet de la caractérisation de parcelles ciblées pour bilan hydrosalin	67
Tableau 15: Test de corrélation de Pearson entre le pH et la CE dans les deux exploitations ..	70
Tableau 16: Comparaison multiple des échantillons appariés (test de Friedman) entre la première et la cinquième campagne	80
Tableau 17: Résumé des résultats d'ACP des deux campagnes	82
Tableau 18: Bilans climatiques dans les deux exploitations	85
Tableau 19: Composantes du bilan hydrique dans les parcelles suivies. Période du 19-09-2008 au 30-04-2009	89

Sommaire

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction générale 1

Partie Bibliographique

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude : La plaine du Bas-Chélif

1.1. Situation géographique	3
1.2. Le climat	4
1.2.1. Précipitations	4
1.2.2. Températures	5
1.2.3. Vent et pression	6
1.2.4. L'humidité	7
1.2.5. L'évapotranspiration	7
1.2.6. Analyse climatique	7
1.2.6.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen	8
1.2.6.2. Indice de De Martonne (1927)	9
1.2.6.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger	9
1.3. Pédologie	10
1.3.1. Les sols des bordures de la plaine	10
1.3.2. Les sols de la plaine proprement dite	11
1.4. Géologie et géomorphologie	13
1.4.1. Les glacis colluvionnaires	13
1.4.2. La plaine alluviale	13
1.4.3. Les lits des oueds actuels	14
1.4.4. La Sebkha de Benziane	14
1.4.5. La Gaa	14

1.4.6. La colline de partage	15
1.5. Ressources en eau	15
1.5.1. Les ressources en eaux superficielles	15
1.5.2. Les ressources en eaux souterraines	16
1.6. Périmètres irrigués	17
1.7. Occupation du sol	18

Chapitre II. Aperçu Bibliographique et état de l'art

2.1. Généralité sur la salinité des sols sous irrigation	20
2.1.1. Préambule	20
2.1.2. Définition de la Salinité-salinisation	20
2.1.2.1. La salinité	20
2.1.2.2. La salinisation des sols	20
2.1.3. Les processus géochimiques et voies de salinisation des sols	21
2.1.4. Echelle de salinité	22
2.1.4.1. Sol	22
2.1.4.2. Eau	23
2.1.5. Paramètres influençant l'évolution de la salinité des sols sous irrigation	23
2.1.5.1. Influence de la ressource d'eau	23
2.1.5.1.1. Influence de la quantité d'eau	23
2.1.5.1.2. Influence de la qualité d'eau	25
2.1.5.2. Influence de l'aridité	25
2.1.6. Effets de la salinité	25
2.1.7. Conclusion	27
2.1.8. Rôle du drainage dans la rémédiation à la salinité	27
2.1.9. Autres remèdes à la salinité	28
2.1.10. Synthèse	30
2.2. Bilan hydrosalin à l'échelle d'une parcelle irriguée et drainée	30
2.2.1. Bilan hydrique	31
2.2.1.1. Définition et principe du bilan hydrique	31
2.2.1.2. Le Bilan hydrique – pourquoi ?	31
2.2.1.3. Equation du bilan hydrique	32
2.2.2. Bilan hydrosalin	33
2.3. La modélisation du bilan hydrique	35
2.3.1. Évaluation et estimation des termes du bilan hydrique	35

2.3.2. But de la modélisation du bilan hydrique	36
2.3.3. Intérêt de la modélisation du bilan hydrique	36
2.3.4. Généralités et principe sur les modèles du bilan hydrique	37
2.3.4.1. Modèles mécanistes :	37
2.3.4.2. Modèles analogiques :	37
2.3.4.3. Modèles intermédiaires :	37
2.3.4.4. Intérêt et limites des deux modèles	37
2.4. Présentation du modèle de simulation du bilan hydrique « modèle PILOTE »	3 8

Partie Expérimentale

Chapitre III. Matériels et Méthodes

3.1. Aspect générale de la méthodologie	39
3.2. Travail d'enquêtes dans la plaine du Bas-Chélif	39
3.2.1. Objectifs et buts	39
3.2.2. Critères de choix des parcelles	40
3.2.3. Éléments de bases dans le protocole d'enquêtes	40
3.2.4. Informations recherchés suite aux enquêtes	40
3.2.5. Exploitations et parcelles retenues	40
3.2.6. Évaluations de la salinité dans les parcelles retenues	42
3.3. Approche expérimentale dans les parcelles retenues	42
3.3.1. Cas de l'exploitation de Boukatai à Ouarizane	42
3.3.1.1. Description des deux parcelles	42
3.3.1.2. Installation des piézomètres	42
3.3.1.3. Nettoyage des collecteurs et mesures du débit du drainage	43
3.3.2. Cas de l'exploitation de Tarmoule Kheir eldine de Hmadna	43
3.3.3. Suivi et mesures sur le terrain	44
3.3.3.1. Caractérisation des parcelles de l'exploitation de Boukatai et Tarmoule	44
3.3.3.2. Détermination des zones homogènes	46
3.3.3.3. Choix des points de suivi par sondage	46
3.3.3.3.1. Pour les deux parcelles cible du bilan	46
3.3.3.3.2. Pour les autres parcelles	46
3.3.3.4. La profondeur ciblée	46
3.3.3.5. Fréquence de suivi par sondage	46
3.3.4. Analyses au laboratoire	47
3.3.4.1. Le sol	47

3.3.4.2. L'eau	49
3.3.5. Autres analyses et mesures	49
3.4. Formule de calcul du stock de sels dans le sol	49
3.5. Besoin en lessivage	50
3.6. Simulation du bilan hydrosalin	50
3.7. Statistiques descriptives, multidimensionnelles, géostatistique et cartomatique	50
3.7.1. Statistiques descriptives	51
3.7.2. Statistiques multidimensionnelles	51
3.7.2.1. Méthodes descriptives	51
3.7.2.1.1. Analyse en composantes principales (ACP)	51
3.7.2.2. Méthodes explicatives	52
3.7.2.2.1. Test de corrélation de Pearson	52
3.7.2.2.2. Comparaison multiple des échantillons appariés (test de Friedman)	53
3.7.3. Géostatistiques et cartographie	54
3.7.3.1. La variographie	55
3.7.3.2. Krigeage	55
3.7.3.3. Cartographie	55
3.8. Logiciels utilisés	55

Résultats et Discussions

Chapitre IV. Pratiques d'irrigation et perception de la salinité

4.1. Contexte général	56
4.2. Exploitations agricoles	57
4.3. Le système de cultures et les pratiques d'irrigation	58
4.4. Descriptions des sols rencontrés selon les agriculteurs	60
4.4.1. Classe des sols N'fil	60
4.4.2. Classe des sols T'ferchet	60
4.5. Perception de la salinité par les agriculteurs	61
4.5.1. Perception de la salinité des eaux par les agriculteurs	61
4.5.2. Perception de la salinité des sols par les agriculteurs	63
Conclusion	65

Chapitre V. Dynamique et évolution spatio-temporelle de la salinité

5.1. Suivi de la salinité et du pH du sol	66
5.1.1. Cas des deux exploitations ciblées pour le bilan hydrosalin	66
5.1.1.1. Résultats de caractérisation	66
5.1.1.1.1. Statistiques descriptives	66
5.1.1.1.2. Représentation spatiale de la CE et du pH et détermination de zones homogènes	67
5.1.1.1.3. Variabilité de la CE et du pH dans les parcelles caractérisées	70
5.1.1.3. Mesure du débit de drainage dans les deux exploitations	71
5.1.2. Évolution mensuelle de la CE et du pH dans les sondages suivis	72
5.2. Nature des sels	79
5.3. Efficacité du drainage (stock de sels)	83

Chapitre VI. Simulation du bilan hydrique via modèle PILOTE

6.1. Estimation de l'évaporation et du bilan climatique	85
6.2. Les eaux d'irrigation	86
6.3. Les eaux de la nappe et du drainage	88
6.4. Estimation du drainage par le modèle PILOTE	88
6.5. Le bilan hydrique	88
Conclusion	89

Conclusion générale 90

Références Bibliographiques

Annexes

Introduction générale

Introduction générale

Dans le Bas Chelif, où un déficit pédoclimatique quasi constant est observé, le recours aux irrigations est devenu une solution incontournable pour les agriculteurs de la région notamment pour la survie de leurs vergers. Ces eaux sont souvent de qualité très médiocre surtout si elles sont issues du sous-sol. Ces eaux reflètent leurs parcours géologique au cours desquels elles s'enrichissent avec des éléments minéraux solubles (Marlet et Job, 2006). Une fois utilisées pour l'irrigation, elles provoquent des changements profonds dans la transformation des conditions d'évolution des sols (salinisation –salinité secondaire- et dégradation).

La salinité est donc l'état qui résulte de l'accumulation de ces sels solubles dans le sol puisque selon Favre (2000) : un sol irrigué est un futur sol salé. A cet effet, la stérilisation des sols, la chute des rendements, la limitation des cultures et la propagation des halophytes, l'abandon des terres puis l'émergence des problèmes socioéconomiques et environnementaux sont des résultats presque inévitables.

En Algérie, 15 à 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de la salinité (Douaoui et Hartani, 2007). Compte tenu de cette situation, diverses stratégies individuelles d'adaptation à la salinité sont rencontrées sur le terrain du Bas Chelif. Parallèlement, plusieurs projets de développement à caractère hydro agricole ont été réalisés depuis une dizaine d'années: réalisation du drainage souterrain sur quelques centaines d'hectares, extension de 7000 ha du périmètre irrigué, installation de dix forages collectifs, etc....L'impact de ces aménagements n'est pour le moment pas connu. De plus, il n'existe pas de référence sur le drainage du périmètre du Bas-Chelif d'aujourd'hui et la maîtrise reste l'un des points faibles de l'hydraulique agricole en l'Algérie. Il semble pourtant que les opérations de réhabilitation des réseaux d'irrigation et l'installation du drainage a permis d'atténuer les effets de la salinité et de créer une dynamique agricole illustrée par l'extension du goutte à goutte pour le maraîchage et par le renouvellement des vergers d'agrumes.

Cette étude s'inscrit dans ce cadre. Son premier chapitre concerne la description de la zone d'étude puis en deuxième chapitre un état de l'art sur la question de la gestion de la salinité dans les exploitations agricoles est présenté. Dans le troisième chapitre, une justification du choix des exploitations agricoles retenues et leurs caractéristiques est présentée de même que le matériel de mesure sur terrain (piézomètre, débitmètre) et en

laboratoire. Les termes du bilan salin et hydrique sont mis en équation puis, les méthodes statistiques nécessaires à l'analyse des résultats sont exposées : statistiques descriptives, multidimensionnelles, géostatistique et cartomatique. Une simple citation des logiciels utilisée est proposée afin de permettre de mieux évaluer la qualité de nos résultats.

Le quatrième chapitre s'intéresse à la perception de la salinité par les agriculteurs faisant face à la salinité en particulier dans les communes de Ouarizane, Djidiouia et Hmadna. La méthode inspirée de la démarche de Bouarfa et al (2009) s'appuie sur des enquêtes individuelles auprès d'un échantillon aléatoire d'agriculteurs que l'on peut ensuite comparer avec des mesures de terrain.

Le chapitre cinq s'intéresse à la dynamique des sels dans les sols à travers une série de sondages pour déterminer quelques grandeurs caractéristiques (pH, CE, carbonates et chlorures). La méthodologie s'inspire des travaux de Douaoui (2005) consistant à caractériser la salinité des sols de la plaine du Bas Chelif. Une analyse statistique est développée de manière à asseoir nos conclusions. Un suivi des débits de drainage est également présenté en perspective d'une mise en équation des termes du bilan salin.

Le sixième et dernier chapitre porte sur la simulation du bilan hydrique par le modèle Pilote avec pour objectif de comparer les débits calculés à ceux observés. Les paramètres et les variables nécessaires à la mise en route du modèle sont présentés dans le cas d'une parcelle d'agrumes et d'une parcelle d'artichauts. Les résultats obtenus sont ensuite discutés avec une attention particulière au fonctionnement du réseau de drainage.

Partie Bibliographique

Chapitre I :

Présentation de la zone d'étude : la plaine du Bas-Chélif

Chapitre I. Présentation de la zone d'étude : La plaine du Bas-Chélif

Le monde antique a longtemps ignoré l'existence de ce fleuve qui est pourtant le plus important de l'Algérie actuelle : Hérodote ni Strabon ne le nomment expressément. On trouve dans le lexique de géographie ancienne de M. Besnier (1914, p. 207) «Chinalaph cours supérieur du Chélif... fleuve de «Maurétanie Césarienne appelé Chylemath dans son cours inférieur ». On distingue principalement deux orthographes : Chélif et Chélif (Boulaine, 1957). Pour ce document, on retient le second.

I.1. Situation géographique

S'étalant sur une superficie d'environ 40000 ha (Saidi et al.,1999 et Douaoui et al.,2005), la plaine du Bas-Chélif est la partie inférieure du plus grand bassin hydrographique d'Algérie qui couvre environ 56 227 km² soit plus de 22 % de la superficie du nord du pays (fig.1). Appelé Chélif-Zahrez, ce bassin compte en plus de cette plaine, le haut et le moyen Chélif. Il est traversé par le plus long Oued d'Algérie -Chélif- d'une longueur de 750 km (ABH-CZ, 2002).

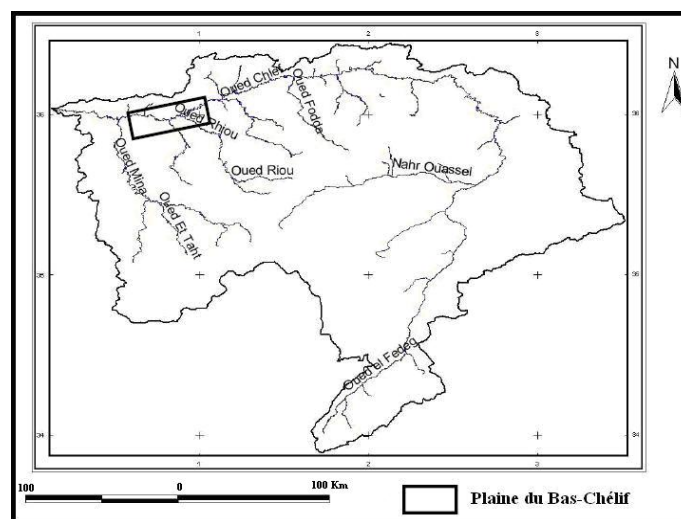


Figure 1: Situation géographique de la plaine du Bas-Chélif sur le bassin hydrographique Chélif-Zahrez.

Situé au nord ouest de l'Algérie -a 250 km d'Alger et à vol de oiseau de la méditerranée 35 km- entre 0° 40' et 1 ° 6' 8'' de longitude Est de 34 ° 3' 12'' et 36° 5' 57'' de latitude Nord. Limité par la plaine du Moyen-Chélif à l'Est, la plaine de la Mina à l'Ouest, le

massif du Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au Sud, traversée par la route nationale 4 et les chemins de fer de l'ouest et récemment par l'autoroute Est-ouest sur une portion d'environ 80 km. Elle fait environ 50 km de longueur sur une largeur variant de 6 à l'est à plus de 20 km à l'ouest, avec une surface pratiquement plate, d'une altitude moyenne de 70 m. On y trouve aussi les deux zones très connues, en l'occurrence, la zone de Benziane où se trouve le plateau et la sebkha de Benziane et la zone de Gaa qui forme une dépression très salée où les sels sont généralement cumulés (fig. 2).

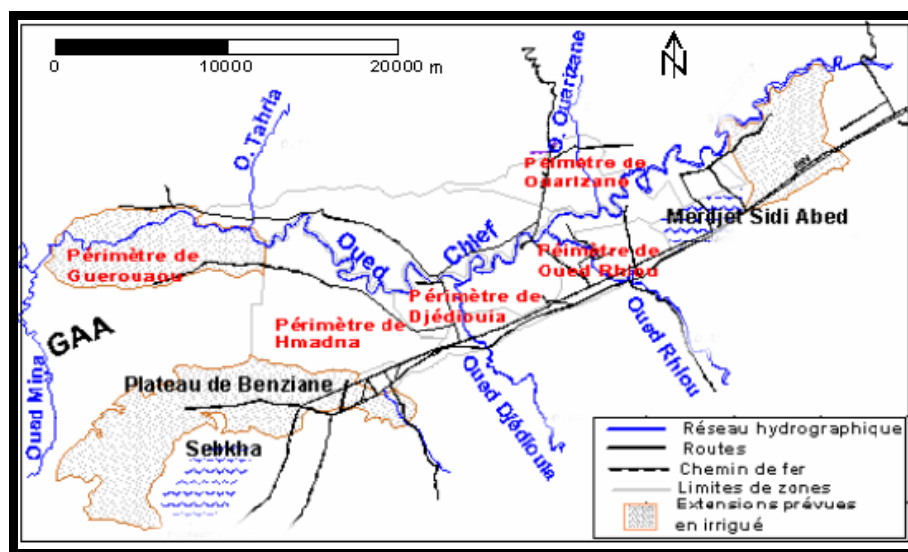


Figure 2: La plaine du Bas-Chélif (Source: Douaoui, 2005).

I.2. Le climat

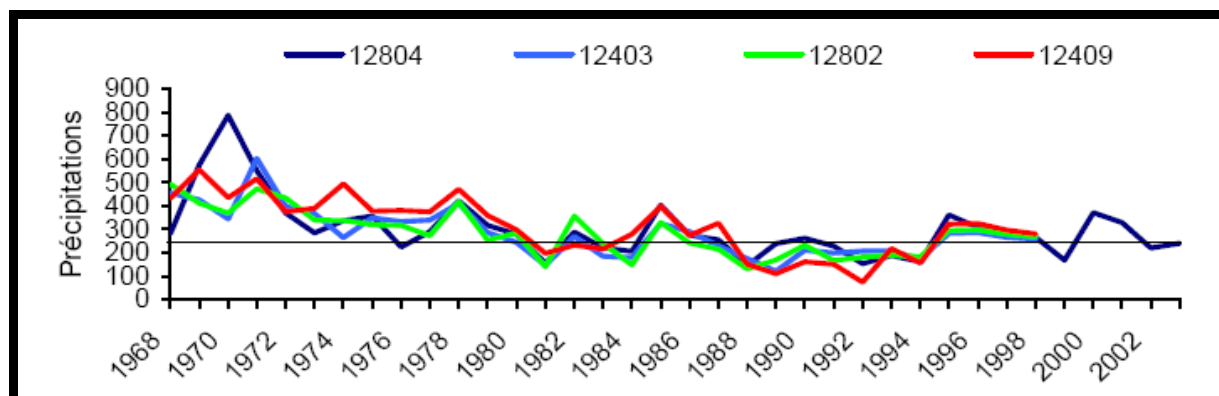
Le climat de la plaine a fait l'objet de diverses études approfondies allant du pionnier du domaine dans la région : Seltzer en 1946 dans son ouvrage 'Le climat de l'Algérie' à Yacono en 1954 dans son étude 'La colonisation des plaines du Chélif' jusqu'à nos jours. C'est un climat spécial, célèbre en Algérie par sa dureté et qui a été cité comme une curiosité météorologique (Seltzer, 1946). On parle du 'four du Tell' ou de 'portion de Sahara égarée dans le Tell' (Yacono, 1954). Il s'agit bien d'un climat très rude et très contrasté par des étés très chauds et des températures basses en hiver.

I.2.1. Précipitations

Décrites dans la bibliographie comme éléments primordiales, les précipitations de la plaine sont d'une part à la base du maintien et de l'avènement du couvert végétal d'autre part, elles jouent un rôle important dans la dégradation des sols par l'érosion hydrique lors des

averses torrentielles comme la bien préciser Boulaine en 1957 : « Certaines années comme ce fut le cas en 1927-1928 ce fut la zone oranaise de la vallée du Chélif qui reçut les précipitations les plus abondantes. Celles-ci se traduisent par des crues catastrophiques. La répartition des pluies suivant les mois de l'année est évidemment marquée par une sécheresse aiguë des mois d'été, juin et surtout juillet et août» ; en plus par la remontée des sels en cas déficit pluviométrique.

Ces cycles de sécheresse ont marqué leur retour mais cette fois ci durant les deux dernières décennies s'étalant de 1987 à 1990, de 1992 à 1995 et 1998-1999 (fig.3).



Avec : **12804** : Domaine de Sidi Lakhdar (1968 -1999)
12403 : Merdja KH (1968 -1999)
12802 : H'madna village (1968 – 2002)
12409 : Ouarizane village (1968 -1999)

Figure 3: Variation de la pluviométrie annuelle de quelques stations pluviométrique dans la plaine du Bas-Chélif.

Les précipitations moyennes annuelles calculées à partir des relevées météorologiques de la station d'INRAA à H'madna entre 1985-2009 restent inférieures à 300 mm. Le mois de novembre est le plus pluvieux avec environ 50mm et la période allant de juin à août, est la moins pluvieuse dans l'année. La plus faible valeur est enregistrée durant le mois de juillet avec environ 1mm (tab1).

I.2.2. Températures

La moyenne annuelle des températures avoisine les 20°C mais avec un écart aussi considérable d'environ également 20°C ; août est le mois le plus chaud avec une moyenne mensuelle de 29,72°C et 10,37°C enregistrer en janvier (tab1).

Tableau 1: Moyennes mensuelles des précipitations et des températures de la station de H'madna (1985-2007).

Mois	Température (°C)	Précipitation (mm)
Janvier	10,37	37,71
Février	11,78	35,23
Mars	14,36	27,65
Avril	16,69	31,01
Mai	21,45	21,27
Juin	25,85	4,65
Juillet	29,31	1,18
Août	29,72	2,50
Septembre	25,35	14,91
Octobre	20,90	30,41
Novembre	14,63	49,34
Décembre	11,72	34,17
Max	29,72	49,34
Min	10,37	1,18
Ecart annuel	19,34	48,17
Moy annuelle	19,35	290,02

(Source : INRAA, 2009)

I.2.3. Vent et pression

D'après Ozenda (1982) : le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température.

Et c'est encore à Yacono que le mérite revient pour son étude minutieuse du régime de pression-vent dans la vallée du Chélif. Des pressions diurnes basses et une prédominance du calme atmosphérique et l'importance de certains vents locaux cas du vent NW- sa vitesse varie de 13 à 33 km/h en moyenne- à Relizane qui n'apparaissent que l'après-midi expliquent en partie l'aridité de la région ; donc on peut là qualifiée région à atmosphère peu agitée (fig.4 et 5). Les courants ascendants chauds existent dans l'axe de la vallée empêchent la condensation des nuages (fig. 4).

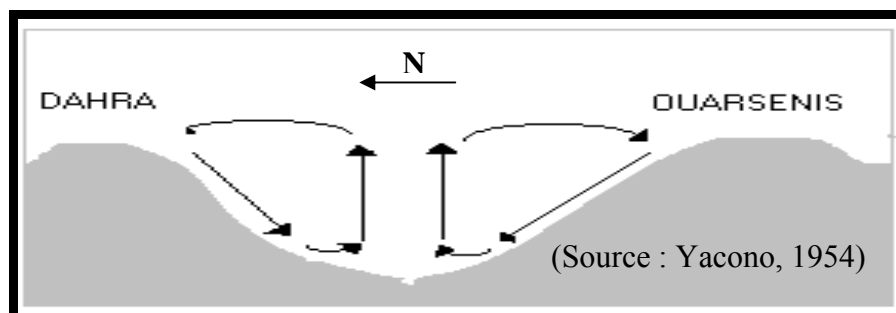


Figure 4: Système théorique des vents ascendant et descendant dans la vallée du Chélif.

Le vent affecte la région de deux façons essentielles : soit comme agent d'érosion éolienne ou en assèchent les croûtes superficielle du sol favorisant ainsi la remontée des sels. La carte des vents de la vallée du Chélif à 10m du sol est représentée en figure 5. Une gamme de variation de la vitesse moyenne annuelle allant de 1 à 6 m/s.

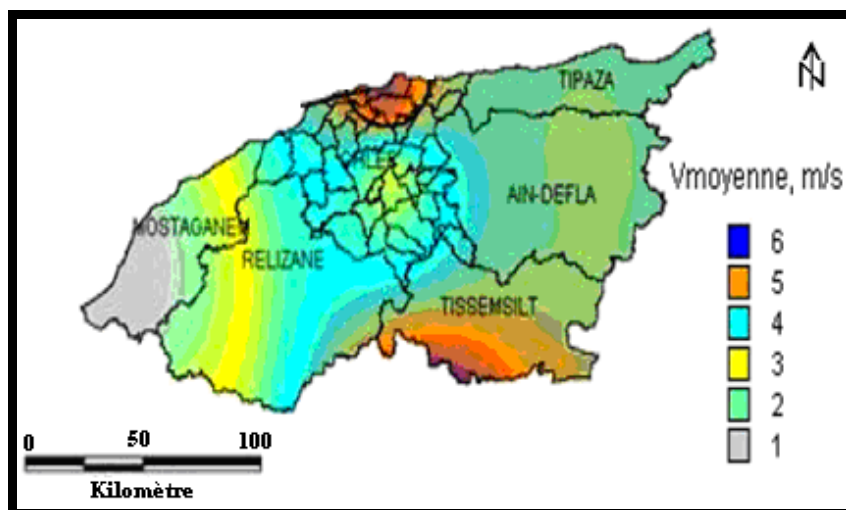


Figure 5: Atlas de la vitesse moyenne du vent de la vallée de Cheliff estimée à 10 m du sol. (Source : Boukli et al., 2007)

I.2.4. L'humidité

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin pour tous les mois, elle est de l'ordre de 60 à 85 % en automne et l'hiver et entre de 35 à 60 % en printemps et l'été. Elle peut compenser en un certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Le mois le plus humide est le mois de décembre et le mois le plus sec est le mois de juillet (fig.6).

I.2.5. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de Penman prend une valeur d'environ 1300 mm/an. Une ETP journalière basse en mois froid et élevée en mois chaud (fig.7) confirmant la variation de l'humidité relative journalière (fig.6).

I.2.6. Analyse climatique

En combinant principalement les températures (Moy, M et m) et la pluviométrie (soit mensuelle ou annuelle), on peut se donner des indications sur le climat de la région notamment :

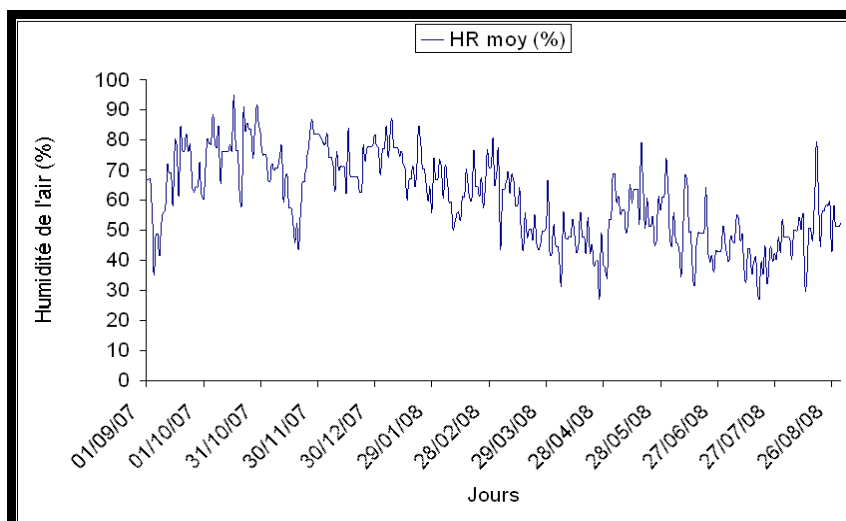


Figure 6: Variation de l'humidité relative journalière moyenne de l'air du 01/09/07 au 31/08/08.

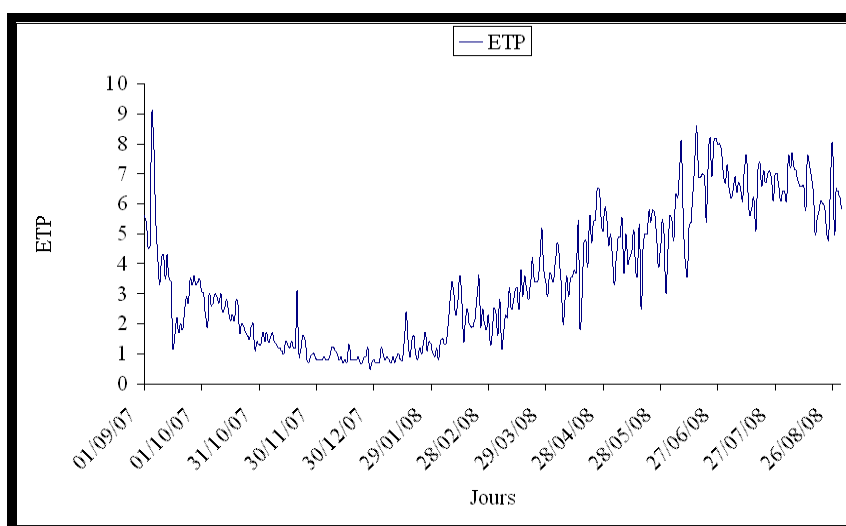


Figure 7: Variation de l'ETP journalier -Penman- du 01/09/07 au 31/08/08.

I.2.6.1. Diagramme Ombrothermique de Gausson

Bagnouls et Gausson (1953) ont caractérisé un mois sec par la relation $P \leq 2T$, avec :

P : moyenne mensuelle des précipitations en mm et ;

T : moyenne mensuelle des températures en °C avec $T = (M+m)/2$.

Le cumul des mois secs constitue la saison sèche. Pour vérifier cette relation, on doit adapter une échelle qui la concrétise ($P=2T$) ; c'est la zone où la courbe de P passe en dessous de celle de T (fig.8).

Donc, une longue période de sécheresse est révélée, elle s'étale sur sept mois, allant de mars à octobre.

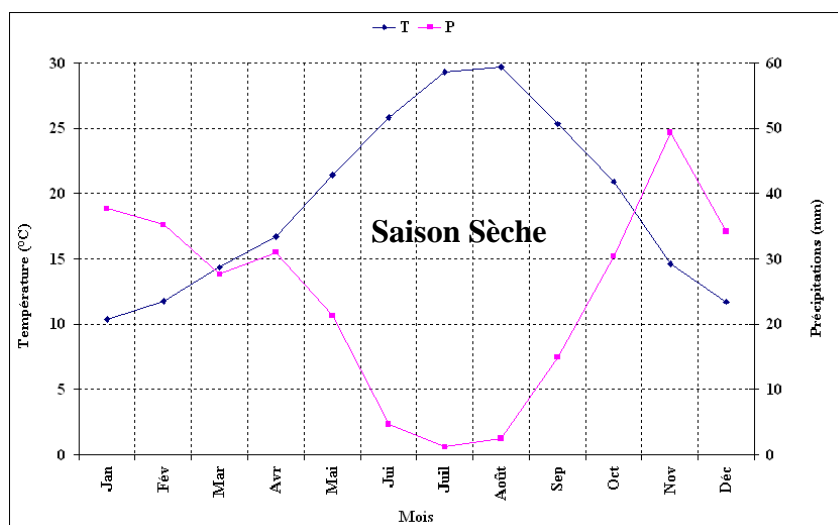


Figure 8: Diagramme ombrothermique de Gaussen de la station de Relizane de la période (1985/2007).

I.2.6.2. Indice de De Martonne (1927)

$$I_a = P \text{ (mm)} / T \text{ (°C)} + 10 \dots \dots \dots (1)$$

Cet indice « I_a » baisse lorsque l'aridité croît, l'indice de l'aridité de De Martonne de la station de Relizane pour la période 1938-1968 était de 11.65, pour la période 1968-1993 était de 10.18 et de 9.88 pour la période 1985-2009, ces valeurs témoignent d'une part d'un climat aride et d'autre part la gratuité vers une aridité plus sévère.

I.2.6.3. Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

Emberger en 1955 a proposé une formule combinant :

- la moyenne annuelle de la précipitation P exprimée en mm,
- la moyenne des maxima des températures M du mois le plus chaud exprimée en °K,
- la moyenne des minima des températures m du mois le plus froid exprimée en °K.

Il utilise la formule suivante :

$$Q_E = \frac{1000 * P}{\frac{(M+m) * (M-m)}{2}} \dots \dots \dots (2)$$

Pour le pourtour méditerranéen, en combinant les valeurs de m ($^{\circ}\text{C}$) en abscisses et celle du Q_E en ordonnées nous permet de positionner notre station en fonction de divers étages climatique établis par l'auteur, mais il signaler une chose les limites de séparation entre les différents étages climatiques sont imprécises, ce sont que des bandes de transition mixte où des changement de végétation ont été observés (Emberger, 1955).

Le climagramme (fig.9) indique que : la station du Bas-Chélif est située en dans l'étage climatique aride à hiver doux, avec un Q_E moyen de 37.01, une température minimale moyenne autour de 5°C .

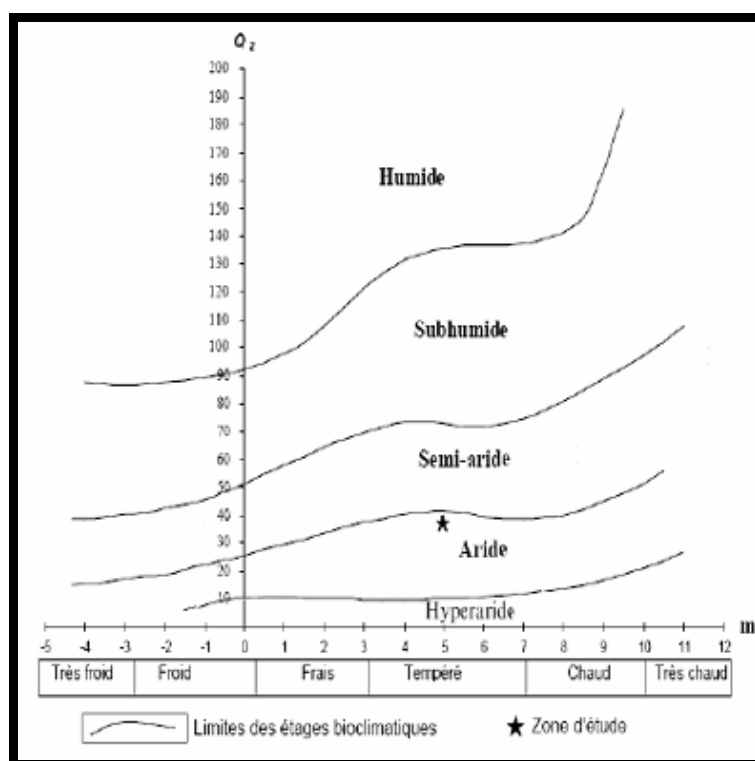


Figure 9: Position de la station de H'madena sur le climagramme d'Emberger.

I.3. Pédologie

On distingue selon Boulaine, 1957 :

I.3.1. Les sols des bordures de la plaine

Formé par des associations de sols plus ou moins érodé sur du calcaire dur ou tendre, des grès, des marnes ou encore croûtes calcaires (fig.10). Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniiformes (Douaoui, 2005).

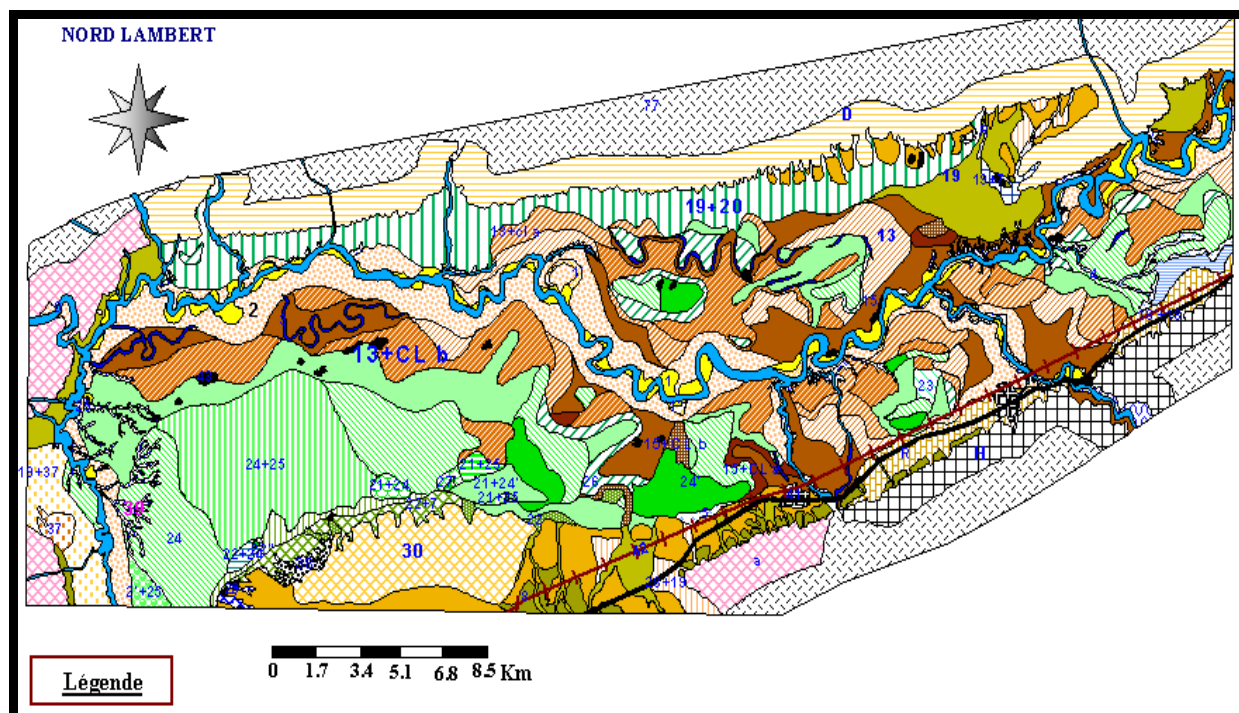
I.3.2. Les sols de la plaine proprement dite

Cinq classes ont été décrites : les sols salés, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués alluviaux et colluviaux et les sols calcimagnésiques.

Dans la classe des sols salés, Boulaïne (1957) distingue les Solontchaks inertes avec accumulation des sels en surface ou en profondeur, les Solontchaks vifs (horizon de surface à structure micropolyédrique en pseudo-sables durant l'été) pouvant être parfois hydromorphes, les Solontchaks vifs défloculés (dispersés en surface), les Hyposolontchaks et les Eosolonetz des lunettes érodées (fig.10). Les principales caractéristiques de ces sols sont présentées dans le tableau 2. Souvent, la présence des sels est tellement importante qu'ils deviennent apparents à l'examen visuel sous forme d'efflorescences salines (Douaoui et al., 2006).

Tableau 2: Synthèse des sols de la plaine du Bas-Chélif d'après la carte pédologique de Mc Donald et BNEDER (1990).

Type de sol	Caractéristiques
Sols peu évolués	- <i>Les sols peu évolués d'apport alluvial</i> : avec des caractéristiques physicochimiques très variées. Textures peu argileuses, limoneuse ou sableuse. Localisé surtout au bords des oueds. - <i>Les sols peu évolués d'apport colluvial</i> : Ils sont caractérisés le plus souvent par des dépôts de cailloux et de graviers à la surface et en profondeur du profil. Leur texture peut être très variée. Localisés au bord de la plaine
Les Vertisols	Riches en argiles gonflantes (smectites). C'est des sols à mauvais drainage. On les retrouve sur les alluvions des terrasses Rharbiennes. Ils présentent souvent le caractère salin avec une hydromorphie en profondeur.
Les sols Calcimagnésiques	Des sols carbonatés, plus ou moins différenciés et présentent parfois des accumulations calcaires nodulaires ou continues sous forme d'encroûtement et de croûte. Ils montrent parfois des caractères vertiques.
Les sols isohumiques	Moins fréquents dans le Bas-Chélif. Ils sont de couleur marron et présentent, parfois, le caractère vertique ou des accumulations discontinues de calcaire. Localisés sur les colluvions de la partie Sud de la plaine et sur le plateau de Benziane.
Les sols hydromorphes	Des sols profonds avec un drainage imparfait dû à leur position basse. Ils forment généralement des dépressions fermées telles que les sols de la Gaa. On les rencontre un peu partout dans le Bas-Chélif.
Les sols salsodiques	Appelés halomorphes : sont des sols dont l'évolution est influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage du sodium échangeable. Lorsque la conductivité électrique dépasse les 4 dS/m par la méthode de la pâte saturée, ils sont appelés sols salés (U.S.S.L.S, 1954).



- | | |
|--|---|
| <p>1 : sols alluviaux non évolués des dépôts sableux des lits majeurs des oueds</p> <p>1' : fréquemment inondés</p> <p>1'' : salés par ruissellement latéral</p> <p>2 : sols alluviaux non évolués des dépôts sableux des bourrelets des oueds</p> <p>2' : peu épais</p> <p>3 : sols hydromorphes non salés des réseaux d'écoulement des eaux superficielles des plaines</p> <p>4 : sols hydromorphes permanents</p> <p>5 : sols hydromorphes temporaires, à nappes phréatiques non salées</p> <p>7 : sols hydromorphes à inondations temporaires hivernales</p> <p>8 : sols calciques formés sur carapace calcaire</p> <p>13 : sols alluviaux complexes à horizon d'accumulation des sulfates</p> <p>13+cla : sols alluviaux complexes à horizon d'accumulation des sulfates et chlorures</p> <p>13+clb : sols alluviaux complexes à horizons d'accumulation des sulfates+accumulation de chlorures en profondeur (>0,18 %)</p> <p>15 : sols alluviaux complexes évolués</p> <p>15+cla : sols alluviaux complexes +accumulation de chlorures en profondeur (<0,18%)</p> <p>15+clb : sols alluviaux complexes +accumulation de chlorures en profondeur (>0,18 %)</p> <p>18+18' : sols colluviaux provenant des massifs calcaires, pente assez forte</p> <p>19 : sols colluviaux provenant des massifs gréseux et des formations quaternaires anciennes</p> <p>20 : sols colluviaux et alluviaux provenant des massifs marneux et argileux</p> | <p>21 : Solontchaks lessivés ou solonetz par ablation éolienne (sols des dayas des zones salés)</p> <p>22 : Solontchaks vifs</p> <p>22'' : Solontchaks vifs défloculés</p> <p>23 : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % et moins de 0,5 % de C1 en surface</p> <p>24 : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % de chlore en surface</p> <p>24' : Solontchaks inertes avec plus de 0,18 % de C1 en surface et plus de 0,5 % de C1 en profondeur</p> <p>25 : Hyposolontchaks avec 0,07 à 0,18 % de C1 en surface + accumulation de Chlorure en profondeur</p> <p>26 : Hyposolontchaks avec 0,07 à 0,18 % de C1 en surface</p> <p>27' : Eosolonetz des lunettes érodés</p> <p>28 : sols partiellement décalcifiés à accumulation progressive de calcaire</p> <p>30 : sols partiellement décalcifiés à accumulation brusque du calcaire</p> <p>37 : sols dunaires rouges décalcifiés</p> <p>38 : sols dunaires de la bordure nord de l'auréole de la sebkha Benziane</p> <p>39 : griffes d'érosion</p> <p>42 : voie ferrée</p> <p>43 : villages, douars, carreaux, etc...</p> <p>77 : Massif (Dahra, Ouarsenis)</p> <p>a : Association des sols à carapace calcaire</p> <p>D : Association des sols jeunes formés sur grès et marnes</p> <p>H : Association des sols formés sur les calcaires tendres</p> <p>R : Route nationale n°4</p> |
|--|---|

Figure 10: Carte des sols (Boulaine, 1956)

I.4. Géologie et géomorphologie

La plaine est relativement jeune parce qu'elle date seulement du quaternaire, c'est un synclinal comblé du rharbien (quaternaire) encadré au Nord et au sud par des collines de l'âge Miocène pliocène (tertiaire). En conséquences, ces bordures fournissent directement par érosion les alluvions de la plaine du Bas-Chélif (McDonald et BNEDER, 1990).

Vers le sud, l'oued Rhiou et l'oued Djidouia traversent les collines, comprennent de schistes et de marnes salés, ce qui justifie la haute salinité des sols alluviaux de la plaine ainsi que le niveau de la salinité des eaux de la retenue du barrage Gargar. (McDonald et BNEDER, 1990).

Au Nord, les collines de Dahra sont composées principalement par les marnes et de limons argileux qui changent vers l'ouest en sables et des conglomérats plus grossiers. Encore une fois, certains de ces lits sont salés.

Les collines de l'Est du Bas-Chélif sont plus récentes que le Dahra et le massif de l'Ouarsenis, d'âge Villafranchien et sont composées de limons calcaires intercalés de sables, extrêmement tendres, une érosion sévère a ravines profondes.

Les principales formations géomorphologie sont :

I.4.1. Les glacis colluvionnaires

Assez étroits de 3 % à 5 % qui se retrouvent en bordure de la plaine où les formations récentes sont dominantes. La présence des croûtes calcaires qui caractérisent les formations plus anciennes est peu fréquente. Dans le cas échéant, on les retrouve en conséquent sur les piémonts du Sud des villes tel que : Oued Rhiou et de Djidiouia. Ils sont constitués par des matériaux en provenance des calcaires du Miocène supérieur.

I.4.2. La plaine alluviale

Le Bas-Chélif est une plaine alluviale datant du Rharbien. Les alluvions qui la constituent sont d'une épaisseur considérable (plusieurs dizaines de mètres), les matériaux récents originaires des bassins versants du Chélif, de l'oued Rhiou et de l'oued Djidiouia sont ces constituants principaux (dominance des schistes et des marnes du Miocène et du Pliocène souvent riches en sels)

Alors la plaine ces formations récentes constituent la plaine proprement dite avec une pente très faible et des sols non évolués.

I.4.3. Les lits des oueds actuels

Les lits d'oueds sont encaissés dans la terrasse alluviale du Rharbien à un niveau inférieur à 10 mètres. Les bords sont très escarpés et très abrupts.

L'oued Chlef est le principal oued de la plaine, il la traverse d'Est en Ouest. Au moment des grandes crues, il déborde sur les terrasses récentes en déposant en bordure de ses berges des bourrelets alluviaux le plus souvent sableux connus sous le nom de formations actuelles et qualifiés de formations modernes par Gaucher (1947).

L'oued Rhiou et l'oued Djidiouia forment des cônes de déjections assez étendus en contact avec la plaine du Bas-Chélif. Certains cours d'eau qui n'ont pu creuser leur lit jusqu'à l'oued Chlef, forment des cônes de déjection en pleine plaine.

I.4.4. La Sebkhia de Benziane

C'est une dépression naturelle (cuvette elliptique de 5 km de long sur près de 3 km de large, bordée au nord de falaise d'environ 15m) cavée dans la région de Benziane au Nord de la ville de Oued El Djemaa. Boulaine (1957) avait retenu l'hypothèse selon laquelle la sebkhia a été formée par déflation éolienne d'une zone où s'étaient formés des sols salés à la suite de mouvements tectoniques par la combinaison d'un creusement au centre du bassin et d'une accumulation en bordure d'un bourrelet éolien.

En hiver, elle est recouverte par une couche d'eau d'environ 30 cm d'eau en son centre, en été, il y a accumulation des sels qui apparaissent sous forme d'une épaisse croûte blanchâtre. En plus de la Sebkhia de Benziane, il existe d'autres cuvette qui sont : la Daya, la dépressin du Douar Djerada, elle entourées de reliefs assez élevées que l'on appelle des lunettes (Boulaine, 1957)

I.4.5. La Gaa

C'est une dépression fermée, couverte par des formations récentes très argileuses, elle se trouve dans la rive droite de l'oued Mina. On y retrouve des petits cours d'eau qui constituent des artères permettant une circulation d'eau vers le centre de la dépression où les

eaux stagnent sur pratiquement toute l'année provoquant dans ceci une hydromorphie et une salinisation importantes des sols (Douaoui, 2005).

I.4.6. La colline de partage

C'est un relief caractéristique dans cette partie des plaines du Chéelif qui domine Merdjjet Sidi Abed d'une dizaine de mètres. Cette formation marque la limite entre la plaine du Bas-Chéelif et la plaine du Moyen-Chéelif. A ce niveau, la plaine alluviale est très étroite et ne fait que 2 à 3 km de large. Cette colline fait partie d'une série d'autres collines qu'on retrouve dans les autres plaines du Chéelif (Moyen et Haut-Chéelif). Les formations géologiques de ces collines sont continentales du Pliocène supérieur, du Villafranchien et du Quaternaire moyen, dont le matériau est un mélange de limons, de sables, de cailloux et de galets.

I.5. Ressources en eau

La plaine du Bas-Chéelif comporte des potentialités importantes en eau, mais comme c'est les cas de plusieurs régions d'Algérie la plaine n'en profite pas (Douaoui, 2005).

I.5.1. Les ressources en eaux superficielles

Les deux principales ressources en eau sont constituées par deux retenues :

Le barrage de Gargar sur l'oued Rhiou : d'une capacité théorique de 450 Hm³, il est l'un des plus grands barrages d'Algérie ;

La retenue de la Merdjjet Sidi Abed, un réservoir hors cours d'eau d'une capacité de 50 Hm³, elle remplit en hiver essentiellement par dérivation des eaux de l'oued Chlef, ainsi elle était dévasée en 2005.

En plus, le Bas-Chéelif pourrait aussi être alimenté à partir des autres ressources en eau superficielles du bassin du Chéelif, telles que les eaux non conventionnelles excédentaires du Chéelif.

La qualité de l'eau des cours d'eau dans le bassin de Chéelif est aussi à discuter, elle est en général plutôt médiocre. La salinité de l'eau dans l'oued Rhiou varie entre 0,5 g / l environ pour les débits les plus forts et 2 g / l pour les débits d'étiage. La figure 11 nous

renseigne sur la qualité des eaux du barrage de Gargar et de Merdjjet Sidi Abed pour l'année 2002.

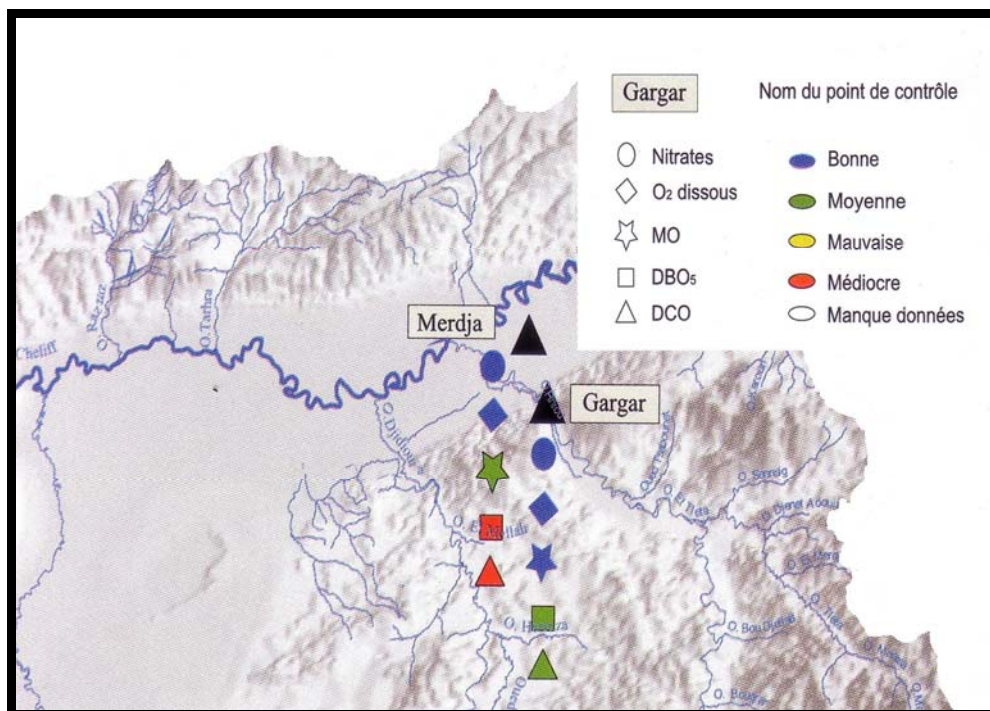


Figure 11: Qualité des eaux des barrages de Gargar et de Merdjjet Sidi Abed.

(Source : Agence des bassins hydrographiques, Chlef-Zahrez (ABH-CZ), 2002)

I.5.2. Les ressources en eaux souterraines

Les principaux aquifères du Bas-Chélif sont :

Le Miocène calcaire : affleure le long de la limite sud de la plaine. Les descriptions lithologiques ont montré l'existence de zones de fracture productives entre 37 et 60 m de profondeur.

Le Pliocène marin : c'est une suite d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès qui affleurent au nord de la plaine. On le retrouve dans la région de Ouarizane à plus de 55 m de profondeur et dans la région de Sebket Benziane à plus de 400 m de profondeur.

Le Quaternaire-Pliocène continental : il est constitué de sédiments à base d'argile, de marnes et des lits de sable, de graviers et de conglomérats. La profondeur de ces forages

est très variable selon les régions où elle peut aller jusqu'à 300 m alors que la moyenne est de 70 m. (Douaoui, 2005).

La figure suivante nous donne quelques chiffres.

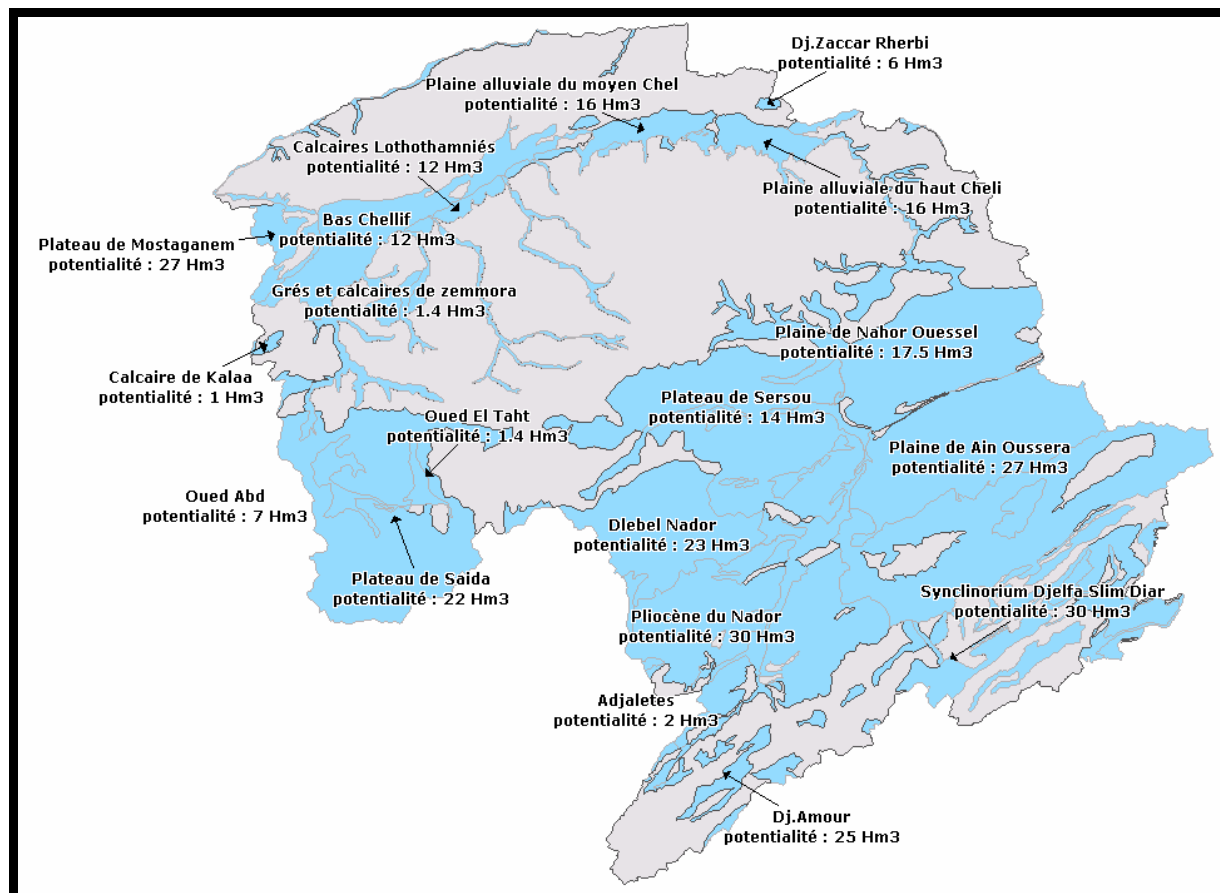


Figure 12: Ressources en eaux souterraines dans le bassin hydrographique Chlef-Zahrez.

(Source : ABH-CZ, 2006)

I.6. Périmètres irrigués

La région du Bas-Cheliff comporte plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente, dont les plus importants sont : le périmètre de Oued Rhiou, le périmètre de Ouarizane, le périmètre de Djédouia, le périmètre Hmadna et le périmètre de Guerouaou (fig. 13).

L'utilisation des eaux souterraines dans l'irrigation n'a pas été sans conséquences sur la dégradation de la qualité des sols de la plaine du Bas-Chélif. Cette dégradation qui se manifeste par une augmentation de la salinisation ou une sodisation ne s'est pas faite de la même façon dans les périmètres irrigués. C'est justement le périmètre de Hmadna dont l'eau

d'irrigation est la plus mauvaise qui montre les sols les plus dégradés (Douaoui et Hartani, 2007).

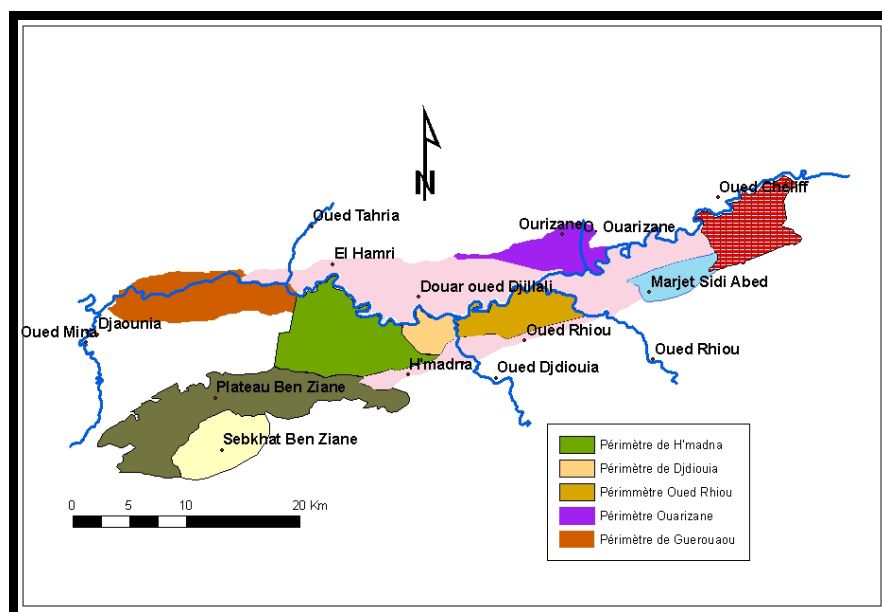


Figure 13: Principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif.

I.7. Occupation du sol

Comme toutes les plaines du Chélif, la plaine du Bas-Chélif est à vocation agricole (Amichi, 2009). De ce fait, les sols sont soit cultivés soit abandonnés pour être occupés par la végétation halophyte. L'agriculture concerne essentiellement :

- Les vergers d'agrumes et d'oliviers dont la date de plantation remonte le plus souvent à la période coloniale. Ces vergers sont irrigués et se localisent le plus souvent dans les périmètres d'Oued Rhiou, Djidiouia et Ouarizane.

- Les cultures maraîchères irriguées (melon, pastèque, artichaut, oignon ...) sont cultivés dans les périmètres irrigués et se concentrent au bord des lits d'oueds.

- Les cultures céréalières en sec, installées principalement sur les sols calcimagnésiques du plateau de Benziane. On les retrouve également dans les périmètres irrigués. L'étude de McDonald et BNEDER, (1990), montre que ces types de cultures occupent en S.A.U. : l'orge 20 %, le blé 8,5 %.

Selon Douaoui (2005), les sols très salés sont abandonnés et souvent couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et

dans le temps. En été, certains types de sols, tels que ceux de la Gaa sont totalement dépourvus de végétation. (Ghérina, 2008).

La carte d'occupation du sol (fig. 14), établie par Ghérina, (2008), à partir des données recueillies sur le terrain lors de l'échantillonnage de juin-août 2006, montre une occupation de 14 % par les cultures maraîchères, 32 % par les céréales, 5 % par la jachère, 25 % par la végétation halophyte, et 7 % sont des sols labourés.

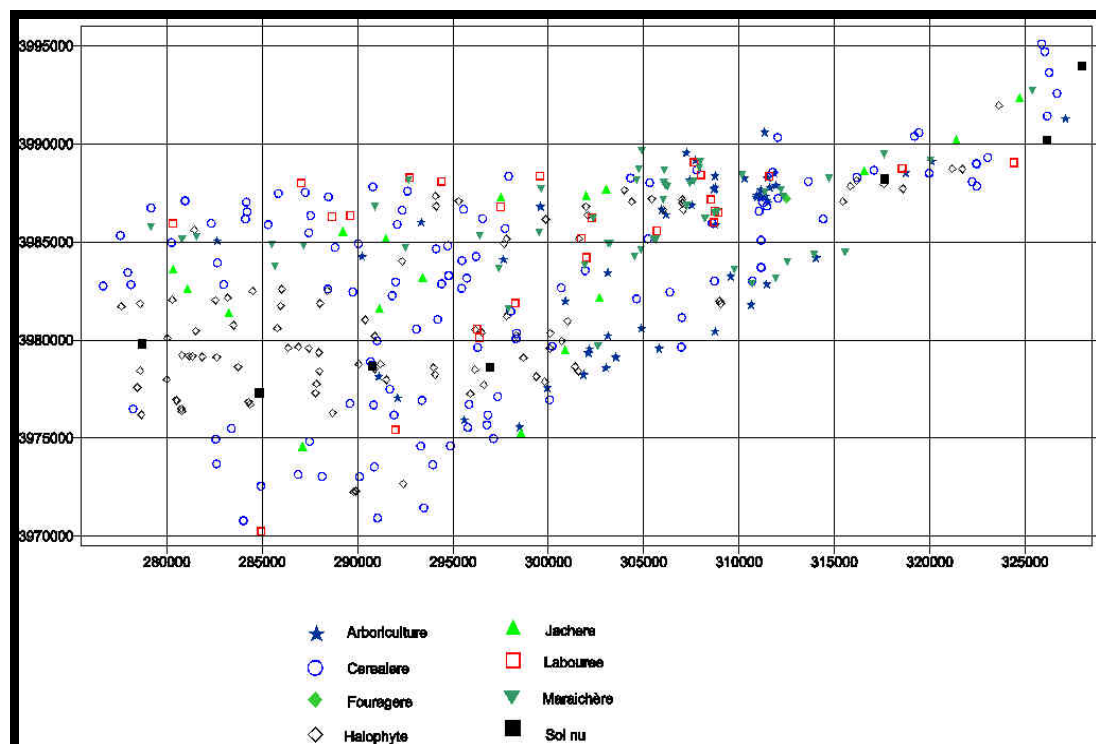


Figure 14: Carte d'occupation des sols de la plaine du Bas-Chélif (Ghérina, 2008).

Chapitre II :

Aperçu Bibliographique et Etat de l'Art

Ce chapitre est une synthèse des connaissances et des méthodes qui permettent de diagnostiquer les problèmes de salinité dans les systèmes irrigués.

Chapitre II. Aperçu Bibliographique et état de l'art

2.1. Généralité sur la salinité des sols sous irrigation

2.1.1. Préambule

Les sols salés sont naturellement présents sous tous les climats et sous tous les continents (Szabolcs, 1989 in Girard et al., 2005 ; Robert, 1996). La salinité si elle est présente dans le sol implique la présence d'une source de sels qui peut être d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eau de mer ou nappe phréatique salée peu profonde) (Girard et al., 2005), on parle alors de salinité primaire ayant débuté en même temps que la genèse des sols ou une eau d'irrigation chargée : c'est la salinité secondaire qui peut être naturelle ou anthropique, elle intervient lorsque l'accumulation des sels se produit dans des sols ayant été déjà formés (Tabet, 1999 ; Condom, 2000 ; Douaoui, 2005).

Le sujet est vaste, il a donné lieu à une abondante littérature scientifique et technique : il ne saurait être traité en quelques pages. Les lignes qui suivent ne visent qu'à situer la question et à en dégager très brièvement les aspects essentiels.

2.1.2. Définition de la Salinité-salinisation

Beaucoup sont les définitions avancées concernant la salinité, on citera :

2.1.2.1. La salinité

« Le terme salinité réfère à la présence dans le sol et l'eau des solutés électrolytiques minérales à des concentrations nocives pour plusieurs cultures. Les plus communs parmi ces solutés sont les cations dissociés : Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} ; et les anions Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^{2-} et CO_3^{2-} » (De Forges, 1972 ; Tanji, 1990 in Hillel, 2000 ; Tabet, 1999 ; Baize, 2000).

2.1.2.2. La salinisation des sols

La «salinisation» désigne le processus au cours duquel la salinité augmente. Toutefois, le terme «salinisation» est communément utilisé pour désigner la voie neutre de salinisation, alors que les voies acide et alcaline sont désignées respectivement par «sulfato-

réduction» et «alcalinisation» et les processus de saturation du sol en sodium sont dits «sodisation» (Tabet, 1999).

2.1.3. Les processus géochimiques et voies de salinisation des sols

Si un minéral AB précipite au cours de la concentration de la solution du sol, A et B ne peuvent augmenter simultanément car le produit de solubilité (Q) : $Q = (A) \cdot (B)$ reste constant. Ainsi, si $A > B$, A augmente et B diminue ; et inversement, si $B > A$, B augmente et A diminue.

La salinisation secondaire est considérée comme le processus général regroupant trois grands types de phénomènes : la salinisation neutre, la salinisation alcaline ou alcalinisation et la sodisation. Ces trois mécanismes peuvent apparaître lorsque la solution du sol se concentre. Le faciès chimique de cette dernière détermine alors la voie empruntée : soit la voie saline neutre, soit la voie alcaline. La sodisation est une résultante de ces dernières et traduit le phénomène de fixation d'ions sodium sur la matrice solide (fig.15) (Tabet, 1999 ; Condom, 2000). Les états résultants de ces processus de salinisation neutre, d'alcalinisation et de sodisation sont qualifiés de salés, d'alcalins et de sodiques. La figure suivante nous montre l'existence de plusieurs voies d'évolution des propriétés des sols sous l'influence d'une concentration progressive de l'eau d'irrigation.

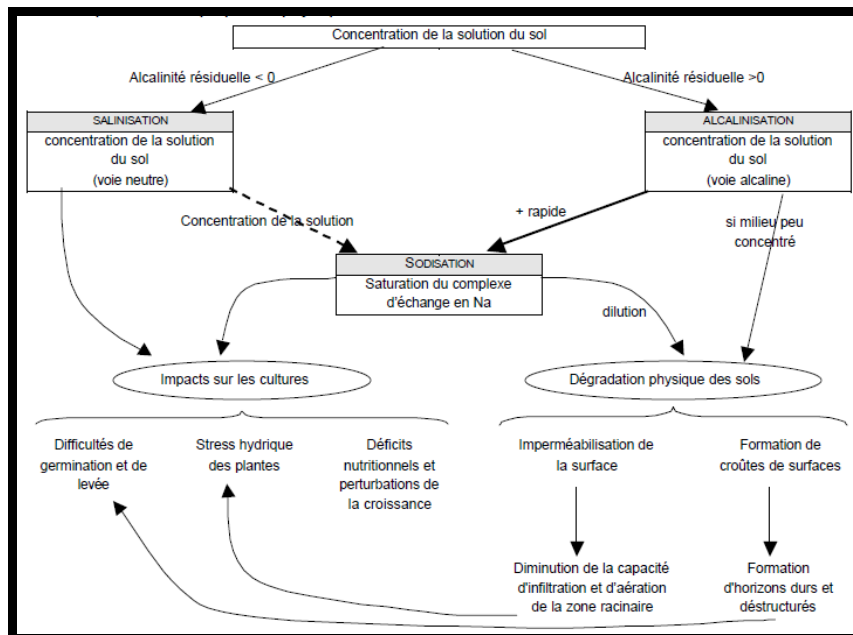


Figure 15 : Schéma synthétique des processus géochimiques des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur les propriétés physiques des sols et sur les cultures (Source: Tabet, 1999).

2.1.4. Echelle de salinité

Les échelles de salinité des sols ont été mises au point à des fins agronomiques. Depuis de nombreuses années la conductivité électrique des extraits de sol par l'eau est utilisée comme diagnostic de la salinité des sols, ainsi que pour le classement d'aptitude des eaux pour l'irrigation (U.S.S.L.S, 1954).

2.1.4.1. Sol

L'extrait de pâte saturée ou extrait saturé sert de référence générale (U.S.S.L.S, 1954), alors que les extraits obtenus avec des rapports eau/sol plus élevés, plus faciles d'emploi, restent sujets à caution et doivent être étalonnés par l'extrait saturé (Servant, 1975 in El Oumri et Vieillefon, 1981).

Lorsque l'on considère les sols avec des CE_e supérieures à 8 dS.m^{-1} , on sait que la plupart des plantes cultivées dans ces conditions voient leurs rendements nettement affectés par la salinité, sachant que déjà à partir de 4 dS.m^{-1} la situation est défavorable pour plusieurs types de culture. Au-delà de 16 dS.m^{-1} , seuls des végétaux spécialisés peuvent croître normalement dans de tels milieux salés (Mathieu et Pieltain, 2003). Les tableaux 3 et 4 donnent quelques classifications de salinité de référence.

Tableau 3 : Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de saturation à 25° C.

mmhos.cm^{-1} dS.m^{-1}	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
Riverside USA	non salé	légèrement salé	salé	très salé				extrêmement salé			
Servant 1975	non salé	faiblement salé	moyennement salé		salé		fortement salé		très fortement salé		
CPCS 1967	non salé	phase saline		sol salin							
R.P 1995	non salé			horizon salique (1)				horizon salique (2)			
FAO 1989	non salé		(1) phase saline ou (2) caractères saliques si $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} 1/1 > 8,5$					caractères saliques			
BRM 1999	non salé			horizon salique si $\text{pH}_{\text{CEe}} > 8,5$ ou $< 3,5$				horizon salique			

(1) Sels de la série alcaline (bicarbonates et carbonates) et $\text{pH}_{\text{CEe}} > 8,5$.

(2) Sels de la série neutre (chlorures, sulfates ou nitrates) et $\text{pH}_{\text{CEe}} > 8,5$.

(Source: Mathieu et Pieltain, 2003)

Tableau 4 : Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux à 25° C.

mmhos.cm ⁻¹ dS.m ⁻¹	0,6		1	2	3	4
CE _{1/5}	non salé		légère- ment salé	salé	très salé	
CE _{1/10}	non salé	légè- rem ^t salé	salé	très salé	extrêmement salé	

(Source: Mathieu et Pieltain, 2003)

2.1.4.2. Eau

Quand on fait un bilan des disponibilités en eau pour l'irrigation, on tient compte à la fois de la quantité et de la qualité ; pourtant, on a toujours négligé l'aspect qualitatif. De la qualité, on doit déduire dans quelle mesure un approvisionnement en eau répond aux besoins des destinataires, c'est pour quoi il faut l'évaluer d'après son adaptation à l'utilisation envisagé. L'usage fera apparaître des « degrés » d'acceptabilités qui permettront d'évaluer l'aptitude de diverses qualités d'eau pour un usage déterminé. Le tableau 3 résume les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.

2.1.5. Paramètres influençant l'évolution de la salinité des sols sous irrigation

2.1.5.1. Influence de la ressource d'eau

2.1.5.1.1. Influence de la quantité d'eau

Même dans les zones où les précipitations saisonnières totales sont moyennement proportionnées, ils peuvent être mal distribués pendant l'année et variable d'année en année (Hillel, 2000 ; Mezni et al., 2002 *in* Hassani et al., 2008). La pratique de l'irrigation consiste donc à combler ces vides en appliquant l'eau à une partie du profil de sol qui sert de zone racinaire pour l'utilisation immédiate de la culture (Hillel, 2000).

La salinité et/ou la sodicité sont des problèmes communs dans l'agriculture irriguée spécialement dans les zones à pluviosité réduite ayant une grande demande évaporative (Summer, 1995 *in* Rietz et Haynes, 2003 ; Bresler et al., 1982 et Chhabra, 1996 *in* Girard et al., 2005 ; Munns et al, 2006 *in* Hassani et al., 2008). L'apport de l'eau dans la zone racinaire des sols salés provoquerait une élévation du niveau de nappe phréatique (Maillard,

2001 ; Rietz et Haynes, 2003), les sels sont alors solubilisés (Rietz et Haynes, 2003 ; Koyro et al., 2009), portés à la surface du sol par remontée capillaire (Rietz et Haynes, 2003) dans les écosystèmes aride et semi aride résulte de forte évaporation d'eau à partir du sol (Munns et al, 2006 in Hassani et al., 2008) ou vont créer une nappe perchée (Maillard, 2001).

Dès lors que la hauteur de la nappe se trouve à 1 à 2 mètres de la surface du sol, elle peut contribuer activement à l'évaporation du sol et ainsi à la salinisation de la zone racinaire des cultures par accumulation de sels. Ces problèmes de salinisation peuvent être encore accentués lorsque la nappe est déjà relativement haute ce qui est généralement le cas en zones arides (Maillard, 2001).

Tableau 5 : Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.

Potential Irrigation Problem		Units	Degree of Restriction on Use		
			None	Slight to Moderate	Severe
Salinity (affects crop water availability)					
	EC_w	dS/m	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
	(or)				
	TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration (affects infiltration rate of water into soil Evaluate using EC _w and SAR together)					
SAR	= 0 - 3	and EC_w =	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
	= 3 - 6	=	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
	= 6 - 12	=	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
	= 12 - 20	=	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
	= 20 - 40	=	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9
Specific Ion Toxicity (affects sensitive crops)					
	Sodium (Na)				
	surface irrigation	SAR	< 3	3 - 9	> 9
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	Chloride (Cl)¹				
	surface irrigation	me/l	< 3	4 - 10	> 10
	sprinkler irrigation	me/l	< 4	> 3	
	Boron (B)	me/l	< 0,7	0,7 - 3	> 3,0
	Trace Elements				
Miscellaneous Effects (affects susceptible crops)					
	Nitrogen (NO₃ -N)	me/l	< 5	5 - 30	> 30
	Bicarbonate (HCO₃)				
	(overhead sprinling only)	me/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
	pH		Normal Range 6,5 - 8,4		

1 Adapté du Comité des conseillers d'Université de Californie 1974.

(Source : Ayers et Westcot, 1988)

2.1.5.1.2. Influence de la qualité d'eau

Toutefois si l'irrigation a augmenté énormément dans le passé pour atteindre 280 millions d'hectares, les prévisions (350 millions d'hectares) sont plus modérées pour le futur, à cause de la ressource en eau qui est limitée. Elle va par contre devoir utiliser des eaux de qualité de plus en plus mauvaise, du faite de la réutilisation de l'eau de drainage, ou des eaux usées sans traitement suffisant. Lors de l'utilisation des eaux chargées en sels, les argiles restent flocculées et les risques de dégradation sont plutôt chimiques et biologiques (Robert, 1996).

Inévitablement, comme jamais, l'irrigation consiste également l'addition des sels portés par les eaux (Umali, 1993 ; Hillel, 2000). Il est aisé de comprendre que si le sol reçoit, par irrigation et par pluie, la quantité d'eau correspondant exactement à la consommation des végétaux et à l'évaporation du sol, les sels que la végétation n'absorbent pas s'accumuleront, car une eau d'irrigation, qu'elle soit de surface ou de profondeur, est toujours minéralisée ne serait-ce que très faiblement (De Forges, 1972).

2.1.5.2. Influence de l'aridité

En zone aride, la salinité des sols est quasiment tout le temps liée à l'irrigation des terres cultivables. Aborder le thème de la salinité dans cette zone c'est donc s'intéresser en particulier aux pratiques d'irrigation.

Toutefois, l'activité agricole des régions arides dépendent des aléas de la pluie, le recours à l'irrigation de complément parait très indispensable ; mais les ressources en eau étant très réduites et très aléatoires, elle se fait majoritairement avec des faibles potentialités en eau ainsi que des qualités très médiocres implique que l'aridité joue un rôle très important dans la dynamique de l'eau par l'action de la paire Température-Evaporation. Ce mécanisme étant très étroit avec la partie 2.1.5.1.

2.1.6. Effets de la salinité

Il faut distinguer deux séries d'effets de la salinité : les uns portent sur les végétaux, les autres sur le sol.

Comme règle générale, on peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001).

Au champ, les sols salés peuvent se reconnaître par la croissance en « tâche » des cultures et souvent par la présence de croûtes blanches salées. Quand ce problème n'est pas encore très amplifié, les plantes prennent des nuances bleues – vertes.

Cependant, une salinité modérée, particulièrement si elle est uniforme dans le champ peut souvent ne pas être détectée en ne causant apparemment pas de dégâts plus visibles qu'une croissance limitée. Les feuilles seront plus petites avec cette teinte bleu-verte caractéristique. Une succulence des feuilles plus importante pourra également être observée en particulier si la concentration en ions chlorites dans le sol est élevée.

Les plantes poussant sur des sols salés ont généralement la même allure générale que celles poussant sous des conditions d'humidité stressante. Cependant, le flétrissement de la plante est moins prévalent dans le premier cas dû au fait que le potentiel osmotique de la solution du sol change de façon graduelle et que les plantes soient capables d'ajuster leur taux interne de sels de façon suffisante pour maintenir la rigidité de leur cellule et éviter le flétrissement.

Un autre signe visible de la salinité est le manque de réponse des plantes à l'application des fertilisants. En effet, vu que la plupart des nitrates inorganiques et les potassiums sont des sels solubles, leur application augmente souvent le problème des sels en excès. Certains fertilisants organiques tel que le fumier frais contient également des sels solubles aggravant encore le phénomène (Maillard, 2001).

Aux niveaux très élevés de salinité, le potentiel osmotique en dehors des racines de la plante tombe au-dessous de celui du potentiel osmotique à l'intérieur des racines et comme résultats une dessiccation osmotique et fanage de la plante (Maas et Nieman 1978 & Lauchli et Epstein 1990 *in* Umali, 1993 ; Jones et Marshall, 1992 *in* Houk et al., 2006).

Des échanges chimiques ont lieu entre la solution remplissant les interstices du sol et les éléments solides de ce milieu : les ions sodium notamment peuvent être fixés en abondance par le sol et ainsi le terrain devient alcalin. En d'autres termes, la salinité peut, dans certaines conditions de sol et d'eau, donner naissance à l'alcalinité qui va avoir une très mauvaise influence sur la structure du sol. Le phénomène est pratiquement inexistant en terrain très sableux, mais il peut se développer de façon catastrophique en terrain argileux : le sol devient imperméable, bloqué, et il est très difficile de le remettre en état (De Forges, 1972)

D'un point de vue économique, en plus des problèmes de rendement, l'agriculteur voudra augmenter ses apports en semences, fertilisants, etc. pour palier à son manque de rendement lui causant encore plus de pertes financières de manière indirecte. Ce problème limitera de plus la mise en valeur des terres car il ne pourra plus cultiver hormis des plantes tolérantes au sel qui ne sont pas forcément les plus rémunératrices (Maillard, 2001).

2.1.7. Conclusion

L'irrigation apporte beaucoup de bénéfice à la société qui peut aussi engendrer des problèmes. Un sol irrigué est un futur sol salé (Favre, 2000). L'irrigation est un soutien pour la culture mais elle a un prix : la salinité (Umali, 1993). La salinisation des sols apparaît aussi comme un indicateur pertinent pour l'évaluation de la performance des systèmes irrigués (Marlet, 2004).

Selon Szabolcs (1994 cité par Hassani et al., 2008), un milliard d'hectare est menacé dont 3,2 millions d'ha en Algérie (Belkhodja et Bidai, 2004 *in* Hassani et al., 2008) dont les 45 000 ha au Bas-Chélif.

2.1.8. Rôle du drainage dans la rémediation à la salinité

La définition du drainage agricole, comme donnée dans la constitution de la Commission Internationale sur l'Irrigation et le Drainage/ICID (1979) cité par Bos et Boers (1994) :

« Le drainage agricole est l'élimination des eaux de surface et de souterraine excessives de la terre pour augmenter la croissance de plantes, y compris l'élimination des sels solubles pour le sol »

Le drainage naturel des sols dépend des propriétés physiques du sol et de la profondeur de la nappe. Le drainage artificiel va le compléter ou remédier aux déficits naturels de drainage. Comme l'irrigation, c'est une opération qui a pour but de contrôler l'humidité des sols. Elle permet de contrôler le niveau de la nappe phréatique à la profondeur qui convient pour une croissance optimale des végétaux. Elle a également pour but d'éliminer l'eau appliquée en excédent en irrigation et d'assurer un bilan de sels adéquat (Tabet, 1999).

Pour ce faire, la ressource en eau parvenant à la parcelle doit en même temps assurer les besoins de la culture et on réserver une marge pour s'infiltrer dans le sol et permettre le lessivage des sels (Valles et al., 1988).

Il est préférable de faire ce lessivage en prenant compte de :

- L'humidité du sol : quand elle faible et la nappe phréatique adjacente suffisamment basse ;
- Le climat: lessiver durant les mois d'été est moins efficace de par la forte évaporation et les quantités d'eau perdues par ce phénomène ;
- Type de sol : surtout s'il est sableux ou s'il compte un horizon drainable ;
- Type d'irrigation : particulièrement en cas d'irrigation au goutte à goutte, il est bon de pouvoir lessiver juste avant la période de mise en place des cultures ou immédiatement après la récolte.

De nombreuses méthodes existent pour drainer le sol, incluant des drains de surface ou souterrains. Il faut être particulièrement vigilant au fait que l'eau drainée doit l'être suffisamment loin pour qu'elle ne puisse pas se retrouver dans la nappe phréatique sous – jacente aux cultures. Il n'est pas le but du présent mémoire de développer ces méthodes.

On estime qu'une unité de hauteur d'eau pourra enlever 80% de sel dans une même hauteur de sol (Maillard, 2001).

2.1.9. Autres remèdes à la salinité

La salinisation du sol et des eaux souterraines est un problème sérieux de dégradation des sols dans les zones arides et semi-arides, il est très fortement accentué dans plusieurs régions du globe dû principalement à une pauvre pratique irrigation et de drainage, qui cause une grande chute de la production végétale (Lambers, 2003 in Xiaojing et al., 2006). Comme méthode alternative pour réhabiliter les sols salés, l'utilisation des halophytes attire plus d'attentions dues à leurs tolérances caractéristiques et la valeur économique potentiel (Flowers, 1977; Glenn et al., 1999; Lieth, 1999; Barrett-Lennard, 2002; Zhao et al., 2002 in Xiaojing et al., 2006 ; Khan et Weber, 2006). Il y a plus de 2.000 espèces de plantes enregistrées comme halophytes (Squires et Ayoub, 1994 in El Shaer, 2006).

Selon Lieth et al., 1999 cité par El Shaer (2006), beaucoup de halophytes ont le potentiel de devenir des cultures de rapport pour plusieurs raisons :

1. Halophytes pour la nourriture telle que le *Aster tripolium* (aster de sel), *Salicornia sp.*, *Avicennia marina* and *A. germinant*.
2. Halophytes pour le fourrage tel que beaucoup d'espèces de *Atriplex*, *Tamarix*, *Nitraria retusa* et d'herbes. Tous peuvent fournir le bon fourrage pour le bétails et la faune.
3. Halophytes pour le bois tel que des espèces de *Tamarix*, et palétuviers.
4. Halophytes cultivés pour des produits chimiques : Une série de halophytes sont rassemblés pour des produits de santé et de beauté ou pour se bronzer (Squires et Ayoub, 1994 in El Shaer, 2006)
5. Halophytes pour l'aménagement : les halophytes à croissance rapide peuvent couvrir les sols stériles en peu de temps, par exemple, *Batis maritima*, *Sesuvium portulacastrum* et *Atriplex spp.*
6. Halophytes ornementaux tels que le *Limoniastrum monopetalum* et *Aster tripolium*.
7. Matières premières industrielles : les halophytes croissants pour la biomasse est économiquement faisable seulement si les éléments complémentaires, pour des composés avec la valeur particulière, sont impliqués.
8. Protection de l'environnement : beaucoup d'espèces halophytiques sont employées pour la protection de littoral telle que : *Spartina alterniflora*, *Spartina maritima* et *Avicennia marina*.

Toutefois, les résultats obtenus de plusieurs travaux sur l'aptitude des sols salés a être réhabilités montrent que :

On peut utiliser de l'eau salée, mais de plus en plus diluée à chacun des stades successifs, pour améliorer des sols salis à alcalis. Lorsque la proportion de Ca et Mg par rapport à l'ensemble des cations solubles de l'eau utilisée est plus élevée, l'amélioration du sol est aussi plus rapide (Massoumi, 1975).

Pour des cas spéciaux certainement une irrigation d'eau de mer à échelle réduite sur des régions côtières de toute façon salines peut être en fait très recommandée et même économique, par exemple pour la production de composés secondaires, pour produire le matériel de fibre, pour des buts horticoles et particulièrement pour la phyto-extension parfois des vastes zones de déserts salés et des déserts sableux, des fonds sous-marins desséchés (par exemple mer d'Aral (Breckle, 2009).

L'eau salée en tant que eau d'irrigation ou eau de drainage souterrain a été employée avec succès dans certaines conditions. Par exemple, l'irrigation contenant de l'eau une moyenne de 2.500 mg/l de matières solides dissoutes totales (2.500 ppm) a été employée pendant des décennies dans la vallée des Pecos du Texas (Moore et Hefner, 1977 in N.R.C, 1993). En outre, quelques halophytes, comme *Sesuvium*, *Batis*, *Salicornia*, *Arthrocnemum*, *Halocnemum*, *Halostachys* et quelques autres peuvent accomplir leur cycle de vie entier avec l'eau de mer (Waisel, 1972 in Breckle, 2009).

2.1.10. Synthèse

L'irrigation avec des eaux salées et la mise en valeur des terres est malgré tout possible en adoptant des techniques adéquates pour de telles situations : une bonne gestion de l'eau d'irrigation, le lessivage et le drainage des sels dans la zone racinaire des plantes, des techniques culturales adaptées, le choix d'espèces ou de variétés tolérantes au sel devraient permettre une production satisfaisante pour l'agriculteur.

Il faut toutefois préciser qu'il n'existe pas une seule méthode de contrôle de la salinité. Plusieurs approches et pratiques peuvent être combinées pour obtenir un système de gestion satisfaisant, en combinant de manière appropriée les facteurs économiques, climatiques, social, édaphique et hydrogéologiques de la zone concernée.

2.2. Bilan hydrosalin à l'échelle d'une parcelle irriguée et drainée

Ce chapitre décrit les diverses composantes du bilan hydrique et salin a l'échelle d'une parcelle irriguée et drainée, notamment les éléments qui forment la recharge (ou entrées, apports), la décharge (ou sorties, pertes) et les variations de la quantité d'eau emmagasinée dans le sol (stocks). Ainsi qu'une brève description du principe du modèle PILOTE utilisée pour la simulation du bilan hydrique compléter dans l'annexe 2.

2.2.1. Bilan hydrique

Trop souvent confondus, le bilan hydrologique se situe à l'échelle du bassin versant et concerne une démarche hydrologique, le bilan hydrique se situe à l'échelle de la plante et participe d'une démarche agronomique.

2.2.1.1. Définition et principe du bilan hydrique

Le bilan hydrique est un outil de caractérisation du vécu de la plante face aux disponibilités en eau offertes par le milieu. Il retrace au cours de l'année l'évolution des quantités d'eau accessibles à la plante (Payan et Salancon, 2002). C'est une comparaison entre les réservoirs, les apports et les pertes en eau d'un système. Il est expliqué par l'analyse de la variation de stock d'eau d'un système (ΔS), résultant de la somme algébrique des flux d'eau (Φ) entrant et sortant ; il s'écrit :

$$\Delta S = \sum \Phi_i \dots \dots \dots (3)$$

En agronomie, il s'applique principalement à un sol, ramené à l'unité de surface et de profondeur donnée ; ainsi, le bilan hydrique du sol s'exprime en stock d'eau (m^3 d'eau/ m^2 de sol) ou, en lame d'eau exprimée en (mm).

Il dépend du climat qui détermine à la fois les apports (P) et les pertes par évaporations. Le suivi de ce bilan donne l'évolution du stock d'eau de la couche du sol exploitée par les racines, qui dépend des propriétés du sol qui modulent la capacité de stockage. Le bilan hydrique permet donc, essentiellement de définir à chaque instant les réserves disponibles pour les plantes par unité de surface au sol et pour une profondeur donnée. Il permet, également, la détermination des apports par irrigation nécessaires visant à ramener la réserve utile pour les plantes à sa valeur maximale (Larousse Agricole, 2002).

2.2.1.2. Le Bilan hydrique – pourquoi ?

Le bilan hydrique permet de suivre, selon une démarche simple, l'état de la réserve en eau du sol (R.F.U. ou Réserve Facilement Utilisable) en tenant compte des besoins de la culture et des apports par les pluies ou par les irrigations. Il permet donc de vérifier :

- d'une part, que l'apport d'eau par irrigation est suffisant pour ne pas mettre la RFU à sec et donc faire subir un stress hydrique à la culture.

- d'autre part, que l'apport d'eau par irrigation n'est pas trop important (pour éviter l'asphyxie des plantes et le débordement de la RFU).

Le bilan hydrique est également un outil de gestion technique simple, qui permet d'analyser, en fin de saison, l'ensemble des besoins et des apports. Il permet de conserver la trace des périodes déficitaires et des périodes excédentaires tout au long de la campagne. Son analyse, en fin de saison, quand on a connaissance des rendements, peut expliquer le fonctionnement des parcelles et les réactions des cultures aux divers événements climatiques (Rabe, 2009).

2.2.1.3. Equation du bilan hydrique

Les besoins en eau d'un couvert végétal, à l'échelle de la parcelle, peuvent s'estimer à partir de la méthode du bilan hydrique du sol. Ce bilan, illustré à la Fig.16, fondé sur le principe de conservation de la masse (Équation 4) est habituellement utilisé par les agronomes (Maraux et al., 1998 in Nemeth, 2001) pour un intervalle de temps Δt entre deux mesures, s'écrit souvent de la façon suivante (Nemeth, 2001):

$$\Delta S = P + I - ETR - D + R_c \pm R \dots \dots \dots (4)$$

Dans cette expression: ETR est l'évapotranspiration réelle du couvert pour un pas de temps donné (généralement la décade ou la semaine); P, la pluie reçue sur la parcelle pendant le même intervalle de temps; I, les apports par irrigation; R, les pertes ou apports latéraux par ruissellement superficiel; R_c, la remontée capillaire ou mouvement ascendant de l'eau; D, le drainage ou mouvement descendant de l'eau; ΔS , la variation de stock hydrique pour une tranche de sol (ΔZ) comprise entre la surface et une profondeur de référence Z.

Au niveau de la partie supérieure du système, la pluie (P), l'irrigation (I) et le ruissellement (R) constituent les apports, tandis que les pertes se réduisent à l'évapotranspiration réelle (ETR). Dans l'autre partie (limite inférieure), les apports peuvent être ceux dus à des remontée capillaire (R_c) (en particulier si la nappe est proche de la surface) en soulignant que les pertes sont essentiellement du drainage (D).

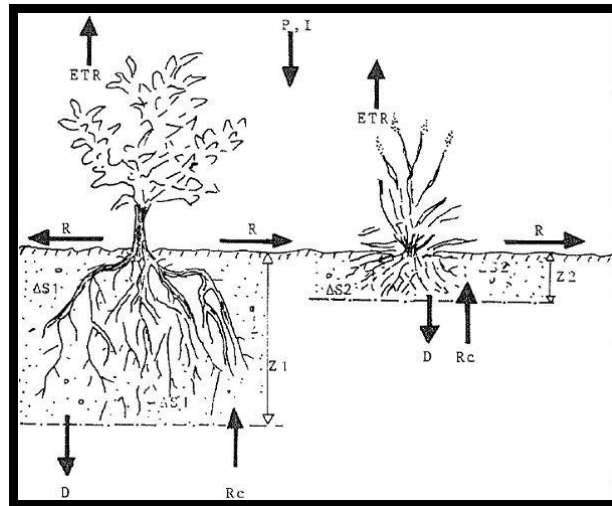


Figure 16 : Schéma du bilan hydrique du sol

(Source : Goue et Yao, 1991)

Selon Couchât (1974), dans cette relation (équation 4), on néglige la part d'eau liée du végétal qui représente environ 1% de ce qui y transite. Le ruissellement considéré comme nul sur sols cultivés.

Alors, l'équation 4 s'écrirait sous une forme plus simplifiée dans la quelle le terme de ruissellement R a été négligés :

$$\Delta S = P + I - ETR - D + Rc \dots\dots\dots (5)$$

Où, D : représente dans ce bilan un terme résiduel qui permet de réduire le stock d'eau à la « RU », dans le cas où ΔS conduirait à dépasser cette valeur ; dans le cas contraire, le terme D est nul.

Les apports d'eau par remontées capillaires (RC) sont difficiles à estimer avec précision (Choparte et Vauclin, 1990 ; Maraux et al., 1998).

A grande échelle ou pour des pas de temps plus longs (par exemple l'année) les termes importants de cette relation seront la pluie (P) et l'évapotranspiration réelle (ETR).

2.2.2. Bilan hydrosalin

La gestion et réhabilitation des sols salins consistent à dresser un simple bilan hydrique et un bilan de sels dans le sol. Cela permet d'identifier les sources des sels et de déterminer les quantités d'eau supplémentaires à apporter pour lessiver les excès de sels.

Dans les parcelles irriguées, le bilan hydrique en hauteur d'eau s'exprime alors de la façon suivante :

$$H_I + H_P + H_{RC} - H_E - H_T - H_D = \Delta H_S \text{ (m)} \dots\dots\dots (6)$$

Les flux d'eau entrant dans la zone racinaire sont relatifs à l'irrigation (I), la pluie (P) et aux remontées capillaires notamment en condition d'aridité (RC). Les hauteurs d'eau correspondantes sont notées ci-dessous par H_I , H_P et H_{RC} . D'autre part, les principaux flux d'eau sortant sont relatifs à l'évaporation (E), à la transpiration (T) et au drainage ou percolation (D). Les hauteurs d'eau équivalentes sont notées respectivement H_E , H_T et H_D . La différence entre les flux entrants et sortants est équivalente à la différence du stock d'eau dans le sol, noté ΔH_S (Feddes et Lenselink, 1994 ; Tabet, 1999).

Le bilan hydrosalin dans le sol peut être exprimé de la façon suivante :

$$C_I \times H_I + C_P \times H_P + C_n \times H_{RC} + S_f + S_{dd} - C_D \times H_D - S_c - S_{pp} = D(C_S \times H_S) \dots\dots\dots (7)$$

où C désigne une concentration de sels (en masse, en équivalent, en mole ou en dS/m), l'indice (n) est relatif à la nappe. S désigne une quantité de sels : S_f est la quantité de sels ajoutés par les apports de fertilisants et d'amendement, S_{dd} est la quantité de sels dissous, S_{pp} est la quantité de sels précipités et S_c est la quantité de sels absorbés par les plantes. Dans la majorité des cas, on considère que dans l'équation de bilan de sels, sont négligeables les quantités : $C_P \times H_P$, S_f , S_{dd} , S_c et S_{pp} (Tabet, 1999).

En régime permanent, dans des conditions de sols irrigués, l'équation (7) est simplifiée à ses deux composantes principales relatives à l'irrigation et au drainage (Servant, 1978 in Tabet, 1999):

$$C_A \times H_A - C_D \times H_D = 0 \dots\dots\dots (8)$$

où C_A et H_A désignent respectivement la concentration et la hauteur des apports d'eau (soit les irrigations et la pluie).

$$H_A = H_D + H_E + H_T = H_I + H_P \text{ (m)} \dots\dots\dots (9)$$

L'utilisation d'eau trop chargée en sel, l'aridité et un drainage naturel déficient sont les causes principales de la salinité des sols. L'application d'une dose de lessivage ou

l'installation d'un drainage artificiel paraît donc très utile pour la rémédiation et la mise en valeur de sols salés.

Une bonne connaissance de la teneur en sel des eaux d'irrigation et des relevés pluviométriques portant sur un assez grand nombre d'années sont indispensables pour calculer les quantités d'eau à apporter.

Selon De Forges (1972) ; Van Hoorn et Van Alphen (1994), un raisonnement de base pour une période donnée est le suivant : considérons une surface donnée (1 hectare par exemple) et désignons par :

I : le volume d'eau apporté ; C_i : la teneur en sel de cette eau ; P : le volume d'eau de pluie reçu ; D : le volume d'eau drainé ; C_d : la teneur en sel de cette eau (qui est en rapport direct avec celle de l'eau disponible pour la végétation) ; E : le volume d'eau évaporé ;

Il n'y aura pas accumulation de sel si :

$$I C_i = D.C_d \dots \dots \dots (10)$$

Par ailleurs, on a : $D = I + P - E \dots \dots \dots (11)$

Connaissant C_i , P et E, il est possible, grâce à ces équations, de calculer I, à condition, de se fixer la salinité maximale des eaux de drainage (C_d) qui est en relation avec celle de l'eau disponible pour les plantes ainsi que nous l'avons vu. Si l'étude des terrains montre que l'écoulement des eaux excédentaires (D) ne se fera pas spontanément, il faut envisager la mise en place d'un système de drainage.

2.3. La modélisation du bilan hydrique

2.3.1. Évaluation et estimation des termes du bilan hydrique

Sachant que l'évapotranspiration est la composante la plus importante du bilan hydrique, mais elle est souvent la plus difficile à mesurer directement. Pour avoir « ETR » en allant du bilan hydrique il faut tout de même avoir tous les autres termes de l'équation.

Les termes pluie (P) et irrigation (I) sont relativement faciles à mesurer mais avec une variabilité spatiale remarquable pour les pluies (Besançon et al., 1993 ; Besançon et al., 1999 & Geyer, 1999 in Maki, 2005). Le ruissellement « R » est souvent (ou devrait être)

faible sur les parcelles cultivées notamment sous irrigation et négligeable en comparant avec les autres composantes du bilan (Hillel, 1980).

Plusieurs formules d'estimation de l'évapotranspiration ont été proposées, et face à la multiplicité des paramètres susceptibles de l'influencer, des concepts plus simples basés sur de formules empiriques intègrent principalement le rayonnement et les températures ont été introduits pour estimer les prélèvements d'eau par les plantes et l'évaporation dans la zone racinaire: évapotranspiration de référence « ET_0 » et évapotranspiration maximale.

On cite par exemple : Formule de Blaney Criddle, Thornthwaite, Turc, Penman, Bouchet, Doorenbos et Pruitt, Brochet-Gerbier, Priestley-Taylor, Penman-Monteith, etc.

2.3.2. But de la modélisation du bilan hydrique

Souvent, pour étudier expérimentalement le bilan hydrique, un ou plusieurs facteurs limitants du progrès des connaissances dans ce domaine notamment la difficulté de quantifier les flux d'eau émergent chaque fois. Les systèmes de mesure couramment utilisés dans ce type d'expérimentation ne sont pas toujours adaptés à la mesure de flux (cas du drainage souterrain). Compte tenu des limites des systèmes de mesure directe de l'alimentation hydrique, la modélisation du bilan hydrique est alors un passage obligé pour réaliser ces estimations à un pas de temps défini, on a le plus souvent recours à cette modélisation pour estimer le bilan hydrique, en tenant compte du continuum sol – plante – atmosphère.

Les paramètres pédoclimatiques agissent d'une façon ségrégative sur le bilan hydrique. La modélisation donne des approches importantes pour extrapoler les résultats expérimentaux d'un contexte donné (climat, sol...ect) et apprécier les risques liés aux aléas climatiques. Cette modélisation nous permet de gérer la réserve de l'eau dans un compromis entre les apports et les pertes.

2.3.3. Intérêt de la modélisation du bilan hydrique

Le modèle de bilan hydrique remplit trois fonctions principales :

- D'une part, il sépare la pluie et les éventuels apports en irrigation, en trois compartiments (le drainage profond et le stock du sol...ect) ;

- D'autre part il calcule l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture en place ;
- Enfin, un module complémentaire calcule, en fin de saison de culture, le rendement cultural obtenu en fonction du déficit évapo-transpiratoire.

2.3.4. Généralités et principe sur les modèles du bilan hydrique

Il existe deux types de modèles, le premier s'appuie sur le principe d'un fonctionnement par compartiments et par flux de l'écosystème (modèle analogique) et le second utilise la loi de Darcy (modèle mécaniste) (Leenhard, 1991 in Pindard, 2000 ; Peiffer, 2005). Entre ces deux types on distingue trois grandes catégories de modèles de bilan hydrique (Leenhard, 1991 in Pindard, 2000).

2.3.4.1. Modèles mécanistes :

Dans ces modèles les flux d'eau dans le sol reposent sur des lois physiques ou biologiques.

2.3.4.2. Modèles analogiques :

Le sol est considéré comme un réservoir d'eau pouvant se remplir (précipitations, irrigation) et se vider (évapotranspiration, drainage). La capacité de stockage (ou réserve utile) est déterminée par les valeurs d'humidité à la capacité de rétention et d'humidité au point de flétrissement.

Dans cette catégorie on peut distinguer les modèles où le sol est un horizon unique, cas le plus fréquent, et ceux où le sol est constitué d'une succession d'horizons ; le modèle fonctionne sur le même principe en tenant compte des caractéristiques hydrodynamiques de chaque horizon.

2.3.4.3. Modèles intermédiaires :

Ce sont généralement des modèles analogiques qui ont été améliorés avec des relations de types mécanistes pour prendre en compte le drainage, les remontées capillaires.

2.3.4.4. Intérêt et limites des deux modèles

Le tableau suivant résume les intérêts et les limites des deux modèles.

Tableau 6 : les intérêts et les limites des deux modèles.

	Modèles analogiques	Modèles mécanistes
Intérêt	Peu exigeant en variables Facilité de mise en oeuvre	Domaine de validité plus étendu
Limites	RU. Paramètre mal défini Non applicable si remontée capillaire	Exigeant en variables Complexité de mise en oeuvre

(Source: Leenhard, 1991 in Pindard, 2000)

2.4. Présentation du modèle de simulation du bilan hydrique « modèle PILOTE »

La réserve en eau du sol évolue entre ces deux bornes en fonction des quantités d'eau arrivant au sol et des quantités d'eau quittant le sol et, constitue une des composantes de base dans la modélisation de bilan hydrique. Dans tout modèle de bilan hydrique, le calcul de l'évolution au cours du temps de la réserve en eau du sol constitue une des premières finalités du modèle (Choisnel, 1992 in Peiffer, 2005).

Développé par Mailhol, le modèle PILOTE permet d'apprécier la date à partir de laquelle le stress hydrique s'applique sur une culture. C'est un modèle de bilan hydrique et de rendement basé sur une simulation de l'indice de surface foliaire « LAI » à partir des sommes de températures de base, répondant uniquement à l'usage de l'eau appliqué initialement sur le Sorgho et Tournesol (Mailhol et al., 1997 in Leulmi, 2006) puis étendu à d'autres cultures comme le Maïs (Mailhol et Ruelle, 1999 in Leulmi, 2006).

Ecrit en FORTRAN, fonctionne sous MS-DOS, habillé en programme PC pour la comptabilité MS-Windows et nécessite un écran couleur pour éventuel affichage graphique. Il permet le pilotage au pas journalier des arrosages avec une gestion automatisée du fichier de données, une simulation chronique à une ou plusieurs années climatiques avec calcul du rapport « ETR/ETM ». Une description détaillée du modèle utilisé est présentée en annexe 2.

Partie Expérimentale

Chapitre III :

Matériels et Méthodes

Chapitre III. Matériels et Méthodes

Le travail expérimental qui a fait l'objet de ce mémoire a commencé vers le mois de février 2008 et s'est terminé vers la fin du mois d'août 2009.

3.1. Aspect générale de la méthodologie

Dans ce travail il s'agit bien de procéder par le biais d'une méthodologie basée sur cinq approches différentes -mais complémentaires- a cerner au plus possible les composantes du bilan hydrosalin à une échelle disant réduite à la parcelle.

Cette méthodologie n'a pas pu se révéler sans le recours au grandes lignes tracées à partir des maillons fournies par les enquêtes. On peut donc résumer ces approches en :

1. La première approche, choix des exploitations agricoles, perception et gestions de la salinité par les agriculteurs lors des enquêtes effectuées dans la zone d'étude ;
2. Echantillonnage, observations et mesures dans les exploitations retenues ;
3. Analyses chimiques et physiques des échantillons au laboratoire ;
4. Analyses statistiques, géostatistiques et traitement cartographiques des résultats ;
5. Essai de simulation de quelques paramètres manquants du bilan hydrosalin par le modèle PILOTE.

3.2. Travail d'enquêtes dans la plaine du Bas-Chélif

3.2.1. Objectives et buts

Au début de ce travail la méthodologie qu'il fallait suivre pour mener à bien l'expérimentation n'était pas vraiment claire. Le travail d'enquêtes que j'ai mené durant la période allant du mois de février 2008 à fin juin 2008 ma permis de choisir les parcelles, de comprendre la complexité du système agraire de la région, d'observer les pratiques agricoles, de mesurer quelques composantes du bilan, de reconstituer par le biais des questionnaires le calendrier culturale nécessaire pour le travail expérimentale qui a dû m'échapper lors de mon absence. De juin 2008 à fin d'expérimentation vers le mois d'août 2009, un suivi d'évolution de la salinité par échantillonnage du sol et rechercher d'autres informations manquantes.

3.2.2. Critères de choix des parcelles

Pour commencer, un choix subjectif des parcelles répondant aux critères d'ordre I fixées préalablement :

1. Appartenance à l'une des zones homogènes identifiées (Gherina, 2008): Oued Rhiou, Ouarizane, Djdouia, Hmadna et Guerouaou (clé fig. 13 Chapitre I).
2. Pratique de l'irrigation confirmée (diversité des sources d'irrigation et diversité des techniques d'irrigation) ;
3. Présence de cultures représentatives de la région : artichaut, melon, agrumes, oliviers et céréales.

Puis en deuxième lieu de choisir les parcelles qui répondant au critère d'ordre II, c'est la présence d'un réseau de drainage fonctionnel. Ces parcelles font par la suite l'objet des démarches 2, 3 et 4.

3.2.3. Éléments de bases dans le protocole d'enquêtes

Un premier passage auprès des agriculteurs a fait l'objet d'une vision panoramique de la région et de me permettre de cibler d'abord les périmètres dont ils sont au nombre de quatre sur les cinq cité au part avant (Oued Rhiou, Ouarizane, Djdouia, Hmadna).

Une série de passages journaliers durant la dernière décade du mois de juin 2008 mon permis d'accomplir les enquêtes dont les questions et renseignements principalement rechercher font l'objet de l'annexe II. Ainsi, ces passages on fournies une idée finale sur les parcelles qui vont faire l'objet d'un suivi mensuel.

3.2.4. Informations rechercher suite aux enquêtes

Ces enquêtes ont fournies les points suivants:

1. La perception des agriculteurs de la salinité des sols ;
2. La perception des agriculteurs de la salinité des eaux d'irrigation ;
3. Adaptation et gestion individuelles de la salinité ;
4. Reconstitution des calendriers des irrigations.

3.2.5. Exploitations et parcelles retenues

Les passages auprès des agriculteurs ont fait ressortir dix exploitations.

Au sein de ces 10 exploitations, 16 parcelles ont fait l'objet du suivi durant la période allant de juin 2008 à avril 2009. Au début deux exploitations ont émergé celle de Boukatai puis celle de Tarmoule, ces deux ont fait par la suite l'objet de la démarche cinq, le tableau suivant nous récapitule les caractéristiques génériques de chaque exploitation, ainsi que la figure 17 qui indique leurs répartitions dans les différents périmètres irrigués.

Tableau 7: Caractéristiques génériques des dix exploitations retenues.

Périmètres irrigués	Nature d'exploitation	Nom	Surface totale (ha)	nombre de parcelles suivies	Types de cultures	Types d'irrigations	Drainage
Ouarizane	EAC	EAC 3	48	4	cer; art; org et mel	gte à gte et gra	non
		EAC 4	51	1	org	gra	non
		EAC 6	60	1	org	gra	non
	Privée	Hitache Abed	15	2	oli; org+abr	gra	non
		Ghreibi Abed	18	1	org	gra	non
Boukatai		10	2	org	gra	oui	
Djdouia	Privée	Hamri Mohamed	50	2	art;oli	gra	non
Oued Rhiou		Dr Fodil Ahmed Chaouiki	32	1	art	gte à gte	non
Hmadna		Locataire	Besrir Bouabd el LAH	1	1	mel	gte à gte
	Tarmoule Kheir Eldine		60	1	cer	pluviale	oui
				1	art	aspersion+ gra	

Avec : cer : céréales ; art : artichaut ; org : orange ; melon ; oli : olivier ; abr : abricotier ; gte à gte : gouttes à gouttes et gra : gravitaire.

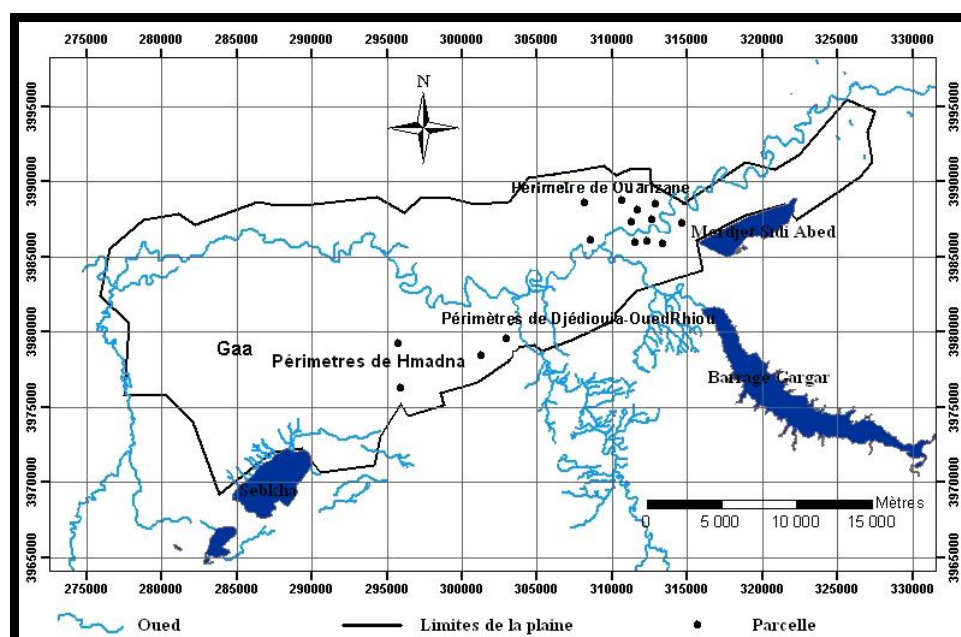


Figure 17: Répartition des différentes parcelles dans le Bas-Chélif.

3.2.6. Évaluations de la salinité dans les parcelles retenues

Après avoir choisi les parcelles (au nombre de 16), un échantillonnage systématique en diagonal est effectué sur chacune d'entre elles à raison de trois à quatre échantillons par diagonal touchant les 20 premiers centimètres du sol (0-20). Une appréciation rapide sur la salinité de l'eau d'irrigation est prise sur terrain ainsi qu'une autre sur le niveau et le gradient de salinité dans les parcelles sont révélées à l'aide des dosages du CE sur des extraits 1/5 par la suite au laboratoire. Ces évaluations vont servir dans la pondération des appréciations des agriculteurs.

3.3. Approche expérimentale dans les parcelles retenues

Au début il fallait choisir quelques parcelles munies d'un réseau de drainage fonctionnel. Une fois trouvée, on a suivi les étapes suivantes :

3.3.1. Cas de l'exploitation de Boukatai à Ouarizane

3.3.1.1. Description des deux parcelles

Il s'agit de deux parcelles juxtaposées d'agrumes (clé tab. 8) d'environ 4,75 ha planter dans le cadre du PNDA en 2003, mener de deux sources d'irrigation : une borne de l'ONID avec un débit de 30 l/s et d'un forage de 50m de profondeur réalisé en 2003 assurant un débit de 16 l/s, irriguée en gravitaire ; elle fut récemment équipée d'un réseau de drainage souterrain, dont l'écartement entre les drains est de 40 m avec une profondeur de 1,75 m (fig.18). Deux collecteurs figurent dans la zone, le premier en aval de la parcelle et l'autres dans son coté gauche. Ces deux parcelles ont étaient considérées comme une le fait qu'ils sont menés de la même façon. Elle présente une pente légère mais ressentit dans le sens du drainage.

3.3.1.2. Installation des piézomètres

Pour suivre le rabattement et la fluctuation ainsi que l'échantillonnage de la nappe superficielle du sol, trois piézomètres de 3,5 m de profondeur ont été installés dans la parcelle (clé fig.18 et 19) vers la fin du mois de février 2008. Pour les fabriqué un tube de PVC de 40 mm de diamètre a servi pour ça, des trous de 5mm de diamètre réalisé chaque 5 cm sur les quatre cotés du tube dans la partie basale sur une hauteur de 1,2 m. Chaque visite de la

parcelle, un contrôle du niveau et un échantillonnage de l'eau de la nappe sont effectués dans les mesures du possible.

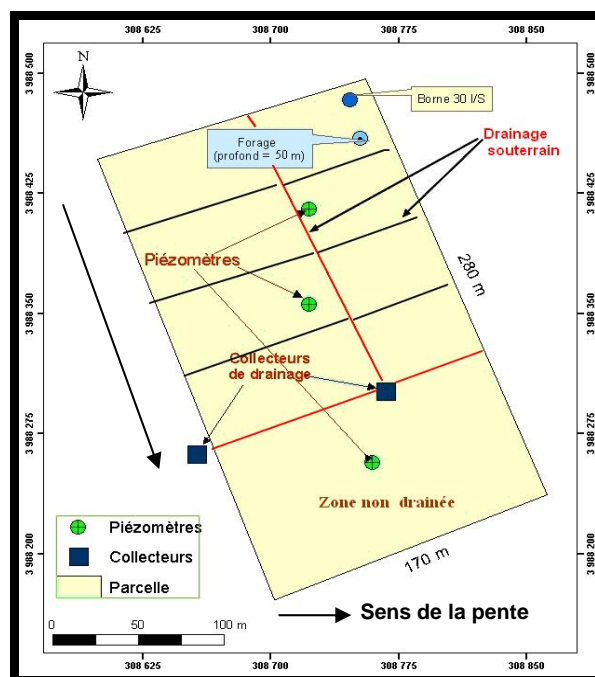


Figure 18: Présentation de la parcelle d'Ouarizane.

3.3.1.3. Nettoyage des collecteurs et mesures du débit du drainage

Au début du mois d'avril 2008 et avant le déclenchement de la campagne d'irrigation, une vérification des collecteurs a révélé que ces derniers étaient vraiment bouchés, alors pour les préparer aux mesures de débit de drainage, j'ai procédé à une opération de nettoyage jusqu'à l'apparition des drains principaux qui étaient enterrés sous la vase. A l'aide d'un chronomètre et d'un seau à volume connu, les mesures du débit sont effectuées dès que possible.

3.3.2. Cas de l'exploitation de Tarmoule Kheir eldine de Hmadna

En réalité dans cette exploitation le choix s'est porté sur deux parcelles juxtaposées formant un carré d'environ 200 m de côté qui a fait par la suite l'objet de deux cultures différentes dont l'artichaut en deuxième année et du blé dur (clé fig.21). Elle fait environ 4 ha, munies d'une source d'irrigation : un forage de 120m de profondeur réalisé en 1995 assurant un débit de 19 l/s, irriguée en aspersion pour l'artichaut et pluviale pour le blé; également elle fut récemment équipée d'un réseau de drainage souterrain, dont la profondeur est de 2, 5 m

(fig.21) passant sous la parcelle des céréales touchant seulement -selon l'agriculteur- sa partie base.



Figure 19: Installation des piézomètres, mesure du niveau piézométrique et échantillonnage de la nappe superficielle.

3.3.3. Suivi et mesures sur le terrain

3.3.3.1. Caractérisation des parcelles de l'exploitation de Boukatali et Tarmoule

Pour les deux parcelles un plan d'échantillonnage systématique maillé d'une grille carrée de 25 m de côté pour celle de Ouarizane et 20 m de côté pour celle de Hmadna. L'échantillonnage géoréférencé à l'aide d'un GPS n'a concerné que la couche superficielle,

c'est-à-dire les 20 premiers centimètres du sol (0-20), ce qui revient à un nombre d'échantillons de 95 au total pour la première (fig.20) et 109 échantillons pour la seconde (fig.21).

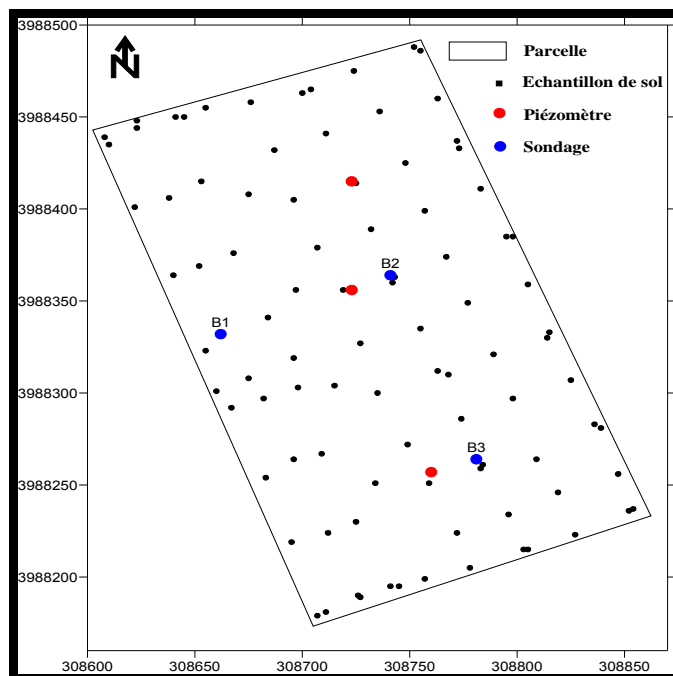


Figure 20: Plan d'échantillonnage pour la caractérisation et le suivi de la parcelle de Ouarizane.

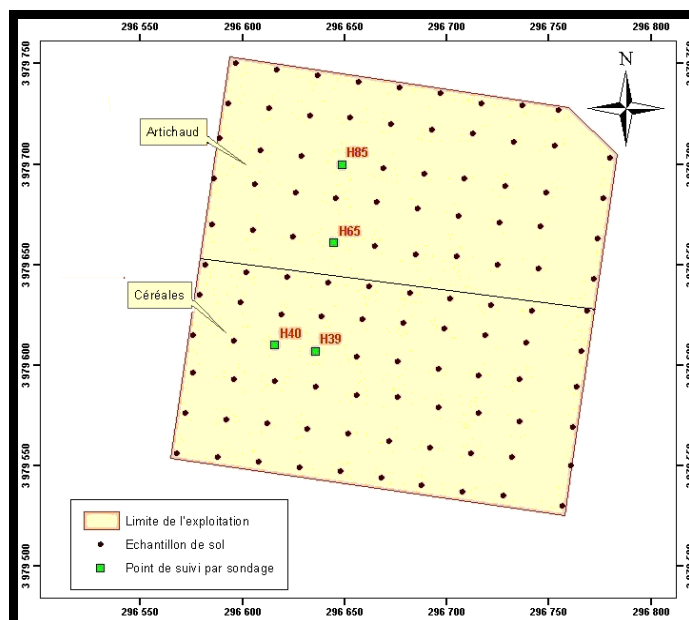


Figure 21: Plan d'échantillonnage pour la caractérisation et le suivi de la parcelle de Hmadna.

3.3.3.2. Détermination des zones homogènes

Pour ce faire, des analyses simultanées du pH et CE sur trois répétitions d'un sol préparé à extrait dilué 1/2,5 de chaque échantillon issue de la partie 3.3.3.1 (les 95 et 109) sont effectués. La spatialisation des données (pH/CE) de ces points ma permis de tracer des cartes numériques des deux parcelles tout en déterminant les zones homogènes concernant le pH et CE. Le dosage pH et CE en extrait 1/2,5, 1/5 et pâte saturée est très utilisé exemple du travail de Ruellan (1966).

3.3.3.3. Choix des points de suivi par sondage

3.3.3.3.1. Pour les deux parcelles cible du bilan

Les points à suivre par sondage ont été choisis après la détermination des zones homogènes. Un échantillonnage de type stratifié a était adapté. Trois sondages pour la parcelle de Ouarizane et quatre pour celle de Hmadna ont été désignés (clé fig.20 et fig.21).

3.3.3.3.2. Pour les autres parcelles

Suite à l'échantillonnage systématique en diagonal effectué sur le reste des parcelles, un seul sondage pour chaque une selon la pertinence des résultats de la partie 3.2.6.

Le tableau 8 résume les sondages suivis mensuellement.

3.3.3.4. La profondeur ciblée

Etant donné qu'on est dans le cas des parcelles cultivées, la profondeur concernée est le premier mètre du sol qui correspond à la zone racinaire. Pour cela trois horizon sont choisis : 0-20 cm, 40-60 cm et 80-100 cm.

3.3.3.5. Fréquence de suivi par sondage

On parle toujours en bibliographie d'une évolution de la salinité, mais personne n'a donné une appréciation de la vitesse ou du temps qu'il faut pour la mobilité des ces sels. Mais étant donné qu'elle ne varie pas beaucoup en faible lapse de temps et sur la base de ça et en appliquant la règle de la recherche : une recherche doit joué sur le coup, le temps et la répétitivité, une périodicité d'un mois est retenue. Il en résulte 6 campagnes de suivie (juillet, août, septembre et novembre 2008 ainsi que janvier et mars 2009) (clé Tab.9).

Tableau 8: Les sondages suivis mensuellement et quelques information génériques.

Périmètres irrigués	Nature d'exploitation	Nom	Sondage	Spéculation	Coordonnées UTM		
					X	Y	
Ouarizane	EAC	EAC 3	R1"	Artichaut	311811	3987298	
			R1	Céréals	311813	3987232	
			R1*	Melon	311666	3987436	
			R1'	Oranger	311377	3987771	
		EAC 4	Z3	Oranger	311985	3987877	
		EAC 6	Y3	Oranger	311108	3988606	
	Privée	Hitache Abed	W3	Olivier	311391	3987034	
			W3'	Oranger	311264	3987509	
		Ghreibi Abed	O3	Oranger	310297	3989063	
		Boukatai	B1	Oranger	308662	3988332	
			B2		308741	3988364	
			B3		308781	3988264	
	Djdouia	Hamri Mohamed	X1	Artichaut	302807	3979542	
			X3'	Olivier	301935	3979225	
Oued Rhiou	Dr Fodil Ahmed Chaouiki	1	Artichaut	308902	3986573		
Hmadna	Locataire	Tarmoule Kheir	Besrir Bouabd el LAH	K1	Melon	296547	3978063
			H39	Céréales	296636	3979607	
			H40		296616	3979610	
			H65	Artichaut	296645	3979661	
		H85		296649	3979700		

3.3.4. Analyses au laboratoire

3.3.4.1. Le sol

L'analyse au laboratoire constitue un élément aussi majeur que les autres étapes expérimentales en tenant compte du nombre important d'échantillons, d'analyses et de répétitions effectuées durant la période de suivie.

Le tableau 9 montre les différentes analyses et mesures, effectuées au niveau de laboratoire sur les échantillon de sol (laboratoire de pédologie de la faculté des sciences agronomiques et des sciences biologiques / université de Chlef – Hassiba Benbouali (UHB/Chlef).

Tableau 9: Récapitulatif des mesures et des analyses de sol aux laboratoires.

Mois	Etapas		Nombre d'échantillons et sondages	Profondeur concernée			Dosages effectués	Nombre de répétitions	Totale
				0-20	40-60	80-100			
juin-08	Evaluation de la salinité de surface		39 échantillons				CE à l'extrait 1/5	1	39
juil-08	Caractérisation	Ouarizane	95 échantillons				pH et CE à l'extrait 1/2,5	3	285 x 2 (pH et CE)
		Hmadna	111 échantillons					3	333 x 2 (pH et CE)
juil-08	Compagnes de suivi par sondages	1 ^{er}	15 sondages				CE Pâte saturé	1	45
		Sondages	R1"; R1; R1*; Z3; Y3; W3; W3'; O3; B1; B2; B3; X1; X3'; 1; K1				CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻	2	360
2 ^{ème}		15 sondages				pH et CE à l'extrait 1/2,5	3	135 x 2 (pH et CE)	
Sondages		R1"; R1; R1*; R1'; Z3; Y3; W3; W3'; O3; B1; B2; B3; X1; X3'; 1;					3	135 x 2 (pH et CE)	
3 ^{ème}		18 sondages				H39;H40; H65;H85	CE Pâte saturé	1	12
Sondages		R1; R1*; R1'; Z3; Y3; W3; W3'; O3; B1; B2; B3; X1; X3'; 1; H39; H40; H65; H85					CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻	2	96
août-08							pH et CE à l'extrait 1/2,5	3	162 x 2 (pH et CE)
sept-08							pH et CE à l'extrait 1/2,5	3	171 x 2 (pH et CE)
		Sondages	R1"; R1; R1*; R1'; Z3; Y3; W3; W3'; O3; B1; B2; B3; X1; X3'; 1; H39; H40; H65; H85						
oct-08							pH et CE à l'extrait 1/2,5	3	171 x 2 (pH et CE)
	Sondages	R1"; R1; R1*; R1'; Z3; Y3; W3; W3'; O3; B1; B2; B3; X1; X3'; 1; H39; H40; H65; H85							
janv-09						CE Pâte saturé	1	57	
	Sondages	R1"; R1; R1*; R1'; Z3; Y3; W3; W3'; O3; B1; B2; B3; X1; X3'; 1; H39; H40; H65; H85				CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻	2	456	
mars-09						pH et CE à l'extrait 1/2,5	3	171 x 2 (pH et CE)	
	Sondages	W3'; B2; X1; X3'; 1; H39; H65						3	63
Totale	6 compagnes		243 échantillons et 93 sondages						3975
			Extrait 1/5 : 39, extrait 1/2,5 : 485x 3 R=1455, pâte saturée : 114 et dosages des sels : 912 dosages, dont : 114 échantillons x 4sels x 2 R						

Remarque : pour le dosage des sels, les : CO₃⁻, HCO₃⁻ et Cl⁻ sont dosés par titrage, les SO₄⁻ sont dosées par Spectromètre visible. Avec, 3963 (totale des opérations de dosage) + 171 mesure de densité apparente (19 sondages x 3 profondeurs x 3 répétitions) = 4146 opérations d'analyse.

3.3.4.2. L'eau

Le tableau 10 résume les analyses effectuées sur les échantillons d'eau d'irrigation (eau des forages des particuliers et de l'ONID), de la nappe phréatique et de drainage, ainsi que les méthodes d'analyses.

Tableau 10: Récapitulatif des mesures et des méthodes d'analyses des eaux aux laboratoires.

Paramètres	Type d'eau			
	ONID	forages	Eau de la nappe	Eau de drainage
CE conductivité électrique	dS/m : In situ			
pH	In situ			
CO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ⁻	Titration			
Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺	Titration			-
Na ⁺ , K ⁺	Spectromètre à absorption atomique à flamme			-

3.3.5. Autres analyses et mesures

En plus des analyses et mesures cités auparavant, des mesures de densité apparente des échantillons de sol par la méthode de paraffine (sur agrégats et pour chaque horizon), mesure de débit de drainage dans le collecteur nettoyé, temps d'irrigation et des rendements de quelques parcelles.

3.4. Formule de calcul du stock de sels dans le sol

La quantité des sels dans le sol est calculée à partir de l'équation générale du bilan des sels (Cruesi, 1970) :

$$S = \left(\frac{M}{V} \times \frac{1}{1000} \right) \times 11CE \times HS \times da \times E \times 10000 \dots\dots\dots (12)$$

Avec ; S : stock de sel dans le sol à une date donnée (kg/ha) ; M : poids moléculaire du sel dominant ; Hs : humidité pondérale à saturation ; da : densité apparente ; CE : conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée à 25 °C en ds/m ; E : profondeur du sol (0,2 m) ; V : valence du sel dominant.

Le bilan de sel entre deux instants donnés est exprimé par :

$$\Delta S = S_f - S_i \dots\dots\dots (13) \text{ avec : } S_f : \text{stock final et } S_i : \text{stock initial.}$$

3.5. Le besoin en lessivage

Le besoin en lessivage est calculé en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation, l'ET, les pluies et le niveau de salinité possible de la solution du sol, lui – même fonction du type de culture à mettre en place et le type de sol (Maillard, 2001) :

$$L = (ET - P) [C_i / (fC_{sm} - C_i)] \dots\dots\dots (14) \text{ d'où :}$$

L : besoin en lessivage ; ET : évapotranspiration

P : pluviométrie ; C_i : Salinité de l'eau d'irrigation

C_{sm} : Salinité de la solution du sol à la capacité au champ.

f : efficacité du lessivage. Cet indice indique le ratio entre la salinité de l'eau de drainage d'un sol et la salinité de la solution de ce même sol. Ce coefficient varie suivant la texture du sol et est d'environ 0,4 pour les sols lourds, de 0,6 pour les sols intermédiaires et de 0,8 pour les sols sableux.

3.6. Simulation du bilan hydrosalin

Par la détermination des états des réservoirs en eau du sol, il est possible d'estimer l'ETR et son évolution. Il est possible également de simuler le drainage.

L'arrosage ou l'irrigation de complément visent à éviter que la dégradation du bilan hydrique n'affecte l'état hydrique du sol au point de pénaliser la production, il s'agit là d'une conception traditionnelle du rôle de l'arrosage pour la plante (Urban, 1997), mais dans notre cas c'est en suivant les différents données des termes du bilan hydrique en plus des données de salinité qu'il est possible de concrétiser un bilan hydrosalin.

Ces données sont soit mesurées, soit estimés via le modèle PILOTE ou dans le cas échéant sont issus directement de la bibliographie.

3.7. Statistiques descriptives, multidimensionnelles, géostatistique et cartomatique

Dans l'expérimentation, une place d'importance ait toujours accordée à l'obtention de la donnée. L'analyse de donnée fut de même importance que la donnée elle-même.

3.7.1. Statistiques descriptives

L'objectif des outils de Statistique descriptive élémentaire est de fournir des résumés synthétique de séries de valeurs, adaptés à leur type (qualitatives ou quantitatives), et observées sur une population ou un échantillon.

Dans le cas d'une seule variable, Les notions les plus classiques sont celles de médiane, quantile, moyenne, fréquence, variance, écart-type définies parallèlement à des représentations graphiques : diagramme en bâton, histogramme, diagramme-boite, graphiques cumulatifs, diagrammes en colonnes, en barre ou en secteurs (Benavent, 2001 ; Bernabotto, 2002 ; SYSTAT, 2002 ; Baccini et Besse, 2005 et Golmard et al., 2006).

3.7.2. Statistiques multidimensionnelles

Les méthodes classiques, même lorsque le nombre de données reste limité, nécessitent de multiples calculs et conduisent à des indicateurs parfois difficilement interprétables. Il est préférable d'étudier globalement les données en faisant appel aux méthodes d'analyse multidimensionnelle.

Celles-ci comportent des méthodes descriptives et des méthodes explicatives. Les premières visent à structurer, à résumer et synthétiser les données en vue de comprendre le phénomène étudié sans qu'un modèle ait été choisi au préalable. Les secondes privilégient une variable que l'on cherche à expliquer au moyen des autres (Vilain, 1999).

3.7.2.1. Méthodes descriptives

3.7.2.1.1. Analyse en composantes principales (ACP)

L'ACP est la méthode de base de l'analyse multidimensionnelle (Vilain, 1999), c'est une méthode statistique essentiellement descriptive : son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Philippeau, 1986). Ce tableau doit être constitué, en lignes, par des individus sur lesquels sont mesurées des variables quantitatives disposées en colonnes.

Ils bien évident que le choix des individus et des variables n'est pas neutre dans les résultats de l'ACP ; au contraire, c'est une phase essentielle. Ce choix doit être en accord avec les objectifs de l'étude. Les individus pourront être représentatifs d'une population ou,

au contraire, être très diversifiés. D'autres part, les variables à introduire dans l'analyse devront caractériser aussi bien que possible les phénomènes qu'on veut étudier (Philippeau, 1986).

En outre, l'objectif de l'ACP est de revenir à un espace de dimension réduite (par exemple 2) en déformant le moins possible la réalité. Il s'agit donc d'obtenir le résumé le plus pertinent possible des données initiales (Baccini et Besse, 2005).

L'ACP est une combinaison linéaire de p variable originale qui forment un nouveau ensemble de variables ou d'axes. Ces nouveaux axes sont non corrélés entre eux, et avoir la propriété que la première composante principale est l'axe qui explique la majorité de la variance des données plus que les autres axes. La seconde composante principale explique plus ce qui reste de la variance plus que les autres axes qui sont non corrélés avec (orthogonal à la) première. Il résulte p axes qui sont ces nouvelles variables, les peu premiers qui expliquent souvent le modèle majeur de données dans un espace multi variés (Johnson et Wichern, 1982 in Helsen et Hirsch, 2002)

3.7.2.2. Méthodes explicatives

3.7.2.2.1. Test de corrélation de Pearson

Parmi les coefficients de corrélation les plus classiques pour mesurer et tester l'intensité de la relation linéaire entre deux variables figure celui de Pearson. Il varie dans l'intervalle $[-1,+1]$, ces deux valeurs extrêmes correspondant à une relation parfaitement linéaire. Cette relation est inverse lorsque la corrélation est négative (les valeurs d'une variable augmentent lorsque celles de l'autre diminuent), et directe lorsque la corrélation est positive (les deux variables varient dans le même sens, soit en augmentant, soit en diminuant). La valeur nulle correspond à l'absence de relation linéaire.

Il est à noter que l'indépendance entre les deux variables implique une corrélation nulle, mais que la réciproque n'est pas nécessairement vraie. En effet, l'absence de relation linéaire ne signifie pas l'absence de relation entre les deux variables, cette relation pouvant prendre d'autres formes qu'une simple droite. La corrélation de Pearson, c'est en fait une covariance des variables comparées, standardisées par les écarts types, ou ce qui revient au même, covariance calculée sur les données centrées-réduites (SYSTAT, 2002 et XLSTAT, 2009).

3.7.2.2.2. Comparaison multiple des échantillons appariés (test de Friedman)

L'objectif du test de Friedman est de déterminer si tous les traitements donnent le même résultat ou si au moins un des traitements diffère des autres. Les hypothèses nulle (H0) et alternative (H1) du test sont donc les suivantes :

- H0 : les k échantillons ont été prélevés dans une même population,
- H1 : au moins un des échantillons provient d'une population différente des autres.

Ce test a été développé en considérant que :

- les blocs sont randomisés,
- les échantillons sont appariés,
- les données sont des données ordinales ou continues.

Pour le test de Friedman le calcul la statistique qui permet de prendre la décision d'accepter ou de rejeter l'hypothèse H0 est donnée par :

$$Q = \frac{12}{bt(t+1)} \sum_{j=1}^t (R_j^2 - 3b(t+1)) \dots\dots\dots (15)$$

où t est le nombre d'échantillons (ou traitements), b est le nombre de blocs, et Rj est la somme des rangs du jième échantillon, les rangs étant préalablement calculés sur chaque bloc (XLSTAT, 2009).

Lorsqu'il y a des ex-aequo parmi les rangs, Q doit être divisé par le facteur correctif suivant :

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^b \sum_{k=1}^{T(i)} (s_{ik}^3 - s_{ik})}{bt(t^2 - 1)} \dots\dots\dots (16)$$

où T(i) est le nombre de rangs différents dans le bloc i pour lesquels il y a des ex-aequo, et où sik est le nombre d'ex-aequo correspondant au kième rang.

Lorsque le produit nk croît, la distribution de Q converge vers une loi du Khi² à k-1 degrés de liberté. Des tables ont été publiées pour les cas où k et n sont petits (k = 3 et n £ 15, ou k = 4 et n £ 8). Lorsque k=2 le test de Friedman est équivalent à un test de Wilcoxon signé.

On peut utiliser un test de comparaisons multiples afin de déterminer quel(s) couple(s) d'échantillons sont responsables d'un éventuel rejet de l'hypothèse H0.

Pour le test de comparaisons multiples, les hypothèses nulle (H0) et alternative (H1) du test sont les suivantes :

- H0 : les échantillons i et j ont été prélevés dans une même population,
- H1 : les échantillons i et j proviennent de deux populations différentes.

On calcule pour chaque couple d'échantillons (i,j) la statistique suivante :

$$D_{ij} = \frac{|R_i - R_j|}{\sqrt{\frac{nk(k+1)}{6}}} \dots\dots\dots (17)$$

Par approximation D_{ij} suit une loi normale $N(0,1)$. On rejettera alors l'hypothèse H0 si :

$$D_{ij} \geq |z_{\alpha/2}| \dots\dots\dots (18)$$

3.7.3. Géostatistiques et cartographie

La géostatistique est l'étude des variables numériques réparties dans l'espace (Matheron, 1963). C'est une méthode d'interpolation relativement récente pour étudier la variabilité spatiale. Elle est basée sur la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1965).

Quant à l'espace où se déploie le phénomène régionalisé, il s'agit bien sur le plus souvent de notre espace géographique, espace euclidien à 1,2 ou 3 dimensions ; mais il peut s'agir aussi du temps, voire d'espaces plus complexes. Quoi qu'il en soit, étant donné son objet et son champ d'application, la géostatistique ainsi définie apparaît bel et bien comme une science physique. C'est pour la raison qu'elle s'adapte très bien à un phénomène tel que la salinité. Les techniques géostatistiques procèdent en deux étapes qui sont les suivantes :

- l'analyse de la structure spatiale de la variable étudiée grâce au variogramme ;
- l'emploi de la technique de prédiction spatiale par le krigeage.

3.7.2.1. La variographie

C'est le fait de partir des données physiques on souhaitant arriver à un modèle qui permet théoriquement de résoudre les problèmes posés. Elle permet d'établir le variogramme qui nous renseigne sur variabilité spatiale de la salinité dont les paramètres sont utilisés pour tracer la carte de la CE et du pH par krigeage (clé 3.3.3.2).

3.7.2.2. Krigeage

C'est l'estimation locale d'une portion bien circonscrite du champ de la variable régionalisée étudiée, à l'aide d'un jeu également bien délimité de données disponibles (clé 3.3.3.2).

3.7.2.3. Cartographie

Comme aboutissement de la géostatistique, une cartographie de la variable régionalisée étudiée permet de bien apprécier cette dernière.

3.8. Logiciels utilisés

- Par le Microsoft Excel, les opérations de : la saisie, le filtrage et la codification des données des échantillons et les statistiques descriptifs ont été assurées. En ajoutant à Excel, XLStat, toutes analyse comprenant l'ACP, Test de corrélation de Pearson, Comparaison multiple des échantillons appariés (test de Friedman) ont été réalisées.

- Certaines cartes ont été élaborées par le Surfer 8.0.

- La géostatistique et la cartographie de la salinité ont été faite à l'aide du logiciel Arcgis 9.1.

- La simulation des composantes du bilan hydrique ont été assurées par le modèle PILOTE.

Résultats et Discussions

Chapitre IV :

Pratiques d'irrigation et perception de la salinité

Chapitre IV. Pratiques d'irrigation et perception de la salinité

Comme chez un médecin avec une démarche de diagnostic basée sur le discours du patient fournissant les symptômes de sa maladie et le comportement de chaque malade avec sa maladie, la perception et le comportement des agriculteurs vis-à-vis de la salinité des sols est un élément primordial dans le diagnostic du problème en général. Cette perception repose principalement sur une terminologie dialectale simple et n'empêche pas qu'elle soit même très proche de celles fournies par les chercheurs du domaine. Alors, il paraît intéressant de comparer leur perception de la salinité des sols et de l'eau d'irrigation avec les analyses physiques et chimiques effectuées au laboratoire.

4.1. Contexte général

Les mécanismes physiques de salinisation sous irrigation décrits dans le chapitre II montrent que le problème de salinité se pose sous deux aspects pour l'agriculture : une contrainte et un risque. Il s'agit d'une **contrainte existante** lorsque le niveau de salinité a atteint un niveau suffisamment élevé pour affecter les rendements agricoles suite à une importante accumulation des sels par exemple d'une part et d'autre part, il s'agit d'un **risque potentiel** lorsqu'une eau riche en sels (notamment le sodium) est utilisée pour l'irrigation, ce qui risque d'accentuer la gravité de la situation, ou en affectant les propriétés physiques et/ou chimiques des sols à long terme.

En pratique, il ne s'agit pas souvent de contraintes irréversibles ou de risques inévitables. Ceci va pousser l'agriculteur à adapter ses pratiques agricoles à ces contraintes et à ces risques. Les mécanismes décisionnels à l'échelle de l'exploitation vont dépendre de la perception du problème par l'agriculteur, de son niveau de formation et de ses connaissances mais ils sont également limités par des contraintes internes à l'exploitation (sa stratégie, sa taille, ces ressources en eau...) et des contraintes externes (disponibilité d'eau en supplément de bonne/mauvaise qualité, conditions de drainage, présence/absence d'un réseau de collecte des eaux de drainage et l'appui technique). Dans certains cas, théoriquement seul un acteur extérieur (par exemple, le gestionnaire de l'eau) a la possibilité d'intervenir pour modifier ou réduire les contraintes notamment externes.

Les pratiques entreprises ou modifiées par l'agriculteur relèvent de **plusieurs niveaux de gestion** : la gestion hydraulique, la gestion physique, la gestion chimique et la gestion biologique des sols. Elles relèvent **du court et du long terme**. Par exemple, à

l'échelle d'une saison culturale, l'agriculteur cherche à éviter une accumulation excessive des sels dans le profil racinaire par un lessivage abondant des sels du sol. A plus long terme, certaines pratiques d'irrigation vont (dé) favoriser l'imperméabilisation des sols, la remontée du niveau de la nappe à l'échelle régionale. On différencie également trois types de stratégies dans les pratiques : les stratégies ayant pour objectif de **gérer les problèmes de salinité présents dans le sol**, les stratégies **pour gérer les risques d'une salinisation future** et les stratégies qui ont pour objectif de **réduire l'impact de la salinité sur les cultures** (Hassani, 2007, Hartani et al., 2008).

4.2. Exploitations agricoles

Dans le Bas Cheliff comme ailleurs en Algérie, on distingue les Exploitations Agricoles Collectives (EAC), les Exploitations Agricoles Individuelles (EAI) et les exploitations privées. Cette organisation foncière date depuis la dernière réorganisation du secteur agricole de 1987 qui consistait à distribuer les terres appartenant au domaine privé de l'Etat aux anciens ouvriers des domaines agricoles socialistes. L'agriculture est pratiquée différemment d'une exploitation à une autre selon la disponibilité en eau, le pouvoir d'investissement et bien sur le savoir faire et le niveau technique des agriculteurs. C'est ainsi que certaines exploitations sont en pleine croissance en pratiquant une agriculture intensive et d'autres au contraire sont en voie d'appauvrissement voire de disparition. Cependant, l'une des grandes caractéristiques des exploitations algériennes d'aujourd'hui est l'émergence d'agriculteurs locataires sur les terres publiques (Amichi, 2010). L'apport de capital et de la force de travail permet de pratiquer une agriculture intensive sur des parcelles à haut potentiel.

Dans cette mosaïque, les propriétaires privés qui on fait l'objet de nos enquêtes sont - sans doute - les plus privilégiés, dotés d'un pouvoir d'investissement qui leur permet de se concentrer sur le développement de leurs exploitations grâce au confort de gestion fournie par le système patronale. Mais, il est à noter que certains d'entre eux ont choisi de se spécialiser dans une seule filière ou même dans une seule culture ; c'est le cas par exemple de Hitache et Boukatai dans l'arboriculture et l'oranger avec 15 ha (dont poirier/abricotier et oranger/olivier) et 10 ha en oranger successivement. Cela est expliqué par l'état des vergers visités qui sont relativement en bonne santé par rapport à ceux des EAC (en comparant les vergers de même age).

Quand aux EAC, entre les souhaits de chaque agriculteur du groupe et la pénurie en moyens et ressources, l'investissement s'en va avec le vent. On y'est arrivée même a des

exploitations partitionnées entre les membres du groupe ne permettent en aucun cas le développement de l'exploitation. Ce cas est cité dans la bibliographie récente de la région par le terme «EAC éclaté» (Amichi, 2007, 2010). Un des cas, par exemple l'EAC 6, au sein de la même parcelle d'oranger les lignes d'oranger ne se développaient pas de la même façon, la réponse fournie par un des membres du groupe ma clarifier la situation, l'irrigation ne se faisait pas de la même fréquence car elle était subdivisée en ragés et chacun irriguait avec sa façon, donc il est nettement clair l'effet du complexe qualité/quantité/fréquence d'irrigation.

Avec de telles situations, ces dernières cèdent en générale la place aux locataires ; qu'avec leurs cinétiques ont sus dégager des revenus qui leurs ont permis par la suite de se procurer d'autres terres à loyer. Ces locataires cherchent en générale a performé au max les parcelles exploitées même si ça va se répercuté sur le sol. Un exemple a donner, un rendement d'artichaut de 100 q/ha pour Fodil à Oued Rhiou et 127,22 q/ha pour Tarmoule au périmètre de Hmadna (propriétaire irriguant en goûte à goûte /locataire irrigant en aspersion et submersion, mais il est à noter que l'eau de ce dernier est plus salée ; en plus cette idée est confirmée par le fait qu'il cherche a investir dans la tomate industrielle (clé annexe III). Cette petite analyse socio – éco – foncière de la typologie et de l'état des exploitations nous permettra par la suite de comprendre plusieurs points dans cette étude.

4.3. Le système de cultures et les pratiques d'irrigation

Le système agraire du Bas Chelif a été décrit par Amichi (2008) puis Hartani (2009). Ainsi, l'ensemble de la plaine est dominé par un paysage céréalier en adéquation avec la vocation de transhumance de la région. Des zones d'irrigation à l'intérieur de la plaine se distinguent par une agriculture dynamique avec une arboriculture fruitière (agrumes, grenadiers, oliviers) et des systèmes de rotation du type artichaut-céréale- melon (Hassani, 2007).

Les agriculteurs ont accès à l'eau de Merdja Sidi Abed par le biais du réseau d'irrigation. Etant donné que la dotation en eau de surface ne suffit généralement pas, celle ci est réservée principalement à l'arboriculture (dose de survie des vergers en cas de pénurie).

Par ailleurs, la majorité des agriculteurs possèdent un forage et accèdent ainsi à l'eau souterraine ce qui permet de diversifier les cultures et donc de minimiser les risques en cas de maladie par exemple. C'est ainsi que souvent aux cotés de l'arboriculture cohabitent les céréales (blé dur, orge) et le maraichage de saison (artichaut ou melon).

En général, on observe une conduite conforme aux calendriers culturels et aux prescriptions des itinéraires techniques fournis par les services agricoles mais avec des adaptations diverses d'un agriculteur à un autre selon ses connaissances/expériences. Par exemple, au lieu d'apporter une dose d'irrigation chaque 15 jours, il le fait chaque 20 jours en introduisant en plus de l'installation de cultures maraîchères en intercalaire.

Plusieurs pratiques d'irrigations ont été observées au cours de nos visites de terrain : les agriculteurs irriguant en localisé qui réalisent des cuvettes autour des arbres, ceux qui irriguent en gravité employant la méthode d'irrigation par submersion ou au billon (Tab.11). Les apports dépendent aussi de l'origine de l'eau d'irrigation : pour les lâchers à partir de la Merdja de Sidi Abed ou du barrage Gargar les débits importants et l'irrigation va se faire par submersion, l'objectif est de stocker le maximum d'eau dans la parcelle étant donné que l'eau est de bonne qualité (salinité $\leq 0,5$ g/l). Pour l'irrigation à partir des eaux souterraines, on constate une plus grande diversité des pratiques allant du localisé à l'irrigation à la raie. Dans le cas d'un usage conjoint des eaux souterraines et de surface, la submersion est pratiquée pour le lessivage des sels suite à plusieurs irrigations par l'eau des forages. Mais avec des débits plus faibles, l'agriculteur utilise des méthodes qui économisent de l'eau tel que l'irrigation localisée au pied de l'arbre par le biais des cuvettes assurée par une adduction à la raie.

La méthode dépend aussi de la culture : pour les cultures maraîchères, ce sont surtout les techniques localisées et plus particulièrement le goutte à goutte qui sont souvent rencontrées. Avec un système racinaire de surface, le maraichage valorise mieux les apports d'eau que l'arboriculture. Ceci est notamment le cas chez Fodil avec 32 ha irrigués totalement et depuis toujours en goutte à goutte (clé Tab. 7 du chapitre III et Annexe III).

Pour ce qui est des cultures céréalières, c'est souvent le pluvial qui domine si on ne dit pas le seul moyen. Les doses d'irrigation varient annuelles selon la culture, selon l'origine de l'eau (réseau public, forage) et à la saison (annexe III). On note des pics d'irrigation importants durant les mois chauds et secs correspondant à la saison sèche allant de mars à octobre (clé partie 1.2.6.1).

Tableau 11: Méthodes d'irrigation pratiquées.

Mode d'irrigation	Avantages	Inconvénients
Cuvette	Economie d'eau sans stresser la culture	N'est utilisée qu'en monoculture notamment en arboriculture
Submersion	Préparation simple du sol Lessivage important des sels en sol Alimente la nappe phréatique	Inadaptée pour certaines culture (si la lame d'eau est importante) Nécessite des débits très importants Tendance à tasser le sol
Goutte à goutte	Arrosage facile Utilisation possible de faibles débits Réduction des opérations culturale (préparation du sol ...ect)	Eloignement momentané des sels Colmatage des goutteurs surtout avec les eaux chargées
Billons	Arrosage facile Bon ameublissement du sol Adapté pour les plans qui craignent la submersion (plant situé en haut du billon)	Difficile à mettre en œuvre dans les sols légers (écrasement des billons) Exigence en matière organique pour le maintien des billons Risque de brûlures des plantes en sols salées par remontée capillaire importante

Ces techniques sont confirmées dans un nombre non négligeable de la bibliographie mondiale traitant ce genre de problèmes.

4.4. Descriptions des sols rencontrés selon les agriculteurs

Dans ce passage, deux types de sols sont distingués sur terrain et une brève description ainsi que quelques caractéristiques telles qu'avancées par les agriculteurs. Cette description peut expliquer à un certain degré quelques éléments de la perception de la salinité étant donné qu'elle est très proche de la description scientifique.

4.4.1. Classe des sols N'fil

Ce sont des sols de bonne structure, composés d'un mélange de sable et d'argile, de bonne fertilité et perméables, faciles à travailler manuellement ou avec les outils aratoires. Ce sont des sols généralement peu salés.

4.4.2. Classe des sols T'ferchet

L'agriculteur décrit ces sols comme des sols à texture lourde, de couleur marron, peu perméable, une salinité très élevée, difficile à travailler, collant quand le sol est humide, se compacte et se durcit dans le cas où le sol se met à sec.

4.5. Perception de la salinité par les agriculteurs

Rappelons que perception est synonyme pour de nombreux agriculteurs de connaissance ou à la rigueur de l'expérience. Si on applique une méthode similaire de celle adaptée par Kielen (1996) au Pakistan en confrontant entre les mesures au laboratoire des eaux d'irrigation (forages) et des sols d'une part, et les affirmations des agriculteurs d'autre part on peut alors qualifier la perception des agriculteurs.

4.5.1. Perception de la salinité des eaux par les agriculteurs

La perception de la salinité de l'eau d'irrigation par les agriculteurs du Bas-Chélif est intuitivement fondée sur l'appréciation du goût et très rarement sur les analyses. Tout goût dur où autrement dit dans le dialecte local «Chloug» veut dire une eau salée. Les agriculteurs qui font référence dans leur discours sur la perception de la salinité à partir des résultats d'analyses ont eu accès à des rapports d'études d'organismes scientifiques et de développement locaux (INSID ou ONID par exemple).

Par ailleurs l'ensemble des agriculteurs enquêtés ont confirmé que l'eau du barrage Gargar ou l'eau de Merjet Sid Abed sont meilleures que celles issues du sous sol, ces eaux prennent une valeur de salinité aux alentours de (\leq) 0,5 g/l, cette observation a été avancée antérieurement par Hassani (2007). Quand à l'eau de leurs forages, la perception diffère d'un agriculteur à un autre selon son usage et selon le type de sol dont ils disposent.

Le tableau 12 et la figure 22 résument les perceptions et les résultats d'analyse au laboratoire des échantillons d'eau d'irrigation. On peut donc distinguer deux groupes :

- 1) **Premier groupe** : Ceux dont la salinité est inférieure à 1,4 dS/m disent avoir une eau faiblement salée ;
- 2) **Deuxième groupe** : Ceux dont la salinité de l'eau est comprise entre 3,5 et 5 dS/m disent avoir une eau moyennement salée.

Ces perceptions peuvent être expliquées de la façon suivante :

Pour le premier groupe, il y a priori une bonne perception de la salinité de l'eau. Une bonne maîtrise de l'irrigation de l'agriculteur (A7) par exemple qui a seulement une eau de forage de bonne qualité qu'il apportait depuis plusieurs années en goutte à goutte en plus de la présence de quelques ravines (pas très loin de son exploitation) qui servaient comme des drains à ciel ouvert. La même remarque peut être formulée pour l'agriculteur (A8) mais cette

fois ci en présence d'une pente faible et régulière soutenue par une couche de 30 cm de sable vers 60 cm de profondeur ce qui influence indirectement leur perception.

Tableau 12: Résultats d'analyses au labo des eaux de forages confrontés au perceptions des agriculteurs.

Label	Exploitation/Nature juridique	Nom chef du groupe ou propriétaire	CE (dS/m)	SAR (meq/l)	Comment est la salinité de votre eau d'irrigation ?
A1	EAC 03	Boualem Mohamed	3,63	6,78	moyenne
A2	Privée	Ghreibi Abed	5	6,27	moyenne
A3	Privée	Hitache Abed	4,58	1,99	moyenne
A4	Privée	Besrir Bouabd el LAH	3,67	0,57	moyenne
A5	Privée	Hamri Mohamed	4,19	11,41	moyenne
A6	EAC 06	Boudia Mohamed	3,53	3,21	moyenne
A7	Privée	Fodil Ahmed Chaouiki	1,337	4,58	faible
A8	EAC 04	Hathate Adda	1,21	3,93	faible
A9	Locataire	Tarmoule Kheir eldine	3,67	0,57	moyenne
A10	Privée	Boukatai	4,21	6,95	moyenne

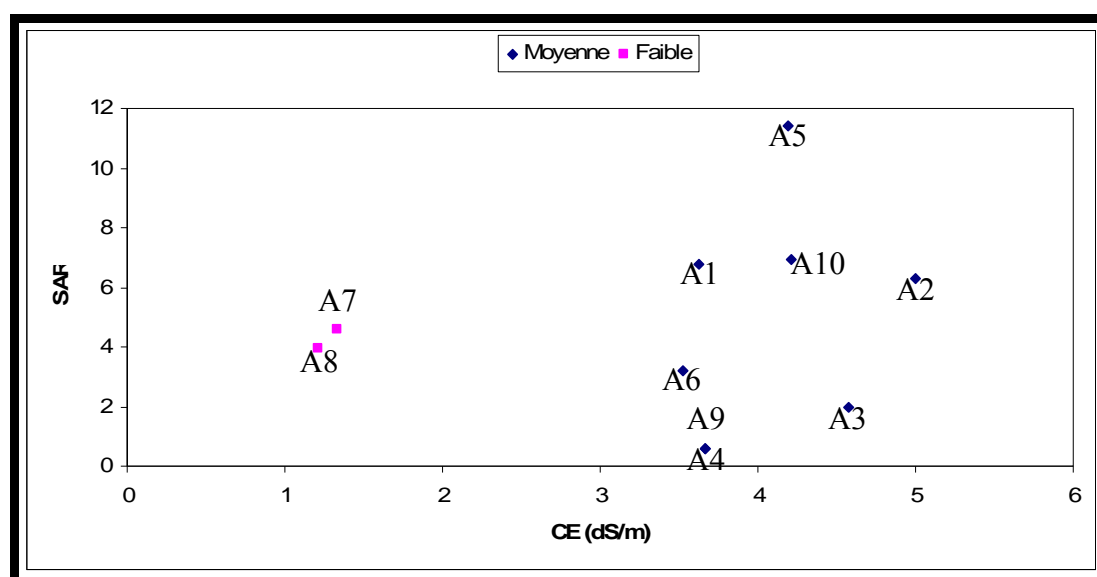


Figure 22 : Perception de la salinité des eaux par les agriculteurs enquêtés dans la plaine du Bas-Chélif.

Pour le second groupe, il s'agit d'une utilisation conjuguée de l'eau de surface avec l'eau souterraine. C'est pour la raison que leurs perception de la qualité de leurs eaux n'est pas totalement exacte. L'alternance de la source d'irrigation ne permet pas d'apprécier la perception de la salinité de l'eau. En réalité ils irriguaient par l'eau de leur forage et lorsqu'il devient possible d'irriguer par l'eau de surface par submersion, cela servait de lessivage pour leurs sols. De même le mélange des deux eaux constitue une stratégie très intelligente pour diluer la charge en sels (clé partie 4.3). De ce fait, on peut affirmer que la perception de la salinité des eaux n'est pas mauvaise parce qu'ils prennent en compte également selon eux la

relation **effet/dose**. Avec l'expérience acquise, une telle notion s'est intégrée dans leur savoir faire : tant que l'eau n'a pas eu d'effet néfaste sur la culture, elle n'est pas salée mais si s'avère le contraire ils sont prêts à effectuer des lâchés pour lessiver leur sol par submersion. Ce positionnement des agriculteurs vis-à-vis de la salinité en présence d'externalités (cultures tolérante au sel, présence de drains, source d'irrigation secondaire) a déjà été discuté par Hartani et al (2008) et Bourafa et al (2009).

4.5.2. Perception de la salinité des sols par les agriculteurs

De même, la perception de la salinité des sols est très proche de celle des eaux d'irrigation (tableau 13). Si on met le tableau 5 de la partie 2.1.4.1 comme référence aux classes de salinité de sols, il apparait quatre classes de salinité selon la perception des agriculteurs, ces classes sont représentées (Figure 23).

On peut remarquer d'après la figure 23 et le tableau 13 c'est que la classe extrêmement salée n'existe pas dans l'échelle de perception de la salinité chez les agriculteurs enquêtés (échantillon d'agriculteurs supposé représentatif de la population du Bas-Chélif étant donné qu'il est issue d'un échantillonnage aléatoire et sans connaissance préalable) est que la classe non salée et légèrement salée sont regroupées sous une qualification de **faible salinité**, et que la classe salée, très salée et extrêmement salée sont confondus à des qualificatifs **moyenne, élevée et très élevée** mais avec des seuils arbitraires qui diffèrent de ceux donnés en bibliographie.

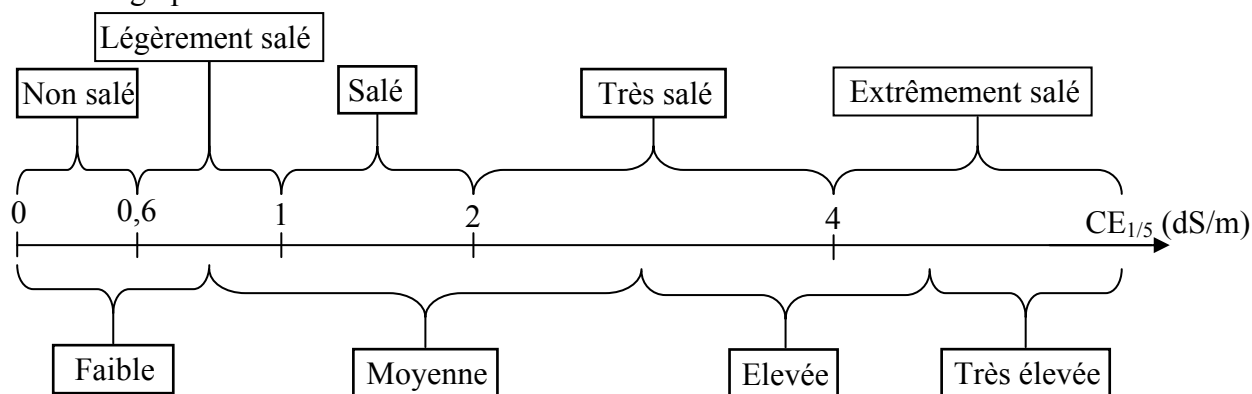


Figure 23 : Perception de la salinité des sols par les agriculteurs enquêtés dans la plaine du Bas-Chélif comparée à la norme ISO 10 390 (A.F.N.O.R, 1994).

Ce point peut être justifié par le fait que la perception de la salinité des sols par les agriculteurs est fonction de plusieurs paramètres dont ceux bien connues et bien expliqués par les agriculteurs et confirmé par l'avis des spécialistes notamment :

1. La topographie et la pédologie des exploitations : la pente dans les parcelles de ces exploitations est moyenne ou très faible joue un rôle d'évacuation latérale étant donné qu'on est dans un bassin hydrographique (écoulement superficiel → infiltration → écoulement souterrain → écoulements retardés dans les affluents du Chéelif); soit la présence d'un type de sol favorisant le lessivage (clé 4.1.5) ou la présence dans la zone racinaire des couches de sables comme indiqué dans l'annexe III confirmé par plusieurs études menées dans la région notamment le pionnier Yacono, 1954 puis Boulaine, 1956 et 1957 ; Durand, 1960 et l'étude de S.O.G.R.E.A.H, 1986.

2. Les pratiques agricoles : cultiver telle ou telle culture, irriguer avec telle ou telle méthode, apporter telle ou telle dose reflète une bonne connaissance des paramètres agissant sur la salinité des sols. Par exemple, cultiver l'artichaut dans les parcelles les plus affectées par la salinité, d'avoir choisi d'irriguer la nuit pour permettre un bon lessivage tout en limitant l'évaporation, traduit une bonne connaissance du continuum sol-plante-atmosphère. Mais ceci n'empêche pas qu'il existe des pratiques non ou peu rencontrées par sur terrain mais citées par les spécialistes dont :

Tableau 13 : Résultats d'analyse au laboratoire des sols des parcelles confrontés aux affirmations des agriculteurs sur la salinité.

Label	Nom d'exploitation/exploitant	Sondage/parcelle	Spéculation	CE extrait 1/5 (dS/m)	Perception	la qualification selon le tab 5
A1	EAC 3	R1"	Artichaut	1,62	Moyenne	Salé
		R1	Céréales	1,42	Moyenne	Salé
		R1*	Melon	0,73	Moyenne	Légèrement salé
		R'	Oranger	0,76	Moyenne	Légèrement salé
A2	Ghreibi Abed	O3	Oranger	2,70	Moyenne	Très salé
A3	Hitache Abed	W3	Olivier	3,26	Elevée	Très salé
		W3'	Oranger	0,55	Faible	Non salé
A4	Besrir Bouabd el LAH	K1	Melon	5,24	Moyenne	extrêmement salé
A5	Hamri Mohamed	X1	Artichaut	2,75	Moyenne	Très salé
		X3'	Olivier	7,38	Très élevée	Extrêmement salé
A6	EAC 6	Y3	Oranger	0,88	Moyenne	Légèrement salé
A7	Dr Fodil Ahmed Chaouiki	1	Artichaut	0,59	Faible	Non salé
A8	EAC 4	Z3	Oranger	0,45	Faible	Non salé
A9	Tarmoule Kheir	Moy H39 et H40	Céréales	1,69	Moyenne	Salé
		Moy H65 et H85	Artichaut	5,71	Elevé	Extrêmement salé
A10	Boukatai	B1	Oranger	1,03	Moyenne	Salé
		Moy B2 et B3		2,01	Moyenne	Très salé

- Tenter de maintenir leurs vergers à certain degré d'humidité ce qui est déjà cité en exemple par Massoumi, 1975 ; Vallès, 1987 ; Van Hoorn et Van Alphen, 1994 et Marlet, 1996.
- Billonnage : pour la migration des sels vers les sommets des billons ce qui justifie la plantation sur le front du billon (Meyer, 1997).

CONCLUSION

A l'échelle de la parcelle, la salinité a une organisation spatiale liée aux caractéristiques du milieu physique et aux pratiques des agriculteurs. Les enquêtes de terrain et les mesures de salinité à un moment déterminé ne permettent pas toutes de rendre compte de la diversité des processus géochimiques et de l'évolution de ces processus. Par contre, les agriculteurs ont une perception intéressante de la situation : elle intègre les contraintes de salinité actuelles, les risques conjoncturels et les risques à long terme d'apparition de l'une des formes de la salinité des sols.

Dans ces conditions, les agriculteurs ont une perception de la salinité souvent plus «juste» que les experts de terrain chargés de cartographier la salinité et de prévoir son extension. Leur classification vernaculaire est plus détaillée, elle surestime les problèmes actuels car elle permet de préciser à la fois les problèmes réels de salinisation et les risques d'apparition de la salinité à court ou à long terme. En fait, leurs observations intègrent les manifestations de la salinité pendant tout le cycle cultural et leurs expérience de terrain sur plusieurs années ; elles rendent compte des évolutions des processus et non des états. Les parcelles étudiées seraient de bons laboratoires de terrain pour comprendre la dégradation des sols à condition de bénéficier de témoignages fiables des agriculteurs et ce en examinant le problème sous l'angle de leur perception. L'intérêt majeur de la classification locale des sols est qu'elle présente la perception des agriculteurs, uniques experts, qui suivent au quotidien l'évolution de leurs parcelles.

Chapitre V :

Dynamique et évolution spatio-temporelle de la salinité

Chapitre V. Dynamique et évolution spatio-temporelle de la salinité

Dans le chapitre IV de ce document, nous avons présenté les résultats des enquêtes sur la perception et la gestion de la salinité au bas-Chélif. Quand à ce chapitre, le but essentiel est de présenter les résultats d'évolution de la salinité des sols dans les périmètres irrigués du bas-Chélif. Il s'agit de tester à travers une méthode de diagnostic la variabilité spatio-temporelle des processus de salinisation.

5.1. Suivi de la salinité et du pH du sol

Le but essentiel est de voir l'impact de la pluviométrie et de l'irrigation sur la variabilité spatiale et temporelle de la salinité du sol et de la nappe superficielle.

5.1.1. Cas des deux exploitations ciblées pour le bilan hydrosalin

5.1.1.1. Résultats de caractérisation

5.1.1.1.1. Statistiques descriptives

Comme précédemment décrit -un peu plus en avant- dans ce mémoire (clé 3.3.1 et 3.3.2), les parcelles qui ont été ciblées pour le bilan hydrosalin ont fait l'objet d'une caractérisation du pH et de la CE touchant la couche superficielle (0-20 cm) suivie par un zonage (clé 3.3.3.2).

Il semble qu'il y a une grande variabilité au sein de ces deux exploitations : l'étendue de la CE est de 4,33 et 12,55 mS/cm respectivement pour Boukatal et Tarmoule ; celle du pH est de 0,98 et 1,34 respectivement. La moyenne de la CE pour la deuxième exploitation est 2 fois supérieure à la première. Les CV du pH et CE sur les deux exploitations sont asymptotiquement les mêmes, ce qui indique que la variation se fait à peu près de la même façon mais avec différentes grandeurs à savoir une variance d'échantillon 5 fois plus pour la CE dans l'exploitation de Tarmoule.

Tableau 14 : Statistiques descriptifs des échantillons qui ont fait l'objet de la caractérisation de parcelles ciblées pour bilan hydrosalin.

Paramètres statistiques	Les deux parcelles de Boukatai		Les deux parcelles de Tarmoule	
	pH	CE (mS/cm)	pH	CE (mS/cm)
Nbr. De valeurs utilisées	95	95	111	111
Nbr. de val. min.	1	1	1	1
% de val. min.	1,05	1,05	0,90	0,90
Minimum	7,49	0,74	7,327	1,37
1er quartile	7,76	1,06	7,66	2,30
Médiane	7,92	1,60	7,85	3,29
3ème quartile	8,21	2,47	8,07	5,08
Maximum	8,47	5,07	8,67	13,92
Etendue	0,98	4,34	1,34	12,55
Moyenne	7,98	1,90	7,88	3,97
CV (écart-type/moyenne)	0,03	0,54	0,04	0,58
Variance d'échantillon	0,07	1,03	0,08	5,17
Ecart-type d'échantillon	0,26	1,02	0,28	2,28
Borne inf. IC de la moyenne	7,92	1,70	7,83	3,54
Borne sup. IC de la moyenne	8,03	2,11	7,94	4,40

5.1.1.1.2. Représentation spatiale de la CE et du pH et détermination de zones homogènes

Des cartes de répartition de la CE et du pH ont été établies afin de voir la répartition spatiale de ces deux paramètres à l'échelle des parcelles étudiées par la caractérisation (clé fig. 24 à 27). Ces cartes sont tracées sur la base des résultats d'analyse d'extrait du sol sur un rapport dilué 1/2,5 pour le pH et la CE (clé tab 9) suite à un suivi de la salinité qui s'est fait sur une période relativement longue ce qui a permis la constitution d'un grand nombre d'échantillons dosés par cet extrait (485 échantillons) parmi lesquels 114 ont fait l'objet d'une mesure sur l'extrait de la pâte saturée à raison d'une répétition par échantillon.

Afin de pouvoir faire la transformation en CE mesurée sur l'extrait de pâte saturée, une régression a été établie avec un coefficient de corrélation entre les deux mesures pour les 114 échantillons égal à **0,96**, ce qui est largement suffisant pour expliquer la corrélation entre les deux rapports. L'équation correspondante s'écrit comme:

$$CE_{(p\grave{a}te\ satur\acute{e}e)} = 2,32 CE_{(extrait\ dilu\acute{e}\ 1/2,5)} + 1,74 \dots\dots\dots (15)$$

Sur les cartes présentées ci-après, le seuil 0,74 dS/m en extrait 1/2,5 correspond à environ 3,464 dS/m en CE pâte saturée, le seuil 4,5 dS/m correspond à 12,198 dS/m.

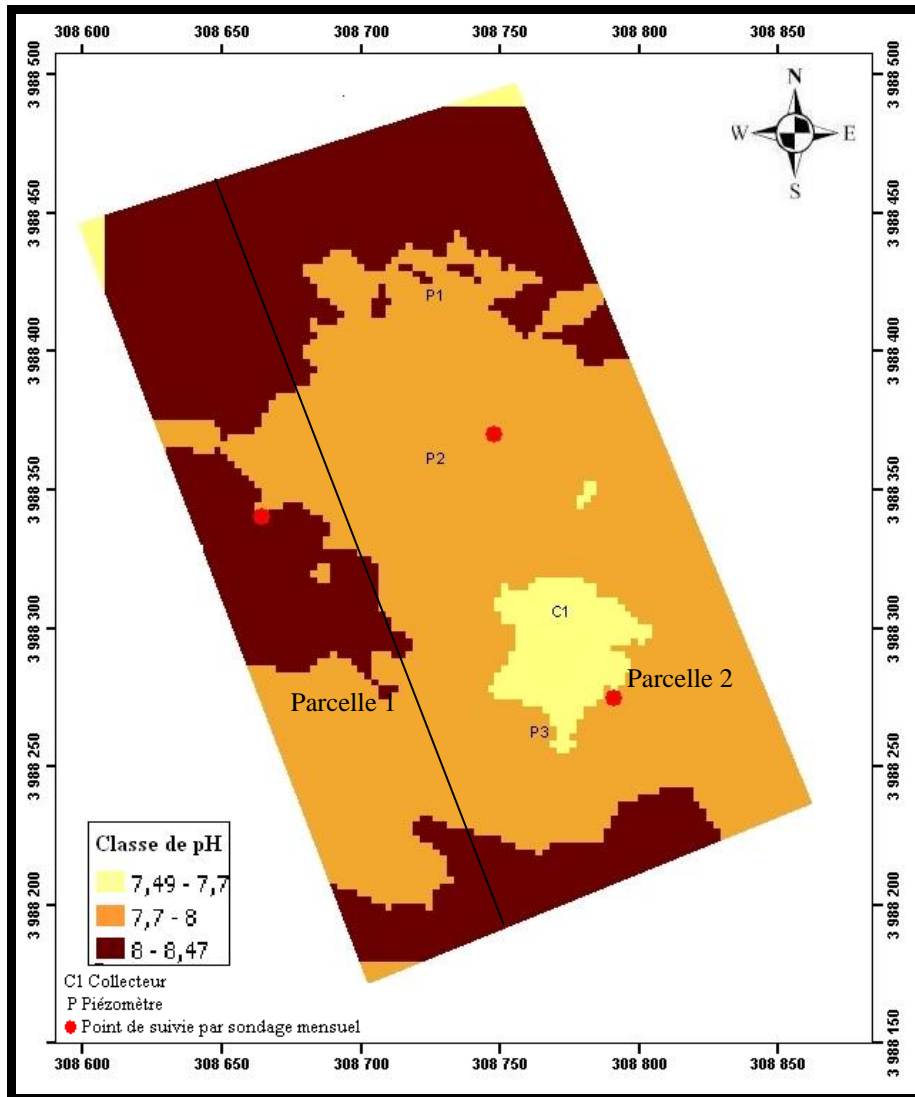


Figure 24 : Carte zoning pH pour les deux parcelles de Boukatai.

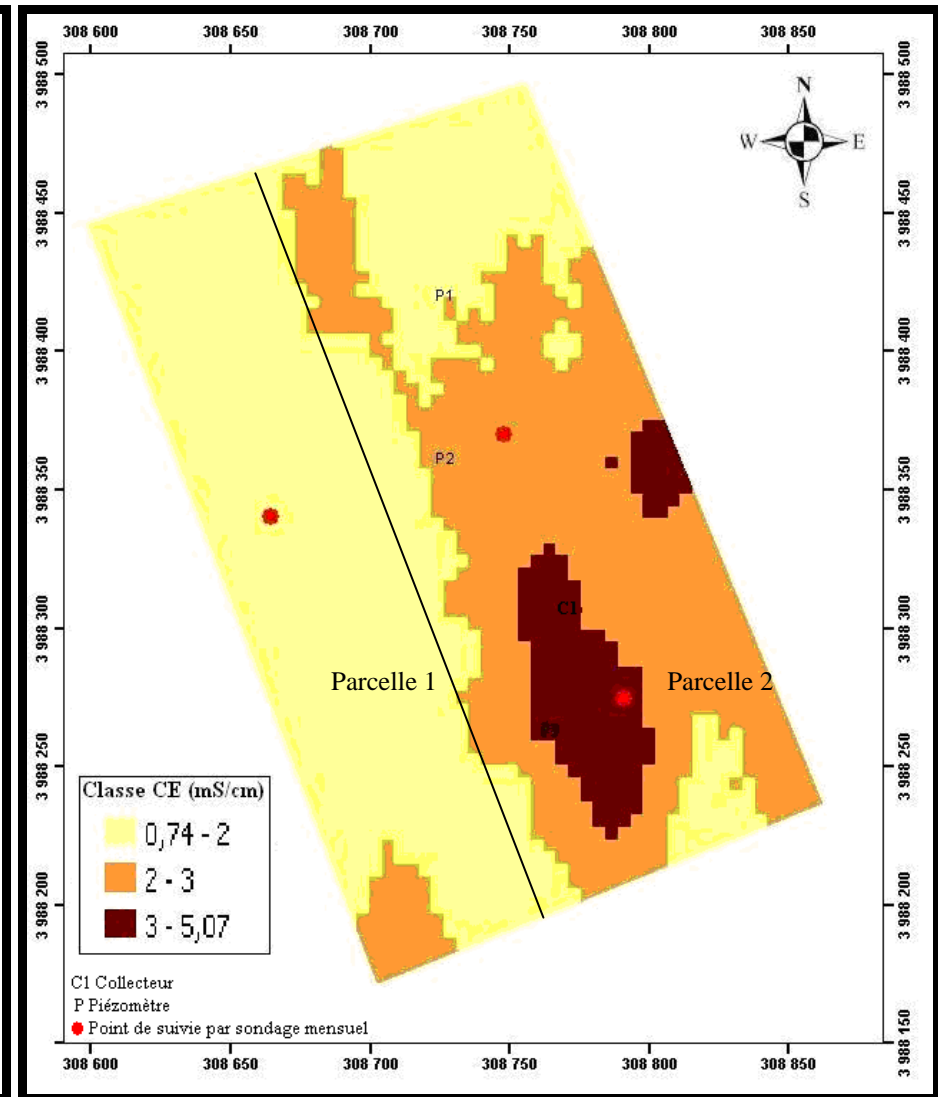


Figure 25 : Carte zoning CE pour les deux parcelles de Boukatai.

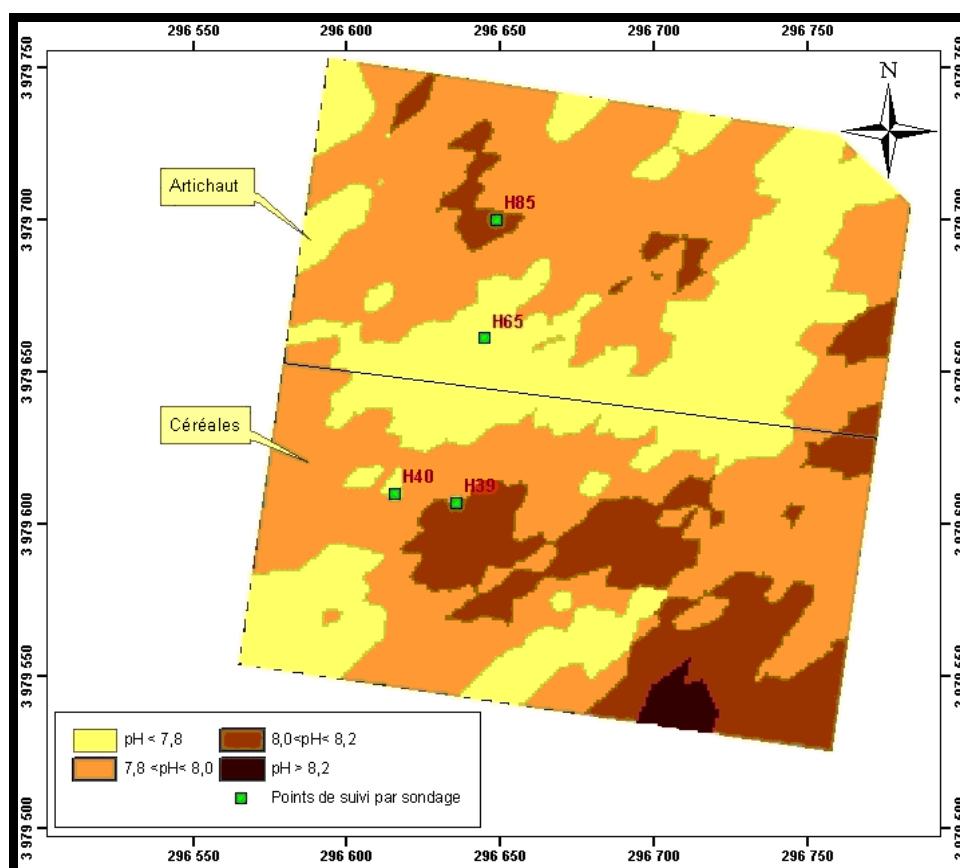


Figure 26 : Carte zoning pH pour les deux parcelles de Tarmoule

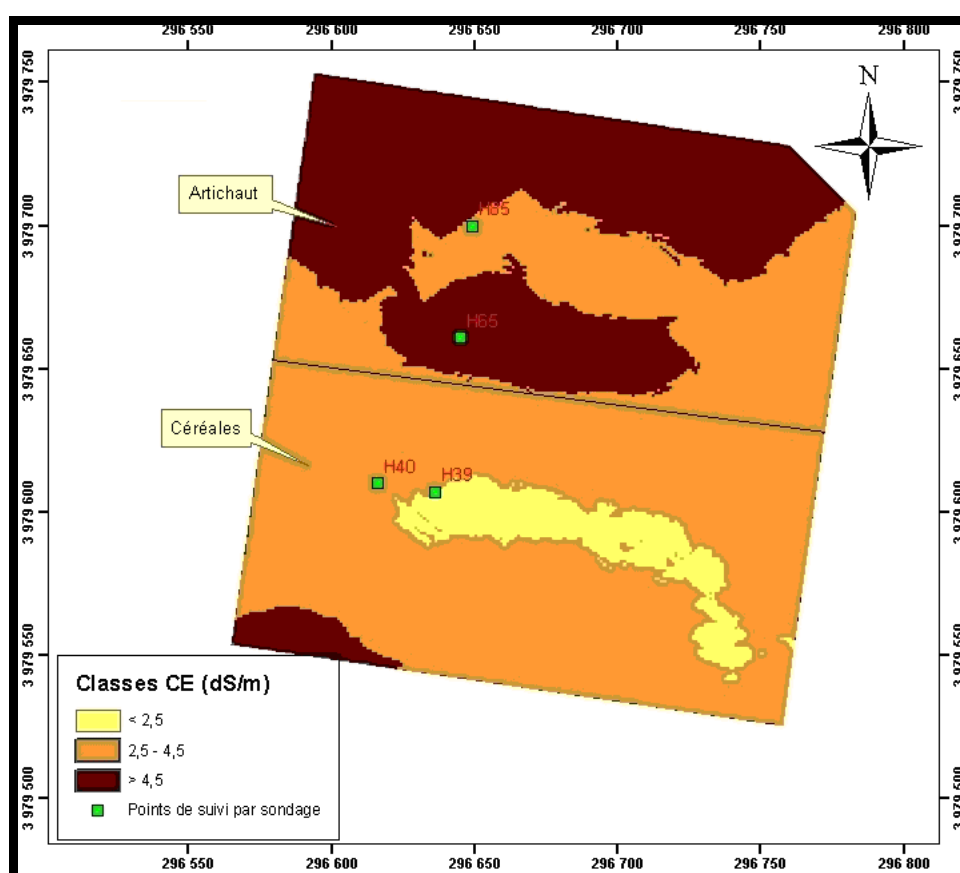


Figure 27 : Carte zoning CE pour les deux parcelles de Tarmoule

Les principales constatations qu'on peut avancer pour les deux exploitations sont les fortes concentrations de sels exprimés ici en CE se localisent au alentour du collecteur C1 pour la figure 25 (effet de la pente et du drainage est nettement claire clé fig. 18) et dans la parcelle d'artichaut de l'exploitation de Tarmoule et l'extrémité bas de la parcelle de céréales dus respectivement a l'historique de ces deux parcelles : la première est irriguée depuis longtemps en aspersion et gravitaire (voir la quantité de sels apporté chaque fois par les irrigations) et durant la période de suivi tandis que pour la seconde c'est du au passage du canal d'irrigation (voir les fuites). Il est égalent claire ici l'effet du drainage au centre de la parcelle de céréales dû au passage du drain décrit dans la partie 3.3.2.

5.1.1.1.3. Variabilité de la CE et du pH dans les parcelles caractérisées

Si on se focalise sur la superposition des deux cartes zoning (pH et CE) de chaque exploitation, on remarque que là où le pH est élevé la CE est faible et inversement. Cette remarque peut être confirmée par un petit test de corrélation de Pearson, dont les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 15 : Test de corrélation de Pearson entre le pH et la CE dans les deux exploitations

Exploitation	Boukatal	Tarmoule
Valeur observée	-0,713	-0,466
p-value bilatérale	< 0,0001	
Alpha	0,05	
R ² (coefficient de détermination)	0,508	0,217
L'équation du modèle	CE = 24,39 -2,82*pH	CE = 33,72 -3,77*pH

Remarque : la valeur observée selon Pearson est le coefficient de corrélation. On rejette l'hypothèse nulle lorsque la probabilité est inférieure au seuil alpha.

Conclusion :

Au seuil de signification Alpha=0,05 on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélation. Autrement dit, la corrélation est significative.

Le suivi du niveau de la nappe est sans doute la meilleure solution pour suivre l'efficacité du drainage dans une parcelle ou à la rigueur le lessivage naturel. Dans cette vision, les trois piézomètres installés dans les parcelles de Boukatal d'un diamètre de 40 mm sur une profondeur de 3,5 m étaient faits durant le mois de février 2008 juste avant le

démarrage des irrigations, afin de pouvoir faire le suivi du niveau de la nappe après les irrigations. Les mesures effectuées sont représentées sur la figure 30.

Il paraît clairement que le niveau de la nappe n'a rarement atteint le niveau de 3 m de profondeur. A ce niveau, la salinité des sols n'est pas influencée par celle de la nappe au moins au niveau de l'horizon des racines. La seule explication est que la dose d'irrigation n'est pas donnée suffisamment pour permettre la formation de la nappe superficielle perchée qui contribue à la remontée de la nappe. Par la suite, la remontée de cette dernière ne se fait que rarement. Avec cette manifestation timide de la nappe, nous avons délaissé le suivi au moins durant la période d'irrigations étant donné qu'elle n'affecte pas significativement le niveau de la nappe.

Il est à signaler que le niveau de la nappe peut atteindre un niveau plus élevé durant les épisodes pluvieux, ce qui n'est pas le cas dans la région avec sa pluviométrie annuelle d'environ 290 mm/an très mal répartie sur l'année et concentrée sur une période très courte, généralement de 3 à 4 mois. C'est à cette situation que la remontée de la nappe peut provoquer un lessivage des sels. Cette situation était malheureusement ratée puisque elle a coïncidé avec mon stage en France surtout avec un cumul de pluie équivalent à 260mm (du 01/09/2008 au 31/12/2008 avec 97,80 mm rien qu'en décembre 2008) qui est très proche de la moyenne annuelle 290mm calculée sur la période 1985 à 2007 (voir donnée climat dans le chapitre simulation du bilan hydrosalin et l'annexe IV).

5.1.1.3. Mesure du débit de drainage dans les deux exploitations

En général, dans les deux exploitations, le niveau de la nappe superficielle était toujours en dessous de celui des drains. Ce ci a été vérifié dans l'exploitation de Boukattai grâce au suivi du niveau de la nappe par les piézomètres préalablement installés.

Rappelons, qu'avec toutes les opérations de nettoyage que j'ai entrepris dans les collecteurs mais ça n'a révélé qu'un débit très maigre qui ne dépassait rarement les 12 l/h qui reste comme même insignifiant comparé aux volumes entrants à la parcelle par les irrigations en période sèche ou par les pluies hivernales que sans doute on fait réagir ce drainage, mais malheureusement s'est fait raté à cause d'impossibilité de la présence en permanence dans le terrain et la non fiabilité de des observations et des appréciations de débits par les agriculteurs.

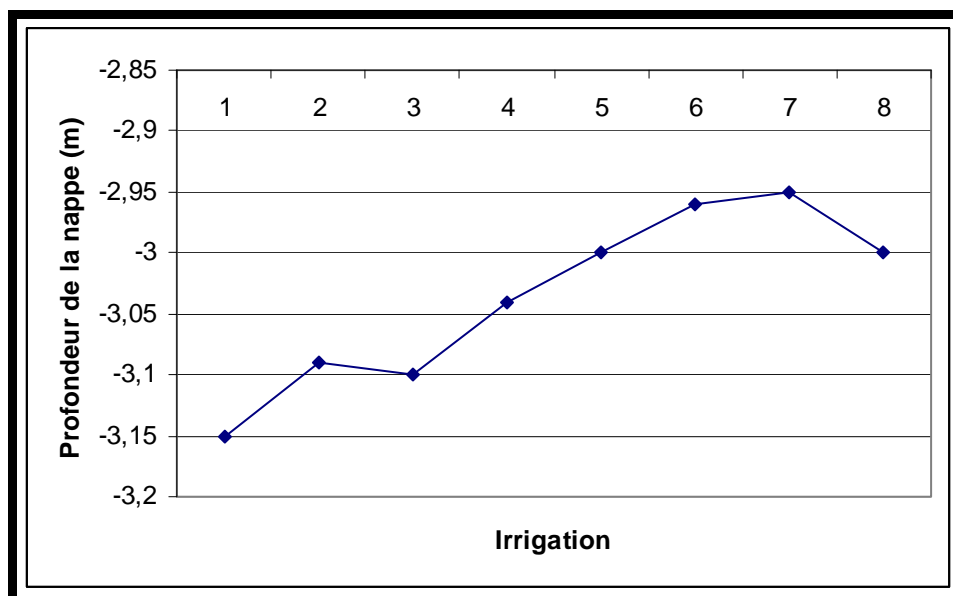


Figure 28 : Variation du niveau de la nappe dans les piézomètres durant les deux premiers mois

Quand au débit de drainage dans l'exploitation de Tarmoule, il était pratiquement impossible de faire ces mesures avec tous les collecteurs mal entretenus et les exécutoires déversant dans les drains secondaires ou primaires transformés en bassin de stockages des eaux d'irrigations par les agriculteurs en implantant des digues de terre. Là on s'est contenté d'observer le niveau de la nappe dans un collecteur qui était juste à l'extrémité de la parcelle, qui également n'a pas varié significativement d'hauteur en période d'irrigation. Quant à la période hivernale, c'était pratiquement le même cas pour l'exploitation de Boukatai.

Cette partie va bénéficier d'une étude supplémentaire dans le chapitre VI.

5.1.2. Évolution mensuelle de la CE et du pH dans les sondages suivis

Dans cette partie, on a présenté l'évolution de la paire CE - pH pour les sondages réalisés dans toutes les exploitations étudiées. Cette évolution est présentée en combinaison avec la paire pluie – irrigation dans les parcelles du bilan hydrosalin ; quand aux autres sondages la présentation est confrontée aux lames de pluies mensuelles.

Il est à noter que les sondages sont toujours réalisés vers la fin du mois et ces sondages ne concernent que les trois couches (0-20, 40-60 et 80-100 cm de profondeur) comme déjà précisé dans la partie 3.3.3.4.

Les figures 29 à 40 représentent l'évolution de la CE pour les différentes couches ainsi que la moyenne du pH et de la CE sur le premier mètre du sol pour les sondages : R1, R1".R1*, R1', W3, W3', X1, X3', O3, Y3, Z3 et 1 respectivement.

Quand aux figures 41 au 47 représentent l'évolution de la CE pour les différentes couches ainsi que la moyenne du pH et de la CE sur le premier mètre du sol pour les sondages des deux parcelles du bilan hydrosalin respectivement: B1, B2, B3, H65, H85 dans des parcelles irriguées et H39, H40 dans une parcelle conduite au pluviale.

Ce qu'on peut remarquer pour les figures 29 et 32, c'est que la moyenne du CE et du sur le premier mètre sont relativement constantes du fait que le premier sondage a concerné une culture conduite au pluviale et le second a concerné une culture d'oranger qui doit être maintenue a un degré d'humidité qui ne stresse pas la culture, mais pour la figure 30 et 31, c'est pas le cas. En effet, pour le sondage représenté dans la figure 30, il y a une augmentation de la valeur de CE due au fait que cette parcelle est irriguée en goutte à goutte ce qui favorise l'accumulation des sels dans cette zone après l'arrivée de la période de pluies. Mais ce qui est pour le sondage concernée par la figure 31, on est arrivé à une diminution de la CE d'environ 60% due au fait que cette parcelle a servi à une culture de melon irriguée également en goutte à goutte suivie par une jachère (clé annexe III).

Quand aux autres sondages représentés sur les figures 33 à 44, nous remarquons qu'une diminution de l'ordre de 1/3 jusqu'au 1/2 de la CE max en période d'irrigation est enregistrée en période de pluies (Belouazni et al., 2009 ; Vincent et al., 2010). Et pour le pH, une légère augmentation due aux irrigations est enregistrée sur quelque mois.

Pour les sondages de la parcelle de Boukatai représentés respectivement sur les figures 45, 46 et 47, on assiste à une forte diminution de la valeur de la CE qui atteint des valeurs inférieurs à 1/3 de la valeur initiale notamment pour le sondage B1 installé en amont de la parcelle (clé fig. 18 et 45).

A ce point, il est nettement clair l'effet du drainage, même parfois à moitié fonctionnel (voir Chap III) mais en excès de pluie son rôle devient évident

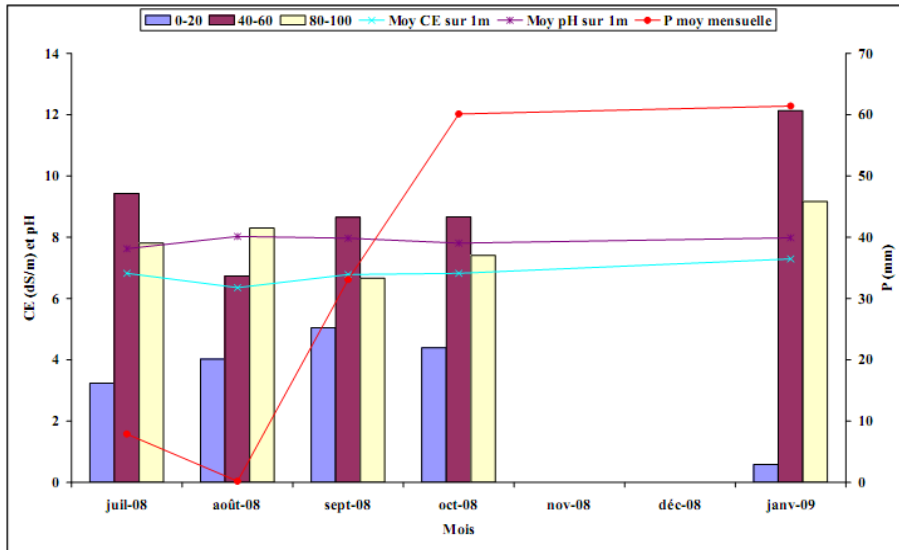


Figure 29: Evolution temporelle du sondage R1.

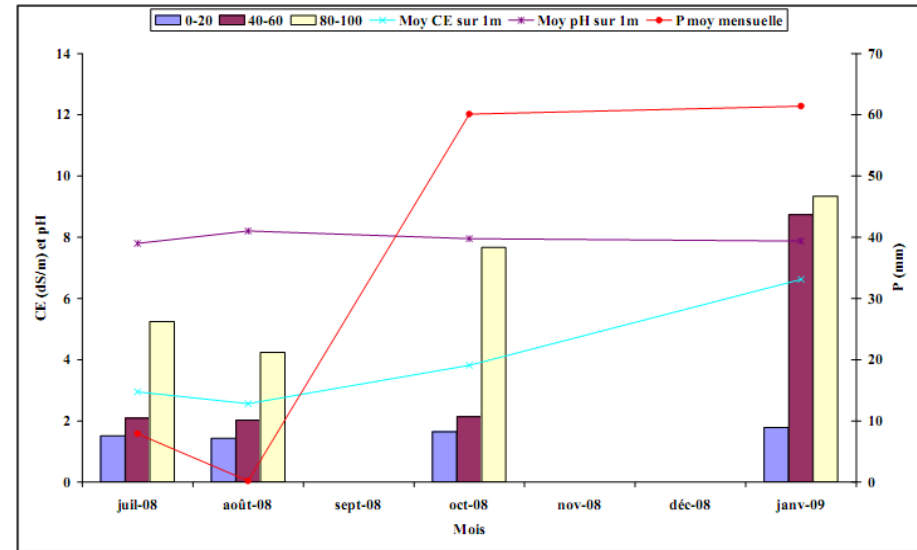


Figure 30: Evolution temporelle du sondage R1''.

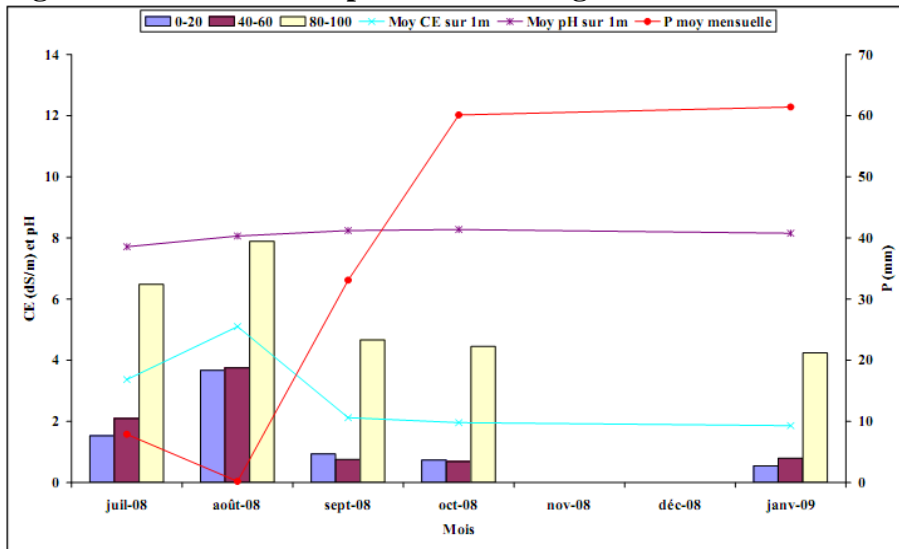


Figure 31: Evolution temporelle du sondage R1*.

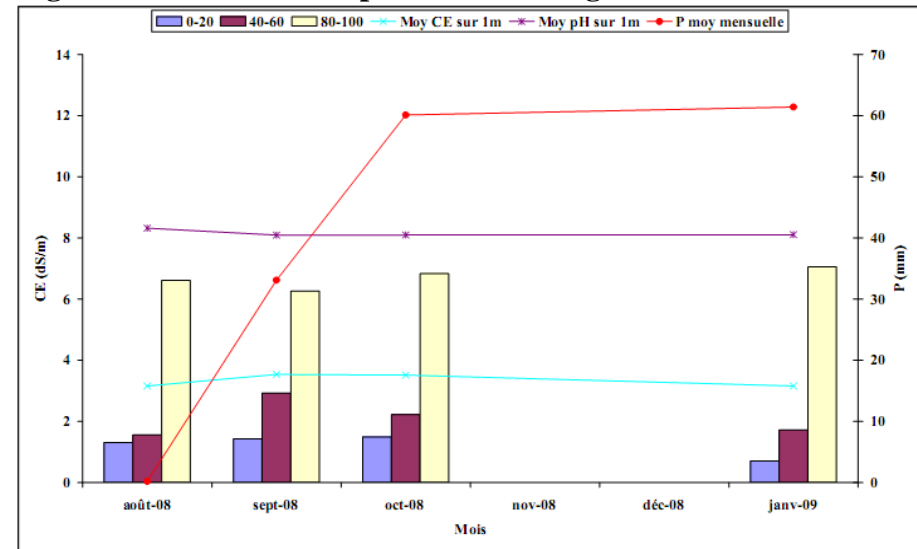


Figure 32: Evolution temporelle du sondage R1'.

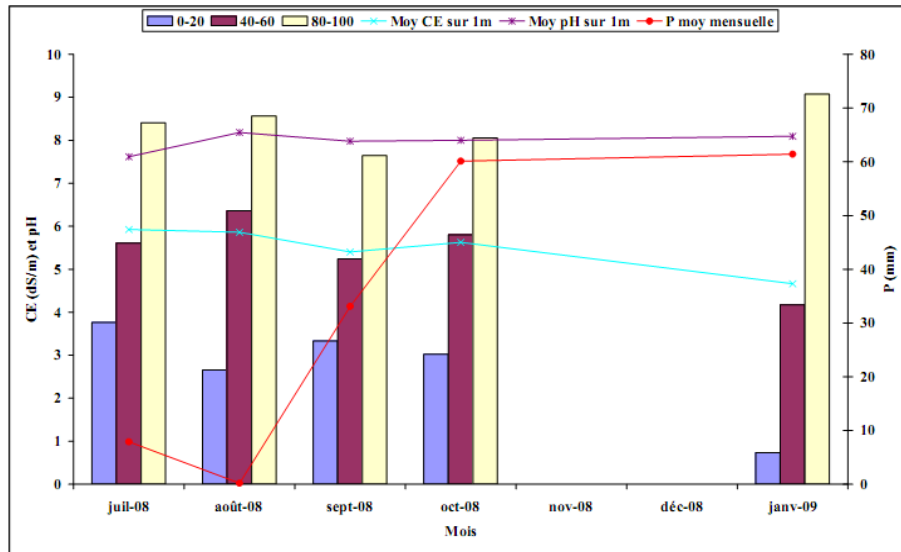


Figure 33: Evolution temporelle du sondage W3.

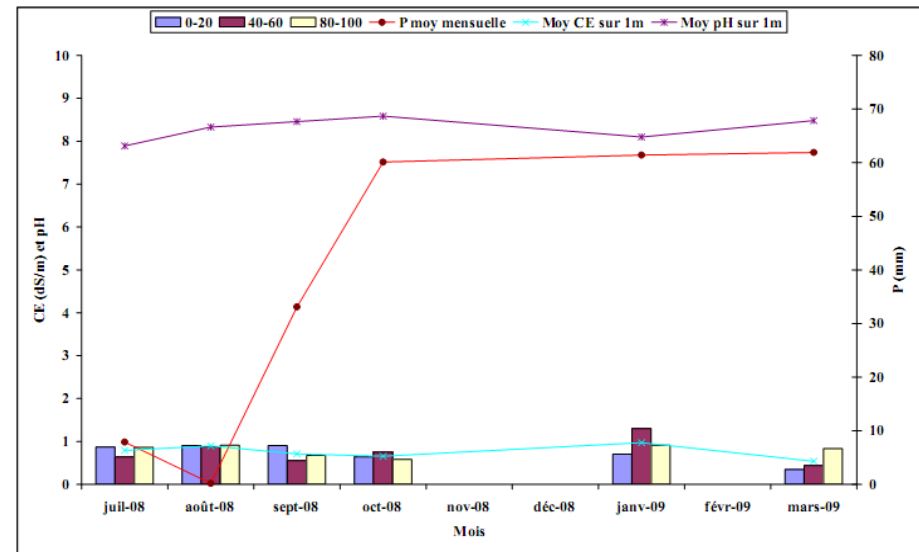


Figure 34: Evolution temporelle du sondage W3'.

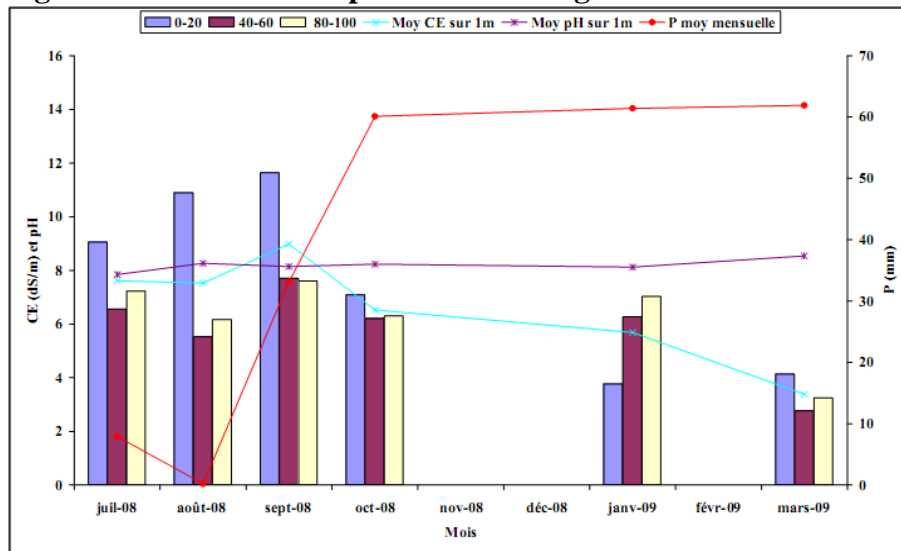


Figure 35: Evolution temporelle du sondage X1.

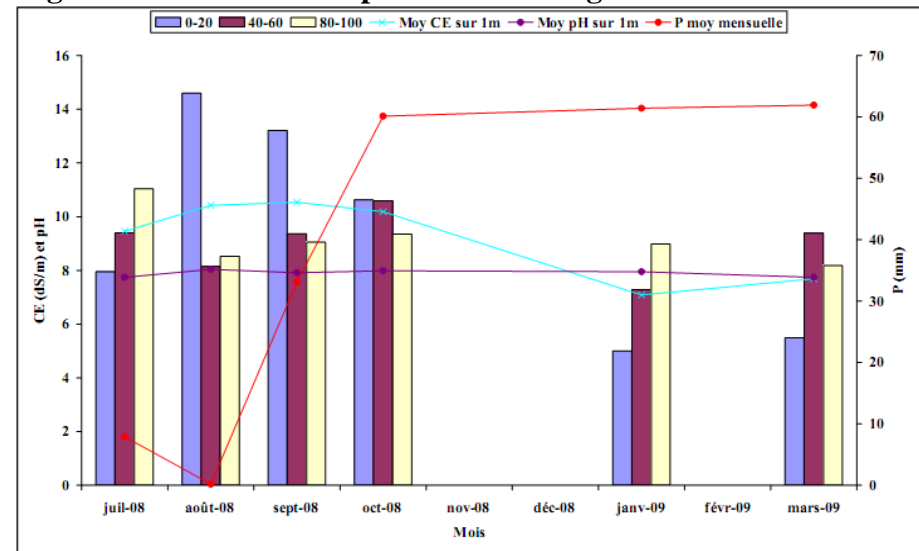


Figure 36: Evolution temporelle du sondage X3'.

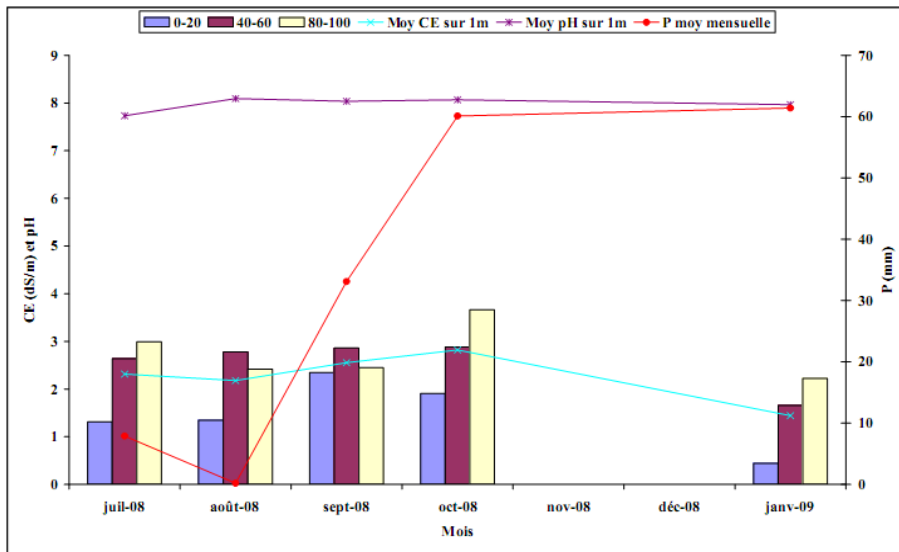


Figure 37: Evolution temporelle du sondage O3.

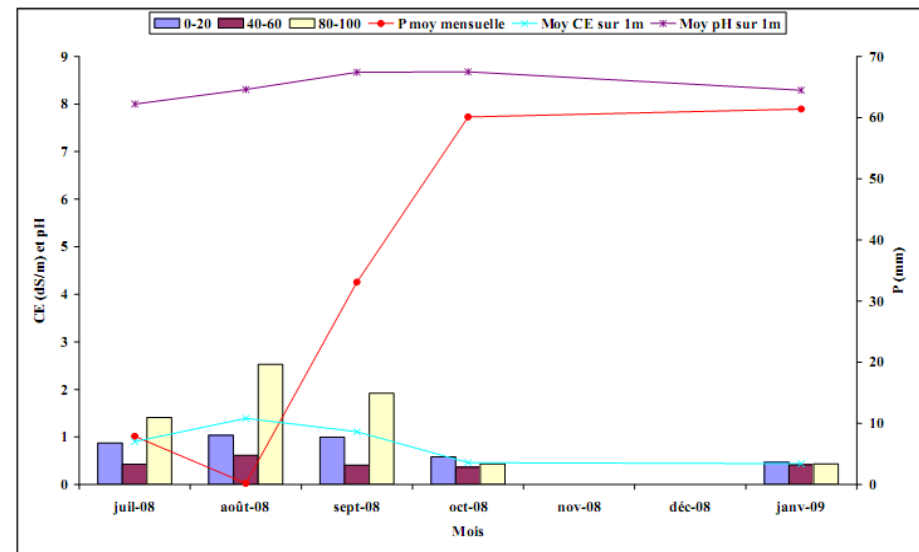


Figure 38: Evolution temporelle du sondage Y3.

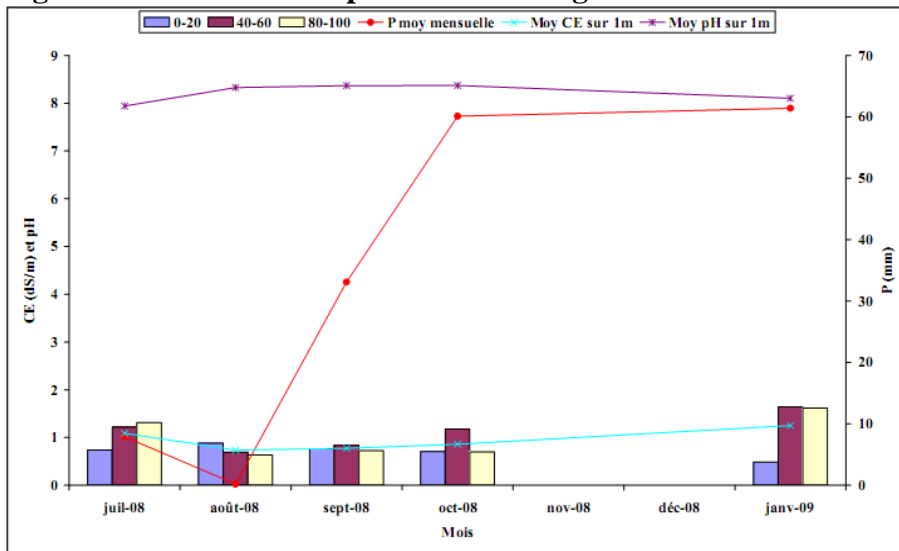


Figure 39: Evolution temporelle du sondage Z3.

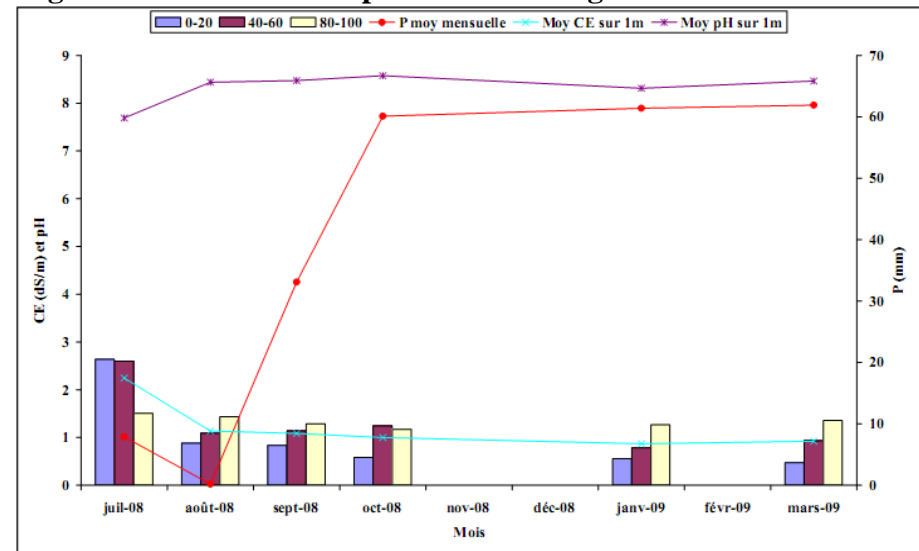


Figure 40: Evolution temporelle du sondage 1.

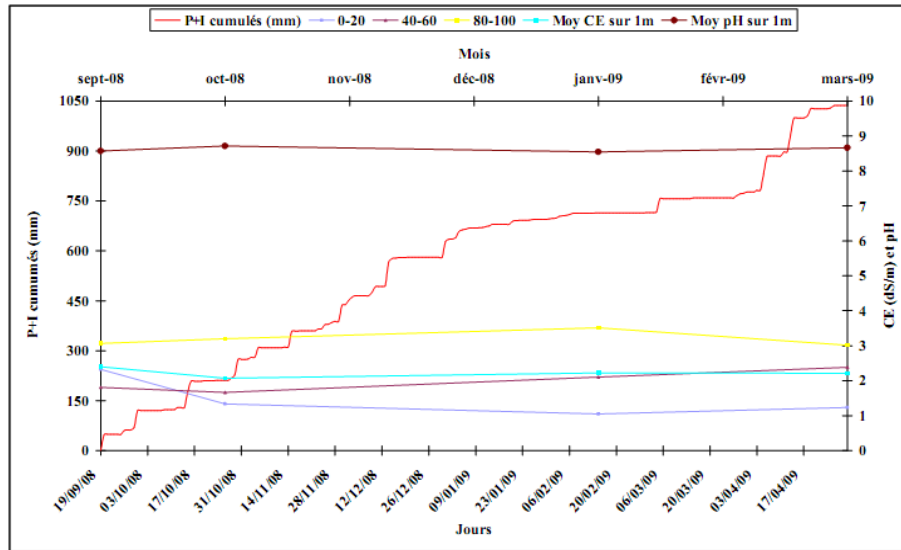


Figure 41: Evolution temporelle du sondage H65.

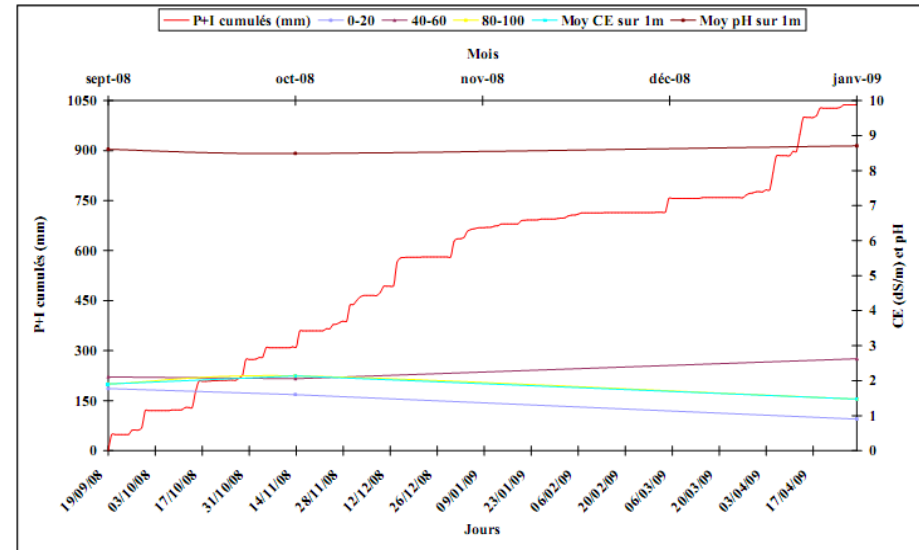


Figure 42: Evolution temporelle du sondage H85.

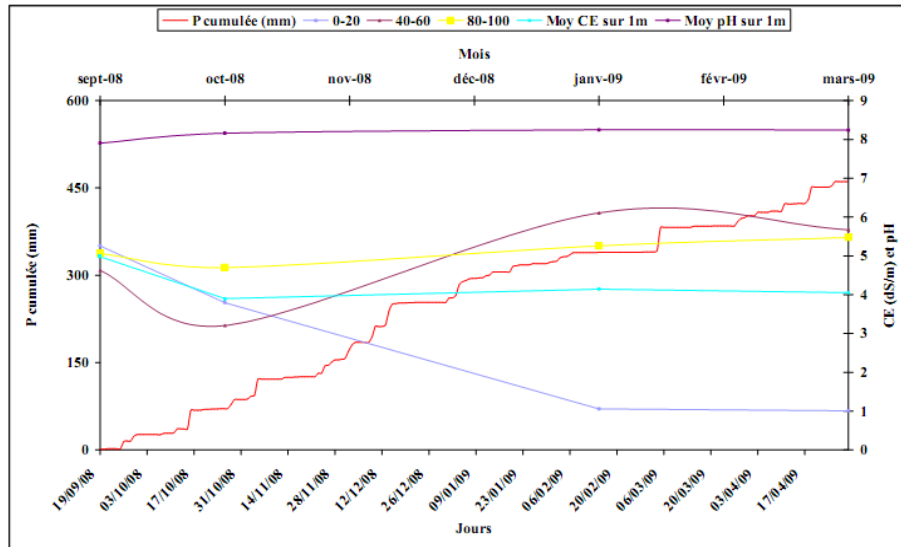


Figure 43: Evolution temporelle du sondage H39.

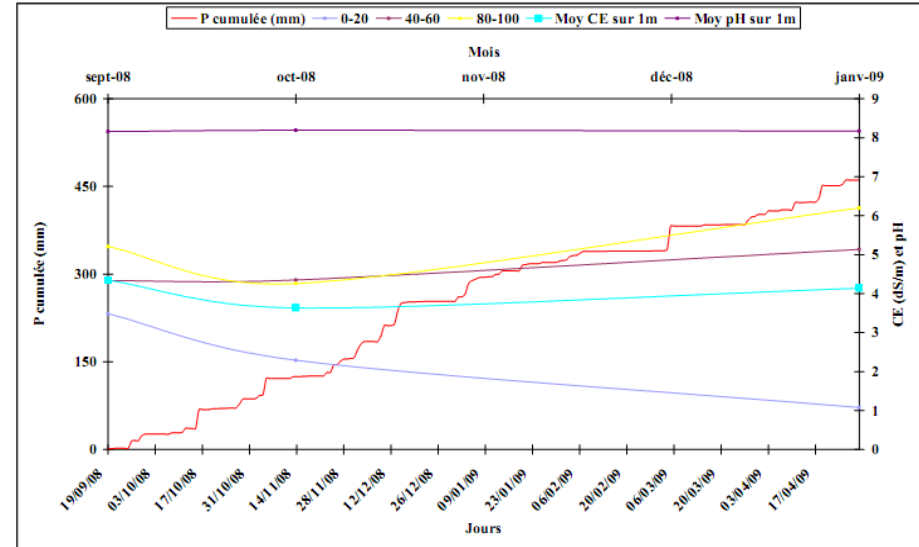


Figure 44: Evolution temporelle du sondage H40.

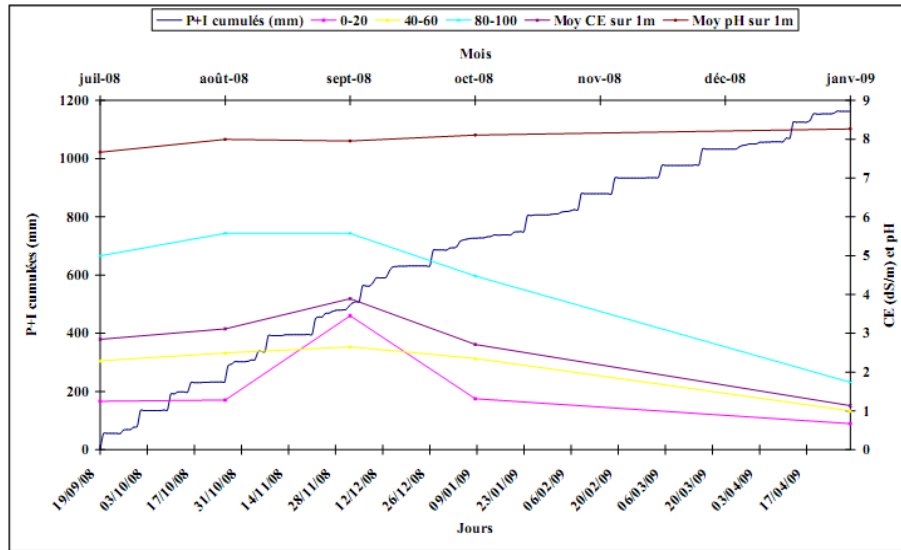


Figure 45: Evolution temporelle du sondage B1.

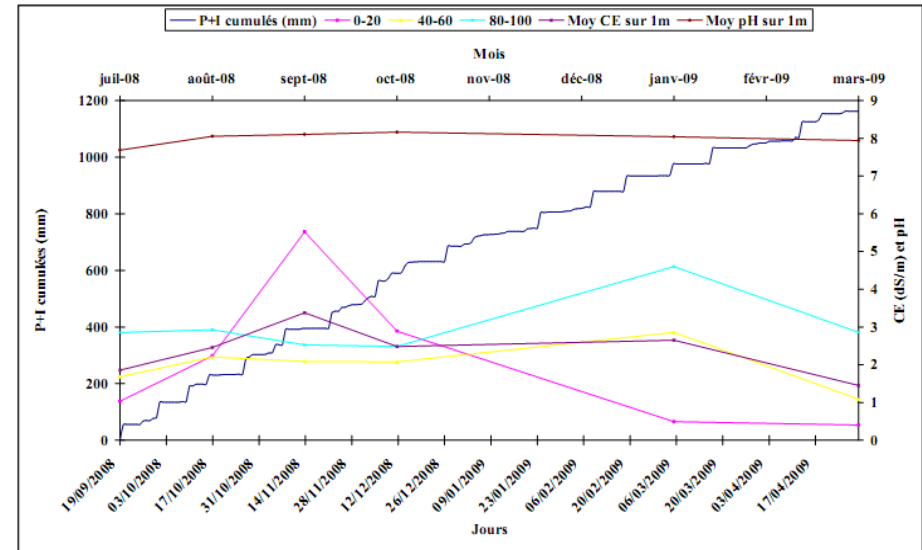


Figure 46: Evolution temporelle du sondage B2.

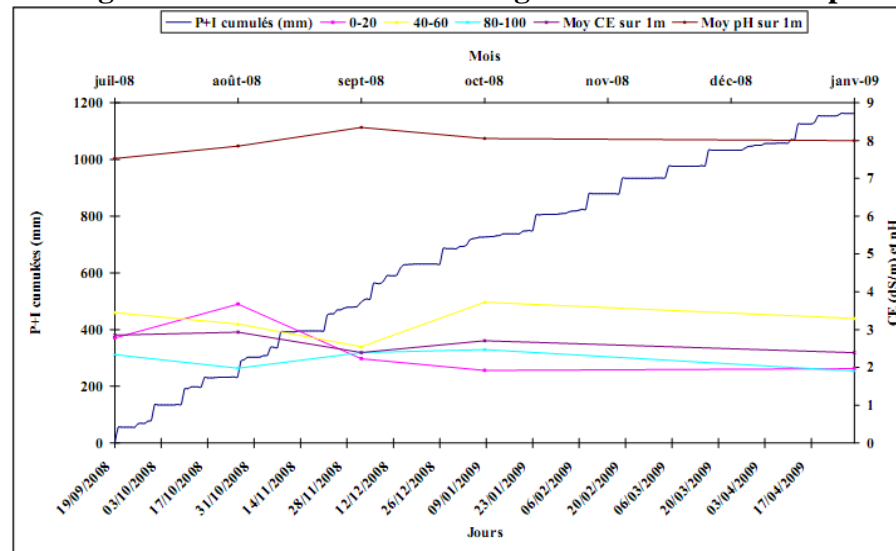


Figure 47: Evolution temporelle du sondage B3.

5.2. Nature des sels

Dans cette partie, nous étudions les sels précisés dans le tableau 9. Les figures suivantes représentent les boxplots des statistiques descriptives des deux campagnes utilisées.

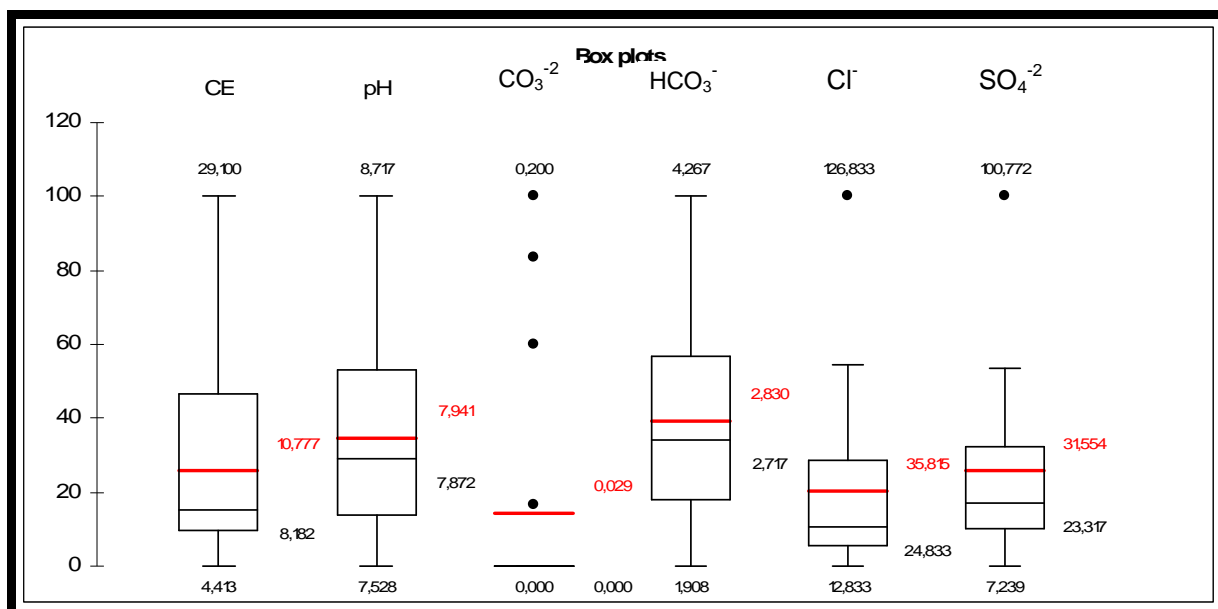


Figure 48 : Boxplots des statistiques descriptives de la première campagne de suivi.

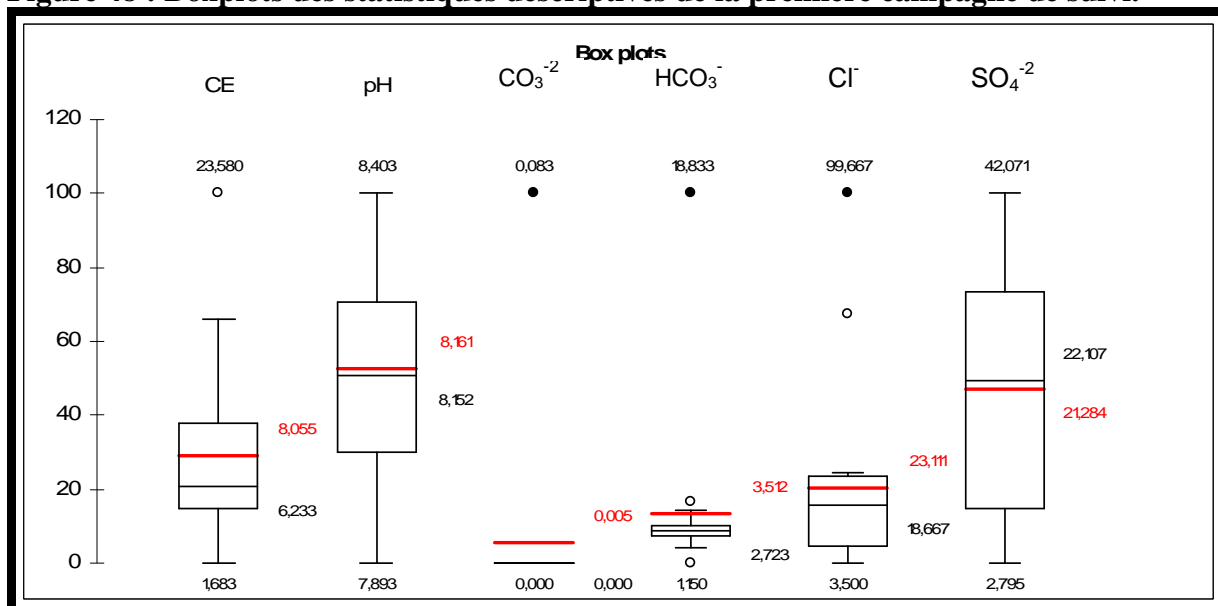


Figure 49 : Boxplots des statistiques descriptives de la cinquième campagne de suivi

On peut remarquer qu'il y a une nette diminution sur l'ensemble des paramètres dans tous les sondage et ce sur les deux campagnes (1 et 5) avec une légère augmentation dans les max des bicarbonates et des sulfates due principalement aux accumulations suite aux irrigations suivant la nature des eaux (ces eaux sont surtout Bicarbonatées - sulfatées).

Par la suite, nous allons comparer entre la concentration de chaque élément pour la première et la cinquième campagne d'échantillonnage. Pour cela, une comparaison de k échantillons appariés (test de Friedman) est présentée dans les tableaux suivants.

Tableau 16 : Comparaison multiple des échantillons appariés (test de Friedman) entre la première et la cinquième campagne

Test de Friedman : le Q de Friedman a été calculé en tenant compte des ex æquo

Ex æquo : pour chaque variable, un individu se voit attribuer le rang de sa valeur par rapport à l'ordre croissant de l'ensemble des valeurs. Le rang des individus ex æquo est calculé comme la moyenne de leurs rangs initiaux, ou bien comme le rang de leur valeur commune.

O (valeur observée)	434.202
Q (valeur critique)	19,675
ddl	11
p-value unilatérale	< 0,0001
Alpha	0,05

Remarque : le premier mode de traitement des individus ex æquo décrit est le seul qui soit valide pour effectuer des tests statistiques (par exemple, tester la corrélation entre deux variables).

Le Q de Friedman est distribué comme un Khi^2

Conclusion

Au seuil de signification $\text{Alpha}=0,05$ on peut rejeter l'hypothèse nulle d'absence de différence entre les 12 échantillons. Autrement dit, la différence entre les échantillons est significative.

Tests de comparaisons multiples :

Matrice des comparaisons par paires (différence) :

		Première campagne						Cinquième campagne					
		CE	pH	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CE	pH	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
Première campagne	CE												
	pH	17,000											
	CO ₃ ⁻²	326,500	309,500										
	HCO ₃ ⁻	182,500	165,500	144,000									
	Cl ⁻	194,000	211,000	520,500	376,500								
	SO ₄ ⁻²	112,000	129,000	438,500	294,500	82,000							
Cinquième campagne	CE	109,500	92,500	217,000	73,000	303,500	221,500						
	pH	18,000	35,000	344,500	200,500	176,000	94,000	127,500					
	CO ₃ ⁻²	331,500	314,500	5,000	149,000	525,500	443,500	222,000	349,500				
	HCO ₃ ⁻	166,500	149,500	160,000	16,000	360,500	278,500	57,000	184,500	165,000			
	Cl ⁻	44,500	61,500	371,000	227,000	149,500	67,500	154,000	26,500	376,000	211,000		
	SO ₄ ⁻²	57,000	74,000	383,500	239,500	137,000	55,000	166,500	39,000	388,500	223,500	12,500	0,000

Valeur critique pour la différence 126,193 autrement dit si ça dépasse il y a une différence significative

Matrice des comparaisons par paires (conclusion) :

		Première campagne						Cinquième campagne					
		CE	pH	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CE	pH	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
Première campagne	CE												
	pH	NS											
	CO ₃ ⁻²	×	×										
	HCO ₃ ⁻	×	×	×									
	Cl ⁻	×	×	×	×								
	SO ₄ ⁻²	NS	×	×	×	NS							
Cinquième campagne	CE	NS	NS	×	NS	×	×						
	pH	NS	NS	×	×	×	NS	×					
	CO ₃ ⁻²	×	×	NS	×	×	×	×	×				
	HCO ₃ ⁻	×	×	×	NS	×	×	NS	×	×			
	Cl ⁻	NS	NS	×	×	×	NS	×	NS	×	×		
	SO ₄ ⁻²	NS	NS	×	×	×	NS	×	NS	×	×	NS	

Autrement dit ceux qui ont une différence non significative, sont linéairement dépendant entre eux.

Egalement l'analyse en composantes principales avec l'option de varimax des deux campagnes révèle des résultats non négligeables.

Pour ce qui est de la 5^{ème} campagne, la corrélation est négative entre le pH et la CE du fait de la diminution de cette dernière révèle une augmentation du pH, ceci peut être dit également pour la pH et les chlorures du fait que les deux CE et chlorures sont corrélés entre eux. Ces résultats sont représentés sur le tableau 17 et la figure 50.

Tableau 17 : Résumé des résultats d'ACP des deux campagnes

Matrice de corrélation :

	1 ^{ère} campagne						5 ^{ème} campagne					
	CE	pH	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	CE	pH	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²
CE	1	-0,130	-0,253	0,019	0,971	0,302	1	-0,678	-0,057	-0,425	0,927	0,593
pH	-0,130	1	-0,337	-0,091	-0,126	-0,035	-0,678	1	-0,040	0,119	-0,577	-0,340
CO ₃ ⁻²	-0,253	-0,337	1	-0,578	-0,299	0,074	-0,057	-0,040	1	-0,056	0,032	-0,270
HCO ₃ ⁻	0,019	-0,091	-0,578	1	-0,001	-0,262	-0,425	0,119	-0,056	1	-0,320	-0,447
Cl ⁻	0,971	-0,126	-0,299	-0,001	1	0,287	0,927	-0,577	0,032	-0,320	1	0,316
SO ₄ ⁻²	0,302	-0,035	0,074	-0,262	0,287	1	0,593	-0,340	-0,270	-0,447	0,316	1

Coordonnées des variables après rotation Varimax

	1 ^{ère} campagne		5 ^{ème} campagne	
	F1	F2	F1	F2
CE	0,966	0,033	0,957	-0,189
pH	-0,156	0,329	-0,777	-0,071
CO ₃ ⁻²	-0,305	-0,861	0,156	0,844
HCO ₃ ⁻	0,007	0,818	-0,476	0,308
Cl ⁻	0,968	0,051	0,900	0,022
SO ₄ ⁻²	0,482	-0,433	0,523	-0,671

D'après ce tableau, on peut voir qu'en 1^{er} campagne, on a nettement deux groupes contribuant différemment dans l'ensemble des paramètres, le groupe 1 sur l'axe F1 peut être appelé groupe salinité (CE, Cl⁻ et SO₄⁻²), quand au second sur l'axe F2, il peut être dit groupe d'alcalinité (pH, CO₃⁻², HCO₃⁻ et SO₄⁻²) avec une contribution nettement négative des sulfates sur cet axe.

Pour la 5^{ème} campagne, cette état confirme ce qui énoncé un peu plus en avant, c'est-à-dire, sur l'axe F1, trois contribuant positivement (CE, Cl⁻ et SO₄⁻² : salinité) et deux

négativement (pH et HCO_3^- : alcalinité), quand au second axe, la présence des sulfates est due peut être à une source différente que de 1^{er} campagne.

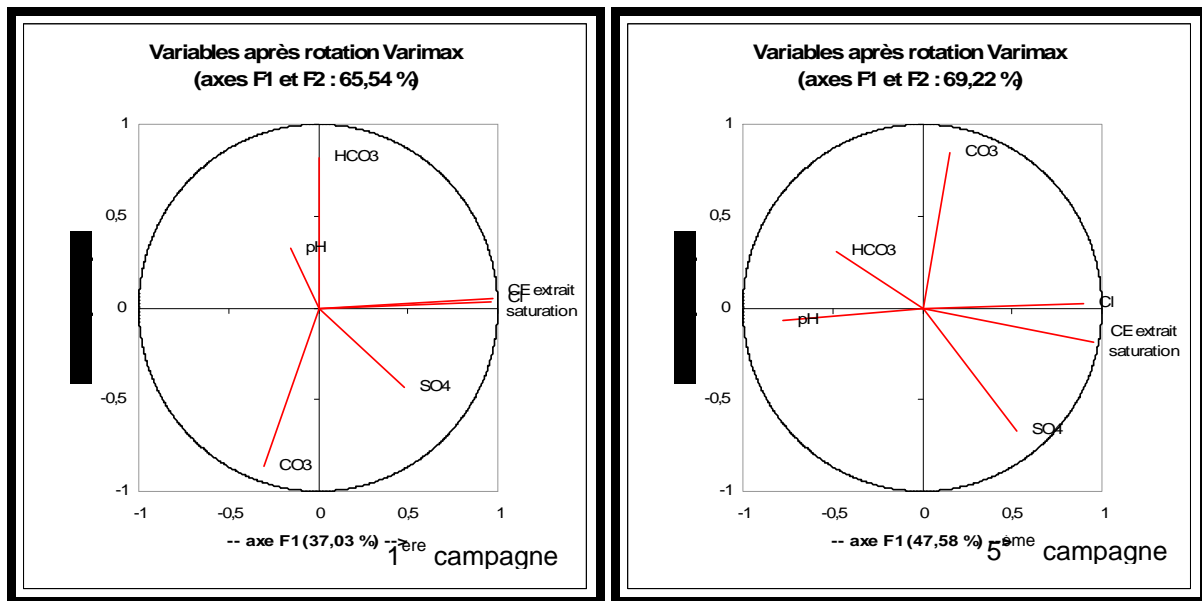


Figure 50 : Cercles de corrélation pour les deux campagnes avec varimax.

5.3. Efficacité du drainage (stock de sels)

A titre d'indication, la comparaison entre les deux sondages B1 et Z3 (tous les deux appartenant au périmètre de Ouarizane, le premier sur une parcelle drainée et le second non drainé) présenté dans qui suit en appliquant la formule décrite dans la partie 3.4 à pour bute de souligner l'effet du drainage dans les conditions de salinité.

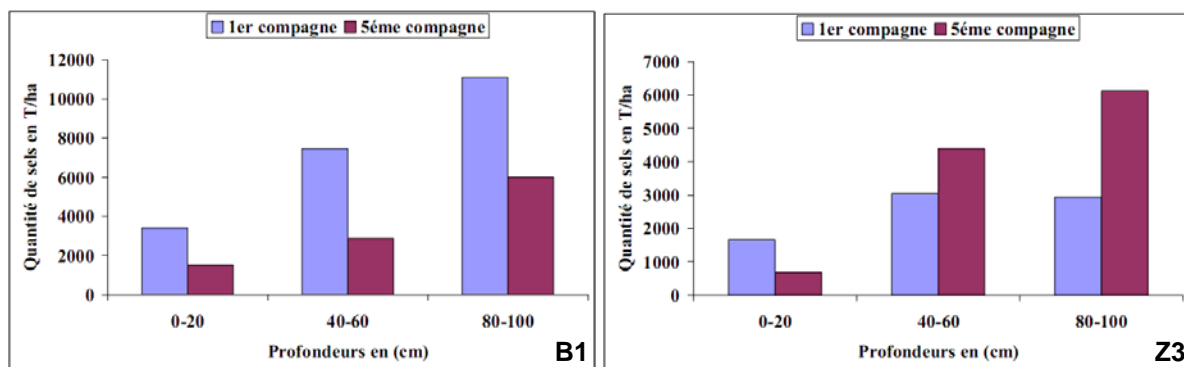


Figure 53 : Comparaison être les stocks de sels dans les deux parcelles.

Il est évident que malgré les différences en stocks de sels dans les deux parcelles, mais celle équipée d'un système de drainage s'est arrivée à évacuer son stocks de sels jusqu'à

la moitié après les pluies qui ont précédé la 5^{ème} campagne, mais ce qui est pour la seconde, les sels sont plutôt cumulés en plus de ceux apportés par irrigation.

Chapitre VI :

*Simulation du bilan
hydrique via modèle
PILOTE*

Chapitre VI. Simulation du bilan hydrique via modèle PILOTE

Dans cette partie on traitera principalement tout ce qui est en relation avec l'évolution des variables climatiques ainsi que l'estimation des bilans hydrique et salin à l'échelle des parcelles préalablement citées (celle de Boukatai et Tarmoule).

6.1. Estimation de l'évaporation et du bilan climatique

Les températures et les humidités utilisées dans ce mémoire sont issues de la station météorologique de Hmadna de l'INRA. Il faut cependant relever qu'en raison de pannes techniques de la station météorologique automatique et du manque de mesure durant le week-end et les jours fériés, un certain nombre de données sont issues par restitution et comblement des vides. Nous avons ainsi utilisé la formule de Penman-Monteith calculée au pas de temps journalier avec des valeurs moyennes journalières des paramètres climatiques: la vitesse du vent, l'humidité de l'air et les maxima et les minima de températures.

La figure 52 présente la variation journalière de l'évaporation de référence E_{To} et du bilan climatique E_{To} -Pluie durant les mois de suivi. Le cumul de l'évapotranspiration durant cette période atteint les 1145,90 mm quand au cumul de pluies on enregistre 483,00 mm ce qui veut dire qu'on a un bilan climatique déficitaire de l'ordre de 662,90 mm (annexe IV). Cet état a conduit les agriculteurs à irriguer leurs exploitations en période de déficit pluviométrique c'est-à-dire principalement en période sèche. Si on se limite à la période de suivi expérimental concernée par la simulation du bilan hydrosalin le bilan climatique serait déficitaire de 19,4 mm (tableau 18).

Tableau 18: Bilans climatiques dans les deux exploitations

Exploitations	Période de simulation	Bilan climatique	P cumulées (mm)	Eto cumulées (mm)	Etat du bilan climatique
Tarmoule	19/09/2008 au 30/04/2009	Sans les irrigations	460,7	480,1	Déficit de 19,4 mm
Boukatai	19/09/2008 au 30/04/2009				

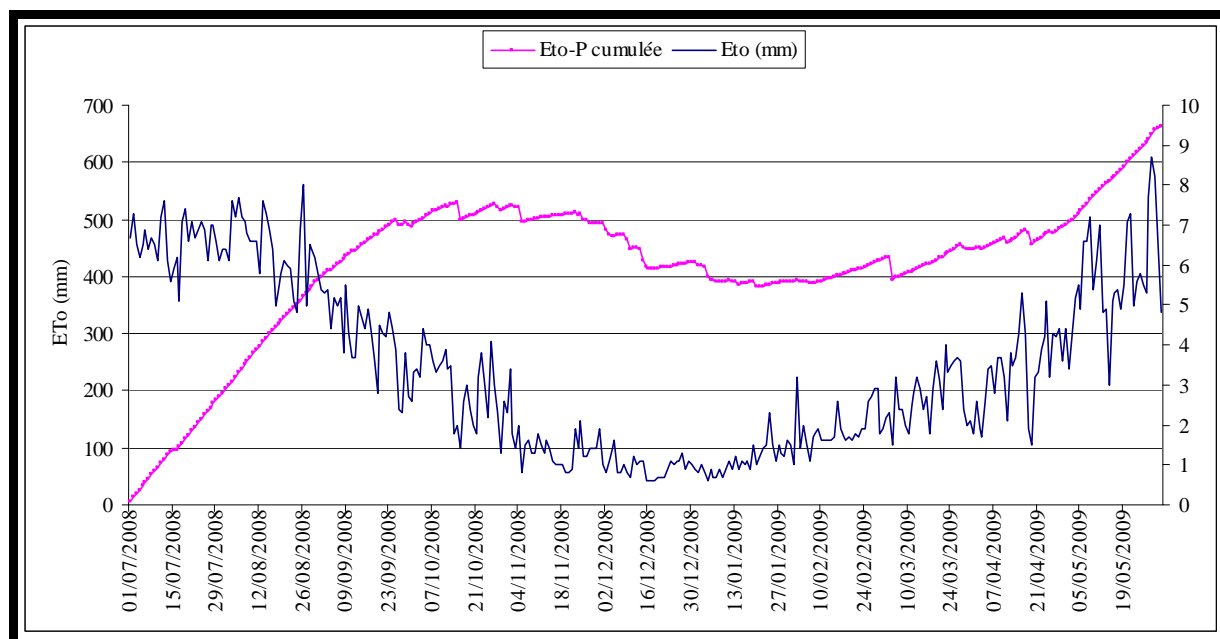


Figure 52 : Variation journalière de l'ETo et du bilan climatique ETo-Pluie pour la période de suivi.

6.2. Les eaux d'irrigation

Le déclenchement des irrigations est fonction des températures, de l'état hydrique des parcelles, des types des cultures et bien sûr de la disponibilité de la ressource en eau et sans oublier l'appréciation de chaque agriculteur qui parfois ne respecte ni les doses ni le calendrier d'irrigation préconisé par les services concernés et se laisse guider par son expérience (priorité de l'eau pour l'arboriculture). En effet, on a enregistré 13 et 12 irrigations chez les deux agriculteurs respectivement (Boukataï et Tarmoule voir annexe V) ce qui fait respectivement un cumul 702 mm et 576 mm (fig. 53 et 54). Ces valeurs seront confrontées plus loin à celles de l'ETo et des lames drainées (simulées par le modèle PILOTE) pour évaluer l'état du bilan hydrique au total.

Il est également important de souligner qu'il existe plusieurs sources d'incertitudes qui ont été identifiées :

1. Les doses d'irrigations mentionnées sont estimées à partir des enquêtes de terrain. Elles comportent néanmoins une marge d'erreur des volumes et ce en raison de la non déclaration systématique de toutes les irrigations par l'agriculteur.

2. Les lames drainées mesurées (clé 5.1.1.3) sont remplacées par celles estimées par celles de PILOTE pour des raisons que nous détaillons plus loin.

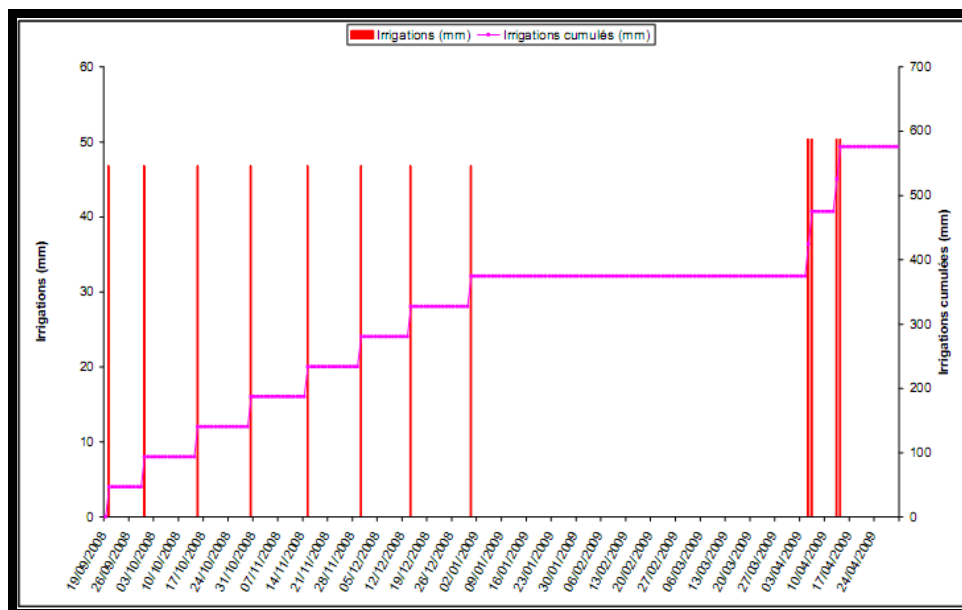


Figure 53 : Evolution de la lame d'eau d'irrigation journalière et cumulée à l'échelle de l'exploitation de Tarmoule.

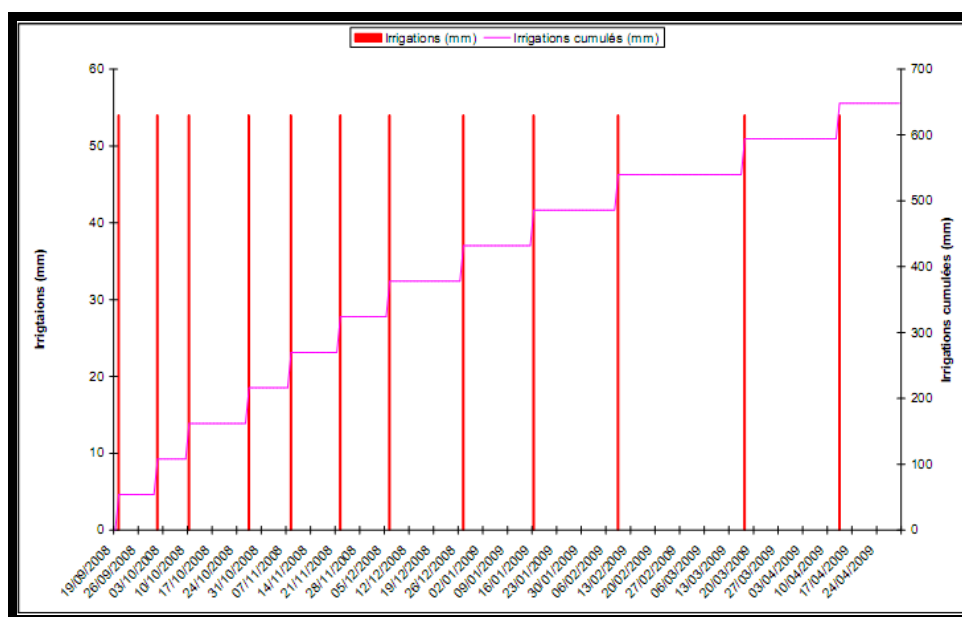


Figure 54 : Evolution des lames d'eau d'irrigation journalière et cumulée à l'échelle de l'exploitation de Boukatai

Au cours de la période de suivi, la CE de l'eau d'irrigation pour les deux exploitations n'a pas vraiment changé d'une façon significative, elle est de l'ordre de 4,66 dS/m pour Boukatai et 5,12 dS/m pour Tarmoule.

6.3. Les eaux de la nappe et du drainage

Les observations de terrain montrent l'existence d'un débit de drainage au cours des épisodes pluvieux de notre essai et le quasi absence de débit pendant les phases d'irrigation. Cette observation suppose un fonctionnement hydraulique du drainage par intermittence en particulier lorsque le sol est humide et que les apports d'eau sont importants. Cependant, les débits de drainage n'ont pu être mesurés de manière rigoureuse particulièrement lorsque ces derniers sont de faible intensité ; ils ne peuvent donc être exploités de manière satisfaisante pour l'établissement du bilan hydrique.

Nous pouvons en revanche émettre une hypothèse que *l'excès de bilan climatique contribue au lessivage des sels dans les deux exploitations* (2/3 de la charge initiale de sels dans le premier mètre est évacuée). Nous tenterons de confirmer cela plus loin dans ce chapitre lors de la simulation du drainage.

6.4. Estimation du drainage par le modèle PILOTE

Les résultats des simulations indiquent une lame d'eau drainée de l'ordre de 150 mm chez Tarmoule et 223 mm chez Boukatai ce qui correspond à un coefficient de restitution du réseau de drainage $Q/(I+P-KcETp)$ de 30 et 34 % respectivement.

6.5. Le bilan hydrique

Une estimation globale des entrées et des sorties en terme d'eau a été faite à l'échelle des parcelles (clé tab 19). D'une part, les cumuls des irrigations et de la pluie (entrées) et, d'autre part, ceux de l'ETP et de la lame drainée dans chaque parcelle en admettant un coefficient cultural moyen Kc de 0,75 et 0,71 de l'artichaut et l'oranger respectivement. Le bilan est donc positif d'environ 598,83 mm pour Boukatai et 526,63 mm pour Tarmoule. C'est-à-dire que les apports d'eau sont globalement supérieurs aux sorties.

Il semble ainsi que le modèle Pilote sous estime les lames d'eau drainées à l'échelle de l'année (débits simulés inférieurs à ceux observés). Ceci s'explique probablement par le manque de précision dans la prise en compte du prélèvement par les plantes : un coefficient cultural (Kc) à l'échelle mensuelle ou décadaire aurait probablement fournit des

valeurs supérieures. Un deuxième facteur qui explique l'écart dans le bilan hydrique est la non vérification de l'hypothèse de variation de stock nul entre le début et la fin de la simulation.

Tableau 19 : Composantes du bilan hydrique dans les parcelles suivies. Période du 19-09-2008 au 30-04-2009

Exploitation	Irrigation + pluie (mm)	Drainage (mm)	ETP (mm)	Kc ETP (mm)
Tarmoule	1036,70	150	480,1	360,075
Boukatai	1162,70	223		340,871

CONCLUSION

La tentative de simuler un bilan hydrique par le modèle Pilote avait pour objectif initial de retrouver les débits mesurés sur le terrain notamment pendant les épisodes pluvieux de notre période d'essai. Nous n'avons pas pu analyser les intensités de débits simulés en raison de la défaillance du dispositif de mesure mais il reste que l'occurrence de nombreux débits a pu être confirmée par nos observations de terrain. L'outil gagnerait donc à être réutilisé dans de meilleures conditions expérimentales.

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'objectif visé par ce travail était d'étudier le bilan hydrique et salin à l'échelle de la parcelle agricole drainée dans la plaine du Bas Chelif. La compréhension des pratiques d'irrigation dans un contexte climatique semi aride combiné à une salinité des sols et des eaux est devenue nécessaire pour cerner le bilan. De plus, une bonne estimation des lames drainées est apparu également comme un sous objectif important de notre contribution. La simulation du bilan hydrique par un modèle agro climatique en était une des solutions.

Nos résultats ont permis d'avancer que les agriculteurs de la région ont une bonne perception de la salinité de leurs sols en surface car proche de celle des spécialistes. Ce constat est cohérent avec la classification vernaculaire où les agriculteurs distinguent avec excellence entre la salinité primaire et secondaire, au point où ils savent très bien que l'irrigation provoque la salinisation des sols. Ils distinguent également entre les sels neutres et les sels sodiques tout en qualifiant la première par l'appellation « sels blancs » et la seconde par « sels noirs ». Ces affirmations en outre sont confirmées par les techniques de gestion de la salinité observées et par la pratique du lâché d'eau de Merdjat de Sidi Abed sur leurs parcelles dès que possible pour provoquer un lessivage. Ces résultats vont dans le même sens que les résultats publiés par Kielen (1996) puis Tabet (1999) au Pakistan et Hassani et al., (2008) dans le Bas Chelif.

L'analyse des résultats montre que les eaux souterraines du Bas-Chélif d'un faciès chloruré sodique dominant sont généralement une qualité médiocre pour l'irrigation. Les taux élevés de sels dissous dépassent en moyenne la valeur critique de la CE retenue par Riverside (1954) et ce pour l'ensemble des parcelles irrigués. Par ailleurs, la confrontation entre les résultats de la première campagne de suivi des parcelles irriguées et celle de la cinquième campagne a montré une diminution importante de tous les paramètres pris en compte. L'action des eaux souterraines ainsi utilisées en irrigation sur la qualité des sols devient plus apparente quand le raisonnement se fait par rapport au premier mètre du sol. La qualité de l'information est alors plus fiable que si on se base sur la mesure de l'horizon superficiel (surtout lorsque les sels se cumulent dans le premier mètre au lieu d'être évacués lorsqu'on a absence de réseau de drainage). Il s'avère donc que les conditions climatiques évaporantes en situation de salinité favorisent l'accumulation des sels lorsque l'eau d'irrigation est riche en sels solubles.

L'étude de l'évolution géochimique des sols irrigués s'avère donc nécessaire pour connaître et prédire l'impact de l'utilisation des eaux dans l'irrigation des sols. Ce type d'évolution a été démontré spatialement dans deux parcelles par le fait que les sols étaient irrigués par des eaux souterraines de qualité médiocre. En outre, le fait d'évacuer 1/2 jusqu'à 2/3 du stock initial de sel en présence d'un réseau de drainage peu fonctionnel mais sous l'effet d'une lame d'eau de pluie non négligeable d'environ 260mm en quatre mois justifie le débat autour du dimensionnement du réseau de drainage qui n'a fonctionné qu'en situation exceptionnelle d'excès de pluie (Belouazni et al., 2009 ; Vincent et al., 2010).

En dernier lieu, la simulation est devenue indispensable à l'étude du phénomène en général surtout lorsque la mesure de quelques paramètres devient inaccessible comme c'était le cas dans notre étude mais qu'elle doit s'appuyer sur un minimum de données expérimentales fiables.

En termes de perspectives, il serait intéressant de faire un suivi de l'évolution structurale des sols touchés par chaque type de salinité étant donné qu'on n'a pas étudié cet aspect. On doit souligner les points suivants :

Améliorer et contrôler les pratiques d'irrigation pour une bonne gestion de la ressource en eau ;

Bien choisir son mode d'irrigation tout en maîtrisant la relation économie d'eau - durabilité de l'agriculture (goutte à goutte au lieu du gravitaire) ;

Revoir les règles de dimensionnement des réseaux de drainage notamment en zone semi-aride pour cela il faut penser à dimensionner les réseaux de drainage non plus pour évacuer l'excès d'eau mais pour lessiver les sels ;

Essayer d'intégrer les agriculteurs dans les politiques de développement et d'aménagement et dans les programmes de réhabilitation étant donné qu'ils sont seuls experts présents au quotidien dans le terrain.

*Références
Bibliographiques*

Références Bibliographiques

- **ABH–CZ., 2002.** Bulletin de la qualité des eaux souterraines des nappes du Chélif Zahez. Ministère des ressources en eau, 19P.
- **ABH–CZ., 2006.** Bulletin de la qualité des eaux souterraines des nappes du Chélif Zahez. Ministère des ressources en eau, 25P.
- **Amichi H., Bazin G., Chehat F., Kuper M., Ducourtieux O., Fusiller F., Hartani T., 2010.** Crise du modèle algérien d'agriculture collective et émergence de nouvelles formes d'exploitations agricoles : opportunité ou menace ? Cahiers agricultures. <http://libbey.fontismedia.com/caa> (sous presse).
- **Amichi H., 2007.** Diagnostic agraire dans la région du Bas-Chélif: Commune d'Ouarizane, Algérie. Master Mondialisation et Dynamiques Rurales Comparées, AgroParisTech, 62p et Annexes.
- **Amichi H., 2008.** L'évolution des systèmes agraires dans le Bas Cheliff : de la décollectivatisation aux nouveaux arrangements. 4ème colloque « économie d'eau en systèmes irrigués au Maghreb ». www.Sirma-eau.net/.
- **Ayers R.S., Westcot D.W., 1988.** La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. 29 Rév. 1, 165 p.
- **Baccini A., Besse P., 2005.** Data mining I : Exploration Statistique, publications du laboratoire de statistique et probabilités, Université de Paul Sabatier Toulouse III, 142p.
- **Bagnouls F., Gausse H., 1953.** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Soc.Hist. Nat. Toulouse., 88, pp193-239.
- **Baize D., 2000.** Guide des analyse en pédologie: choix - expression, présentation – interprétation. Ed : INRA, Paris, 257p.
- **Belouazni A., Hartani T., et Douaoui A.E.K., 2009.** Evaluation de l'impact des pratiques d'irrigation sur le lessivage des sels a l'échelle de la parcelle Application au contexte du Bas Cheliff. Séminaire national sur l'eau et l'environnement. Chlef , 8-9 dec 2009.
- **Benavent C., 2001.** Statistiques descriptives : note pédagogiques, UPPA, 15p.
- **Bernabotto J.M., 2002.** Cours de statistiques d'IUT : Chapitre 1 ; les statistiques descriptives, 43p.
- **Besnier M., 1914.** Le lexique de géographie ancienne. p 207.

- **Bos M.G., Boers M., 1994.** Land Drainage: Why and How? Drainage Principles and Applications. Ed. ICRI (International Institut for Land Reclamation and Improvement). Second Edition, Wageningen (Netherlands), pp 513-531.
- **Bouarfa S., Marlet S., Douaoui A., Hartani T., Mekki I., Ghazouani W., Benaissa I., Vincent B., Hassani F., Kuper M., 2009.** Salinity patterns in irrigation systems: a threat to be demystified, a constraint to be managed: New evidence from Algeria and Tunisia Journal of Irrigation and drainage. Irrig. and Drain. 58: S273–S284 (2009). Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com). DOI: 10.1002/ird.524.
- **Boukli Hacène F., Kasbadji Merzouk N., Loukarfi L., 2007.** Analyse statistique et élaboration d'un atlas éolien de la vallée du Cheliff, Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°4 (2007) 583 – 588.
- **Boulaine J., 1956.** Carte des sols des plaines du Cheliff au 1/50.000e, feuilles 1 à 5. Inspection générale de l'Agriculture du Gouvernement Général de l'Algérie.
- **Boulaine J., 1957.** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'Université d'Alger, 582 p.
- **Chopart J.L., Vauclin M., 1990.** Water balance estimation model: field test and sensitivity analysis. Soil Science Society of America . 54 (5) : 1377-1384.
- **Condom N., 2000.** Analyse et modélisation couplée des processus hydro-géochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger (Mali). Thèse Doctorat ENSA de Montpellier, 240p.
- **CRUESI, 1970.** Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées, 1962-1969. Rapport technique. Projet PNUD/UNESCO, 243 p.
- **De Forges M., 1972.** Irrigation et salinité. Paris: CIHEAM, n. 14, 1972/08: ill. (Options Méditerranéennes), pp 40-45.
- **Douaoui A., Hartani T., 2007.** Qualité des eaux souterraines dans plaine du Bas Cheliff. 3^{ème} Atelier régional scientifique et technique du projet Sirma, 04-07 juin 2007, Nabeul, Tunisie. pp1-25. www.Sirma-eau.net/
- **Douaoui A., Nicolas H., Walter Ch., 2006.** Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. GEODERMA,134 (2006) 217–230.
- **Douaoui A.E.K., 2005.** Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. d'état, INA – Alger, 245P.

- **Durand J. H., 1960.** Contribution à l'étude des sols irrigués. I-L'évolution des sols sous l'influence de l'irrigation. Travaux des sections pédologie et agrologie, bulletin n°6, 13 p.
- **El Oumri M., Vieillefon J., 1983.** Étude expérimentale de la conductivité électrique globale des sols : Application à l'estimation de leur salinité, Cah. O.R.S.T.O.M., str. Pédol., vol. XX, no 2, 1983: 91-108.
- **El Shaer H.M., 2006.** Halophytes as cash crops for animal feeds in arid and semi-arid regions. Ed: Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants, Birkhäuser Verlag/Switzerland, 12p.
- **Favre F., 2000.** Interactions entre oxydoréduction et dynamiques salines dans un vertisol irrigué par submersion. Thèse Doct Es Sciences n° 2132, EPFL, Lausanne, 178p et Annexes.
- **Feddes R.A., Lenslink K.J., 1994.** Evapotranspiration. Drainage Principles and Applications. Ed. ICRI (International Institut for Land Reclamation and Improvement). Second Edition, Wageningen (Netherlands), pp 145-171.
- **Gaucher G., 1947.** Méthodes actuelles d'étude des terrains salés en Afrique du Nord. Conférence de Pédologie Méditerranéenne, AFES, Paris.
- **Gherina S-A., 2007.** Impact de l'utilisation des eaux souterraines dans l'irrigation sur la dégradation des sols de la plaine du Bas Cheliff « apport de la télédétection ». Thèse de magistère, CUKM, Khemis Miliana, 119 P.
- **Girard M-C., 2005.** Sols et environnement : cours, exercices et études de cas 2ème cycle. Ed : Dunod, Paris, p 608.
- **Golmard J.L., Mallet A., Morice V., 2006.** Biostatistiques, PCEM1. Université Paris-VI, 181p.
- **Hartani T., Douaoui A., 2009.** Gestion et perception de la salinité dans la plaine de Ouarizane. Périmètre irrigué du Bas Cheliff (Algérie). Annales de l'Institut National Agronomique. pp1-11. www.ensa.dz/.
- **Hartani T., Douaoui A., Hassani F., 2007.** Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans le périmètre du Bas Cheliff. 3^{ème} Atelier régional scientifique et technique du projet Sirma, 04-07 juin 2007, Nabeul, Tunisie. pp1-5. www.eau-sirma.net/.
- **Hassani F., 2007.** Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Chélif. Cas du sous périmètre de Ouarizane. Thèse de magister, INA, Alger, 59p et Annexes.

- **Helsel, D.R., Hirsch R.M., 2002.** Statistical Methods in Water Resources Techniques of Water Resources Investigations, Book 4, chapter A3. U.S. Geological Survey. 522 pages.
- **Hillel D., 1980.** L'eau et le sol: Principes et processus physiques, Vander, 294p.
- **Hillel D., 2000.** Salinity Management for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics. Environmentally and Socially Sustainable Development: Rural Development. Ed: The international Bank for Reconstruction and Development/ THE WORLD BANK, Washington, 92p.
- **Houk E., Frasier M., Schuck E., 2006.** The agricultural impacts of irrigation induced waterlogging and soil salinity in the Arkansas Basin. Agricultural water management 85 (2006). Ed: Elsevier, 175-183.
- **INRRA., 2009.** Institut Nationale de Recherches Agronomiques Algérienne, Hmadana, Relizaine.
- **Khan M. Ajmal et. Weber D.J., 2006.** Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants. Ed: Springer, Netherlands, 399p.
- **Kielen, N., 1996.** Farmers' perception on salinity and sodicity. A case study into farmers' knowledge of salinity and sodicity, and their strategies and practises to deal with salinity and sodicity in their farming systems. IIMI report n° R-3, Lahore (Pakistan), 65 p.
- **Koryo et al., 2009.** Salinity and water stress improving crop efficiency.
- **Larousse Agricole., 2002.** Ed : Larousse, Paris.
- **Leulmi S., 2006.** Cinétique hydrique et croissance de la culture de blé dur dans la plaine de la Mitija sous contrainte hydrique : Approche par les modèles Pilote et Bilhyna. Thèse de magister, INA, 193p et Aannexes.
- **Mailhol J.C., A. Zaïri A., Slatni B., Nouma H., El Amani., 2004.** Analysis of irrigation systems and irrigation strategies for durum wheat in Tunisia. Agric. Water Manag. (70), 19-37.
- **Mailhol J.C., Olufayo A., Ruelle P., 1997.** Sorghum and sunflower evapotraspiration and yield from simulated leaf area index, Agricultural water Management 35 (1997), 167-182.
- **Mailhol J.C., Revol Ph., Ruelle P., 1996.** PILOTE; An operative Model to identify water stress occurrence dates: Application to Sorghum crop. 16 th International Congress on Irrigation and Drainage (ICID-CIID). 47 th Environnement Models. Cairo International Conference Centre Cairo – Egypt, 15-22 Sep 1996, 209-222p.
- **Maillard J., 2001.** Le point sur l'irrigation et la salinité des sols en zones arides ; risques et recommandations. Handicap International. 34p.

- **Maki., 2005.** Polycopie de cours, partie 3: la variabilité de la pluviométrie, 51p.
- **Maraux F., Lafolie F., Bruckler L., 1998.** Comparison between mecanistic and functional models for estimating soil water balance: deterministic and stochastic approaches. *Agricultural Water Management*, 38: 1-20.
- **Marlet S., 1996.** Alcalinisation des sols dans la vallée du fleuve Niger. Modélisation des mécanismes physico-chimiques et évolution des sols sous irrigation. Thèse Doctorat. ENSAM, Montpellier.
- **Marlet S., 2004.** Evolution des systèmes d'irrigation et de gestion de la salinité des terres irriguées. Acte du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée projet INCO-WADEMED, Rabat, avril 2004, 6p.
- **Marlet S., et Job J.O., 2006.** Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R, 28p.
- **Massoumi A.M., 1975.** Amélioration d'un sol sale à alcali par utilisation des eaux salées. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XIII, no 314, 1975 : pp227-233.
- **Matheron G., 1963.**Principles of geostatistics. *Econ. Geol.* 58 : 1246-1266.
- **Matheron G., 1965.** Les variables régionalisées et leurs estimations. Ed Masson, Paris. 305p.
- **Mathieu C., Pieltain F., 2003.** Analyse chimique des sols, méthodes choisies. Ed. Tec & Doc, Lavoisier. 388p.
- **McDonald et BNEDER (Bureau National d'Etude pour le Développement Rural), 1990.** Etude de l'avant projet détaillé des extentions de Guerouaou et de Sebkhath Benziane et du réaménagement du Bas Chélif.
- **Meyer L., 1997.** Etude du transport des sels au cours des écoulements et de l'évolution des propriétés physiques du sol au contact de différentes solutions salines. Travail pratique de Diplôme, EFIL (école Polytechnique Fédérale de Lausanne), 40p et Annexes.
- **N.R.C., 1993.** Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. Ed: ACADEMY PRESS Washington, D.C. 516p.
- **Nemeth I., 2001.** Devenir de l'azote sous irrigation gravitaire. Application au cas d'un périmètre irrigué au Mexique. Thèse Doct, université Montpellier II, 214p et Annexes.
- **Olufayo A., 1994.** Caractérisation des réponses du Sorgho grain au déficit hydrique à l'aide d'indicateurs bioclimatiques. Thèse de Doctorat E.N.S.A.R de Renne, 93p.
- **Ozenda P., 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Ed : Edoin, Paris, p431.

- **Payan J.C., Salançon E., 2002.** Utilisation d'un modèle de bilan hydrique comme outil d'aide à la gestion de la contrainte hydrique au vignoble. VIèmes Rencontres Rhodaniennes, évolution des techniques et productions d'AOC en Vallée du Rhône, imp. Institut Rhodanien : 20-29.
- **Peiffer M., 2005.** Paramétrisation du bilan hydrique et établissement des flux d'eau et de nutriments dans des séquences de hêtraies de plaine. Thèse de doctorat ;ENGREF, Paris, 135p et Annexes.
- **Philippeau G., 1986.** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? Ed : ITCF (Institut Technique des Céréales et des Fourages), services des études scientifique, Paris, 63p.
- **Pindard A., 2000.** La relation stress hydrique – rendement du maïs en Bresse : quelle perspective de spatialisation ? Utilisation d'un simulateur de culture (STICS). Mémoire d'ingénieur d'Agronomie, Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon, France, 60p et Annexes.
- **Rabe J., 2009.** Campagne 2009 bilan hydrique : mode d'emploi, Appui technique aux irrigants d'Aquitaine, Chambre d'agriculture Landes, France, 2p.
- **Rietz D.N., Haynes R.J., 2003.** Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry*, doi: 10. 1016/S0038-0717(03)00125-1, pp 843-854.
- **Robert M., 1996.** Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed : Masson, Paris, 244p.
- **Ruellan A., 1966.** Les sols isohumiques subtropicaux au Maroc, Communication au Congrès de Pédologie Méditerranéenne, Madrid, Septembre 1966, 17p.
- **S.O.G.R.E.A.H., 1986.** Etude du schéma directeur des ressources en eau du Cheliff et réaménagement du périmètre du Bas-Chélif, Avant projet détaillé des travaux de rénovation et de renforcement du réseau d'assainissement.
- **Saidi D., Douaoui A., Le Bissonnais Y., Walter C., 1999.** Sensibilité des couches de surface des plaines du Cheliff (Algérie) à la dégradation structurale. *Etude et Gestion des Sols*, 6, 1, 15-25.
- **Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie, typo-litho. Alger.
- **Servant J., 1978.** Salinité dans le sol et les eaux. Caractéristiques et problème d'irrigation -drainage. *Bulletin BRGM*, vol2, n° III.
- **Systat., 2009.** Guide du logiciel ver 10.2, Tom 1, 686p.

- **Tabet D.H., 1999.** Intérêt d'une approche spatiale par suivi de la salinité des sols dans les systèmes irrigués. Cas de la subdivision de Panjab (Pakistan). Thèse Doctorat ENGREF, Montpellier, 435p.
- **U.S.S.L.S. (Unated State Salinity Laboratory Staff), 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, US Department of Agriculture, Handbook n°60, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC, 159p.
- **Umali D.L., 1993.** Irrigation-Induced salinity. A Growing Problem for Development and the Environment. World Bank Technical Paper N 215, Washington, 79p.
- **Urban L., 1997.** Introduction à la production sous serre – l'irrigation fertilisante en culture hors sol, Tome 2, Ed : Lavoisier, Paris, 478p.
- **Valles V et al.,1988.** Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés : Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, no 2, 1988 : pp115-122.
- **Vallés V., 1987.** Etude et modélisation des transferts d'eau et de sel dans un sol argileux. Application au calcul des doses d'irrigation. Mémoire Sciences géologique, université Louis Pasteur, Strasbourg, 79P.
- **Van Hoorn J.W., Van Alphen., J.G., 1994.** Salinity control. Drainage Principles and Applications. Ed. ICRI (International Institut for Land Reclamation and Improvement). Second Edition, Wageningen (Netherlands), pp 553-600.
- **Vilain M., 1999.** Méthodes expérimentales en agronomie : Pratique et analyse. Ed : TEC & DOC, Paris, 329p.
- **Vincent B., Benaissa I., Belouazni A., Taky A., Hammani A., Hartani T., Bouarfa S., 2010.** Drainage design practices in irrigated agriculture; new concepts gained from recent experiences in three countries of Maghreb, North Africa. Accepted to ASABE's 9th International Drainage Symposium.
- **Xiaoqing L et al., 2006.** Ecophysiology of High Salinity Tolerant Plants, Chapter 9: A comparative study on responses of growth and solute composition in halophytes Suaeda salsa and Limonium bicolor to salinity. Ed: Springer, Netherlands, pp135-143.
- **XLSTAT., 2009.** Guide du logiciel XLSAT, disponible sur www.xlstat.com.
- **Yacono, X. 1954.** Colonisation des plaines du Chélif (de Lavignerie au confluent de la Mina), Tome 1, Imprimerie Imbert, Alger.

Annexes

Annexe I. Description du modèle PILOTE.

Cette description est tirée principalement des articles des auteurs qui ont travaillé avec le modèle PILOTE.

Le module sol

Le module sol régit les transferts d'eau au pas de temps journalier (j) au moyen de 3 réservoirs (Figure 1). Le paramètre fondamental de ce modèle est la réserve utile RU exprimée en mm/m. On définit la réserve utile comme la différence entre le stock en eau du sol à la capacité au champ (état du sol après arrêt du drainage) et le stock en eau au point de flétrissement permanent. Le point de flétrissement permanent correspond au stade à partir duquel l'eau n'est plus extractible par la plante. Il est fréquemment assimilé à la teneur en eau à pF 4.2: ($pF = \log_{10}|h|$).

Un réservoir superficiel ($R1$) à profondeur fixe P_s ($P_s = 0.1$ m) gère l'évapotranspiration après un apport d'eau. Il a une capacité maximale $R1_{max} = RU \cdot P_s$. Le réservoir superficiel alimente par drainage ($d1$) le réservoir sous-jacent $R2$

$$d1(j) = \text{Max}\{0 ; R1(j) - R1_{max}\} \quad (1)$$

, évolutif avec l'enracinement dont la profondeur est simulé selon l'expression:

$$Pr(j) = Pr(j-1) + V_r \quad (2)$$

, où V_r est la croissance racinaire en m/jour. Dans un certain nombre des modèles la croissance racinaire est rattachée à la thermique. Dans PILOTE l'accroissement racinaire du jour considéré est calculé sur la base du minimum entre l'accroissement thermique et l'accroissement imposé (en m/j). En système conventionnel le modèle fait en sorte que l'atteinte de la profondeur maximale coïncide avec celle du développement foliaire maximal, la plante à ce stade mobilisant l'énergie disponible à développer de la matière sèche aérienne. Cependant, compte tenu que les conditions de sol (degré de compaction) agissent également sur la progression racinaire il apparaît souhaitable dans certains cas de privilégier l'option permettant de favoriser V_r en m/J (cas de sols très compactés, densité apparente très élevée).

L'enracinement peut atteindre la profondeur maximale P_x . Le paramètre P_x est une caractéristique propre de la culture dans l'hypothèse où le contexte de sol n'impose pas de

limitation physique à l'enracinement (ex: enrochement, nappe, couche très compactée etc.). La croissance racinaire est de type linéaire au delà d'une période de mise en place du système racinaire fixée sur la base d'un cumul thermique. Durant cette période de mise en place, les racines exploitent une profondeur de sol maximale de 0.3 m. Au delà de cette période, l'enracinement évolue de façon plus ou moins linéaire (en fonction de l'option choisie) de 0.3 m à P_x (ou $< P_x$ selon les conditions thermiques).

La progression de l'enracinement peut être stoppée lorsque la teneur en eau du réservoir racinaire passe en dessous d'un certain seuil exprimé en % de la RU. Lorsque les conditions de teneur en eau le permettent, l'enracinement peut se poursuivre à condition de n'avoir pas atteint le début de sénescence. Ce paramètre seuil n'est pas facile à caler sous nos conditions climatiques. Une valeur de 20% de la RU peut être proposée sur la base de simulations effectuées sur le cas du blé dur en Tunisie (Mailhol et al, 2004) où il est assez fréquent que les pluies de la saison i n'assurent pas la recharge en profondeur du profil asséché durant la saison $i-1$.

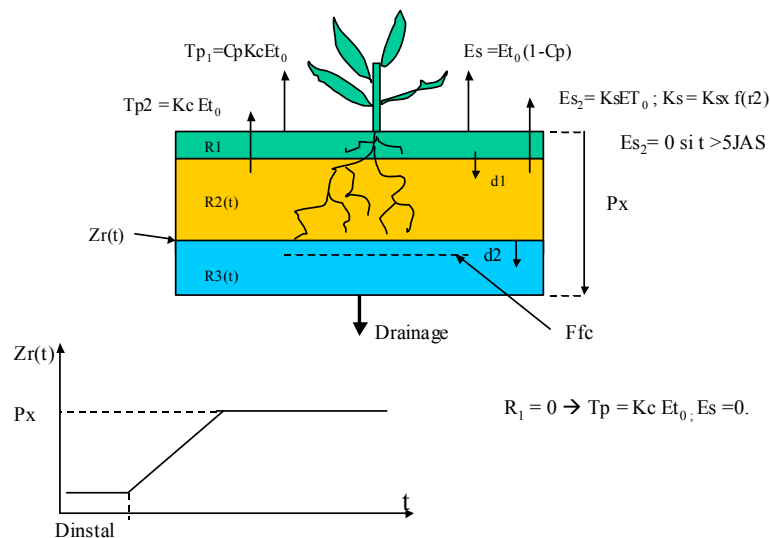


Figure 1 : Schéma de fonctionnement du module sol de PILOTE dans sa version classique

La plante et l'évaporation du sol sollicitent d'abord le premier réservoir qui évolue selon:

$$R_1(t) = R_1(t-1) + P(t) + Irrig(t) - Tp_1(t) - Es(t) - d_1(t) \quad (3)$$

où Tp_1 la transpiration est déterminée à partir de la relation $Tp_1 = CpETM$ avec, l'évapotranspiration maximale : $ETM = KcET_0$, Kc étant le coefficient cultural. On considère

que dans cette couche superficielle, la plante en concurrence avec l'évaporation du sol, peut y prélever sans restriction jusqu'à épuisement de la réserve utile. Le coefficient C_p de partage est fonction du LAI selon : $C_p = 1 - \exp(-0.7LAI)$, l'évaporation du sol E_s devenant alors égale à $(1 - C_p)ET_0$. Le coefficient cultural K_c est calculé à partir du LAI selon $K_c = K_{cmax}[1 - \exp(-LAI)]$, où K_{cmax} est le coefficient cultural maximal du couvert végétal considéré. Sa valeur peut être accessible dans le bulletin FAO (34) mais peut être modifiée selon les conditions locales (effets d'advection plus ou moins prononcés).

A chaque pas de temps, R_2 alimenté par le drainage d_1 du réservoir R_1 ($d_1 = \max\{0, (P_sRU - R_1)\}$, s'accroît de la valeur ΘV_r où V_r est la vitesse de progression racinaire (m/j) et Θ la teneur eau de la couche sous le front racinaire, c'est-à-dire l'humidité volumique moyenne exprimée en mm/m du réservoir R_3 . Le bilan hydrique relatif à ce réservoir s'exprime par la relation :

$$R_2(t) = R_2(t-1) + \Theta V_r - Reste(t) + d_1(t) - d_2(t) \quad (4)$$

Le terme Reste est le complément à prélever (dans R_2) sur le pas de temps considéré pour satisfaire ETM. Lorsque R_1 est vide ($\theta = \theta_{pf}$) la plante puise uniquement dans R_2 selon $Tp_2 = K_c ET_0$. Quant au bilan du réservoir R_3 (durant la phase de croissance racinaire) il s'exprime selon:

$$R_3(t) = R_3(t-1) - \Theta V_r + d_2(t) - D(t) \quad (5)$$

Le drainage D définitivement perdu est quand à lui calculé selon:

$$D = \text{Max}\{0 ; R_{3max} - R_3\} \quad (6)$$

, où $R_{3max} = RU [P_x - Pr(j)]$. On suppose que l'ETR égale l'ETM (évapotranspiration maximale) tant que le premier réservoir R_1 contient de l'eau ou/et que la RFU du réservoir R_2 n'est pas épuisée. Le calcul de l'ETR est fondé sur la réduction linéaire de l'ETM en fonction de la teneur en eau de R_2 . La réduction prend effet lorsque $R_2(t)$ passe en dessous de la valeur seuil $R_s(t) = (1 - K_{ru}).P_r(j).Ru$. Le prélèvement dans le deuxième réservoir s'exprime alors selon :

$$ETR_2 = Tp_2 = TpK_cET_0 \min [1., R_2(t)/R_s(t)] \quad (7)$$

, où K_{ru} le paramètre de Doorenbos et Kassam (1979) égal au rapport RFU/RU.

La profondeur $P_s = 10$ cm a permis, dans différents cas de figures répondant aux conditions précédemment décrites, de simuler de façon satisfaisante la durée de confort hydrique. L'observation de cette durée de confort hydrique précédemment évoquée est basée sur la mesure de la température de surface T_s au moyen du thermomètre infra-rouge dans des conditions d'indice foliaire (LAI) supérieur à $3 \text{ m}^2/\text{m}^2$. Des mesures d'humidité effectuées par la méthode TDR dans la couche superficielle montrent que la teneur en eau de cette couche chute à une valeur critique au bout de 6 jours après apport. On constate le bon accord des différents indicateurs de stress hydrique, méthode aérodynamique, SDD, avec la réponse du modèle PILOTE 1.2 (Mailhol et al., 1996).

L'évaporation du sol est modélisée selon une approche très simplifiée. Elle n'en est cependant pas moins robuste et est en accord avec des théories plus élaborées (Hillel, 1980 chap. 5; in Campbell, 1985, chap.9). Tant que R_1 n'est pas épuisé, le régime d'évaporation est celui imposé par la demande climatique ET_0 , (notons au passage qu'un sol nu peut être plus ou moins enherbé durant l'inter culture). En l'absence de culture ce premier réservoir est donc soumis à ET_0 jusqu'à épuisement. Le réservoir superficiel protège en quelque sorte les couches profondes vis à vis de l'évaporation produisant un effet de mulch. En présence de culture, c'est le premier réservoir qui est sollicité par la plante. En dehors du cycle de culture on considère que l'évaporation peut affecter les couches au-delà de 10 cm lorsque R_1 est épuisé mais de façon limitée. La couche sous-jacente contribue selon $Es_2 = K_{sol} \cdot \exp(-(1 - \square_{R_2}))ET_0$. Dans cette formulation empirique qui exprime la résistance du sol à évaporer, K_{sol} est un paramètre de calage (voisin de 0.3 pour la plupart des sols), l'équivalent d'un coefficient cultural maximal sur sol nu, \square_{R_2} est un fonction témoignant du niveau de remplissage de R_2 : $\square_{R_2} = \text{Min}[1, R_2/RU_2]$. Es_2 peut s'annuler lorsque R_2 est épuisé (atteint \square_{pf}) paramètre.

L'humidité du sol a fait l'objet d'un suivi par la méthode TDR également sur sol nu. Le régime d'évaporation du sol nu demeure proche de celui de l' ET_0 durant les 2 ou 3 premiers jours (pour des sols de RU moyenne) faisant suite à une pluie (selon l'importance de celle ci), atteint des valeurs beaucoup plus faibles 6 jours après pour tendre enfin vers des valeurs négligeables beaucoup plus tard. La modélisation ici est en accord avec les différents stades du processus d'évaporation que propose la littérature (in Hillel, 1980 chap. 5; in Campbell, 1985, chap.9) avec ce phénomène. Durant le cycle de culture l'ETR totale est égale

à $T_{p1} + E_s + T_{p2}$, considérant que l'évaporation du sol E_s se limite durant cette période à celle de la couche de surface (R_1).

Le module plante (calcul du rendement)

L'indice foliaire LAI, est un témoin visible des potentialités productives (quantité de matière sèche) de la plante au cours de sa croissance. Un stress hydrique (ou azoté) momentané induit chez certaines cultures, comme le maïs ou le sorgho, un enroulement des feuilles (Olufayo, 1994), ou un arrêt de son évolution. Celle-ci est peut être décelée lorsque l'on réalise un suivi au moyen d'un appareillage adapté tel que le Pihélios, qui mesure le rayonnement intercepté. La prédiction fiable du rendement requiert nécessairement une simulation satisfaisante du LAI.

La simulation du LAI

PILOTE simule les effets du stress hydrique sur l'indice foliaire. On suppose en outre que tous les facteurs de production autres que l'eau sont à leur optimum. La formulation adoptée pour le LAI intègre la disponibilité en eau pour la plante par le biais d'un indice de stress fonction de l'évapotranspiration relative. Le LAI croît lorsqu'un le seuil d'indice thermique $TT_{(j)}$ est dépassé. Ce seuil correspond à la température de levée. Pour la plus part des grandes cultures il est fixé à 100 ° jours. L'indice thermique est calculé selon l'expression:

$$TT_{(j)} = \sum_{k=1}^{k=j} (T_{moy} - T_b) \quad (8)$$

où T_{moy} est la température moyenne journalière et T_b la température de base (6° pour la plus part des grandes cultures). L'expression du LAI est donnée par:

$$LAI(j) = LAI_{max} \left[\left(\frac{\sum_{k=1}^j TT - ts}{t_m} \right)^{\beta} \exp \left\{ \frac{\beta}{\alpha} \left(1 - \left(\frac{\sum_{k=1}^j TT - ts}{t_m} \right)^{\alpha} \right) \right\} - (1 - stress^{\lambda}) \right] \quad (9)$$

où LAI_{max} est la valeur maximale du LAI pour une culture croissant sous conditions non limitantes (déductible de la littérature ou par la mesure), ts , le cumul de température requis pour l'émergence. Le paramètre t_m représente la somme des températures

nécessaire pour atteindre le LAImax. Sa valeur pour la plupart des cultures, et en particulier pour le maïs, correspond au cumul de températures entre semis et floraison.

Les paramètres α et β sont des paramètres de calage. Le paramètre α permet à la fois de simuler croissance et sénescence. Le modèle assure le passage de $\alpha = \alpha_1$ à $\alpha = \alpha_2$ ($=\square$) lorsque TT dépasse t_m . On a donc en fait 3 paramètres à caler le dernier α_2 , pouvant l'être séparément de α_1 et de $\tilde{\square}$. Une valeur faible de α_2 ($\alpha_2 < \alpha_1 / 30$) permet par exemple de simuler une sénescence lente (cas du maïs). Une procédure de calage automatique a été développée à cet effet. Le paramètre λ est un paramètre empirique traduisant l'aversion de la plante au stress hydrique. La pratique du modèle tend à montrer qu'une valeur constante de 1.25 pour λ peut être adoptée pour les grandes cultures (blé, maïs, soja, tournesol, sorgho,...). L'indice de stress est formulé selon l'expression:

$$stress = \frac{\sum_{j-10}^j Tp}{\sum_{j-10}^j Tpm} \quad (10)$$

où Tp ($= Tp_1 + Tp_2$) est la transpiration réelle et Tpm est la transpiration maximale :

Le calcul du Rendement en matière sèche

Le modèle calcule le rendement final en grain selon l'expression:

$$Ya = Ym \text{ MIN}\{1; LAImoy/LAIopt\} \quad (11)$$

, où Ym est le rendement en conditions non restrictives en eau. $LAImoy$ est le LAI moyen calculé durant une période critique (liée à l'impact du stress hydrique sur le rendement) dont les bornes correspondent à des stades phénologiques définis en sommes de températures (Ts_1, Ts_2).

$$LAImoy = 1/Nj \sum_{Ts_1}^{Ts_2} LAI(j) \quad (12)$$

$LAIopt$ est la valeur optimale que doit avoir le LAI durant cette même période critique pour obtenir le rendement maximal. Pour la plupart des cultures, hormis le tournesol qui a la réputation de mal valoriser l'eau, la valeur de $LAIopt$ est de l'ordre de 90% du

LAI_{max}. Mais cela dépend bien entendu de l'allure même du LAI d'une part et de l'étendue de la période critique d'autre part. En condition d'eau non limitées, le rendement en grain est le produit de la matière sèche aérienne par l'indice de récolte potentiel HI_{pot} et S(j) la rayonnement solaire incident ($J m^{-2}$) dont la somme est calculée depuis la date de semis jusqu'à la date de maturité définie en somme de température T_{mat} (accessible dans la littérature ou mesuré)

$$Y_m = HI_{pot} RUE \sum_{\text{semis}}^{\text{maturité}} S_{(j)} I_{(j)} \quad (13)$$

I_(j) est la fraction de la radiation solaire interceptée (Moussi et Sacki, 1953):

$$I_{(j)} = 1 - e^{-k LAI_{(j)}} \quad (14)$$

avec $k = \min(1.0, 1.43 LAI^{-0.5})$: coefficient d'extinction (Zaffaroni et Schneider, 1989)

RUE ($g MJ^{-1}$) est l'efficience d'interception. Elle représente l'efficience avec laquelle le rayonnement intercepté est utilisé pour fabriquer de la biomasse aérienne. L'évolution au cours du cycle de ce paramètre est difficile à modéliser compte tenu de sa dépendance (mal connue) à de nombreux facteurs (Villalobos et al., 1996). En conséquence il est préférable de proposer une valeur fixe pour ce paramètre voisine de celle atteinte à la maturité. L'approche utilisée ici pour le calcul de Y_m est comparable à celle proposée par Villalobos et al., (1996) et Chapman et al. (1993)

Modélisation de l'indice de récolte HI

La prédiction de l'indice de récolte semble poser des problèmes aux modèles de cultures dont la plupart se fondent sur une évolution de type degrés/jour pour modéliser l'évolution de ce facteur. Cette difficulté est souvent contournée en lui assignant une valeur moyenne souvent proche du HI_{pot}, indice de récolte potentiel, voisin de 0.5 pour bon nombre de grandes cultures. Si cela s'avère satisfaisant pour des cultures dont l'indice de récolte est peu sensible au stress hydrique comme le sorgho et le tournesol (Mailhol et al. 1997c, Cox et Joliff, 1986) il en est tout autrement pour des cultures comme le maïs ou le blé surtout lorsque surviennent des stress hydriques sévères en phase de remplissage du grain. Dans une logique de conformité avec la démarche fondée sur le LAI, on se propose de modéliser HI selon l'expression suivante:

$$HI = \text{Min} [HI_{\text{pot}} ; (HI_{\text{pot}} - a_r (LAI_{\text{st}} - LAI_{\text{moy}}))] \quad (15)$$

où LAI_{st} est la valeur seuil de LAI (moyen calculé sur la période critique) en dessous de laquelle l'indice de récolte décroît linéairement (paramètre a_r) depuis sa valeur potentielle.

Annexe II. Les questions et renseignements principalement recherchés par les enquêtes.

Bilan hydro salin à l'échelle de la parcelle et d'une zone homogène drainée dans la plaine du Bas-Chélif

I. Identification et localisation:

Enquête n°

Nom et prénom

Age Ans

Niveau scolaire

Wilaya

Commune.....

EAI/EAC / Privé /ferme pilote/ station expérimentale

Domaine..... EAC n°

II. Visite du domaine :

- Superficie totale de l'exploitation :..... Ha
 - .pluviale
 - .irriguée. Superficie par technique d'irrigation
- Nombre de parcelles :
- Depuis quand vous le possédiez?
- Qui vous la vendu (qui est l'ancien propriétaire)?
- Est-ce que vous avez des projets de développer ce créneau ? Oui non
- Dans quelle filière ?
- Est que vous compter d'installer d'autres cultures?
- Vous avez combien de sources d'eau d'irrigation?
- Quand vous avez su qu'il avait de l'eau souterraine dans votre domaine?
- Quelle est la profondeur de votre forage ?
- Quel est sont débit (l/s) ?
- Quelle est sa qualité?
- Quelle est la fréquence d'irrigation que vous adaptez?
- Pour combien d'heure?
- Est-ce que vous avez accès au réseau d'irrigation collectif ?oui non
- Si oui, est ce que y'a il eu de l'eau dans le réseau les années précédentes ?oui non
- Depuis quand y'en a plus ?
- Schéma parcellaire Enquête n°.....
- Schéma du dispositif d'irrigation Enquête n°.....

III. parcelle n° Enquête n°

1. pratiques :

- 1- culture annuelle ou pluriannuelle
- 2- culture céréalière
- 3- culture pérenne
 - en croissance
 - en production
- Pourquoi ce choix de cultures sur cette parcelle ?
- Pourquoi ce choix de technique d'irrigation sur cette parcelle (si ce n'est pas du gravitaire)?

P n°	Superficie (ha)	Statut juridique	Culture post indépendance	Culture coloniale

. Nature et salinité du sol

- Quelle est la nature du sol de cette parcelle (nom usuel) ?
- Quelle sont les caractéristiques du sol ? (Couleur, texture, cailloux, profondeur saline, engorgement, perméabilité, fertilité, peu profond,)
- Salinité Forte Moyenne Faible
- Pente Forte Moyenne Faible

. Drainage

- Est ce que cette parcelle est équipée d'un réseau de drainage ? oui non
- Date de réalisation ?
- Qui l'a réalisé ?
- Quel type de drainage ?
 - o à ciel ouvert
 - o souterrain
- si souterrain, à quelle profondeur (drain) ?m
- Quel est l'espace qui sépare les drains? (I^{aire}, II^{aire} et III^{aire})
- Comment qualifier le débit de drainage à la suite de pluies ?
 - Faible
 - Moyen
 - Elevé
- Comment qualifier le débit de drainage à la suite des irrigations ?
 - très faible à inexistant
 - Faible à très faible
 - Moyen
- Vous avez une idée sur le rôle des drains?
- Vous arrive t-il d'entretenir les drains ? oui non
 - si non, Pourquoi pas ?
 - si oui, quelle est la fréquence?
- Pourquoi nettoyer les drains d'après vous?
- Quand vous avez achetée la parcelle, saviez vous qu'elle était drainée?

. Eau :

- Accès a l'eau :

Source	éloignement			Qualité actuelle (salinité)			Perception passée		
	Pas loin	moyen	loin	bonne	Moy salée	salée	Bon	Moy	salée
Pompage oued									
Réseau									
Puit									
Forage									
Drains									
Retenue									
Barrage									

- Quel est votre système d'irrigation? (Mettez une X)

	Avant	Maintenant	Futur
Irrigation par seguia			
Irrigation submersion			
Irrigation par aspersion			
Irrigation au goutte à goutte			
Autre (préciser)			

2. Itinéraire technique et pratiques :

Date	Opération	Labour		Engrais		fumier		amendement		Traitement	
		type	machine	type	dose	Type	dose	type	dose	type	dose

- Quel est le rendement de la culture ?

.Irrigation

- Quelle est la date du démarrage de l'irrigation ?
- Comment vous irriguez votre parcelle ?

Début d'irrigation		Milieu d'irrigation		Fin d'irrigation	
Dose	fréquence	dose	fréquence	dose	

- Pour les brise vent récemment implantés (Cyprès) sont ils irrigués en même temps que la parcelle?
- Vous arrive t-il de donné de l'eau à vos voisins ? oui non
- Si, oui comment? Préciser?

Annexe III : Les grandes lignes des résultats des enquêtes.

Exploitation/Nature juridique	EAC 03	Privée	Privée	Privée	Privée	EAC 06	Privée	EAC 04	Locataire	Privée
Nom chef d'exploitation propriétaire	Boualem Mohamed	Ghreibi Abed	Hitache Abed	Besrir Bouabd el LAH	Hamri Mohamed	Boudia Mohamed	Dr Fodil Ahmed Chaouiki	Hathate Adda	Tarmoule Kheir eldine	Boukatai
Label	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Commune	Ouarizane	Ouarizane	Ouarizane	Ouled Sidi Mihoubé	Djediouia	Ouarizane	Oued Rhio	Ouarizane	Ouled Sidi Mihoubé	Ouarizane
Superficie totale	48 ha	18 ha	15 ha	1 ha	50 ha	60 ha	32 ha	51 ha	60 ha	10 ha
Niveau d'Instruction du chef d'exploitation ou propriétaire	3ème année moyenne+T en agronomie	CEP	Terminal	non instruit	terminal	Mosqué non instruit	Docteur dentiste	non instruit	Terminal	-
Nombre de parcelle	6	8	3	1	-	6	5	3	4 à 5 ha par parcelle	4
Date de possession	1987	Héritage familial	Héritage familial	Héritage familial	1992	1988	1988	1987	1996	2000
Irrigation										
Source d'irrigation	1 forage et l'ONID	2 forage et l'ONID	2 forage et l'ONID	Forage	3 forages et l'ONID	1 forage et l'ONID	1 forage	1forage et l'ONID	1 forage	1forage et l'ONID
Date de réalisation forage	1990	1986	1994	de son voisin	2000	1992	1988	1991	1995	2003
Profondeur (m)	100	110 et 85 m	65m	128	180	60m	140 m	88 m	120 m	50m
Débit	20 l/s	15l/s	20l/s	-	18l/s	10l/s	17l/s	22l/s	19l/s	16l/s
Perception de la salinité d'eau										
Forage (actuelle/passée)	Moyenne/moyenne	Moyenne/moyenne	Moyenne/bonne	Moyenne/Moyenne	Moyenne/Moyenne	Moyenne	Faible/faible	Faible/faible	Moyenne/Moyenne	Moyenne/Moyenne
Barrage et Merdja (actuelle/passée)	Bonne/bonne	Très bonne/très bonne	Bonne/bonne	-	Bonne/bonne	Bonne/bonne	-	Bonne/bonne	Bonne/bonne	Très bonne/très bonne
Fréquence d'irrigation	8 à 15 jours la plus adapté de 8 à 10 jours	1mois	chaque 15 jours	1 semaine à 1à jour	en fonction de la chaleur	15 à 20 jours	chaque jour	15 à 20 jours	20j à 1mois	15-20j et 10j en été
A raison de (durée)	8 à 9 h/ha	d'une à 1,5 semaine par compagne pour la totalité	3 jours d'irrigation pour 6 ha	6 heures	1 semaine pour la parcelle d'olivier	30 h pour le tous	1 h/ha	10h/ha	24h/ha	5h/ha à 30l/s ONID
Historique d'irrigation										
Gravitaire	Avant, Maintenant et au futur	Avant, Maintenant et au futur	Avant, Maintenant et au futur	Avant	Avant, Maintenant et au futur	Avant, Maintenant et au futur	avant	Avant, Maintenant et au futur	Avant, Maintenant et au futur	Avant, Maintenant et au futur
gte à gte	Avant, Maintenant et au futur	non	Avant	Avant, Maintenant et au futur	Avant, Maintenant et au futur	-	Avant, Maintenant et au futur	Futur	Maintenant et au futur	Maintenant et au futur
Autres : par citerne	Avant, Maintenant et au futur	non	-	-	oui	-	non	non	oui	oui
Vous arrive t-il de donné de l'eau à vos voisin	non	non	oui par canal	-	oui par cannal	non	oui	oui	oui	non
Pourquoi?	le manque	le manque	pour la survie de son verger	-	-	le manque	pour la survie de son verger	par cannal	selon ces besoins	-
Sol										
Couleur	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair	Marron clair
Nom usuel sol	N'fil	N'fil e avec du sable vers les 2m de profondeur	T'ferchet	T'farchatte	N'fil	T'farchatte	T'farchatte	T'ferchet avec une couche de 30 cm du sable vers les 60 cm de profunduer	T'ferchet	T'ferchet avec du sable vers les 2m de profondeur
Salinité sol	Moyenne	Moyenne	Faible/élevée	Moyenne	Moyenne/très élevée	Moyenne	Faible	Faible	Elevée/moyenne	Moyenne
Ponte	Moyenne	Faible	Moyenne	Faible	moyenne	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Drainage	à ciel ouvert	à ciel ouvert Réalisé durant la colonisation		non	non	-	non	non	oui Souterrain	oui Souterrain
Eloignement	moyen	pas loin	pas loin	-	-	-	-	-	pas loin	non
Profondeur	3m	-	-	-	-	-	-	-	2,5 m	1,75m
Qualification du débit drainage	Il n'y a pas eu depuis pas male de temps	Non fonctionnel	-	-	-	-	-	-	débit fort après irrigation ou pluies	fort
Rendement (q/ha)	-	-	-	-	-	-	100	-	127	-
Spéculation	Oranger en gravitaire	Oranger en gravitaire	Oranger/olivier en gravitaire	-	Artichaut en gte à gte	Oranger en gravitaire	Artichaut en gte à gte	Blé dur, tendre, orge et avoine en pluviale	Céréales en pluviale	Oranger en gravitaire et gte à gte
	Artichaut en Gte à gte	Grenadier en gravitaire	Poirier/abricotier en gravitaire	Melon en gte à gte	Olivier en gravitaire	Céréales en pluviale	-	Oranger en gravitaire	Pomme de terre/melon/artichaut en gravitaire, gte à gte et aspersion	-+9
Est-ce que vous avez des projets pour développer ce créneau	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
dans quelle filière?	Au dépend de l'état	Maraîchages	Prunier et poirier	Melon	Arbo (olivier)	Céréales	Agrumes	Arbo	Tomate industrielle	Agrumes

Annexe IV : Estimation de l'évaporation et du bilan climatique.

Annexe IV : Estimation de l'évaporation et du bilan climatique.

L'ETo est calculé selon la formule de Penman-Montheith

Date	P(mm)	Eto (mm)	P-Eto	P-Eto cumulée
01/07/08	0,00	6,7	6,7	6,7
02/07/08	0,00	7,3	7,3	14
03/07/08	0,00	6,5	6,5	20,5
04/07/08	0,00	6,2	6,2	26,7
05/07/08	0,00	6,5	6,5	33,2
06/07/08	0,00	6,9	6,9	40,1
07/07/08	0,00	6,4	6,4	46,5
08/07/08	0,00	6,7	6,7	53,2
09/07/08	0,00	6,5	6,5	59,7
10/07/08	0,00	6,1	6,1	65,8
11/07/08	0,00	7,2	7,2	73
12/07/08	0,00	7,6	7,6	80,6
13/07/08	0,00	6,1	6,1	86,7
14/07/08	0,00	5,6	5,6	92,3
15/07/08	2,60	5,9	3,3	95,6
16/07/08	5,20	6,2	1	96,6
17/07/08	0,10	5,1	5	101,6
18/07/08	0,00	7,1	7,1	108,7
19/07/08	0,00	7,4	7,4	116,1
20/07/08	0,00	6,6	6,6	122,7
21/07/08	0,00	7,1	7,1	129,8
22/07/08	0,00	6,7	6,7	136,5
23/07/08	0,00	6,9	6,9	143,4
24/07/08	0,00	7,1	7,1	150,5
25/07/08	0,00	6,9	6,9	157,4
26/07/08	0,00	6,1	6,1	163,5
27/07/08	0,00	7	7	170,5
28/07/08	0,00	7	7	177,5
29/07/08	0,00	6,6	6,6	184,1
30/07/08	0,00	6,1	6,1	190,2
31/07/08	0,00	6,4	6,4	196,6
01/08/08	0,00	6,4	6,4	203
02/08/08	0,00	6,1	6,1	209,1
03/08/08	0,00	7,6	7,6	216,7
04/08/08	0,00	7,2	7,2	223,9
05/08/08	0,00	7,7	7,7	231,6
06/08/08	0,00	7,2	7,2	238,8
07/08/08	0,00	7,1	7,1	245,9
08/08/08	0,00	6,8	6,8	252,7
09/08/08	0,00	6,6	6,6	259,3
10/08/08	0,00	6,6	6,6	265,9
11/08/08	0,00	6,6	6,6	272,5
12/08/08	0,00	5,8	5,8	278,3
13/08/08	0,00	7,6	7,6	285,9
14/08/08	0,00	7,3	7,3	293,2
15/08/08	0,00	6,9	6,9	300,1
16/08/08	0,00	6,4	6,4	306,5
17/08/08	0,00	5	5	311,5
18/08/08	0,00	5,5	5,5	317
19/08/08	0,00	5,8	5,8	322,8
20/08/08	0,00	6,1	6,1	328,9
21/08/08	0,00	6	6	334,9
22/08/08	0,00	5,9	5,9	340,8
23/08/08	0,00	5,1	5,1	345,9
24/08/08	0,00	4,8	4,8	350,7
25/08/08	0,00	6,9	6,9	357,6
26/08/08	0,00	8	8	365,6
27/08/08	0,00	5	5	370,6
28/08/08	0,00	6,5	6,5	377,1
29/08/08	0,00	6,4	6,4	383,5

30/08/08	0,00	6,2	6,2	389,7
31/08/08	0,20	5,8	5,6	395,3
01/09/08	0,00	5,4	5,4	400,7
02/09/08	0,00	5,3	5,3	406
03/09/08	0,00	5,4	5,4	411,4
04/09/08	4,80	4,4	-0,4	411
05/09/08	0,00	5,2	5,2	416,2
06/09/08	0,00	5	5	421,2
07/09/08	0,00	5,2	5,2	426,4
08/09/08	0,00	3,8	3,8	430,2
09/09/08	0,00	5,5	5,5	435,7
10/09/08	0,00	4,3	4,3	440
11/09/08	0,00	3,7	3,7	443,7
12/09/08	2,00	3,7	1,7	445,4
13/09/08	0,00	5	5	450,4
14/09/08	0,00	4,7	4,7	455,1
15/09/08	0,00	4,4	4,4	459,5
16/09/08	0,00	4,9	4,9	464,4
17/09/08	0,00	4,3	4,3	468,7
18/09/08	0,00	3,6	3,6	472,3
19/09/08	0,90	2,8	1,9	474,2
20/09/08	0,00	4,5	4,5	478,7
21/09/08	1,00	4,3	3,3	482
22/09/08	0,00	4,2	4,2	486,2
23/09/08	0,00	4,8	4,8	491
24/09/08	0,00	4,4	4,4	495,4
25/09/08	0,00	3,9	3,9	499,3
26/09/08	12,00	2,4	-9,6	489,7
27/09/08	1,20	2,3	1,1	490,8
28/09/08	0,00	3,8	3,8	494,6
29/09/08	8,20	2,7	-5,5	489,1
30/09/08	3,00	2,6	-0,4	488,7
01/10/08	0,00	3,3	3,3	492
02/10/08	0,00	3,4	3,4	495,4
03/10/08	0,00	3,2	3,2	498,6
04/10/08	0,00	4,4	4,4	503
05/10/08	0,00	4	4	507
06/10/08	0,00	4	4	511
07/10/08	0,00	3,6	3,6	514,6
08/10/08	2,20	3,3	1,1	515,7
09/10/08	0,00	3,5	3,5	519,2
10/10/08	0,00	3,6	3,6	522,8
11/10/08	1,00	3,9	2,9	525,7
12/10/08	6,70	3,4	-3,3	522,4
13/10/08	0,00	3,5	3,5	525,9
14/10/08	0,00	1,8	1,8	527,7
15/10/08	0,00	2	2	529,7
16/10/08	31,80	1,4	-30,4	499,3
17/10/08	0,10	2,6	2,5	501,8
18/10/08	0,00	3	3	504,8
19/10/08	0,20	2,4	2,2	507
20/10/08	1,20	2	0,8	507,8
21/10/08	0,00	1,8	1,8	509,6
22/10/08	0,50	3,2	2,7	512,3
23/10/08	0,00	3,8	3,8	516,1
24/10/08	0,50	3	2,5	518,6
25/10/08	0,40	2,2	1,8	520,4
26/10/08	0,20	4,1	3,9	524,3
27/10/08	0,00	3	3	527,3
28/10/08	6,80	2,3	-4,5	522,8
29/10/08	8,40	1,3	-7,1	515,7

Annexe IV : Estimation de l'évaporation et du bilan climatique.

30/10/08	0,10	2,6	2,5	518,2
31/10/08	0,00	2,3	2,3	520,5
01/11/08	0,00	3,4	3,4	523,9
02/11/08	1,30	1,8	0,5	524,4
03/11/08	4,90	1,4	-3,5	520,9
04/11/08	1,10	2	0,9	521,8
05/11/08	27,70	0,8	-26,9	494,9
06/11/08	0,10	1,5	1,4	496,3
07/11/08	0,00	1,6	1,6	497,9
08/11/08	0,00	1,3	1,3	499,2
09/11/08	0,10	1,3	1,2	500,4
10/11/08	0,10	1,8	1,7	502,1
11/11/08	0,00	1,5	1,5	503,6
12/11/08	0,00	1,3	1,3	504,9
13/11/08	2,70	1,6	-1,1	503,8
14/11/08	0,00	1,4	1,4	505,2
15/11/08	0,00	1,1	1,1	506,3
16/11/08	1,10	1	-0,1	506,2
17/11/08	0,00	1	1	507,2
18/11/08	0,20	1	0,8	508
19/11/08	0,00	0,8	0,8	508,8
20/11/08	0,10	0,8	0,7	509,5
21/11/08	0,00	0,9	0,9	510,4
22/11/08	0,00	1,9	1,9	512,3
23/11/08	6,00	1,4	-4,6	507,7
24/11/08	0,10	2,1	2	509,7
25/11/08	12,60	1,2	-11,4	498,3
26/11/08	1,00	1,2	0,2	498,5
27/11/08	5,40	1,4	-4	494,5
28/11/08	3,70	1,4	-2,3	492,2
29/11/08	0,10	1,4	1,3	493,5
30/11/08	1,10	1,9	0,8	494,3
01/12/08	1,50	1	-0,5	493,8
02/12/08	12,30	0,8	-11,5	482,3
03/12/08	10,20	1,1	-9,1	473,2
04/12/08	4,70	1,4	-3,3	469,9
05/12/08	0,00	1,6	1,6	471,5
06/12/08	0,00	0,8	0,8	472,3
07/12/08	0,00	0,8	0,8	473,1
08/12/08	0,00	1	1	474,1
09/12/08	9,60	0,8	-8,8	465,3
10/12/08	17,70	0,7	-17	448,3
11/12/08	0,10	1,2	1,1	449,4
12/12/08	0,30	1	0,7	450,1
13/12/08	2,40	1,1	-1,3	448,8
14/12/08	22,50	1,1	-21,4	427,4
15/12/08	12,70	0,6	-12,1	415,3
16/12/08	1,20	0,6	-0,6	414,7
17/12/08	1,40	0,6	-0,8	413,9
18/12/08	0,20	0,6	0,4	414,3
19/12/08	0,10	0,7	0,6	414,9
20/12/08	0,20	0,7	0,5	415,4
21/12/08	0,20	0,7	0,5	415,9
22/12/08	0,20	0,9	0,7	416,6
23/12/08	0,00	1,1	1,1	417,7
24/12/08	0,00	1	1	418,7
25/12/08	0,00	1,1	1,1	419,8
26/12/08	0,00	1,1	1,1	420,9
27/12/08	0,00	1,3	1,3	422,2
28/12/08	0,20	0,9	0,7	422,9
29/12/08	0,00	1,1	1,1	424
30/12/08	0,10	1	0,9	424,9
31/12/08	0,00	0,9	0,9	425,8

01/01/09	7,20	0,8	-6,4	419,4
02/01/09	0,50	1	0,5	419,9
03/01/09	4,60	0,8	-3,8	416,1
04/01/09	17,60	0,6	-17	399,1
05/01/09	5,30	0,9	-4,4	394,7
06/01/09	2,20	0,7	-1,5	393,2
07/01/09	2,90	0,7	-2,2	391
08/01/09	0,40	0,9	0,5	391,5
09/01/09	0,20	0,7	0,5	392
10/01/09	1,00	0,9	-0,1	391,9
11/01/09	0,30	1,1	0,8	392,7
12/01/09	3,30	0,9	-2,4	390,3
13/01/09	1,00	1,2	0,2	390,5
14/01/09	5,30	0,9	-4,4	386,1
15/01/09	0,10	1,1	1	387,1
16/01/09	0,00	1	1	388,1
17/01/09	0,10	1,1	1	389,1
18/01/09	0,10	0,9	0,8	389,9
19/01/09	0,20	1,5	1,3	391,2
20/01/09	9,10	1	-8,1	383,1
21/01/09	1,30	1,2	-0,1	383
22/01/09	1,20	1,4	0,2	383,2
23/01/09	0,20	1,5	1,3	384,5
24/01/09	0,00	2,3	2,3	386,8
25/01/09	0,50	1,5	1	387,8
26/01/09	1,90	1,1	-0,8	387
27/01/09	0,00	1,5	1,5	388,5
28/01/09	0,00	1,3	1,3	389,8
29/01/09	0,00	1,2	1,2	391
30/01/09	0,10	1,6	1,5	392,5
31/01/09	2,00	1,5	-0,5	392
01/02/09	1,30	1	-0,3	391,7
02/02/09	0,70	3,2	2,5	394,2
03/02/09	5,50	1,4	-4,1	390,1
04/02/09	2,10	2	-0,1	390
05/02/09	0,40	1,5	1,1	391,1
06/02/09	3,00	1,1	-1,9	389,2
07/02/09	3,70	1,7	-2	387,2
08/02/09	0,00	1,8	1,8	389
09/02/09	0,00	1,9	1,9	390,9
10/02/09	0,00	1,6	1,6	392,5
11/02/09	0,00	1,6	1,6	394,1
12/02/09	0,00	1,6	1,6	395,7
13/02/09	0,10	1,6	1,5	397,2
14/02/09	0,10	1,7	1,6	398,8
15/02/09	0,10	2,6	2,5	401,3
16/02/09	0,00	1,9	1,9	403,2
17/02/09	0,00	1,7	1,7	404,9
18/02/09	0,10	1,6	1,5	406,4
19/02/09	0,00	1,7	1,7	408,1
20/02/09	0,10	1,6	1,5	409,6
21/02/09	0,00	1,8	1,8	411,4
22/02/09	0,00	1,7	1,7	413,1
23/02/09	0,00	1,9	1,9	415
24/02/09	0,00	1,9	1,9	416,9
25/02/09	0,00	2,6	2,6	419,5
26/02/09	0,00	2,7	2,7	422,2
27/02/09	0,00	2,9	2,9	425,1
28/02/09	0,30	2,9	2,6	427,7
01/03/09	0,50	1,8	1,3	429
02/03/09	0,00	1,9	1,9	430,9
03/03/09	0,00	2,2	2,2	433,1
04/03/09	2,40	2,3	-0,1	433

Annexe IV : Estimation de l'évaporation et du bilan climatique.

05/03/09	39,40	1,5	-37,9	395,1
06/03/09	0,10	3,2	3,1	398,2
07/03/09	0,00	2,4	2,4	400,6
08/03/09	0,00	2,4	2,4	403
09/03/09	0,10	2	1,9	404,9
10/03/09	0,00	1,8	1,8	406,7
11/03/09	0,00	2,5	2,5	409,2
12/03/09	0,10	2,8	2,7	411,9
13/03/09	0,00	3,2	3,2	415,1
14/03/09	0,00	2,9	2,9	418
15/03/09	2,10	2,4	0,3	418,3
16/03/09	0,00	2,7	2,7	421
17/03/09	0,00	1,8	1,8	422,8
18/03/09	0,00	2,9	2,9	425,7
19/03/09	0,00	3,6	3,6	429,3
20/03/09	0,00	3,1	3,1	432,4
21/03/09	0,10	2,4	2,3	434,7
22/03/09	0,00	4	4	438,7
23/03/09	0,00	3,3	3,3	442
24/03/09	0,00	3,5	3,5	445,5
25/03/09	0,00	3,6	3,6	449,1
26/03/09	0,00	3,7	3,7	452,8
27/03/09	0,00	3,6	3,6	456,4
28/03/09	7,70	2,4	-5,3	451,1
29/03/09	5,30	2	-3,3	447,8
30/03/09	1,20	2,1	0,9	448,7
31/03/09	3,40	1,8	-1,6	447,1
01/04/09	0,10	2,6	2,5	449,6
02/04/09	0,10	1,9	1,8	451,4
03/04/09	5,80	1,7	-4,1	447,3
04/04/09	0,00	2,5	2,5	449,8
05/04/09	0,10	3,4	3,3	453,1
06/04/09	0,00	3,5	3,5	456,6
07/04/09	1,70	2,8	1,1	457,7
08/04/09	0,00	3,7	3,7	461,4
09/04/09	0,00	3,7	3,7	465,1
10/04/09	0,00	3,2	3,2	468,3
11/04/09	12,50	2,1	-10,4	457,9
12/04/09	0,00	3,8	3,8	461,7
13/04/09	0,00	3,5	3,5	465,2
14/04/09	0,30	3,7	3,4	468,6
15/04/09	0,50	4,3	3,8	472,4
16/04/09	0,00	5,3	5,3	477,7
17/04/09	0,00	4,3	4,3	482
18/04/09	6,70	1,9	-4,8	477,2

19/04/09	21,20	1,5	-19,7	457,5
20/04/09	0,10	3,2	3,1	460,6
21/04/09	0,00	3,3	3,3	463,9
22/04/09	0,10	3,9	3,8	467,7
23/04/09	0,00	4,2	4,2	471,9
24/04/09	0,00	5,1	5,1	477
25/04/09	2,30	3,2	0,9	477,9
26/04/09	7,10	4,3	-2,8	475,1
27/04/09	0,00	4,2	4,2	479,3
28/04/09	0,00	4,4	4,4	483,7
29/04/09	0,00	3,6	3,6	487,3
30/04/09	0,00	4,4	4,4	491,7
01/05/09	0,00	3,4	3,4	495,1
02/05/09	0,00	4,3	4,3	499,4
03/05/09	0,00	5,2	5,2	504,6
04/05/09	0,00	5,5	5,5	510,1
05/05/09	0,00	4,9	4,9	515
06/05/09	0,00	6,6	6,6	521,6
07/05/09	0,00	6,6	6,6	528,2
08/05/09	0,00	7,2	7,2	535,4
09/05/09	0,00	5,4	5,4	540,8
10/05/09	0,00	6,1	6,1	546,9
11/05/09	0,00	7	7	553,9
12/05/09	0,00	4,8	4,8	558,7
13/05/09	0,30	4,9	4,6	563,3
14/05/09	0,20	3	2,8	566,1
15/05/09	0,00	5,1	5,1	571,2
16/05/09	0,00	5,3	5,3	576,5
17/05/09	0,00	5,4	5,4	581,9
18/05/09	0,00	4,9	4,9	586,8
19/05/09	0,00	5,5	5,5	592,3
20/05/09	0,00	7,1	7,1	599,4
21/05/09	0,00	7,3	7,3	606,7
22/05/09	0,00	5	5	611,7
23/05/09	0,00	5,6	5,6	617,3
24/05/09	0,00	5,8	5,8	623,1
25/05/09	0,00	5,5	5,5	628,6
26/05/09	0,00	5,3	5,3	633,9
27/05/09	0,00	7,7	7,7	641,6
28/05/09	0,00	8,7	8,7	650,3
29/05/09	0,00	8,2	8,2	658,5
30/05/09	3,40	6,5	3,1	661,6
31/05/09	3,50	4,8	1,3	662,9
somme	483,00	1145,9	662,9	

Fiche signalétique parcelle Tarmoule

Superficie totale 3,8 ha

Spéculation : artichaut en 2^{ème} année et blé dur

Type d'irrigation : aspersion et gravitaire pour l'artichaut et pluviale pour le blé

Début de suivie pour le calendrier cultural : 19/09/2008

Fin de suivie pour le calendrier cultural : 30/04/2009

Durée : 222 jours

Conduite des irrigations et récoltes :

1-Artichaut :

Superficie cultivée : 1,8 ha

Irrigations	Date	Type	Débit	Durée d'irrigation	Lames en mm
1	20/09/2008	Aspersion	13l/S	18 heures	46,8
2	30/09/2008				46,8
3	15/10/2008				46,8
4	30/10/2008				46,8
5	15/11/2008				46,8
6	30/11/2008				46,8
7	14/12/2008				46,8
8	31/12/2008				46,8
9	13/04/2009	Gravitaire	18l/s	14 heures	50,4
10	14/04/2009				50,4
11	05/04/2009				50,4
12	06/04/2009				50,4
Total	576 mm				

Récoltes : en nombre de 7, soit un rendement de 229q /1.8ha = 127,22 q/ha au total

Récoltes	Date	Rendement total (q)
1	03/02/2009	7
2	27/02/2009	26
3	14/03/2009	42
4	23/03/2009	47
5	10/04/2009	41
6	20/04/2009	37
7	30/04/2009	29
Total		229

2-Blé dur :

Superficie cultivée : 2 ha

Date du semis : 07-11-2008

Irrigation : non

Fiche parcelle Boukatai

Superficie totale 4 ha

Spéculation : oranger

Type d'irrigation : gravitaire

Début de suivie pour le calendrier cultural : 19/09/2008

Fin de suivie pour le calendrier cultural : 30/04/2009

Durée : 222 jours

Conduite des irrigations et récoltes :

1-Artichaut :

Superficie cultivée : 4 ha

Irrigations	Date	Type	Lames en mm
1	20/09/08	Gravitaire	54
2	01/10/08		54
3	10/10/08		54
4	27/10/08		54
5	08/11/08		54
6	22/11/08		54
7	06/12/08		54
8	27/12/08		54
9	16/01/09		54
10	09/02/09		54
11	25/02/09		54
12	17/03/09		54
13	13/04/09		54
Total	702 mm		