

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

optimisation de la pratique d'irrigation par une modélisation simplifiée à l'échelle de la parcelle et propositions de pilotage

Présentée et soutenue publiquement Par :

CHABACA Mohamed Nacer

M. Messahel Pr. Directeur de thèse ENSH Blida

Mme. C. Isbérie Dr. Co. Directrice de thèse CemagrefAix-en-Provence

Le 15 Novembre 2007

Devant le jury composé de : M. A. Aidaoui Pr. Président INA Alger M. B. Mouhouche M.C.
Examineur INA Alger M. T. Hartani M.C. Examineur INA Alger

Table des matières

Dédicace . . .	6
Résumé . . .	7
Abstract . . .	8
ص غ ل م ل ا . . .	9
Avant propos et remerciements . . .	10
INDEX DES ABREVIATIONS . . .	12
INDEX DES CONCEPTS ET DEFINITIONS . . .	13
INTRODUCTION GENERALE . . .	15
PREMIERE PARTIE . . .	19
A/ LES SYSTEMES D'EXPLOITATIONS AGRICOLES EN ALGERIE ET LES MODES D'IRRIGATION PRATIQUES . . .	19
1. INTRODUCTION . . .	19
2. METHODE D'APPROCHE DES SYSTEMES D'EXPLOITATION . . .	19
3. RESULTATS . . .	25
4. CONCLUSION . . .	48
B/ APPROCHE DE L'IRRIGATION GRAVITAIRE TRADITIONNELLE . . .	50
B.1.LES PRATIQUES TRADITIONNELLES EN IRRIGATION ET LES MODES D'APPORT EN EAU . . .	50
1. INTRODUCTION . . .	50
2. ETAT DES LIEUX DE L'IRRIGATION ET DES SUPERFICIES IRRIGUEES . . .	52
3. LES PRATIQUES TRADITIONNELLES EN IRRIGATION GRAVITAIRE . . .	56
4. LES MODES TRADITIONNELS DE CAPTAGE ET DE COLLECTE DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE . . .	62
5. CONCLUSION . . .	94
B2.SUIVI D'UNE CAMPAGNE D'IRRIGATION PAR MICROS RAIES AU NIVEAU DE LA PARCELLE DANS TROIS EXPLOITATIONS AGRICOLES DE LA MITIDJA . . .	94
1. INTRODUCTION . . .	94
2. PRESENTATION DE LA PLAINE DE LA MITIDJA . . .	95
3. PROCEDURES DE DIAGNOSTIC . . .	97
4. CONCLUSION . . .	132
DEUXIEME PARTIE . . .	134
INTRODUCTION . . .	134
A/. L'IRRIGATION GRAVITAIRE MODERNE OU AMELIOREE . . .	135
.1. L'IRRIGATION A LA RAIE . . .	135
2. LA MODERNISATION DE L'IRRIGATION GRAVITAIRE . . .	146
3. LES MODELES D'AIDE A LA DECISION . . .	150
4. EXPERIMENTATIONS EN STATION DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE. . .	154
5. RESULTATS . . .	165
6. APPLICATION DES MODELES AUX ESSAIS MENES DANS LES EXPLOITATIONS PRIVEES ET EN STATION I.N.A. . .	178
7. CONCLUSION . . .	186

B/ RECOMMANDATIONS . .	187
1. INTRODUCTION . .	188
2. AMELIORATION DU MODE D'IRRIGATION PAR MICROS - RAIES . .	188
3. LA TENSIOMETRIE COMME MOYEN D'UNE CONDUITE RATIONNELLE DES IRRIGATIONS . .	200
4. LES MOYENS A METTRE EN ŒUVRE . .	201
5. CONCLUSION . .	204
CONCLUSION GENERALE . .	207
BIBLIOGRAPHIE . .	213
WEBOGRAPHIE . .	219
ANNEXES . .	221
ANNEXE 1 . .	221
ANNEXE 2 . .	221
ANNEXE 3 . .	222
ANNEXE 4 . .	223
ANNEXE 5 . .	224
ANNEXE 6 . .	226
ANNEXE 7 . .	226
ANNEXE 8 . .	229
ANNEXE 9 . .	231
ANNEXE10 . .	231
ANNEXE 11 . .	232
ANNEXE 12 . .	233
ANNEXE 13 . .	234
ANNEXE 14 . .	234
ANNEXE 15 . .	235
ANNEXE 16 . .	239
ANNEXE 17 . .	239
ANNEXE 18 . .	240
ANNEXE 19 . .	240
ANNEXE 20 Suite 1 . .	241
ANNEXE 21 . .	243
ANNEXE 22 . .	245
ANNEXE 23 . .	247
ANNEXE 24 . .	249
ANNEXE 25 . .	249
ANNEXE 26 . .	250
ANNEXE 27 . .	251
ANNEXE 28 . .	252
ANNEXE 29 . .	253
ANNEXE 30 . .	253
ANNEXE 31 . .	254

ANNEXE 32 . .	255
ANNEXE 33 . .	256
ANNEXE 34 . .	257
ANNEXE 35 . .	258
ANNEXE 36 . .	259
ANNEXE 37 . .	269
ANNEXE 38 . .	270
ANNEXE 39 . .	271
ANNEXE 40 . .	272
ANNEXE 41 . .	272
ANNEXE 42 . .	273
ANNEXE 43 . .	273
ANNEXE 44 . .	274
ANNEXE 45 . .	276
ANNEXE 46 . .	277
ANNEXE 47 . .	278
ANNEXE 48 . .	280
ANNEXE 49 . .	283
ANNEXE 50 . .	284
ANNEXE 51 . .	285
ANNEXE 52 . .	288
ANNEXE 53 . .	288

Dédicace

Dédicace A mes filles Hind. et Faten, ma femme Rabèha, mes petits enfants Maria et Manil, et leur papa Amine

Résumé

Le problème du choix entre l'amélioration et la modernisation de la pratique traditionnelle en irrigation gravitaire et le passage à la micro irrigation ou l'aspersion est sujet à débat. Dans le présent travail, nous avons essayé de situer cette pratique traditionnelle (micros-raies de 5 à 10 m et micros-planches de 12 à 30 m²) et son devenir en Algérie, dans un monde agricole en pleine mutation. Nous avons décrit le contexte actuel de l'agriculture en général et celle irriguée en particulier à travers les facteurs climatiques, géographiques, sociaux, économiques, politiques et démographiques. L'agriculture irriguée évolue dans un ensemble de contraintes dues à l'aléa climatique, une demande en eau croissante de la ville et de l'industrie, une population agricole âgée, avec un faible niveau de formation, des exploitations de petites tailles (moins de 10 ha, pour plus de 60% d'entre elles). Ces contraintes freinent le développement des superficies irriguées et l'amélioration des modes d'irrigation. La pratique dominante (gravitaire traditionnel) a été analysée dans quelques exploitations de la plaine de la Mitidja. Elle mobilise une main d'œuvre importante, consacre 10 à 15% de la superficie cultivée au réseau de distribution de l'eau au niveau de la parcelle, a une efficacité hydraulique moyenne (60%), est à l'origine d'une répartition hétérogène de l'eau à l'échelle de la parcelle entre ses parties amont et aval.

Dans l'objectif d'une amélioration de la pratique, puis sa modernisation ensuite, nous avons proposé le passage à des raies de 25 m de long, pouvant ramener le taux d'occupation du sol par le réseau de distribution de l'eau de 15% à 2%, diminuer le temps d'irrigation et la main d'œuvre nécessaire. L'utilisation du modèle numérique Hydrus-2D (Simunek et al., 1996) nous a permis aussi de situer l'importance des pertes par percolation dans les seguias de distribution à l'échelle de la parcelle.

L'utilisation de modèles simplifiés comme Simraie (Mailhol, 2003) nous a permis dans un objectif de modernisation, sur des parcelles devant être planées au préalable, de proposer des longueurs de raies de 180 m adaptées au contexte pédo climatique local, alimentées en eau par des siphons en PVC et assurant une efficacité d'application de 84%, des pertes par percolation de 10%, et utilisant une main d'œuvre réduite, par rapport au mode traditionnel.

Mots-clés : Pratiques d'irrigation ; micros-raie ; irrigation à la raie ; planage ; modèles ; simulation, cultures.

Abstract

The problem of choosing between the improvement and to modernize traditional method of gravitational irrigation and the change to micro irrigation or spraying is subject to debate. In this work, we have tried to compare this traditional method (micro furrow between 5 and 10 m and micro planar area between 12 and 30 m²) and its future in Algeria taking into consideration an agricultural world in the in full changes. We have described the present situation of agriculture in general and the one from the irrigation point of view via several factors namely: climatic, geographic, social, economic, politic and demographic. Irrigated agriculture evolves in a context of several constraints due to the erratic nature of the climate, an increase in water demand for towns and industries, an ageing agriculture population, a poor level of agricultural training, and smaller areas used for that purposes (more that 60% of 10 ha). These constraints slow development of irrigated surface and the improvement of irrigation methods. The main method (traditional gravity irrigation) has been analysed in several farms in the Mitidja valley. This technique requires high labour people very important, takes 10 to 15% of the cultivated area from the water network; has an average hydraulic efficiency (60%) and is responsible for the heterogeneous distribution of water.

In order to improve this technique and to carryon its modernisation, we have proposed to make furrow of 25 m long which can decrease the average of coverage of water from 15% to 2% of the area, to decrease the time of irrigation and the labour necessary. Using the digital Model Hydrus-2D (Simunek & al., 1996) allowed us to locate the losses by percolation at the level of cultivated surface.

Using simplified models like Simraie (Mailhol, 2003), allowed us in the light of context modernisation, on planar area, to propose length of 180 m compatible to local climatic and soil, irrigated with water using PVC reaching efficiency of 84%, losses of 10% and using less labour as compared to the traditional one.

Keywords: practical irrigation; micro furrow; furrow irrigation; planer; modelling; simulation; culture.

ص خ ل م ا

الموضوع . تحسين السقي بالخط التقليدي في الجزائر واقتراحات نموذجية.

الملخص . ان مشكل الاختيار ما بين تحسين و تحديث التطبيق التقليدي الخاص بالسقي الانجذابي و الانتقال الى السقي الصغير او الرش هو موضوع نقاش في العمل الحاضر. حولنا تجربة هذا التطبيق التقليدي (الخطوط الصغيرة) من 5 الى 10 م و الواح صغيرة من 12 الى 30 م(2) و مستقبلها في الجزائر في عالم زراعي في كامل تحولاته. حولنا وصف المسار الحالي للزراعة بصفة عامة و خاصة تلك المسقية من خلال العوامل المناخية و الجغرافية و الاجتماعية و الاقتصادية و السياسية و الديموغرافية. ان الزراعة المسقية تتطور ضمن مجموعة عوائق ناجمة عن المناخ و طلب كبير لخصر الماء من طرف المدينة و الصناعة. و كذا مجتمع زراعي معمر. مع ضعف كبير من خبز التكوين و مستثمرات صغيرة (اقل من 10 هكتارات. لاكثر من 60 منها) هذه العوائق تعمل على كبح تطور المساحات المسقية و تحسين طرق السقي. ان التجربة الاكثر شيوعا (الرش التقليدي) خضعت للتخليد في بعض المستثمرات الناجمة لساحل متيجة فهي تجند يد عاملة لابلس بها . فهي تخصص من 10 الى 15 من المساحة المزروعة لشبكة توزيع الماء على مستوى القطعة بفاعلية مائة بمعدل (60) في الاصل بتوزيع غير منجانس للماء على مستوى القطعة ما بين اجزائها عند المصعد و المهبط. و هذا يندرج ضمن تحسين التجربة مع تحديثها. و اهذا اقتراحنا الانتقال الى خطوط 25 م طولاً. و التي بإمكانها شغل التربة عن طريق شبكة توزيع للماء من 15 الى 2 . و تخفيض لمدى السقي و اليد العاملة الضرورية. ان استعمال النموذج الرقمي

Hydrus 2D (Simunek et al 1996)

سمح لنا بوضع الامة على الخسائر المسجلة على مستوى التوزيع للقطعة. و ان استعمال النمذج العادية مثل

Simraie (Mailhol, 2003)

مع لنا و بهدف التحديث على مستوى قطع مجهزة مسبقا و لاقتراح خطوط طول ل 180 م مكيفة لمسار تربة مناخية محلية مزودة بالماء عن طريق انابيب بلاستيكية مع ضمان تأثير تطبيق بقدر ب 84 للخسائر عن طريق percolation

و التي بقدر ب 10 مع استعمال يد عاملة جد منخفضة بالمقارنة مع النموذج التقليدي

بفاتيح كلمات : تطبيقات السقي، الخط الصغير، السقي بالخط، التحليق، نماذج، نظائر، زراعات.

Avant propos et remerciements

Ce travail a débuté en 1997, il a pu connaître son aboutissement grâce à l'aide de Carole Isbérie, Mekki Messahel et Jean Claude Mailhol.

Il a été réalisé à l'Institut National Agronomique d'Alger, ainsi qu'aux Cemagref d'Aix-en-Provence et de Montpellier (unité UMRG-eau) pour tout ce qui a trait aux aspects discussions et réflexions. Il s'appuie également sur des expérimentations menées dans les stations de l'INA, des diagnostics dans des exploitations agricoles de la plaine de la Mitidja, et des enquêtes au niveau des wilayas en Algérie.

A cet effet, je voudrais remercier Carole Isbérie qui dès les premiers instants où je l'ai sollicité pour me diriger dans ce travail, n'a pas hésité à m'assurer de sa totale disponibilité. Chaque fois que cela pouvait être d'une quelconque utilité, elle organisait des sorties sur terrain chez les agriculteurs Français, ainsi qu'au niveau de la Société du Canal de Provence pour les aspects gestion de l'eau, ou de la station du Merle de l'ENSA de Montpellier pour les aspects expérimentations. Mekki Messahel de l'ENSH Blida qui également a accepté de me diriger, n'a cessé de me conseiller, aider, rappeler à mon travail à chaque fois que nécessaire. Jean Claude Mailhol qui malgré ses charges n'a pas hésité également à me consacrer des journées entières de son temps, au cours desquelles j'ai beaucoup appris en sa compagnie, dans le domaine de la modélisation et ce, à chaque fois que je le sollicitais. Il a fait preuve à mon égard de beaucoup de patience.

Cette disponibilité s'est confirmée tout au long de la réalisation de ce travail.

L'UMRG-eau du Cemagref d'Aix-en-Provence, m'a offert durant mes fréquents séjours, les conditions matérielles et humaines optimales pour mener à bien ce travail. Je remercie tous les membres de l'équipe irrigation, André Tchiftchibachian, Bruno Molle, Jacques Granier, Annie Bordaz, pour leur accueil et leur disponibilité, ainsi que les différents responsables qui m'on reçu lors de mes séjours au Tholonnet, M. Michel Ducrocq comme directeur du centre, Patrice Mériaux comme responsable d'unité, Mireille Richaud de la documentation.

Merci également à l'équipe de Montpellier, où j'ai toujours été bien accueilli.

Merci aussi au Cemagref d'Anthony qui m'a accueilli lors de mon premier stage en 1998, avec Sami Bouarfa, que j'ai retrouvé par la suite avec plaisir, au Cemagref de Montpellier.

Grâce aux différents projets de coopération initiés par Aidaoui Abdellah du département GR-INA, (CMEP INA-PG et INA Alger, WADEMED, SIRMA), j'ai pu parcourir quelques régions agricoles en France (Lot, Languedoc - Roussillon, Durance), en Tunisie (Bas Kairouanais, Basse vallée de la Medjerda), au Maroc (Tadla, Gharb). Cela m'a permis de m'entretenir avec les agriculteurs, les gestionnaires, de découvrir et pouvoir confronter leurs préoccupations à celles de notre agriculture et ainsi d'enrichir le présent travail.

Je remercie Mesdames Fekhar de l'INA, Nouas de l'ENSH Blida qui m'on aidé pour l'anglais.

Je remercie Mahmoudi Mohamed de la DPGR, pour sa contribution à la mise en forme finale du document, les mémorisants de l'INA et de l'ENSH, qui m'on apporté leur aide lors des différentes campagnes de mesures, Edissi Abdelkader responsable du service reprographie de l'INA, pour sa disponibilité et son aide.

Je remercie Monsieur Aidaoui Abdellah, d'avoir accepté la présidence de ce jury et messieurs Mouhouche Brahim et Hartani Tarik d'avoir accepté d'en être membres.

Mes remerciements vont aussi à ma femme et mes enfants, pour leur soutien, leur patience et leur contribution.

INDEX DES ABREVIATIONS

- AEPAdduction d'Eau Potable
- AGIDAgence nationale de réalisation et de Gestion des infrastructures hydrauliques pour l'Irrigation et le Drainage (Ex – AGID)
- ANBAgence Nationale des Barrages
- ANBTAgence Nationale des Barrages et Transferts
- APFAAccession à la Propriété Foncière Agricole
- CNAIDComité National Algérien de l'Irrigation et du Drainage
- DSADirection des Services Agricoles
- DSASIDirection des Statistiques Agricoles et des Systèmes d'Information (Ministère de l'Agriculture)
- EACExploitation Agricole Collective
- EAIExploitation Agricole Individuelle
- EPAEtablissement Public à caractère Administratif
- EPEEntreprise Public à caractère Economique
- EPICEtablissement Public à caractère Industriel et Commercial
- EURLEntreprise Unique à Responsabilité Limitée
- FNRAFond National de la Révolution Agraire
- FNRDAFond National de Régulation du Développement Agricole
- GPIGrands Périmètres Irrigués
- INSIDInstitut National Sols Irrigation Drainage
- MADRMinistère de l'Agriculture et du Développement Rural
- MREMinistère des Ressources en Eau
- PMHPetite et Moyenne Hydraulique
- PNDARPlan National de Développement Agricole et Rural
- ONAOffice National de l'Assainissement
- ONIDOffice National de l'Irrigation et du Drainage
- ONSOOffice National des Statistiques
- OPI Office des Périmètres Irrigués
- RGARecensement Général de l'Agriculture
- RGPHRecensement Général de la Population et de l'Habitat
- SARLSociété à Responsabilité Limitée
- SATSurface Agricole Totale
- SAUSurface Agricole Utile

INDEX DES CONCEPTS ET DEFINITIONS

- **Accession à la propriété privée** :Il s'agit des terres attribuées dans le cadre de l'application de la loi N° 83-18 du 13.08.1983 relative à la mise en valeur des terres, jusque là jamais exploitées.
- **Ceds** :Barrage submersible, fait de terres, de bois et branchages morts, pour arrêter ou dévier les eaux de rivières.
- **Chebka** :Réseau de distribution d'eau, fait le plus souvent de canaux transporteurs en terre.
- **Domaine privé de l'Etat** :Il comprend les ex-terres communales, arch, de la révolution Agraire (ex-FNRA), ainsi que les terres des anciens domaines autogérés (actuellement dénommées EAC, EAI).
- **Domaine public de l'Etat** :Il comprend le plus souvent les forêts et maquis, nappes alfatières.
- **Exploitation agricole** :Unité économique de production agricole soumise à une direction unique, et comprenant tous les animaux qui s'y trouvent et toute la terre utilisée entièrement ou en partie pour la production agricole, indépendamment du titre de possession, du statut juridique, de la taille ou de l'emplacement. Elle peut être exploitée par une personne seule, conjointement par deux ou plusieurs personnes ou par une personne morale telle que société, entreprise collective, groupement, coopérative ou organisme d'Etat.
- **Exploitation Agricole Collective (EAC)** :C'est une exploitation de type collectif créée dans le cadre de la loi 87-19 sur les terres des anciens domaines autogérés et les anciennes terres arch et communale.
- **Exploitation Agricole Individuelle (EAI)** :C'est une exploitation de type individuel créée dans le cadre de la loi 87-19 sur les terres des anciens domaines autogérés et les anciennes terres arch et communale.
- **Ghouts** :Système traditionnel en agriculture oasienne dans la vallée du Souf, constitué de cuvettes aménagées dans le sable dont le fond est proche de la nappe.
- **Hors sol** :Les entreprises qui ne comprennent pas de terres agricoles, mais se consacrent à l'élevage doivent aussi être considérées comme des exploitations agricoles, qu'elles se trouvent dans les régions rurales ou urbaines. Les unités économiques qui se consacrent exclusivement aux activités de chasse, sylviculture et exploitation forestière, pêche et services agricoles, ne sont pas considérées comme des exploitations agricoles et sont par conséquent exclues du RGA.
- **Main-d'œuvre à temps partiel (inférieur à 220 jours par an)** :Toute personne qui travaille et est rémunérée pendant moins de 220 jours par an.
- **Main-d'œuvre à temps plein (supérieur à 220 jours par an)** :Toute personne qui travaille et est rémunérée pendant plus de 220 jours par an.
- **Melk en indivision non titré** :La propriété Melk en indivision non titrée est une copropriété dans laquelle il n'y a pas de division matérielle en parts, mais ne faisant pas l'objet d'un acte délivré par l'administration.
- **Melk personnel non titré** :La propriété Melk en indivision titrée donne ce droit à un groupe de personnes liées par le sang (héritiers). L'indivision titrée est une copropriété, faisant l'objet d'un acte délivré par l'administration, dans laquelle il n'y a pas de division matérielle en parts.

- **Melk personnel titré** :Catégorie de terre de propriété individuelle qui occupe la majeure partie du Tell entre la mer et les premiers contreforts de l'Atlas Tellien. La propriété Melk personnel titré se définit comme un droit d'user et de disposer d'un bien d'une façon exclusive, sous certaines réserves définies par la loi. Aussi la propriété individuelle titrée donne ce droit à un seul individu par le biais d'un acte délivré par l'administration.
- **Niveau d'instruction** :Il correspond à la dernière classe suivie par l'intéressé.
- **Niveau de formation agricole** :Le niveau de formation agricole correspond au diplôme obtenu
- **Population agricole** :Ce sont toutes les personnes dont l'agriculture constitue le moyen d'existence. La population agricole comprend toutes les personnes qui se livrent effectivement à l'agriculture ainsi que les personnes à leurs charges qui ne travaillent pas.
- **Population agricole active** :Elle comprend toutes les personnes de l'un ou l'autre sexe occupées économiquement et de manière principale dans l'agriculture, ainsi que les personnes au chômage.
- **Statut juridique** :Forme juridique que peut prendre une exploitation. Les codes que l'on peut rencontrer sont :
 - Exploitation agricole individuelle, c'est la majorité des situations. La société civile est une forme juridique de société qu'on trouve beaucoup dans l'activité agricole ; société anonyme à responsabilité limitée (SARL), il se peut que des exploitations privées soient organisées dans ce type de société pour l'exploitation des terres ou l'exploitation du cheptel bovin, ovin, avicole etc....
 - Accession à la propriété foncière (APFA), ce sont les exploitations créées dans le cadre de la loi 83-18, beaucoup plus dans le Sud et la steppe, mais également dans le Nord du pays.
- **Terre " haï "** : dans la région de M'Sila ce terme concerne les terres régulièrement arrosées
- **Terre " djef "** : dans la région de M'Sila ce terme concerne les terres rarement arrosées
- **Terres Arch** :Ce type de propriétés correspond à la société agro pastorale, la terre est de droit Arch, c'est-à-dire collective, propre à des tribus. Elle ne peut être ni vendue ni cédée puisqu'elle est inaliénable de droit.
- **Terres Beylik** :Elles correspondaient aux terres du domaine de l'Etat et du domaine privé du Bey. Elles sont données soit en concession aux hauts dignitaires du palais, soit cultivées au profit du Bey. Aujourd'hui elles sont classées bien publics.
- **Terres Wakfs ou Habous** :Ce sont des terres appartenant à des institutions à caractère socio religieux (écoles coraniques, mosquées, œuvres charitables, œuvres sociales...). Elles sont considérées comme intransmissibles et inaliénables (usufruits).
 - Il sera distingué les biens privés et les biens publics des Habous. Les biens Habous peuvent être donnés en location ou donnés en gérance pour exploitation, voire être exploités directement par un représentant des Habous.
- **Terres Makhzens** :Ces terres sont confiées aux forces militaires, à l'époque Ottomane, et ont un double fonctionnement, militaire et agricole.

INTRODUCTION GENERALE

L'usage de l'irrigation en Algérie est très ancien, comme en témoignent les vestiges de l'époque romaine (bassins, aqueducs...). Des techniques d'irrigation séculaires, fonctionnent encore à ce jour (foggaras, seguias, ceds, puits, balanciers, épandage des eaux de crues...). Elles sont adaptées à un potentiel sol d'une grande diversité (plaines côtières, piémonts, hautes plaines, steppes, oasis...). Elles côtoient maintenant des techniques modernes, plus performantes comme l'aspersion et l'irrigation localisée.

A l'indépendance il y avait 165 000 ha de terres irriguées, aujourd'hui il y en a 620 687 ha. Par rapport à cette croissance de superficie importante mais encore insuffisante, les problèmes qui se posent maintenant sont la gestion rationnelle de l'eau par le biais de l'amélioration des techniques d'irrigation et leur pilotage.

L'irrigation est l'arme la plus efficace contre la pauvreté. Cela dépasse la dimension économique. La façon de maîtriser l'eau, la rendre efficace, gérable est un paramètre nécessaire. Les grandes sécheresses qui peuvent durer 2 à 3 ans, dues à l'aléa climatique que nous subissons depuis bientôt deux décennies, provoquent l'exode rural des plus pauvres qui n'ont plus rien. Leur retour à la terre est très aléatoire. Pour les stabiliser il est nécessaire d'injecter un potentiel irrigable. Pour éviter l'exode malgré la sécheresse il faut préserver le capital du pauvre qui est la terre. Les équipements (barrages, forages...) peuvent soustraire l'agriculture irriguée à l'aléa climatique s'ils sont bien gérés.

En complément de l'apport pluvial, l'irrigation consiste à fournir au sol les quantités d'eau nécessaires aux cultures durant le cycle végétatif.

Qu'il s'agisse d'irrigation de complément ou subvenant entièrement aux besoins en eau de la culture, ces apports d'eau sont vitaux pour une agriculture performante, face à un climat marqué par la rareté et l'irrégularité des précipitations.

En terme de disponibilités, les volumes d'eau d'irrigation destinés à l'agriculture en Algérie ne cessent de régresser, passant de 80% des ressources nationales en 1975 à 55% en 2002 (Salem, 2003).

Les terres cultivables sont limitées et peu extensibles. Elles sont de plus en plus grignotées par le développement urbain et industriel. Jusqu'en 1995, plus de 200 000 ha de surface agricole utile (SAU) ont été perdus (RGA, 2003).

Cette situation sensible impose d'encourager la mise en place d'une politique de gestion rationnelle de la ressource en eau, mais certains facteurs aggravent encore la situation :

Les pertes dans l'adduction de l'eau vers les périmètres irrigués et les pertes dans les canalisations au sein même des périmètres qui sont estimées à 50% (MRE), 2003) ;

Les pertes dues aux dérivations illégales par les agriculteurs ;

Les pertes propres à la méthode d'irrigation la plus répandue (le gravitaire traditionnel).

Une agriculture irriguée performante, passe par la recherche d'une amélioration des pratiques existantes (efficience accrue, main d'œuvre réduite, investissements raisonnables). Ces améliorations sont conditionnées par les différents systèmes agricoles (sociaux et économiques).

En Algérie, l'eau pour l'irrigation est exploitée sous deux formes :

Par les grands périmètres irrigués (GPI) à travers les offices des périmètres irrigués (OPI), organismes étatiques qui irriguent 30 à 40 000 ha/an à partir des eaux superficielles, selon les disponibilités en eau. Ils relèvent du Ministère des ressources en eau (MRE). Ils irriguent 6% de la surface irriguée. La tarification de l'eau de surface est dérisoire, en 2000 elle était de 1,20 DA le m³ soit 1,3 cts d'euros (1Euro= 92 DA) depuis 2005, elle est passée à 2,5 DA (AGID, 2000).

Par la petite et moyenne hydraulique (PMH) qui s'alimente en eau à partir des forages, puits, retenues collinaires, oueds, ceds. Elle est dans sa totalité gérée par des exploitants privés. L'exploitation des ressources en eau souterraines est anarchique. La PMH couvre 94% des superficies irriguées. Elle fait preuve de dynamisme malgré un prix de revient de l'eau pompée compris entre 10 et 12 DA le m³ (AGID);

Cependant, par rapport à ces deux modes d'exploitation, des questions restent posées:

Quelle est l'importance ou l'impact de la vulgarisation sur la conduite des techniques d'irrigation dites "modernes" pour une gestion plus rationnelles de l'eau d'irrigation?

Quelles sont les raisons du maintien d'une tarification dérisoire de l'eau d'irrigation, malgré une augmentation récente en 2005 ?

Pourquoi malgré un coût du m³ d'eau pompé élevé par rapport à celui des offices, la PMH continue à se développer?

La pratique dominante actuellement dans l'agriculture irriguée est le gravitaire traditionnel par micros - raies (Chabaca, 1983; 2004; RGA, 2003). Cette irrigation gravitaire traditionnelle est répartie sur l'ensemble des surfaces irriguées du Nord et du Sud du pays. Elle nécessite des mesures d'amélioration pour réduire la pénibilité du travail, et la consommation en eau tout en maintenant un faible investissement.

Elle est très répandue au Maghreb, sous le nom de « robta » au Maroc (Vodicka, 2000) avec 2 à 3 micros - raies par bassin d'une dizaine de mètres carrés et en Tunisie, micros - raies de 10 à 30 m de long (Zaïri., 2000).

Le contexte climatique des vingt dernières années a été très défavorable (déficit hydrique chronique et températures élevées). Il impose aux agriculteurs des contraintes supplémentaires pour maintenir la technique du gravitaire. Telle qu'elle est pratiquée cette dernière présente un taux de consommation en eau élevé. Cependant du fait de son faible coût d'investissement et de fonctionnement au niveau de la parcelle (peu ou pas d'énergie requise), le gravitaire ne peut être concurrencé par un autre mode d'apport d'eau, s'agissant d'irriguer des cultures intensives (Mailhol, 2001).

Ainsi dans certaines régions du monde qualifiées de techniquement avancées, le gravitaire occupe une large place. En Californie (USA) les systèmes d'irrigation des cultures se répartissent ainsi:

	Gravitaire	Aspersion	Goutte à goutte
Céréales	90%	10%	0%
Grandes cultures	72%	19%	9%
Arbres fruitiers	32%	57%	11%
Vigne	45%	13%	42%
Total	59,75%	24,75%	15,5%

Source: Zapata, 1999 ; in Mailhol, 2001

Le choix d'un système d'irrigation doit résulter du meilleur compromis entre la ressource en eau (quantité et qualité), la main d'œuvre disponible, le sol et sa topographie. Il doit par ailleurs assurer le maintien d'une agriculture durable en permettant de gérer au mieux les risques environnementaux liés au lessivage des nitrates et dans certains contextes la salinité des sols (Mailhol, 2000).

L'investissement initial est généralement plus faible pour les systèmes d'irrigation gravitaire traditionnels que pour les systèmes sous pression. Cependant ce n'est pas toujours le cas, surtout pour une irrigation gravitaire améliorée, il faut des travaux d'aménagement et de planage importants pour une bonne efficacité. En fait, dans certains cas, la nécessité de procéder à ces investissements importants au début peut être un frein au développement du gravitaire moderne (Berthomé, 1983).

En Algérie, l'irrigation de surface ne peut être réellement efficace dans le contexte actuel de sa gestion. Une partie importante de la SAU, 20 à 25% est représentée par les anciennes terres coloniales les plus riches situées sur les plaines côtières et les vallées du Nord. Celles-ci, se prêtent mieux à l'irrigation de surface sans trop d'aménagements que l'irrigation sous pression qui nécessite des investissements.

Ces terres relèvent du domaine privé de l'Etat. Elles sont gérées en exploitations agricoles collectives (EAC) ou exploitations agricoles individuelles (EAI). Les agriculteurs ont en la jouissance et non la propriété. Ce statut juridique a des conséquences importantes sur leur gestion. Il inhibe toute velléité pour d'éventuels investissements vers de futures améliorations des pratiques de l'irrigation.

Une analyse - diagnostic sur l'état de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie, nous permettra de cerner les difficultés et contraintes et d'essayer de proposer des solutions adaptées au contexte local.

Pour aborder les différents aspects de cette analyse nous avons opté pour l'approche suivante:

1. Dresser un état des lieux de l'agriculture Algérienne. Cela se fera à partir d'enquêtes au niveau des directions des services agricoles des wilayate (DSA), des exploitations agricoles, des OPI, ainsi que d'autres structures comme l'agence nationale de réalisation et de gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage (AGID), actuellement ONID (office national de l'irrigation et du drainage). L'analyse des résultats du recensement général de l'agriculture (RGA) réalisé par le Ministère de l'agriculture et du développement rural (MADR), les bilans de la direction des services agricoles et des systèmes d'information (DSASI) du MADR.

Cela nous permettra de cerner :

- Les potentialités en terres agricoles ;
- Les ressources en eau ;
- Les superficies irriguées ;

- Les modes d'irrigation pratiqués et leur évolution ;
- Les spéculations pratiquées et leurs rendements ;
- La population agricole et sa structure sociale ;

2. Faire ressortir les facteurs limitants, qu'ils soient d'ordres économique, social, juridique ou autre.

3. Procéder à des diagnostics sur la forme prédominante dans le gravitaire, à travers des expérimentations chez des agriculteurs. Pour dresser un tableau précis de ce mode, ses contraintes, ses avantages, il est essentiel de privilégier l'aspect technique dans notre approche, mais en accordant une place importante à l'aspect social. En effet s'il est mal cerné, il peut constituer un frein à toutes possibilités d'amélioration. Les données sur la technique du gravitaire, telle qu'elle est pratiquée en Algérie, sont peu disponibles, et seul de rares travaux ont été réalisés.

4. Mener des expérimentations sur les parcelles d'essais de l'Institut National Agronomique d'Alger (INA) sur les différents modes d'irrigation à la raie dans une approche de modernisation.

5. La dernière partie a été consacrée à une approche globale entre les essais menés au niveau des sites de l'INA et les résultats des diagnostics réalisés au niveau de la parcelle dans des exploitations agricoles.

PREMIERE PARTIE

A/ LES SYSTEMES D'EXPLOITATIONS AGRICOLES EN ALGERIE ET LES MODES D'IRRIGATION PRATIQUES

1. INTRODUCTION

Dans cette partie, nous décrivons l'état de l'agriculture et du monde rural actuel. Nous aborderons ensuite le secteur des anciennes terres coloniales. Ces terres les plus riches, représentent 25% de la SAU. Depuis une quarantaine d'années (1962), elles connaissent des perturbations au niveau de leur statut et de leur gestion. Dès 1962, elles sont passées par l'autogestion avec la création des domaines autogérés socialistes (DAS) gérés par les travailleurs, puis à partir de 1989, ces domaines ont été morcelés et redistribués. Des DAS couvrant parfois plusieurs centaines d'hectares ont été découpés en petites exploitations d'une dizaine à une centaine d'hectares, appelées EAC et EAI et Fermes pilotes. Elles ont été redistribués entre les anciens travailleurs agricoles ainsi que certains ingénieurs ou techniciens de l'agriculture des différentes structures du Ministère de l'agriculture.

2. METHODE D'APPROCHE DES SYSTEMES D'EXPLOITATION

2. 1. INTRODUCTION

Il existe plusieurs types de propriétés terriennes réparties sur l'ensemble des régions. On distingue les terres Melk, Arch, Habous, Beylik et coloniales, résultants des occupations successives de l'Algérie. Cette diversité explique toute la difficulté à disposer d'informations fiables sur leurs surfaces, leurs potentialités, les spéculations pratiquées, le mode d'agriculture (sec ou irriguée), leur statut. Le recensement de l'agriculture publié en 1973 n'a pu clarifier cette situation. L'ouvrage de Calvelli (1935), bien qu'ancien donne un aperçu assez clair sur cette répartition, 27 ans avant l'indépendance de l'Algérie.

Nous avons :

Les terres dites "Melk", catégorie de propriétés individuelles qui occupent la majeure partie du Tell entre la mer et les premiers contreforts des chaînes de l'Atlas Tellien;

Les terres dites "Archs", dont le fond est attribué en jouissance aux tribus qui peuplaient et peuplent à ce jour, l'Algérie. Elles s'étendent sur de vastes superficies; les agriculteurs exploitent ces terres sans pouvoir les aliéner, mais pouvant les transmettre à leurs héritiers mâles;

Les terres dites "Makhzens" concédées du temps de l'occupation Ottomane à des tribus appelées Makhzens, pour acheter leur fidélité et leur dévouement;

Les terres dites "Beylik" de l'Etat;

Les terres dites "Habous" ou "Wakf " appartenant au domaine religieux;

Dans l'Algérie du Nord, qui couvre approximativement 20 220 869 ha, dès 1934, la situation par groupe, des terres francisées par l'occupation coloniale, était la suivante selon le tableau 1.

Tableau 1 : Répartition des terres francisées jusqu'en 1934 (ha)

Superficie des propriétés privées Européennes et indigènes	Domaine public	Domaine de l'Etat	Domaine communal	Total
5 219 138	111 248	437 998	301 206	6 069 590

Source : Calvelli, 1935

Le reste est réparti selon le tableau 2.

Tableau 2 : Répartition des terres non francisées du Nord de l'Algérie (ha)

Types de terrains	Superficie
Terrains domaniaux (fôrets comprises) Terrains communaux	2 727 203 1 949 658 3
Propriétés privées soumises à la loi française Propriétés privées (Melk) soumises à la loi musulmane Terres de propriétés collectives (Arch ou Sabega) Domaine public	349 577 3 932 261 1 912 900 279 680
T o t a l	14 151 279

Source : Calvelli, 1935

Les terres francisées représentant le domaine colonial, ainsi que certaines terres "Arch" furent par la suite nationalisées par l'Etat Algérien pour devenir finalement en partie, ce que nous avons désigné sous le terme d'EAC, EAI, et Fermes pilotes. En 2001 il y eut le recensement général des terres agricoles (RGA, 2003). Celui-ci donne une idée plus précise sur la SAU et le statut des terres. Le tableau 3 (RGA, 2003) n'indique que la SAU, à la différence des tableaux 1 et 2 qui concernent l'ensemble des terres.

Tableau 3 : Nombre et superficie des exploitations constituant la SAU, selon le statut juridique de la terre

Origine des terres	Nombre d'exploitations	%	Superficie (ha)	%
Melk personnel titré	120 087	11,75	1 090 192	12,89
Melk personnel non titré	252 331	24,65	847 872	10,02
Melk en indivision titré	143 900	14,06	1 294 676	15,31
Melk en indivision non titré	261 005	25,49	2 624 472	31,03
Domaine privé de l'Etat	181 194	17,70	2 541 876	30,05
Domaine public	5 428	0,53	24 323	0,29
Wakfs privés	2 211	0,22	24 056	0,28
Wakfs publics	605	0,06	4 821	0,06
Non déclarées	1103	0,11	6 392	0,08
T o t a l	967 864	94,55	8 458 680	100
Hors sol	55 935	5,45		
T o t a l	1 023 799	100	8 458 680	100

Source : RGA ,2003

2.2. METHODE D'INVESTIGATION

Nous avons analysé les données fournies par la DSASI, le MADR, ainsi que celles du RGA. Nous avons menés des enquêtes et recueillis des informations de

différentes structures de terrain (DSA, EAC, EAI, fermes pilotes...) relevant du MADR et des OPI qui dépendent du MRE. D'autres informations ont été fournies par l'agence nationale de réalisation et de gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage (AGID) du MRE.

2.2.1. ETAPE 1 : ENQUETES

Elles concernent les DSA dans chaque wilaya, les exploitations agricoles ainsi que les OPI. Ces derniers gèrent des périmètres qui s'étendent sur plusieurs wilayate. Les données recueillies nous ont permis de faire une synthèse sur les aspects suivant :

- SAU;
- SAU Irriguée;
- Sources d'approvisionnement en eau d'irrigation;
- Spéculations agricoles pratiquées;
- Main d'œuvre agricole et niveau de qualification;

2.2.1.1. Les Directions des Services Agricoles

Administrativement, l'Algérie est divisée en 48 wilayate. Le MADR dispose dans chacune d'elles, d'une DSA chargée du suivi et de l'application des politiques agricoles. Elles gèrent les informations sur les potentialités agricoles de leur secteur (terres du domaine privé de l'Etat ainsi que les terres privées). Le questionnaire qui leur a été adressé (annexe 1, p 249.) porte sur :

- Superficie totale de la wilaya;
- S A U;
- Ressources en eau d'irrigation (puits, forages, barrages, pompage d'oueds, Ceds...);
- S A U Irriguée;
- Techniques d'irrigation pratiquées;
- Structures techniques d'aide aux agriculteurs;
- Volume d'eau réservé à l'agriculture dans le quota attribué à la wilaya.

2.2.1.2. Les exploitations agricoles

Les exploitations concernées sont les EAC, EAI, fermes pilotes et celles du privé. La typologie pour la représentativité des exploitations choisies porte sur : les spéculations pratiquées en sec et en irrigué, les pratiques d'irrigation, le niveau d'instruction des exploitants, la superficie de l'exploitation, la proximité des voies de communication , l'accès à la ressource en eau.

Le guide que nous avons établi (annexe 2, p 250) concerne :

- L'évolution de l'irrigation et des superficies irriguées;
- Les modes d'irrigation pratiqués et les raisons qui ont dictés ces choix;
- Le mode de conduite des irrigations;
- La maîtrise de la pratique de l'irrigation;
- L'exploitant et l'exploitation (âge, niveau d'instruction, superficie, spéculations);

- Les sources d'informations techniques et l'encadrement;
- Le degré d'ouverture de l'agriculteur au changement;

2.2.1.3. Les Offices des périmètres irrigués

Ils gèrent les grands périmètres irrigués ainsi que de plus petits, dénommés OPI de wilaya. Leur mission est de commercialiser la ressource eau mise à leur disposition au niveau des exploitations agricoles par l'AGID. Ils veillent aussi à la maintenance des infrastructures de pompage, de stockage et de distribution de l'eau d'irrigation.

Leur relation avec l'AGID est présentée dans l'organigramme de la figure 1

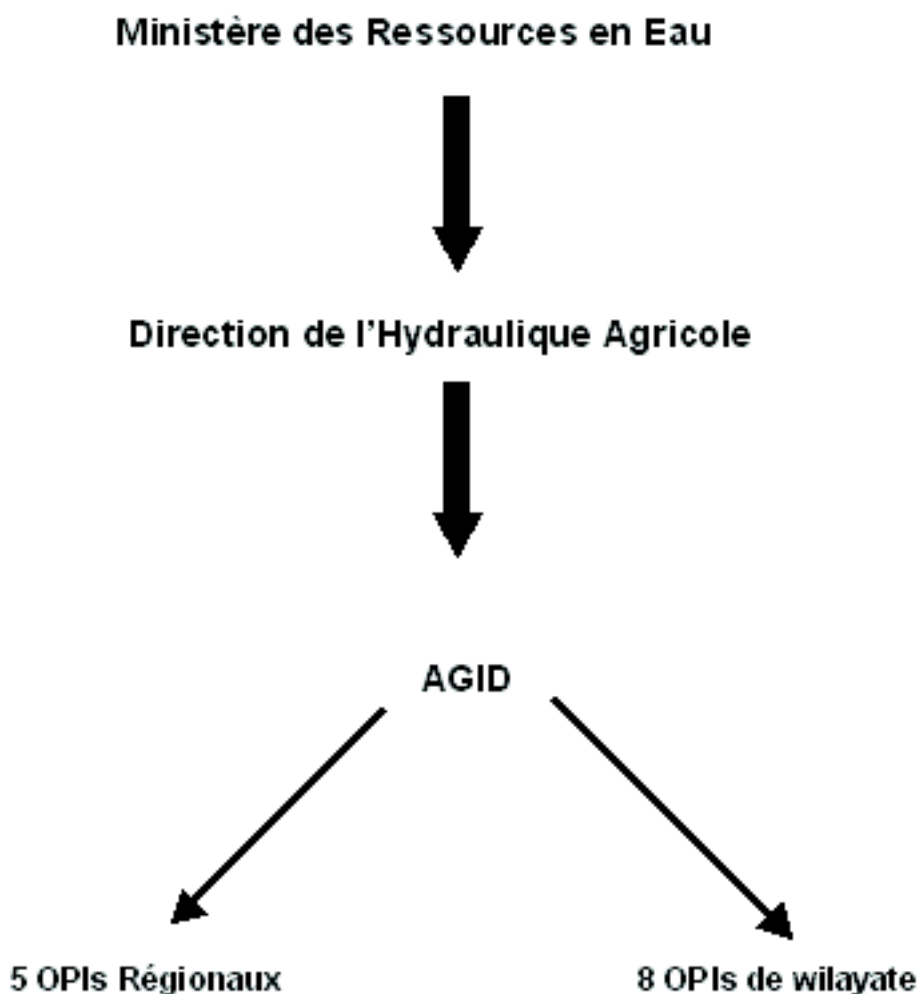


Figure 1 : Structuration des organes de gestion de l'eau de surface destinée à l'irrigation

Le Nord de l'Algérie est divisé en cinq régions de planification hydraulique (RPH). La répartition des OPI selon les régions est présentée dans le tableau 4.

Tableau 4 : Répartition des périmètres irrigués relevant des offices régionaux et de wilaya

RPH	OPIs régionaux	Superficie équipée (ha)	Source d'eau	OPIs de Wilaya	Superficie équipée (ha)	Source d'eau
Oranie	Sig Habra	8200 19600	Barrage Barrage	Maghnia (W.Tlemcen)	5100	Bar+nap
	Cheliff	Mina	9600	Barrage	Ain Skhouna (W. Saida)	2850
Bas Cheliff		21800	Barrage	Isser Algérois	2300	.
Haut Chélif		20200	Barrage	Sebaou (W. Tizi ousou)	1400	*Nap+reten
Amara abadi		8495	Barrage			
Bougara	798	Barrage				
Algérois	*Mit. Ouest T1	8600	Barrage	Arifs (W.Bouira)	2200	Barrage
	*Mit. Ouest T2	15600	Barrage	Ksob (W. M'sila)	5000	barrage
	Hamiz	17000	barrage			
Annaba	Saf saf	656	Barrage	Soummam (W.Bejaia)	3500	*Nap+bar
	Bouamoussa	16500	Barrage			
	Guelma	12900	barrage			
Sud	Abadla	5400	Barrage	M'Chedellah (W.Bouira)	1600	Nappe
	Sud outaya	950	Barrage			
	Oued R'high	6458	Barrage			

* Mit.Ouest : Mitidja Ouest ; Nap+ retn : nappe +retenue ; Nap+bar : nappe+barrage

Source : AGID, 2000 ; 2001

L'enquête a ciblé les points suivants (annexe 3, p 257):

- Les wilayate couvertes par les offices;
- Le nombre de barrages exploités et leurs capacités;
- Le quota en eau d'irrigation réservé à l'agriculture;
- Le rapport superficies irriguées sur superficies équipées irrigables;
- Les systèmes d'irrigation pratiqués;
- Le type et le nombre d'exploitations agricoles prises en charge par ces réseaux;

2.2.2. ETAPE 2 : ETUDE DES DONNEES DES STRUCTURES SPECIALISEES

2.2.2.1. L'Agence nationale de réalisation et de gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage

Cet organisme est à l'amont des OPIs (figure 1). Son rôle est de réaliser les infrastructures hydrauliques (canaux, stations de pompages...) qu'il met à disposition des OPIs. Dans ce cadre, lui même dispose de différentes données pour la réalisation de ces infrastructures:

- Superficie et classification des terres concernées par l'irrigation;
- Données sur les exploitations agricoles;
- Spécifications agricoles pratiquées dans ces périmètres;
- Superficie des terres irrigables;

- Efficience de l'eau d'irrigation;
- Facteurs limitants et problèmes rencontrés;

Nous avons consulté pour cela, les bilans annuels des années 2000 et 2001 édités par l'AGID. Ils présentent:

- La campagne d'irrigation de l'année écoulée;
- Les contraintes;
- Le bilan climatique, le bilan hydrique;
- Les souscriptions en eau des agriculteurs à la campagne d'irrigation;
- Une synthèse avec des recommandations pour la campagne suivante;

2.2.2.2. Le Recensement général de l'agriculture

Le recensement général de l'agriculture a été réalisé par le ministère de l'agriculture pour la campagne 2001 et publié en juin 2003 (le précédent recensement avait été publié en 1973). Il a été conçu et réalisé avec l'assistance technique de l'office national des statistiques (ONS) et de la Banque mondiale. La période de référence est la campagne agricole 2000/2001. L'enquête a été réalisée entre Janvier 2001 et Mai 2003, selon différentes phases: administratives, recensement pilote, recensement général et traitement de données. La réalisation du RGA, a d'emblée, posé la question du choix de la méthode qui permet d'obtenir les résultats les plus complets et les plus fiables. Deux méthodes sont généralement utilisées pour réaliser un recensement agricole: le recensement par sondage et le recensement par dénombrement exhaustif. Indiqué pour des pays ayant des ressources limitées, le recensement par sondage présente l'avantage de mobiliser des moyens humains et matériels peu lourds; mais cette méthode ne satisfait pas cependant l'exigence de l'organisation et de l'exécution minutieuse d'une enquête globale, pas plus qu'elle ne permet de ventiler les résultats obtenus par petites unités territoriales.

Par ailleurs, le manque d'informations relatives aux structures agraires du pays et l'absence d'une base de sondage constituent un obstacle que seul peut lever la seconde méthode qui présente des avantages avérés puisqu'elle rend possible:

Le regroupement par unités territoriales des données recueillies lors du recensement;

L'utilisation de ces données comme points de repères, ce qui permet par comparaison de déceler les insuffisances de la statistique courante et d'apporter les correctifs nécessaires;

L'utilisation des informations recueillies pour mettre au point des enquêtes agricoles;

La constitution d'un fond documentaire qui servira aux autres usages, à l'évaluation du développement de l'agriculture ;

C'est pour toutes ces raisons que le recensement par dénombrement exhaustif a été retenu en dépit de l'organisation très lourde et très coûteuse qu'il exige.

Le RGA, a pris en compte, l'ensemble des aspects de l'activité agricole qui sont:

- Le nombre, la taille, la structure, le statut juridique et le mode de faire valoir des terres;
- Les ressources humaines (âge, niveau);
- La provenance de l'eau d'irrigation;
- Les effectifs animaux;
- Les productions végétales;

- Le matériel agricole et l'équipement;
- Les bâtiments;
- La main d'œuvre permanente et saisonnière.

Ces éléments ont été rassemblés par wilaya et agrégés pour l'ensemble du pays.

2.2.3. CONCLUSION

Nous constatons que beaucoup de structures et d'organismes interfèrent dans la gestion de l'agriculture irriguée.

Le ministère des ressources en eau à travers l'AGID, les OPIs ainsi que les directions de l'hydraulique de wilaya (DHW) gère l'eau destinée à l'agriculture irriguée. Chaque année une commission multisectorielle siège au niveau du MRE (entre mars et avril) pour procéder à la distribution de la ressource à destination de l'AEP, de l'industrie et de l'agriculture.

Le MADR, à travers les DSA gère les potentialités en sol ainsi que les statistiques sur les spéculations agricoles. Jusqu'en 2001 il n'y avait que des estimations sur l'agriculture par le biais des bilans des DSA repris par la DSASI.

Toutes ces structures livrent parfois des chiffres qui ne concordent pas entre eux et parfois avec la réalité du terrain.

3. RESULTATS

Il est important avant la présentation et l'analyse des résultats, de connaître le contexte géographique et climatique de l'Algérie.

3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET CLIMATIQUE

3.1.1. LA GEOGRAPHIE

L'Algérie couvre une superficie de 2 381 740 km², dont approximativement, 2 124 300 km² de désert. Le Nord, zone potentiellement agricole, couvre 257 440 km² et se situe dans les étages climatiques sub-humides à semi-arides. Deux chaînes de montagnes parallèles à la mer bordent cette zone d'est en ouest sur plus de 1000 km. La première au nord, l'Atlas Tellien, délimite une bande côtière dont la largeur varie de 80 à 160 km, on y trouve les plaines les plus riches. Entre cette chaîne et celle de l'Atlas Saharien plus au sud, s'étendent à une altitude moyenne de 1000 m, les hautes plaines céréalières et les Chotts (dépressions d'eau salée). La pluviométrie moyenne annuelle y est de l'ordre de 200 à 300 mm. L'altitude moyenne de ces deux chaînes est de 1200 m. Les points culminants sont pour l'Atlas Tellien, Lala Khédidja à 2200 m (Djurdjura au centre) et Djebel Nacer 2320 m (Aurès sud est). L'Algérie est divisée en quatre régions géographiques, l'Est, le Centre, l'Ouest et le Sud (carte 1). Les données recueillies au niveau des wilayate de chacune de ces régions sont regroupées pour donner une moyenne des différentes ressources potentielles, disponibles par région.

Les wilayate composant chacune des régions avec leur indicatif sont répertoriées ci-dessous :

Région Est: Oum – El - Bouaghi (4); Batna (5); Tebessa (12); Jijel (18); Sétif (19); Skikda (21); Annaba (23); Guelma (24); Constantine (25); El - Tarf (36); Khenchela (40); Souk-Ahras (41); Mila (43); Bordj-Bou-Argeridj (34).

Région Centre: Chleff (2); Blida (9); Bouira (10); Tizi-Ouzou (15); Alger (16); Djelfa (17); Médéa (26); Boumerdes (35); Tipaza (42); Ain - Défla (44); Béjaia (6); M'sila (28).

Région Ouest: Tlemcen (13); Ain-Témouchent (46); Sidi-Bel-Abbès (22); Oran (31); Saida (20); Mascara (29); Mostaganem (27); Relizane (48); Tiaret (14); Tissemsilt (38); Naama (45); El - Bayadh (32).

Région Sud: Ouargla (03); Biskra (7); Laghouat (17); Ghardaia (47); El-Oued (39); Adrar (01); Béchar (08); Tamanrasset (11); Tindouf (37); Illizi (33).

3.1.2. LE CLIMAT

Le climat Algérien est une transition entre le climat tempéré humide et le climat désertique. Il se définit par sa composante hydrique (pluviométrie) qui régit fortement le régime des eaux souterraine et superficielle.

Il se caractérise par:

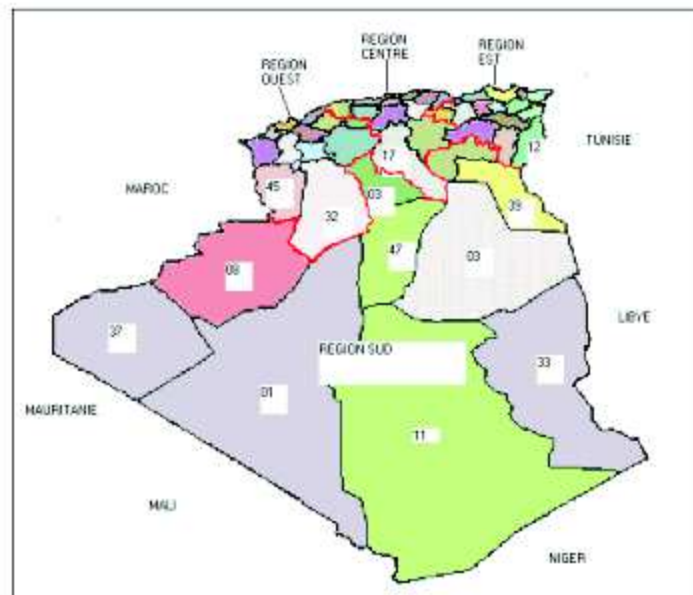
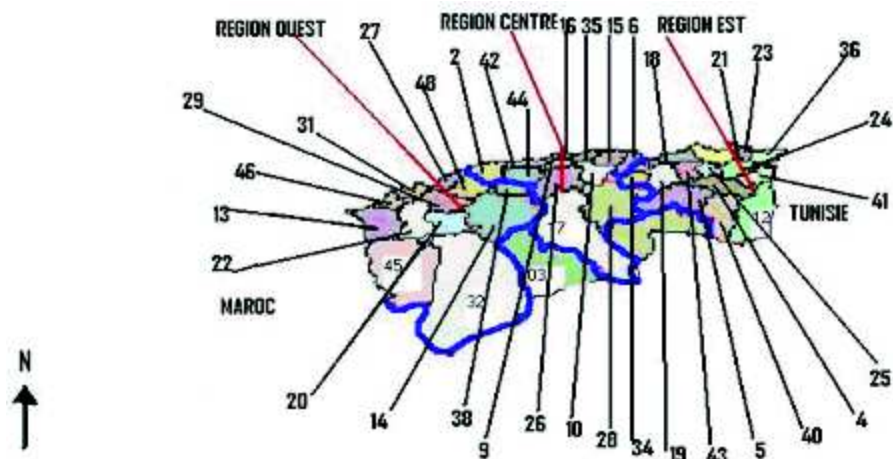
- Deux saisons pluvieuses, l'une dominante en automne, l'autre secondaire au printemps;
- Des précipitations irrégulières dans le temps, à l'échelle journalière annuelle et interannuelle;
- Une sécheresse estivale prononcée;

La pluviométrie moyenne dans les différentes régions de l'Algérie est présentée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Répartition pluviométrique par région et par étage géographique (mm)

	Ouest	Centre	Est
Littoral	400	700	900
Atlas Tellien	600	700-1000	800-1400
Hautes Plaines	250	250	300-400
Atlas Saharien	250	200	20-150
Sahara	20-150	20-150	

Source : Salem, 2003.



Carte 1 : Plan de situation : région Nord carte du haut et région Sud carte du bas

Source : www.fao.org

La pluviométrie qui est le paramètre essentiel dans la reconstitution des ressources en eau est soumise à une forte variation spatiale et temporelle. Du nord au sud, les précipitations varient de 1 400 mm sur les hauts reliefs côtiers de l'extrême nord-est à moins de 100 mm au Sahara (carte 2). On note également des écarts notables entre les régions Est et Ouest. Cette pluviométrie très variable à travers le territoire, a imprimé les grands traits de la répartition régionale des ressources en eaux souterraine et superficielle.

En hydrologie, il existe une forte disparité entre le nord-ouest du pays région riche en plaines, mais peu arrosée et le nord-est, région montagneuse. Dans cette dernière se trouvent les principaux oueds du nord qui totalisent un écoulement de $5\,380\text{ hm}^3/\text{an}$ contre $1\,540\text{ hm}^3/\text{an}$ pour l'ouest. Autant l'eau manque dans les régions ouest, autant elle est souvent perdue pour toute utilisation à l'est (Pérennes, 1990).

3.1.3. RELATION PLUIES - ETP DANS LA REGION NORD

Les cartes 2 et 3 représentent les pluies et l'ETP de la région nord. Nous remarquons que ce sont les régions les moins pourvues en eau qui enregistrent les plus grandes valeurs d'évapotranspiration (ETP). Dans la région Nord-ouest où la pluviométrie varie selon les zones de 250 à 600 mm/an, l'ETP, est comprise entre 1 000 et 1 400 mm/an.

Dans la région Est, il y a deux zones assez bien pourvues en pluie, l'une côtière avec une pluviométrie entre 800 et 1 400 mm/an (Jijel, Skikda, Collo) et 700 - 900 mm (Annaba, El Tarf) et une zone plus en retrait vers l'intérieur des terres, au niveau des hautes plaines constantinoises, avec une pluviométrie entre 500 - 600 mm. L'ETP varie ici entre 1 000 mm pour la zone côtière et 1 200 mm pour l'intérieur des terres.

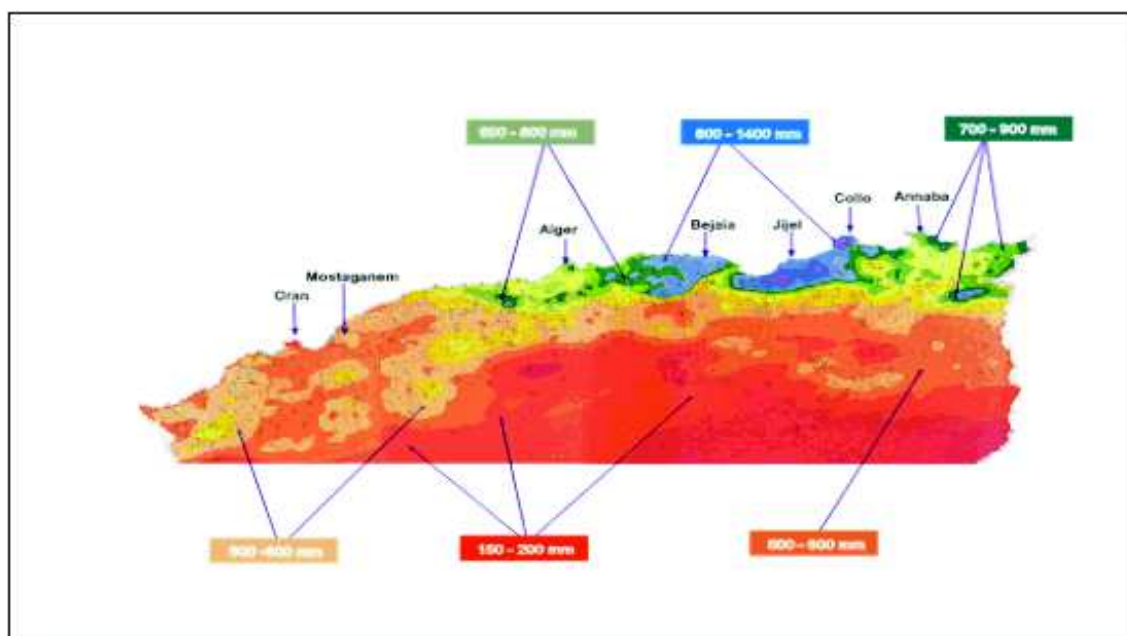
La région Est semble mieux pourvue en eau que la région Ouest. C'est très relatif car cette pluviométrie est très mal répartie dans le temps (seulement 3 - 4 mois de pluie par an).

Dans le Centre deux grandes zones se dégagent:

L'une côtière avec côté Kabylie, une pluviométrie entre 800 et 1 400 mm pour une ETP moyenne de 1 000 mm et côté Mitidja, une pluviométrie entre 600 et 800 mm pour une ETP de 1 200 à 1 400 mm;

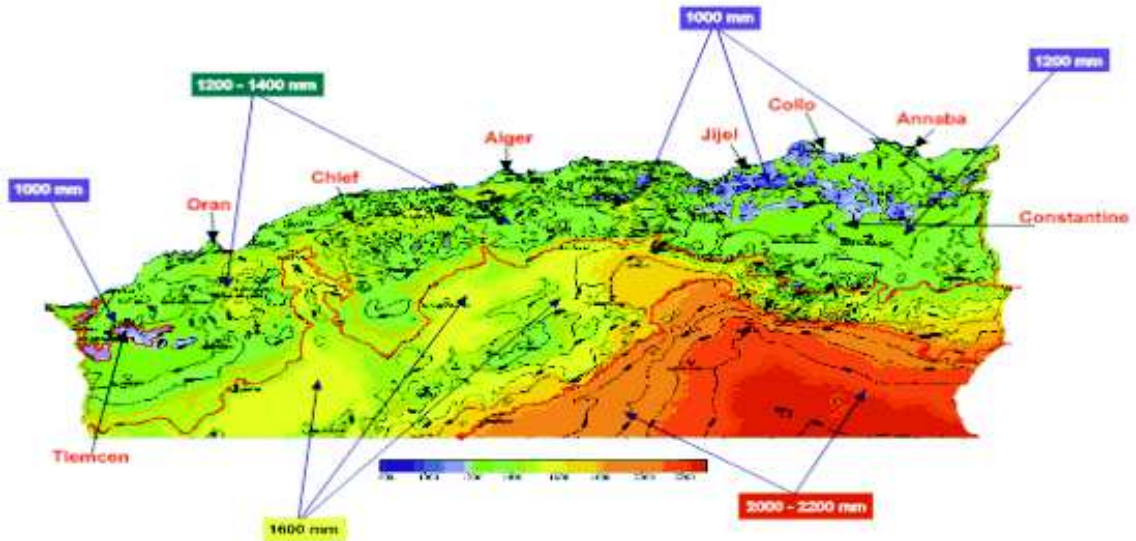
L'autre, plus à l'intérieure constituée par les régions de Bouira, Médéa, Ksar El Boukhari, Beni Slimane, avec une pluviométrie de 500 à 600 mm et une ETP de 1 200 à 1 400 mm;

Il apparaît que le déficit en eau est général sur l'ensemble du nord de l'Algérie, malgré une pluviométrie très favorable dans la région nord-est. C'est sa répartition spatiale et temporelle qui pose problème. Il ressort également que l'Est dispose de potentialités en eau stockable (souterraine et superficielle) importantes par rapport à l'Ouest où la terre est disponible, mais la pluviométrie faible et l'ETP élevée.



Carte 2 : Précipitations moyennes annuelles sur l'Algérie du Nord (mm) ; moyennes de 1922 à 1960 et 1969 à 1989

Source : ANRH, 1993



Carte 3 : *Evapotranspirations moyennes annuelles sur l'Algérie du Nord (mm) ; moyennes de 1922 à 1960 et 1969 à 1989*

Source : ANRH, 1993

3.1.4. CONCLUSION

L'Algérie est scindée en deux grands ensembles:

Une partie Nord comprenant les régions Est, Centre et Ouest, montagneuse, à climat méditerranéen sur sa frange supérieure, semi-aride dans sa partie inférieure. Elle concentre la presque totalité de la SAU (97,8%) et plus de 86% de la population. Elle est caractérisée par une mauvaise répartition de la pluviométrie dans le temps et l'espace. Les températures élevées sont à l'origine d'une évapotranspiration annuelle importante peu ou pas compensée par les précipitations selon les régions ;

Une partie sud, désertique, avec 2,2% de la SAU et 14% de la population;

3.2. LE POTENTIEL AGRICOLE

Sur les 40 596 000 ha de la partie Nord de l'Algérie il y a 8 014 023 ha de SAU (19,74%). La partie nord représente 17% de la surface totale du pays. La SAU globale par rapport à la surface totale de l'Algérie est de 3,46%. La SAU, régions du Sud comprises, est de 8 194 328 ha selon les résultats de notre enquête. Le dernier recensement de l'agriculture, indique une SAU globale de 8 458 650 ha (RGA, 2003). La différence par rapport à nos données est de 264 352 ha. Cela peut s'expliquer par les différentes extensions dues aux projets de mise en valeur des terres dans le Nord et le Sud.

3.2.1. RESSOURCES EN SOL

3.2.1.1. Répartition générale des terres

Le tableau 6 présente la répartition des terres sur l'ensemble du territoire selon leurs vocations. Ce sont des chiffres qui datent de 1999, pour certaines catégories, elles diffèrent sensiblement des résultats du RGA.

6.1 : Répartition générale des terres (ha)

Unité: 1000 Ha

Tableau 6 : Répartition des terres

Terres utilisées par l'agriculture	40 596
Exploitations forestières	4 196
Zones alfatières	2 916
Terres improductives	190 466
Superficie totale de l'Algérie	238 174

6.2 : Répartition des terres utilisées par l'agriculture (ha)

Unité: 1000 Ha

Spéculations	1 999
Cultures herbacées	4 032
Terres au repos	3 641
Plantations fruitières	462
Vignobles	57
Prairies naturelles	35
Total SAU	8 227
Pacages et parcours	31 504
Terres improductives des exploitations agricoles	865
Total des terres utilisées par l'agriculture	40 596

6.3 : Cultures irriguées y compris les cultures irriguées par les eaux de crues (ha)

	1990	1995	1999
Spéculations			
Cultures maraîchères	172 820	189 200	194 280
Cultures fruitières	151 180	157 420	182 530
Céréales	25 750	48 250	73 310
Cultures industrielles	9 730	19 480	26 500
Vignes	5 610	2 250	2 640
Divers	18 930	36 900	16 550
Total	384 020	453 500	495 810

Source: DSASI, 2000

3.2.1.2. Le potentiel foncier agricole

Le potentiel foncier agricole est constitué des terres agricoles en production ou en jachère représentant la SAU. Le tableau 7 et la figure 1 repris à partir des résultats de notre enquête, indiquent la répartition par grandes régions de la SAU et de la SAU irriguée. L'irrigation par épandage de crue et les irrigations de complément des céréales n'étant pas prises en compte

Tableau 7 : Superficies des terres agricoles et leur répartition par région (ha)

	Est	Centre	Ouest	Sahara	Total
SAU	3 143 094	1 981 467	2 889 462	180 305	8 194 326
SAU Irriguée	141 099	43 380	57 060	95 140	336679
Rapport (%) SAU Irriguée/SAU	4,48	2,18	1,97	52,76	4,10

Source : Chabaca, 2004

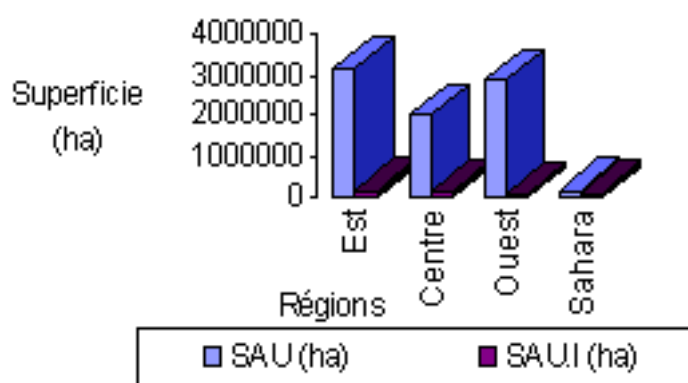


Figure 2 : Répartition du potentiel foncier agricole en Algérie

La SAU Irriguée représente 4,10% de la SAU totale. Si l'on ne considère que la zone nord de l'Algérie (Sahara non compris) ce taux serait ramené à 3,01%. Il est très faible. Le RGA, indique une superficie irriguée de 620 687 ha pour une SAU de 8 458 650 ha, soit 7,34%. Ce chiffre prend en compte les terres irriguées par épandage des eaux de crues, les cultures céréalières recevant une irrigation de complément et qui représentent 3% des superficies emblavées ainsi que les superficies irriguées pour différentes cultures sur la même sole durant la même campagne d'irrigation (RGA; 2003).

Certains facteurs pourraient entre autre, expliquer le faible taux de la SAU irriguée:

Des réseaux d'adduction d'eau vétustes qui enregistrent des pertes de plus de 50% des lâcher;

La pression exercée par la ville et l'industrie sur la répartition de l'eau ;

Des réserves en eau dans les barrages insuffisantes. Il y a eu en 2000 et 2001, à peine 30% des capacités de stockage satisfaites malgré une pluviométrie supérieure à la moyenne. Sur une capacité de stockage de 6,5 milliards de m³, moins de deux milliards de m³ ont pu être emmagasinés ;

L'envasement des barrages par manque de protection des bassins versants;

3.2.1.3. Nature juridique du foncier agricole

Le RGA révèle une nouvelle configuration de la nature juridique des terres, qui a résulté des changements survenus en 1989 depuis le remembrement des terres des ex-DAS (Domaines Agricoles Socialistes) (tableau 8).

Tableau 8 : Nombre et superficie des exploitations selon la nature juridique

Statut	Nombre d'exploitations	%	SAU (ha)	%
Exploitations individuelles privées	745 734	72,84	5 556 999	65,7
*APFA	41 103	4,01	298 327	3,53
Concession	5 209	0,51	32 909	0,39
Avec location de terre	14 577	1,42	151 336	1,79
Avec association de terre	4 194	0,41	38 515	0,46
Hors sol	55 935	5,46	0	0
EAI	105 172	10,27	1 187 724	14,04
Société civile	5 445	0,53	26 007	0,31
Société familiale	9 012	0,88	72 060	0,85
*SARL	282	0,03	5 800	0,07
*EURL	166	0,02	7 474	0,09
EAC	35 338	3,45	929 514	10,99
Coopérative	607	0,06	17 720	0,21
Groupement	111	0,01	2 811	0,03
Ferme pilote	171	0,02	117 217	1,39
*Ferme ou station EPE	77	0,01	3 380	0,04
*Ferme ou station EPA	129	0,01	5 569	0,07
*Ferme ou station EPIC	39	0	2 592	0,03
Sous/Total	1 023 301	99,95	8 455 954	99,97
Indéterminé	498	0,05	2 726	0,03
TOTAL	1 023 799	100	8 458 680	100

*Voir Index

Source : RGA; 2003.

L'exploitation individuelle prédomine avec 83,1% du nombre total des exploitations et occupe 79,7% de la SAU totale ; Elle est représentée pour :

- 72,8%, d'exploitations sur les terres de propriété privée (65,7% de la SAU totale) ;
- 10,2%, d'exploitations individuelles à gestion privative (EAI) sur les terres du domaine privé de l'Etat (14% de la SAU totale).

L'exploitation collective, en société ou en coopérative, forme 5% du total des exploitations et couvre 14% de la SAU totale. Les EAC constituent 68,8% des exploitations et 78,1% de la SAU de cette catégorie. Il est à noter que l'exploitation agricole collective à gestion privative (EAC) représente 3,4% du total des exploitations et couvre près de 11% de la SAU totale.

3.2.2. TECHNIQUES D'IRRIGATION PRATIQUEES

Deux modes d'irrigation sont pratiqués:

- Aspersion et localisée (modes sous pression);
- Gravitaire traditionnel.

La répartition de la superficie irriguée selon les régions et les modes d'irrigation est indiquée au tableau 9 et la figure 3. Elle montre l'importance des surfaces irriguées dans la région est par rapport au Centre et surtout à l'Ouest. Le Sud vient en deuxième position après l'Est, notamment grâce aux zones de mise en valeur des terres.

Tableau 9 : Modes d'irrigation par région en Algérie (ha)

	Est	Centre	Ouest	Sahara	Total	%
Aspersion	32 026	12 625	20 282	21 054	85 987	25 ,45
Localisée	42 272	11 523	22 708	6 672	83 175	24 ,60
Gravitaire	66 801	19 232	14 077	68 777	168 887	49 ,95
Total	141 099	43 380	57 067	96 503	338 049	

Source : Chabaca, 2004.

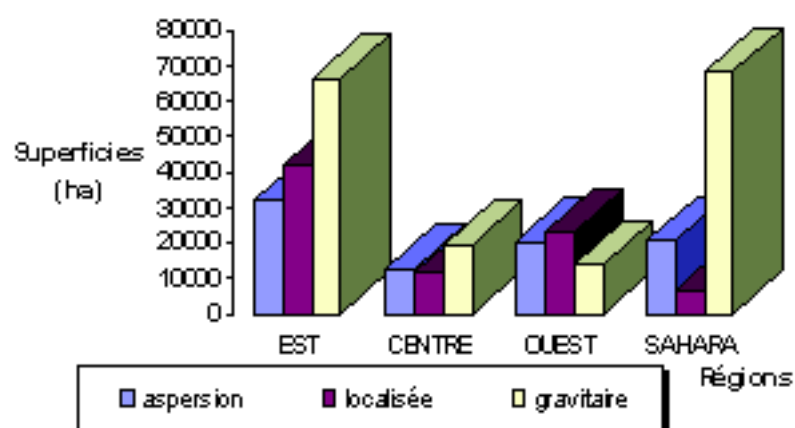


Figure 3 : Modes et surfaces irrigués par région en Algérie

Le ministère de l'agriculture, dans le cadre du plan national pour le développement de l'agriculture (PNDA, financé et géré par le MADR), s'est fixé comme objectif d'équiper 100 000 ha en micro irrigation. Cela explique le pourcentage élevé qu'occupe ce mode actuellement révélé par l'enquête (Chabaca, 2004). Le ministère facilite l'octroi de financements non remboursables à hauteur de 80%. La maîtrise de la technique n'est pas encore parfaite, absence de contrôle de l'écoulement dans les goutteurs (photo 1). Certains agriculteurs utilisent sur les mêmes parcelles, en plus du système localisé, le gravitaire traditionnel. Ils ont souvent deux types de ressources en eau : superficielles à partir d'une borne du réseau et souterraine depuis un forage (photo 2).



Photo 1 : Pratique combinée dans une exploitation de la commune de Chiffa (Mitidja Ouest) de l'irrigation par micro-raie (gauche) et micro irrigation (droite)

Source : Chabaca, 2004



Photo 2 : Prise d'eau depuis le réseau du périmètre de la Mitidja Ouest tranche I gauche), et forage au premier plan, à droite (même exploitation)

Source : Chabaca, 2004

En aspersion, malgré un taux de couverture de 25,40% les effets attendus d'économie en eau sont loin d'être atteints. Cela est du à la vétusté de l'équipement et à la mauvaise maîtrise de la technique, fuites importantes d'eau, durées de stationnement des rampes aléatoires, conduite de l'irrigation empirique. Même s'il est peu coûteux en investissement du fait de l'utilisation d'une seule rampe mobile lors de l'irrigation, ce mode est cependant exigeant en main d'œuvre par rapport à celui d'une couverture totale.

L'irrigation gravitaire traditionnelle couvre 50% des superficies irriguées. Elle est pratiquée sur des raies courtes (5 à 10 m) ou de petites planches (12 à 20 m²). Elle utilise des mains d'eau de 4 à 10 l/s (Chabaca; 2004). Dans ce mode d'irrigation, la consommation en eau est élevée et la conduite de l'arrosage empirique. De plus, elle impose d'autres contraintes : temps, main d'œuvre, diminution de la superficie cultivée (photo 3).

L'irrigation par foggaras est encore pratiquée dans le Sud (Oasis de la Saoura, du Touat et du Gourara). La longueur totale des galeries souterraines de collecte des eaux est estimée à 4 000 km, dont la moitié au Touat (Pérennes ; 1990). La politique de mise en valeur des terres dans le Sud a encouragé la réalisation de forages. Ceux qui sont à proximité des foggaras provoquent le rabattement des nappes qui les alimentent et entraînent la disparition progressive de ces dernières.



Photo 3 : Exploitations agricoles de la Mitidja Est (Dar el Beïda à gauche et Rouiba droite) pratiquant l'irrigation par micro-raies

Source : Chabaca, 2002

Conclusion

Le mode prédominant reste le gravitaire traditionnel dans l'ensemble des régions, malgré une régression depuis le début des années 80 où 87% des superficies étaient irriguées par ce mode (Chabaca, 1983). L'AGID relève une mauvaise qualité de service des OPIs, une vulgarisation insuffisante des nouvelles techniques d'irrigation, un coût de l'énergie et des équipements relativement élevés, une tarification de l'eau dérisoire (1,20 DA/m³ jusqu'en 2004 et 2,5 DA depuis 2005; décret exécutif du 09 Janvier 2005). La figure 4 indique la stagnation du prix du mètre cube d'eau d'irrigation de 1962 à 1986.

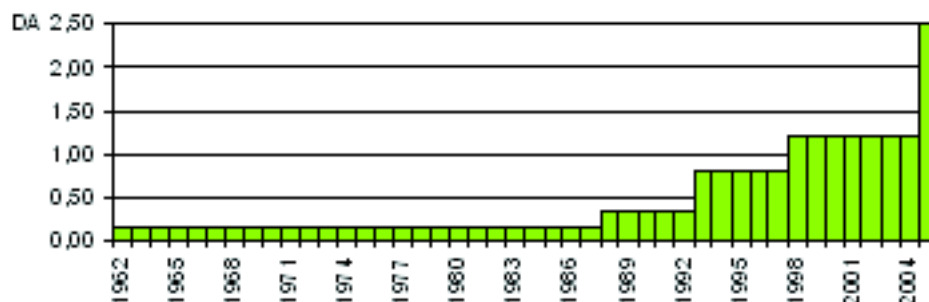


Figure 4 : Tarification de l'eau d'irrigation en Algérie

Source : Benmoufok, 2003.

La SAU irriguée qui est de 620 687 ha si l'on prend en compte les surfaces irriguées par les eaux de crues entre autre, concerne 28% des exploitations agricoles. On y trouve les spéculations suivantes :

- 3% de la sole céréalière sont irrigués;
- 76,8% de la sole maraîchère de plein champ sont irrigués;
- 95,5% des plantations de palmiers dattiers sont irrigués;
- 95% des vergers agrumicoles sont irrigués.

Les ratios SAU/tête d'habitant de 0,28 ha et celui de la SAU Irriguée/tête d'habitant de 0,02 ha sont très bas, d'autant que sur l'ensemble du territoire 39,6% de la SAU, chiffre qui varie selon les années sont maintenus en jachère (RGA ; 2000).

3.2.3. RESSOURCES EN EAU ET QUALITE

En Algérie les eaux ont une qualité moyenne et autorisent généralement une utilisation pour différents usages. Cependant l'aridité du climat se traduit dans certaines régions des hauts plateaux par une salinité des eaux souterraines pouvant limiter leur utilisation (Salem, 2003). De plus, la forte évaporation contribue à accentuer la salinité des eaux des barrages, tout en réduisant leurs réserves.

L'érosion hydrique particulièrement importante en Algérie est un autre facteur qui intervient dans la dégradation de la qualité de l'eau et la diminution des ressources mobilisables.

3.2.3.1. Situation actuelle des ressources en eau

Le Nord qui représente 10,6% du territoire reçoit 92% du total des précipitations (ANRH, 2003). Cette hétérogénéité s'observe aussi dans cette partie Nord, au niveau du Tell. Les bassins hydrographiques du Centre et de l'Est reçoivent 80% des apports pluviométriques.

Les potentialités hydriques totales en Algérie sont évaluées à 19,2 milliards de m³. Elles se décomposent en 12,4 milliards de m³ d'eau superficielle de la région nord et 5 milliards de m³ d'eau souterraine de la région du Sahara septentrionale (Salem, 2003). L'inventaire de l'agence nationale des barrages et transferts (ANBT) fait ressortir la possibilité de régulariser 6,5 milliards de m³ des eaux de la région nord, soit 48% de l'eau superficielle. En 2002, 2,2 milliards de m³ ont été mobilisés à partir de 61 barrages en exploitations auxquels il faut rajouter environ 70 millions de m³ mobilisés par 400 retenues collinaires en service. Les eaux souterraines au nord de l'Atlas Saharien sont exploitées à plus de 90%. Au Sud, l'exploitation des nappes est évaluée à 1,4 milliards de m³ (ANRH, 2003).

3.2.3.1.1. Distribution de l'eau

La distribution globale de l'eau représente 3,3 milliards de m³. Elle se répartit en eau à usage domestique, 1 300 millions de m³, en eau pour l'irrigation, 1 800 millions de m³ et eau pour l'usage industriel, 200 millions de m³ (Salem ; 2003). Les pertes par fuite dans l'ensemble des réseaux d'adduction (eau potable, eau d'irrigation, eau industrielle) selon le Ministère des ressources en eau, se situeraient actuellement entre 40 et 50%. Cette distribution évolue selon les années comme le montre le tableau suivant :

Utilisation	1975	1980	1989	1999	2002
Domestique (%)	16	21	25	34	39
Irrigation (%)	80	75	70	62	55
Industrie (%)	3	4	5	3,5	6

Source : ANRH, 2003 ; Salem, 2003

Le quota en eau réservé à l'agriculture diminue d'année en année (plus de 43% de réduction de 1975 à 2002). L'alimentation en eau de la population est la priorité. Actuellement tous les barrages construits sont affectés en totalité ou en partie à l'approvisionnement en eau des villes.

3.2.3.1.2. Qualité des eaux superficielles et souterraines

Il y a différentes ressources en eau. Dans le Nord se trouvent les eaux superficielles des barrages, des oueds, ainsi que les eaux des nappes. Dans la partie Sud, le système aquifère saharien comprend la superposition de deux principales couches aquifères profondes : i) la formation du Continental Intercalaire (CI) qui englobe l'Albien, le Barrémien et le Néocomien est considérée comme la plus importante réserve d'eau souterraine dans le Sahara Algérien ; ii) celle du Complexe Terminal, (CT). Ce système recouvre une étendue de plus de 1 million de km² dont 700 000 se trouvent en Algérie, près de 80 000 en Tunisie et 250 000 en Lybie (Abdous et al, 2005). Leurs qualités diffèrent. Les nappes de l'Albien contiennent de 2 à 5 g/l de sels et jaillissent à des températures comprises entre 25°C et 60°C (Biout, 2003) ; alors que dans le Nord, les eaux souterraines de la plaine de la Mitidja ont des taux de nitrates assez élevés (tableau 10 et 11).

Tableau 10 : Qualité des eaux souterraines des nappes de la Mitidja

Teneur en NO ₃ en mg/l (Octobre 2003)	Localités
185 130 60 77 88	Sud Réghaia Oued Meftah Nord Oued Khémis El Khéchna Ahmer El Ain Nord El Affroun

Source : ANRH, 2004

Dans le tableau 11, nous avons repris la salinité des eaux de quelques barrages et rivières.

Barrages							Rivières	
Est		Centre			Ouest			
Zardéza	Foum El Guerza	Ksob	Hamiz	Ghrib	Bakhada	Sarno	Cheliff (Ouest)	M'Zi (Sud)
0,62	3,57	1,03	0,530	2,43	2,68	5,16	2,40	5,56

Tableau 11 : Salinité des eaux en mmhos/cm

Source : Hartani & Zimmer, 2002

3.2.3.1.3. Mode de gestion et d'exploitation de l'eau

Deux modes d'exploitation gèrent l'eau destinée à l'irrigation : les grands périmètre irrigués (GPI) et la petite et moyenne hydraulique (PMH).

3.2.3.1.3.1. Les grands périmètres irrigués

Ils sont équipés par l'agence nationale de gestion des infrastructures pour l'irrigation et le drainage et gérés par les offices des périmètres irrigués. L'eau est fournie à partir des

barrages et de quelques forages. La superficie équipée est de 177 000 ha (154 953 ha pour les OPIs régionaux et 22 047 ha pour les OPIs de wilaya), dont 100 000 ha irrigables, le reste comprenant soit des superficies dont le réseau de distribution de l'eau d'irrigation n'est plus opérationnel, soit des sols devenus salés et ne pouvant plus être irrigués malgré que le réseau soit fonctionnel. Sur ces 100 000 ha en moyenne 40 000 ha sont irrigués selon les disponibilités en eau (tableau 12).

Tableau 12 : Situation générale des périmètres des OPIs régionaux non comprises les superficies des OPIs de wilaya(1997-2001)

OPIs	Périmètres	Cultures dominantes	Pluie Moyenne (mm)	Surface Equipée (ha)	Surface Irrigable (ha)	Surface Irriguée (ha)	Ratio moyenné équipé
Habra/Sig Habra/Sig	Habra Sig	*Arbo Arbo	260 280	19 600 8 200	9 000 3 500	4 550 4 120	23 % 50 %
Chélif Chélif	Chélif Chélif " Bas " Mina	Arbo Arbo *Arbo	350 300	240 200 21 800	22 500 9 000	6 300 2 800	29 % 14 % 63 % 4
Mitidja Mitidja	Hamiz Mitidja Ouest	Arbo/mar Arbo	690 550	17 000 8 600	8 000 7 500	2 170 720	13% 8%
Tarf Tarf	Tarf Bounamoussa Saf Guelma-Bouche gouf	*C Indust *Maraic	600 520	15 500 4 990	4 500 5 250	1 370 1 170	20% 23% 29%
Total/moy				*154 953	83 200	32 740	21%

*Arbo : arboriculture fruitière ; *Maraic : maraichage ; *C Indust : cultures industrielles ;

*Conso : volume d'eau consommé ; *Pluio : pluviométrie

154 953 ha : superficie équipée au niveau des OPIs régionaux

Source : Benmouffok, 2003

Les offices de wilaya sont gérés directement par les DHW. Ils sont souvent soumis à des décisions conjoncturelles faute de moyens financiers sans aucune continuité amenant l'abandon d'un grand nombre d'ouvrages pourtant réalisés à grand frais par l'Etat (cas particulier des OPIs de Saïda et de Maghnia à l'Ouest). Il apparaît clairement que les wilayate n'ont pas aujourd'hui les capacités techniques et financières pour exploiter des périmètres irrigués. Comme pour les autres grands périmètres, ces investissements réalisés sont en partie perdus ou en cours de déperdition (Guemraoui & Chabaca, 2005).

Durant la période 1987 à 2002 les volumes d'eau affectés à l'irrigation dans les GPI n'ont jamais couvert en totalité la demande en eau. Ils ont été en moyenne de 300 millions de m³ alors que les besoins en année normale sont de l'ordre de 700 millions de m³ soit moins de 50%.

Cependant, ces structures, ne représentent qu'une petite partie des superficies irriguées. Aujourd'hui, l'irrigation en Algérie, s'est essentiellement développée dans le cadre de la PMH.

3.2.3.1.3.2. La petite et moyenne hydraulique

La petite et moyenne hydraulique est définie par le mode d'accès à la ressource en eau. Celle-ci est fournie à partir des puits, forages, oueds, retenues collinaires, Ceds. Il y a très

peu de données sur les superficies irriguées. Nous les avons estimés par recoupement entre la SAU totale irriguée de 620 687 ha (donnée du RGA) et les superficies irriguées en grande hydraulique (37 000 ha y compris les superficies irriguées des OPIs régionaux), soit 583 687 ha (94% de l'ensemble des superficies irriguées).

Avec 94% des superficies irriguées, la PMH, assure près de la moitié de la production agricole, constituée par les cultures maraîchères et l'arboriculture. Son dynamisme semble lié à l'autonomie qu'elle procure aux agriculteurs dans la maîtrise de la ressource eau (Benmouffok, 2003). Le développement de la PMH soulève de nombreuses questions sur son avenir et sa durabilité dans certaines zones. Les informations recueillies par le biais du MRE, confirment en effet un développement assez anarchique de milliers de forages et puits, dont la majorité sans autorisation et dont l'exploitation porte souvent un préjudice irréversible aux nappes souterraines. En ce qui concerne le développement de la PMH à partir des ressources superficielles, 1054 retenues collinaires ont été réalisées, dont seules 400 sont encore en exploitation. Les investissements ont malheureusement souvent été effectués hâtivement sur la base d'études sommaires.

3.2.3.1.3.3. Les infrastructures de stockage de l'eau

Malgré une pluviométrie exceptionnelle qui a duré plusieurs mois, (octobre, novembre, décembre 2002 et janvier, février 2003) les 61 barrages en exploitation ont été remplis à 30% de leur capacité de stockage. Ceci sans tenir compte également des problèmes d'envasement. L'absence de réseaux de transferts régionaux, entre les barrages s'est fait cruellement ressentir ces dernières années. Leur densification aurait permis de procéder à des transferts d'eau de barrages, de régions à régions. Dans la région est des barrages ont atteint et dépassés un taux de remplissage de 100%. Le surplus d'eau est relâché directement vers la mer via les cours d'eau. Pour la même période, les barrages du centre atteignaient un taux de remplissage de 40 à 50% et ceux de l'Ouest entre 20% et 30%. Le tableau 13, nous donne un aperçu sur les principales infrastructures de stockage et d'exploitation des ressources en eau.

Tableau 13 : Infrastructures de stockage et sources en eau

Nature	EST	CENTRE	OUEST	SUD	TOTAL
Barrages	21	16	23	1	61
Retenues collinaires	102	855	97	5	1059
Forages	23044	2657	358	3601	29660
Puits	9392	3042	14296	26146	52879
Sources	N.D*	3354	282	86	3722
Autres	1315	330	25	1	1671
Foggaras				600	600

N.D : non disponible

Source : Chabaca, 2004

Le nombre de forages et de puits indiqué, ne reflète pas la réalité puisqu'il ne donne pas une estimation de ceux réalisés illicitement par les agriculteurs, les particuliers et les industriels. Ce chiffre serait de 20 000 forages (Ferrah et al, 2004 in Imache, 2004). Il y aurait 4 000 forages non déclarés pour la seule Mitidja (AGID, 2 000). Les périodes successives et fréquentes de sécheresse, ont provoqué des rabattements de certaines nappes et amené l'assèchement de puits et forages peu profonds (cas de la Mitidja). Ceci sans parler

également des pompages illicites à partir des oueds et des prélèvements clandestins depuis les réseaux d'adduction qu'ils soient d'eau potable ou d'irrigation (Benmouffok, 2003).

3.2.3.2. Conclusion

Les conditions climatiques sont dominées par une très grande irrégularité de la pluviométrie. L'eau constitue un facteur limitant au développement des cultures. La présentation des potentialités des terres agricoles en Algérie montre que:

1,8 millions d'ha soit 24% de la SAU reçoivent plus de 600 mm de pluie/an permettant une agriculture intensive sans irrigation mais qui reste toutefois conditionnés par leur répartition durant l'année;

3,2 millions d'ha soit 42% de la SAU, des terres situées dans des zones agro climatiques de 400 à 600 mm , permettent des cultures de céréales, fourrages en sec et arboriculture;

2,6 millions d'ha soit 34% de la SAU situées dans des zones à pluviométrie inférieure à 400 mm où l'agriculture constitue une activité aléatoire présentant des risques élevés.

Ainsi, on relève que 76% de la SAU sont localisés dans des zones agro climatiques défavorables où l'eau constitue une contrainte majeure et un facteur limitant la production agricole (RGA, 2003). Liées à la répartition des pluies dans le temps et l'espace, dans la zone Nord, les ressources hydriques sont ainsi plus facilement disponibles dans les zones Est puis Centre et Ouest. Les superficies irriguées vont suivre le même cheminement alors que c'est à l'Ouest, que se trouvent les terres les plus favorables pour l'irrigation (étendue, topographie plate). Cependant pour l'ensemble de la région nord, les réserves en eau pour l'agriculture ne sont pas importantes et limitent donc le développement de l'irrigation. Par ailleurs, cette rareté de la ressource fait que, dans le choix des spéculations à irriguer, la priorité est donnée aux cultures à forte valeur ajoutée : arboriculture fruitière (agrumes, arbres à pépins et à noyau), maraîchages sous serres et de pleins champs. Les cultures fourragères en irrigué ainsi que les cultures industrielles (excepté la tomate industrielle et le tabac), sont presque inexistantes. L'eau est donc un facteur limitant pour le développement de l'ensemble des spéculations. Cet aspect sera développé dans la partie qui suit et qui traite des productions végétales.

3.2.4. PRINCIPALES PRODUCTIONS VEGETALES

3.2.4.1. Aspect superficies

Dans le tableau 14 et la figure 5 sont présentées les principales spéculations par région.

Spéculation	Est		Centre		Ouest		Sud		Total	
	Superf (ha)	%	Superf (ha)	%	Superf (ha)	%	Superf (ha)	%	Superf (ha)	%
Céréales	848 798	51,2	425 173	69,6	758 285	61,13	31 078	27,4	2 063 334	56,9
Maraîchage	80 993	4,9	105 108	17,2	122 486	8,7	14 703	12,9	323 290	8,9
Arboriculture	728 120	43,9	80 904	13,2	359 498	28,98	67 759	59,7	1 236 281	34,1
Total	1 657 911		611 185		1240269		113 540		3 622 905	

Tableau 14 : Superficies des principales productions végétales par région (ha)

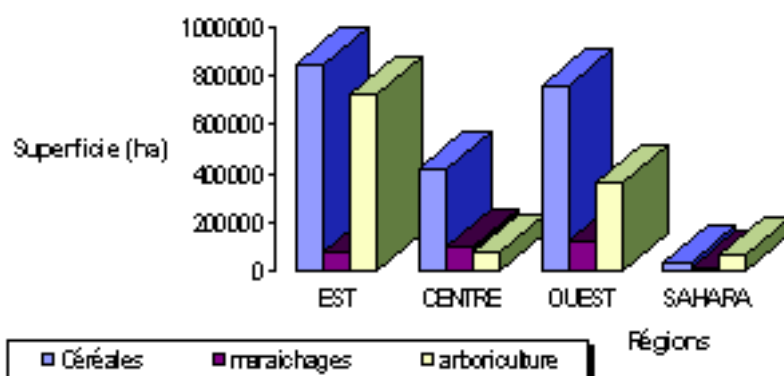


Figure 5 : Superficies des principales productions agricoles par région (ha)

Source: Chabaca, 2004

Concernant les superficies occupées par les cultures industrielles, il s'agit surtout de la tomate. Les céréales n'ont que 3% de leur superficie qui reçoivent une irrigation (annexe 4, p 258). Les régions est et ouest, concentrent 81,66% des superficies en céréales et arboricultures. Pour les maraîchages 70% des superficies sont réparties entre le Centre et l'Ouest.

3.2.4.2 .Les aspects productions agricoles

La répartition des principales productions par région (tableau 15, figure, 6) montre la prédominance des régions est et centre. Elles totalisent 72% de la production céréalière nationale, 84% de la production maraîchère et 93% de la production arboricole.

Spécifications	Est		Centre		Ouest		Sud		Total	
	Prod (Qx)	%	Prod (Qx)	%	Prod (Qx)	%	Prod (Qx)	%	Prod (Qx)	%
Céréales	8 353 520	30,1	5 245 670	03,7	4 542 887	55	714 237	31	18 856 314	31,3
Maraichages	7 564 162	27,4	1 418 950	64	3 482 327	42,9	682 519	29,6	25 909 958	43
Arboriculture	11660 192	42,3	2705 700	12,2	228903	2,8	907 182	39,4	15 501 977	25,7
Total	2 7577 874		22132 320		82541 17		2 303 938		60 268 249	

Tableau 15 : Principales productions agricoles (Qx)

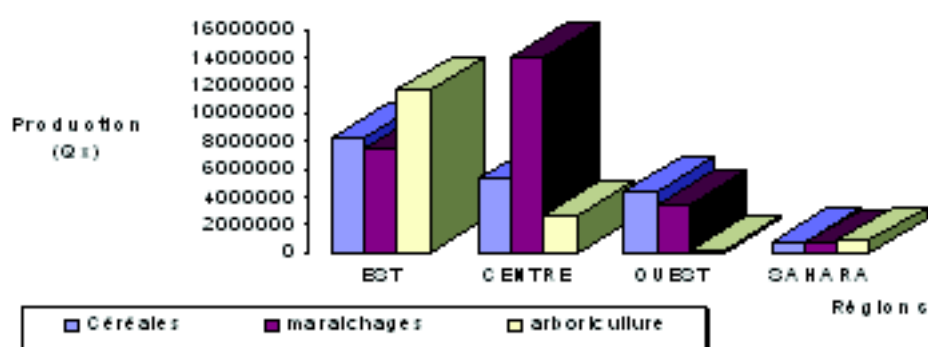


Figure 6 : Principales productions agricoles (Qx)

Source : Chabaca, 2004

3.2.4.3. Les niveaux de rendements

Les rendements sont relativement plus importants à l'Est et au Centre (tableau 16, figure 7) bien qu'ils restent inférieurs par rapport à ceux de pays à agriculture plus développée. Exemple des céréales où le rendement national est de 12,4 qx /ha. Au Sud où l'irrigation des céréales est totale on arrive à peine à une moyenne de 23 qx / ha. Les maraichages et l'arboriculture donnent des rendements moyens à l'échelle nationale de l'ordre de 75,8 qx/ha et 15,4 qx/ha.

Tableau 16 : Rendements des principales productions végétales par région (Qx/ha)

Spécifications	Est	Centre	Ouest	Sahara	Moyenne (Qx/Ha)
Céréales	9,84	10,68	5,99	22,98	12,37
Maraichages	93,39	134,91	28,43	46,42	75,78
Arboriculture	16	25,64	6,36	13,38	15,34

Source : Chabaca, 2004

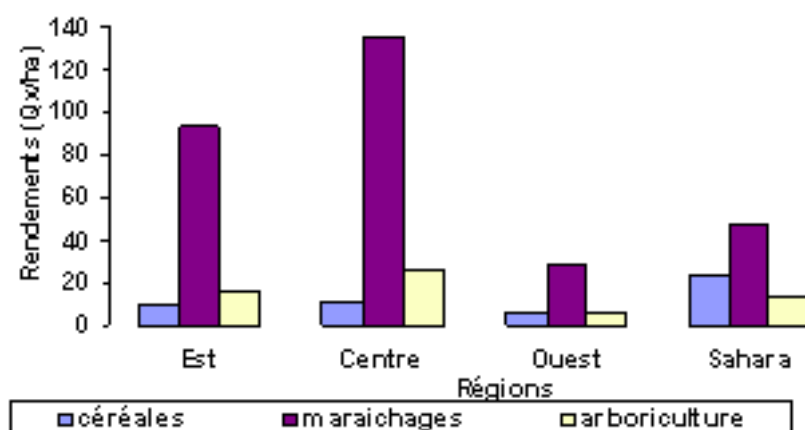


Figure 7 : Rendements des principales productions végétales par région (Qx/ha)

3.2.5. RESSOURCES HUMAINES

3.2.5.1. POTENTIALITES

Il est important de situer l'aspect encadrement et main d'œuvre dans le monde agricole par rapport à la ressource humaine disponible sur le marché du travail et qui n'est pas un facteur limitant vu le taux de chômage (30%). L'agriculture est connue comme étant grosse utilisatrice de main d'œuvre. La tranche d'âge 20-60 ans qui représente le potentiel main d'œuvre est importante (tableau 17, figure 8). La répartition entre les deux sexes est équilibrée. Mais parmi les femmes, très peu ont la possibilité d'avoir un travail permanent. On note dans le même tableau que la tranche d'âge 0-19 ans qui est destinée à prendre la relève des 20-60 ans, est tout aussi importante. La répartition selon les tranches d'âge est à peu près identique dans l'ensemble des trois régions. L'Ouest abrite 20% de la population totale par rapport à l'Est et au Centre qui à eux deux totalisent 72%. La population du Sud n'apparaît pas dans cette étude, elle est de 4 millions d'habitants.

Tableau 17 : Répartition de la population par tranches d'âge dans les trois grandes régions du pays

	Centre	%	Est	%	Ouest	%	Total	%
0-19 ans	4 986 238	46,53	4 679 230	50,24	2 555 775	45,86	12 221 243	47,55
20-60 ans	5 024 792	46,89	4 008 569	43,04	2 676 350	48,03	11 709 711	45,56
>60ans	702 879	6,56	624 384	6,7	339 987	6,10	1 667 204	6,48
Total	10 713 909		9 312 183		5 572 112		25 598 158	

Source : RGA, 2003

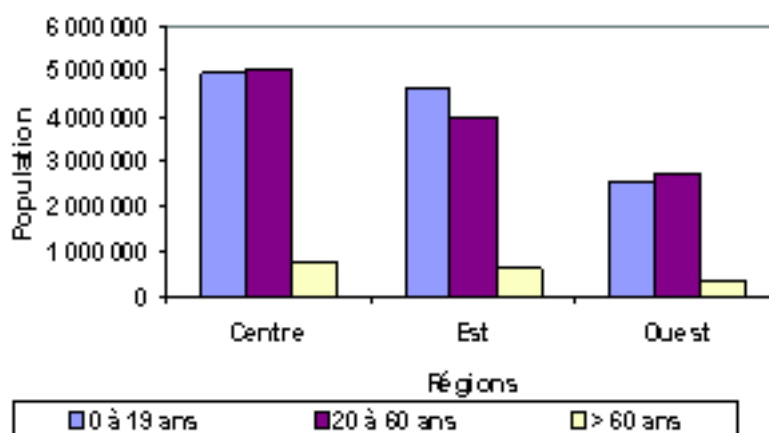


Figure 8 : Répartition de la population par tranche d'âge dans les 3 régions

3.2.5.2. La population agricole

Elle sera étudiée sous différents aspects:

- Age et sexe des chefs d'exploitations;
- Niveau d'instruction;
- Niveau de formation agricole;
- Répartition par région et types de spéculations;
- L'environnement de l'agriculteur;

3.2.5.2.1. Identification de la population agricole

Les différentes strates de la main d'œuvre agricole vivant de l'exploitation des terres se répartissent ainsi (annexe 5, p 259):

- La population totale vivant sur l'exploitation est de 6 907 585 personnes dont 24,5% de femmes;
- La population active agricole s'élève quant à elle, à 4 421 358 personnes dont 18% de femmes.

Cette population se répartit en:

- 2 112 717 permanents (47,8%) dont 358 151 femmes ;
- 2 308 641 saisonniers (52,2%) dont 439 278 femmes ;

La SAU totale rapportée à la population active agricole donne le ratio de 1,9 hectare par actif agricole.

3.2.5.2.2. Age et sexe des chefs d'exploitations

La classification des chefs d'exploitations selon l'âge et le sexe est détaillée dans le tableau 18.

Classe de SAU	Classes d'âge (ans)									Total	%
	ND	17-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-64	65-69	70 et plus		
0,1 < 0,5 la	1494	440	3922	11242	19359	19669	9621	8518	14549	88914	8,7
0,5 < 1 la	1124	350	3307	9646	16988	17350	8559	7133	12999	78266	7,5
1 < 2 la	1964	497	6392	17154	27584	28174	14058	12466	20575	128864	12,5
2 < 5 la	3481	890	13023	32933	50958	51294	25158	22902	38206	239844	23,4
5 < 10 la	2791	585	8557	24023	38410	38110	20324	17977	30490	181267	17,7
10 < 20 la	2251	369	5510	18053	30325	30810	16566	14845	24151	142980	14
20 < 50 la	1487	133	2823	10058	19005	19793	10469	9451	14911	88130	8,5
50 < 100 la	216	23	380	1495	3214	3374	1656	1532	2394	14294	1,4
100 < 200 la	57	9	75	419	1101	1027	467	373	535	4053	0,4
200 la et +	94	4	17	97	331	332	129	91	147	1242	0,1
Total	14959	3300	44306	125120	207275	209933	108027	96888	159056	967864	94,5
Hors sol	1207	791	6190	10325	12356	10649	4709	3838	5870	55935	5,5
Total	16166	4091	50496	135445	219631	220582	112736	99726	164926	1023799	100

Tableau 18 : Répartition des chefs d'exploitations selon l'âge

Source : RGA, 2003

L'analyse de ce tableau montre que:

- Pour l'élément féminin :
 - 51% des chefs d'exploitations ont « plus de 60 ans ». Parmi celles-ci, 48% ont « 70 ans et plus » ;
 - 2,1% des chefs d'exploitations femmes ont « moins de 30 ans » ;
- Pour l'élément masculin :
 - 36,2% des chefs d'exploitations ont « plus de 60 ans ». Parmi ceux - ci, 3,5% ont « 70 ans et plus » ;
 - 5,5% des chefs d'exploitations de sexe masculin ont « moins de 30 ans » ;

Sur l'ensemble des chefs d'exploitations 4,1% sont des femmes.

3.2.5.2.3. Niveau d'instruction

- 65% des hommes, chefs d'exploitations sont sans instruction. Parmi eux 29% ont un niveau d'instruction primaire ou moyen. Ceux qui ont le niveau secondaire constituent 5% du total. Le niveau supérieur ne représente que 1% ;
- 85% des femmes chefs d'exploitations sont sans instruction;
- 32,6% des chefs d'exploitations de « moins de 40 ans » sont sans instruction ;
- 83% des chefs d'exploitations de « plus de 60 ans » sont sans instruction ;

3.2.5.2.4. Niveau de formation agricole

Les chefs d'exploitation en fonction de leur niveau de formation agricole par classe d'âge et par genre se répartissent ainsi (annexe 6, p 260):

- 2,7% des chefs d'exploitations (27 158) ont une formation agricole : 98,5% sont des hommes et 1,5% des femmes.
- Parmi les 27 158 chefs d'exploitations ayant reçu une formation agricole, 53% ont bénéficié d'un cycle de perfectionnement et 20% sont des techniciens supérieurs ou des ingénieurs.

3.2.5.2.5. Synthèse régionale de la répartition de la main d'œuvre agricole

Si l'on analyse les données contenues dans le tableau 19, nous remarquons que:

La région Centre possède le plus grand nombre d'exploitations, soit 333 580 (32% du total) et vient en seconde position pour la main d'œuvre employée (628 896 travailleurs, soit 28% du total);

La région Est se trouve en deuxième place pour le nombre d'exploitations avec 297 676, soit 29% du total et en première position pour la main d'œuvre employée avec 290 042 travailleurs, soit 31% du total ;

Les régions Ouest et Sud viennent respectivement en troisième et quatrième place;

Tableau 19 : Répartition des exploitations et de la main d'œuvre selon les régions

Régions	Nombre exploitations	%	Main d'œuvre employée	%
Est	296 676	29	690 042	31
Centre	333580	32	628 896	28
Ouest	227823	22	554 921	25
Sud	177059	17	356 226	16
Total	1 036 138	100	2 230 085	100

Source: DSASI, 2002

3.2.5.2.6. Répartition de la main d'œuvre par culture et rapport terre/main d'œuvre

Le tableau 20, permet de connaître le rapport terre/main d'œuvre pour les spéculations principales. Sur l'ensemble des superficies consacrées à la production végétale, 76,52% sont réservés uniquement à la céréaliculture. Elle emploie 29,71% du total des travailleurs agricoles dans la production végétale, soit environ 7 ha de

céréaliculture par travailleur. Les cultures maraîchères utilisent quant à elles, 7,38% de la superficie et emploient 26,19% du total de la main d'œuvre de cette même production, soit 0,74 ha pour chaque travailleur. Les cultures industrielles utilisent pour leur part 1,29% de la superficie consacrée à la production végétale et emploient 5,75% de la main d'œuvre.

Tableau 20 : Répartition de la main d'œuvre par culture

Cultures	Superficie (%)	Main d'œuvre employée	Taux main d'œuvre	Rapport Terre/ Mo
Céréaliculture	76,52	470 218	29,71	7,00 ha/T*
Légumes secs	1,67	24 994	1,58	2,80 ha/T
Cult.industrielles	1,29	90 933	5,75	0,59 ha/T
Cult. Maraîchères	7,38	414 491	26,19	0,74 ha/T
Oleiculture	4,23	142 994	9,04	1,24 ha/T
Viticulture	1,42	663 309	4,00	0,94 ha/T
Cult. Fruitières	5,08	206 926	13,07	1,03 ha/T
Phoeniciculture	2,41	168 758	10,66	0,59 ha/T
Total	100,00	1 582 623	100,00	

T : travailleur

Source: DSASI, 2001

3.2.5.2.7. Environnement

Le tableau 21 présente les interactions des exploitations avec leur environnement socio – économique.

Rubriques		Nombre	(%) ^a
Tenue d'une comptabilité		20 156	2
Exploitations faisant appel au crédit	Bancaire	31 264	3,1
	Particulier	91 841	9
	Les deux	4 914	0,5
Exploitations endettées		89 119	8,7
Existence d'aides de l'Etat		126 095	12,3
Chefs d'exploitations assurés sociaux		347 945	34
Exploitations avec assurances agricoles		81 832	8
Adhérents à une association agricole		146 090	14,3

Tableau 21 : Environnement des exploitations

% par rapport au nombre total d'exploitations (1 023 799)

Source : RGA; 2003

constate, que 3,1% des exploitations ont recours au crédit bancaire; 8% des exploitations agricoles ont déclaré avoir contracté une assurance agricole.

Ces chiffres montrent que les agriculteurs en 2001, bénéficient de peu de soutien. Il n'y a pas d'appui financier de la part de l'Etat et des particuliers ; faible couverture des exploitations au niveau des assurances, peu de motivation par rapport aux associations agricoles.

3.2.5.3. Conclusion

L'agriculture est le principal utilisateur de la main d'œuvre à l'échelle nationale, malgré son faible niveau de développement actuel. Les exploitants sont confrontés à des difficultés économiques et juridiques.

Prise en charge dans un contexte de gestion rationalisée et moderne, elle peut contribuer d'avantage au développement économique par le biais d'une main d'œuvre qualifiée et sécurisée. Il est donc important qu'en même temps que des mesures de modernisation de l'agriculture qui sont entreprises (PNDA, FNRDA...), des mesures d'accompagnement concernant l'aspect social, formation, encadrement organisations associatives, soient également rapidement prises.

Actuellement le taux de contribution de l'agriculture en matière d'emploi serait de 27,97% selon le Ministère de l'agriculture par rapport à la main d'œuvre active nationale.

Le rapport SAU par tête d'habitant est de 0,26 ha/habitant. Le rapport SAU rapporté à la population active agricole de 4 421 358 ouvriers saisonniers et permanents est de 1,9 ha par actif agricole (RGA; 2003).

4. CONCLUSION

L'ensemble des éléments que nous avons abordés dans cette partie, (géographie, économie, démographie), montre que l'agriculture Algérienne évolue dans un contexte difficile.

Ainsi :

- Le climat : Il est tempéré à semi aride dans la frange Nord qui représente 17% de la surface du pays et désertique pour le reste ;
- Les ressources en sol ne sont pas extensibles, 8 458 650 ha de SAU sur 238 174 000 ha (3,5 % du total) situés à 97,8% dans le Nord, malgré des efforts de mise en valeur dans le Sud depuis 2 000 et bien avant. L'urbanisation dans le Nord envahit les meilleures terres ; plus de 200 000 ha de SAU selon le RGA ont été perdus depuis 1995. L'exemple de la Mitidja Est est édifiant à ce sujet. L'emprise du cadre bâti sur les terres agricoles de la plaine n'a cessé de s'aggraver. Les photos (4; 5) prises respectivement en 1972 et 1992 et la photo 6 en 2003, montrent l'avancée significative de l'urbanisation dans cette plaine dont la principale vocation est agricole

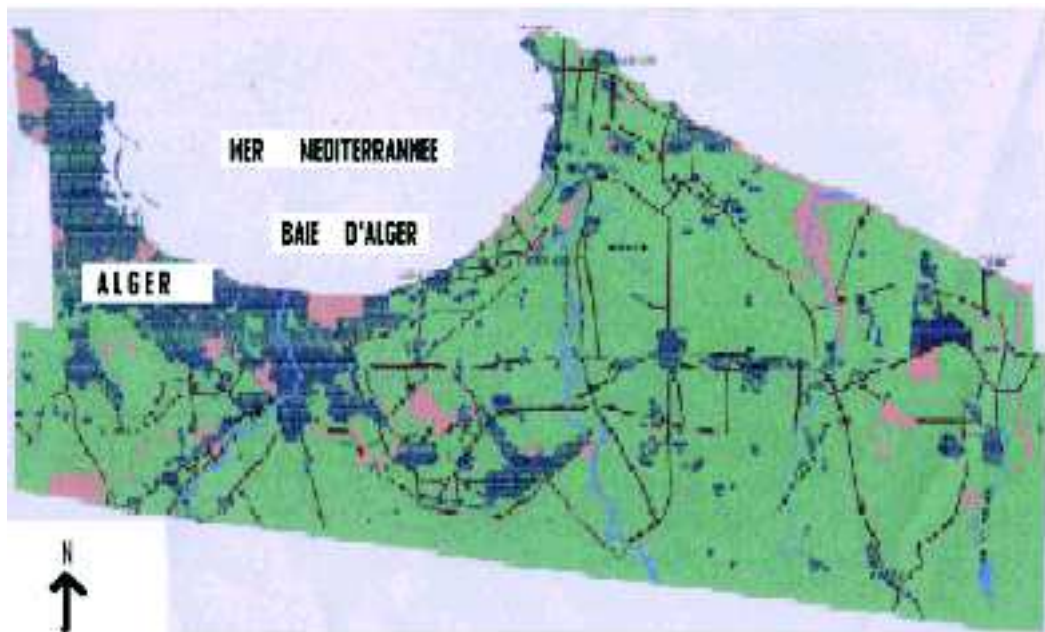


Photo 4: Emprise du cadre bâti sur les terres agricoles de la Mitidja Est (1972). En bleu foncé le cadre bâti, en vert les terres agricoles (Echelle d'information : 1/20 000)

Source: INSID. 1972

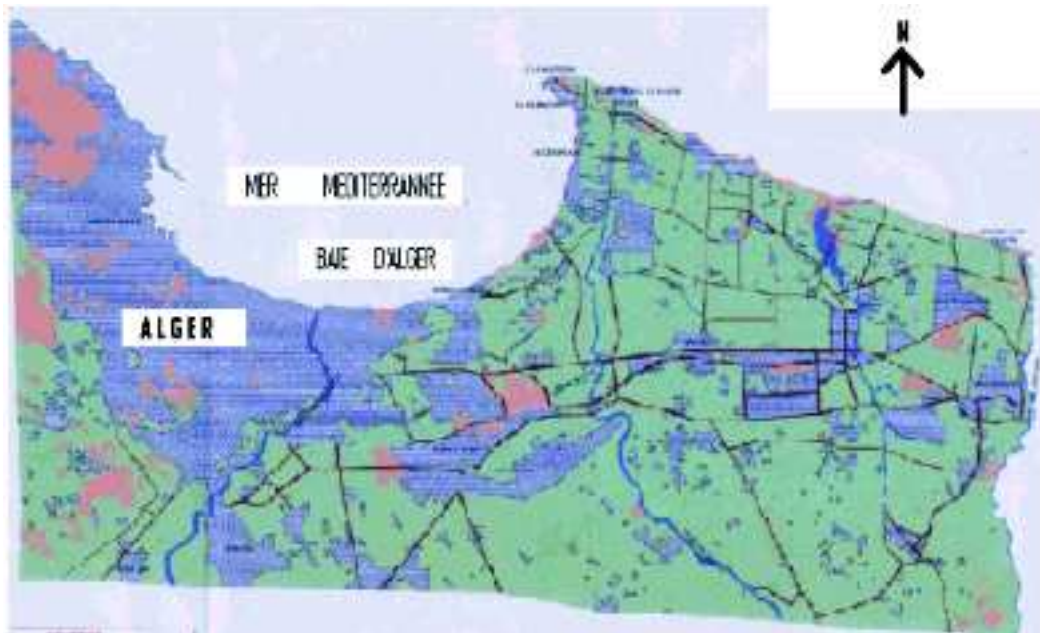


Photo 5: Emprise du cadre bâti sur les terres agricoles de la Mitidja Est (1992). En foncé le cadre bâti, en vert les terres agricoles (Echelle d'information : 1/20 000).

Source : INSID, 1997



Photo 6 : Emprise du cadre bâti sur les terres agricoles de la Mitidja Est (2005). En clair le cadre bâti, en vert les terres agricoles

Source : www.Google Earth ; 2005

- Par rapport à cela, la pression démographique d'une population concentrée à 86% dans le Nord fait que la demande sur la ressource eau dans cette zone crée des tensions contraignantes ;
- L'eau: la ressource eau liée au climat est aléatoire. Malgré la réalisation de 61 barrages dont 13 hérités de la période coloniale et 80 autres qui s'étagent entre faisabilité et réalisation, l'aléa climatique n'a permis à ce jour le stockage que de 2,8 milliards de m³ sur une capacité de stockage de 6,52 milliards destinés en priorité à l'AEP et l'industrie ;

L'agriculture irriguée repose actuellement à 94% sur l'initiative privée (PMH) et puise son eau à plus de 70% des ressources souterraines.

Les perspectives d'amélioration de l'agriculture irriguée (extension des surfaces, économie d'eau...) reposent à la fois sur une gestion plus rigoureuse de la quote part en eau qui lui est réservée et sur l'amélioration des pratiques d'irrigation existantes. Elle pourra évoluer grâce à l'utilisation de techniques d'irrigation à efficience élevée, à l'amélioration du gravitaire traditionnel ainsi qu'avec la valorisation des eaux non conventionnelles (eaux usées, salées et saumâtre).

B/ APPROCHE DE L'IRRIGATION GRAVITAIRE TRADITIONNELLE

B.1.LES PRATIQUES TRADITIONNELLES EN IRRIGATION ET LES MODES D'APPORT EN EAU

1. INTRODUCTION

La pratique de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie est mal cernée. Les résultats des enquêtes que nous avons menés (Chabaca, 2004), ceux du RGA (2003) ainsi que la bibliographie, nous ont permis de mieux la connaître.

Ainsi:

- Le mode d'irrigation par micros - raies et micros - planches est en irrigation gravitaire traditionnelle, la technique dominante dans l'ensemble des régions;
- Il existe des techniques traditionnelles de captage et d'exploitation des ressources en eau qui diffèrent selon les régions ;

On distingue ainsi:

- L'irrigation à partir du captage des eaux des nappes superficielles par les foggaras, mode spécifique à certaines régions du Sud (Touat, Gourara, Tidikelt);
- L'irrigation par épandage des eaux de crues des oueds ou ceds pratiquée sous différentes formes dans le Nord (Némencha; Hodna) et le Sud (Abada, Ghardaïa);
- L'irrigation à partir des "Ghouts" dans le Sud (Oued Souf)

L'irrigation par micros - planches et micros - raies n'est pas un mode spécifique à notre pays. On le retrouve en dehors de l'Algérie, sous diverses appellations, au Maroc et en Tunisie (photo 7), ainsi que dans d'autres régions du Monde comme l'Egypte ou l'Ouzbékistan (photo 8)

Photo 7 : Robta dans la zone côtière de la plaine du Gharb au Maroc (gauche) et 2 dans la basse vallée de la Médjerda à Manouba en Tunisie (droite)



Source: Chabaca, 2005

En Tunisie et au Maroc, ce mode a fait l'objet de travaux de recherche. Les données disponibles (Messaadi, 1999; El Amrani et al, 1999; Vodicka, 2000) montrent que ses performances sont moyennes. La répartition de l'eau au niveau de la parcelle est hétérogène (Yacoubi et al, 1999).



Photo 8: Irrigation par micros - raies en Ouzbékistan (gauche) et en Egypte (droite)

Source : IPTRID, 2004

Limiter les pertes par percolation dues à l'acheminement de l'eau dans les canaux et les seguias en terre depuis la prise d'eau jusqu'aux parcelles à irriguer est une préoccupation

majeure pour les agriculteurs (Yacoubi et al, 1999). Les contraintes de ce mode sont les mêmes pour les pays du Maghreb, même si leurs préoccupations ne se rejoignent pas. Au Maroc et en Tunisie, les insuffisances ont pu être identifiées, et quantifiées par le biais de travaux de recherche. En Algérie, on en est encore au stade du constat.

L'approche descriptive des modes d'irrigation par micros - raies et micros - planches, se fera à partir des données de l'enquête relative aux exploitations agricoles (annexe 2, p.250). Nous la compléterons avec les résultats du RGA et les études de cas que nous avons mené dans quelques exploitations de la Mitidja.

2. ETAT DES LIEUX DE L'IRRIGATION ET DES SUPERFICIES IRRIGUEES

2.1. REPARTITION GEOGRAPHIQUE DE L'IRRIGATION

L'irrigation est pratiquée dans l'ensemble des wilayate. L'importance des superficies irriguées est fonction de la disponibilité en terre irrigable et surtout en eau. Les trois techniques (gravitaire traditionnel, aspersion, localisée) sont pratiquées avec une prépondérance pour la première. La figure 9 a, b, c, d, présente la répartition des terres irriguées par wilaya et par région. Les données détaillées sont présentées en annexe 7, p. 261.

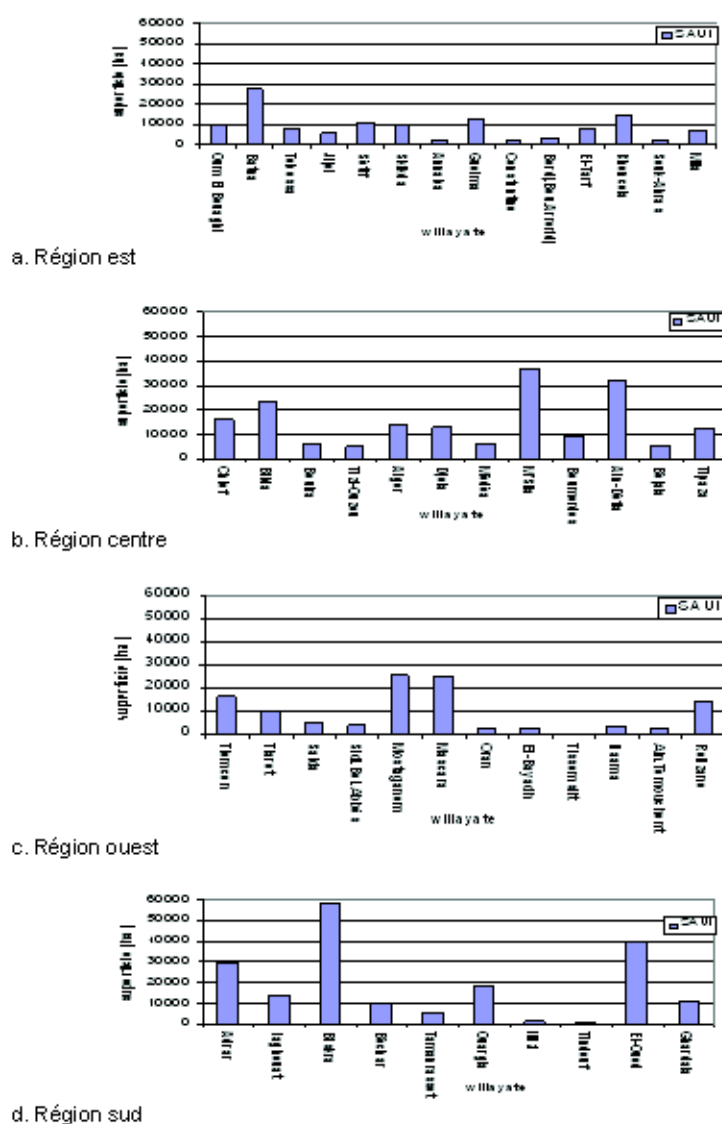


Figure 9: Répartition des superficies irriguées par région (ha)

Le tableau 22 (synthèse de la figure 9 a, b, c, d et de l'annexe 7, p. 261), regroupe les potentialités en terres et terres irriguées des quatre régions.

Régions	SAU	SAU Irriguée	Rapport SAU/SAU Ir* (%)
Est	3 013 543	120 991	4,01
Centre	2 188 370	180 082	8,22
Ouest	2 820 387	111 443	3,95
Sud	436 380	177 067	40,57
Total	8 458 680	620 687	7,33

*SAU Ir : SAU Irriguée

Le Centre et le Sud regroupent 31% de la SAU et concentrent 58% des superficies irriguées. A l'Est se trouvent 36% de la SAU, 20% de la SAU irriguée et la plus grande

partie du réseau hydrographique et des précipitations. L'Ouest avec un potentiel sol irrigable important, ne dispose que de 18% de la SAU irriguée.

Dans le Tableau 9 relatif à la répartition des modes d'irrigation par région, le gravitaire traditionnel prédomine dans les régions Est (47,34%), Centre (44,33%), Sud (71,26%), alors que dans la région Ouest il n'est que de 24,66%.

2.2. CULTURES CONCERNEES

Les données présentées ci-dessous concernent les différents modes d'irrigation (gravitaire traditionnel, micro - irrigation et aspersion). Nous ne pouvons dire avec précision quelle est la part qui revient au gravitaire pour chaque type de spéculation. La figure 10 a, b montre (partie 10 a) la faiblesse des superficies irriguées (annexe 7 p 261).

	SAU Totale	SAU Irriguée
Surface (Ha)	8 458 680	620 687
Rapport SAU Totale/SAU Irriguée (%)		7,33

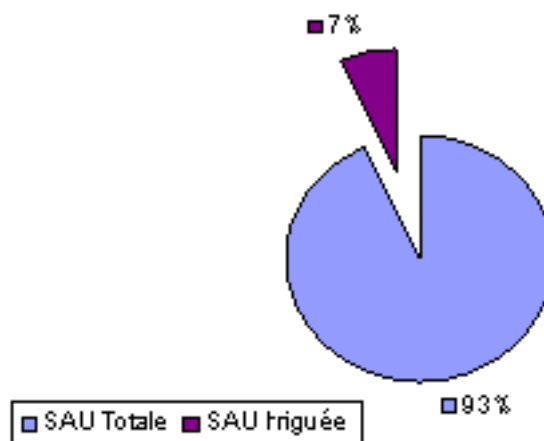


Figure 10 a : Rapport entre la SAU totale et la SAU irriguée

Figure 10 b : Superficies irriguées par type de cultures (ha)

Cultures	Céréales d'hiver	Céréales d'été	Cultures Fruitières	Cultures Maraichères	Cultures Industrielles	Vignes	Cultures Sous Serres	Divers
Surface (ha)	88430	450	254 330	215 330	20890	9380	5557	26320
%	14,24	0,07	40,97	34,69	3,36	1,51	0,89	4,24

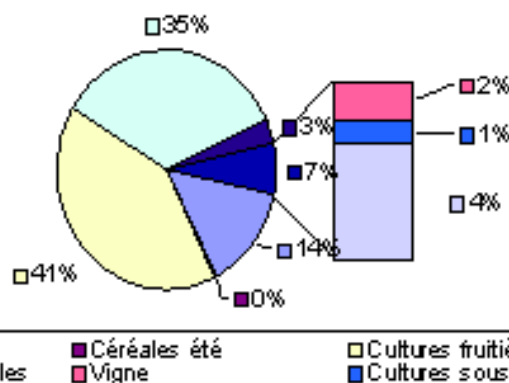


Figure 10 b : Superficies irriguées par type de cultures (ha)

Dans la figure 10 b prédominent l'arboriculture fruitière (41%) et les cultures maraîchères (35%). Les cultures industrielles représentent 3,36% des superficies irriguées. Dans ces cultures irriguées on distingue :

a- Au niveau des cultures maraîchères, la pomme de terre occupe une place importante. Elle couvre globalement 1% de la SAU totale, soit 24,17% de la SAU irriguée et se répartit ainsi :

- La pomme de terre de saison qui est irriguée, occupe 60,3% de la superficie consacrée aux maraîchages pour 62,2% de la production et un rendement moyen de 120 Qx/ha ;
- La pomme de terre d'arrière saison partiellement irriguée, occupe 28,5% de la superficie pour 28,2% de la production avec un rendement moyen de 115 Qx/ha ;
- La pomme de terre "primeur" occupe 11,2% de la superficie pour 9,6% de la production et un rendement de 99,28 Qx/ha ;

La culture de la pomme de terre est concentrée au niveau de 12 wilayate qui représentent ensemble 60,5% de la superficie totale plantée et 68,6% de la production nationale (DSASI, 2000).

Au niveau des cultures industrielles par ordre d'importance, c'est la tomate industrielle (90% se trouvent dans la région Est) qui couvre 56% de la superficie (11 735 ha) avant le tabac (5 410 Ha) et l'arachide (3 745 Ha) qui est concentré dans les wilayate d'Adrar, El Oued, El Tarf et Ghardaïa (DSASI, 2000).

2.3. OCCUPATION DU SOL PAR LES CULTURES HERBACEES

Un système de cultures (assolement rotation) à base céréalière est pratiqué dans les zones irriguées ainsi que dans les GPI. La rotation culturale y est généralement fondée sur l'alternance céréales - jachères nues et maraîchages (DSASI, 2000). Ainsi, dans la plaine de la Mitidja Est, l'EAC "Medeghri" illustre bien cette alternance (photo 9). La parcelle de la photo de gauche était cultivée en tomate industrielle irriguée par micros - raies de mars à juillet 2002. Elle a été ensuite emblavée en céréales (Photo de droite) de novembre 2002 à juillet 2003 avec une irrigation de complément par canon en Avril.



Photo 9 : EAC "Médéghri" dans la plaine de la Mitidja Est, région de Rouïba

Source : Chabaca, 2002; 2003

Le blé dont le prix est garanti par l'Etat, est une source de revenu sure. La demande pour ce produit agricole est forte et constante. Pour améliorer leur rendement et donc leur revenu, certains agriculteurs procèdent à une irrigation d'appoint par le biais de canons (gain de 10 à 15% en rendement). En revanche, les cultures maraîchères de saison, vendues uniquement au marché local ou en gros ont un prix fluctuant en fonction de l'offre. Une surproduction locale entraîne la chute des prix par saturation du marché et la production n'est alors plus aussi rentable. C'est pourquoi, quand la topographie le permet, on opte, pour minimiser les investissements dans la deuxième partie de la rotation, pour la confection de micros - raies ou micros - planches. Généralement, les agriculteurs pour ceux qui en possèdent pratiquent les irrigations de reprise après repiquage (cultures maraîchères) avec des rampes mobiles d'aspersion sur des parcelles aménagées pour la pratique de l'irrigation par micros - raies. Sur la photo 10 on observe en arrière plan, des asperseurs en action sur une parcelle aménagée en micros - raies.



Photo 10 : Utilisation de rampes mobiles d'aspersion pour des irrigations de reprise avant l'irrigation par micros - raies (EAC Mitidja Est, région de Hamadi)

Source : Chabaca, 2002

3. LES PRATIQUES TRADITIONNELLES EN IRRIGATION GRAVITAIRE

3.1. DESCRIPTION, PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE

3.1.1. IRRIGATION PAR MICROS - RAIES

Elle est prédominante dans les grands et petits périmètres irrigués, la petite et moyenne hydraulique. Parmi les raisons de cette prédominance, il y a la topographie défavorable à laquelle elle s'adapte facilement. Celle-ci est aggravée par les mouvements de terre occasionnés par la confection manuelle des seguias et diguettes, d'où l'adaptation des longueurs des raies à la configuration du terrain (Yacoubi et al, 1999). Les aspects économiques (énergie, équipements) sont aussi un autre facteur limitant quant au choix d'autres modes que le gravitaire. Cette technique a des incidences néfastes sur la topographie des parcelles. Elle nécessite la confection de nombreuses seguias pour le transport de l'eau vers les micros - raies. Cela entraîne des pertes de terrain non

négligeables. En Tunisie Zaïri et al (2000) les estiment à 10%, au Maroc Yacoubi, et al(1999) à 15%. En Algérie, elles sont estimées entre 12 et 15% (Chabaca, 2004). Ces valeurs sont fonction bien entendu de la longueur des micros - raies et des micros - planches. Plus leurs dimensions sont réduites, plus le nombre de seguias de transport augmente. Cette technique est idéale dans les sables de texture grossière et dans les limons sableux. L'infiltration est alors essentiellement verticale avec très peu de pénétrations latérales. En Algérie, elle est appliquée sans distinction sur des sols aussi bien lourds que légers. Un avantage cependant, plusieurs cultures peuvent se succéder en assolement sans changement majeur dans la conception des paramètres caractéristiques sur la conduite des arrosages. L'investissement initial est relativement faible à nul, sur des terrains qui n'exigent pas de travaux de planage importants puisque les raies sont tracées manuellement.

3.1.1.1. DESCRIPTION

Il s'agit de petites raies de 5 à 10 m de long, selon le contexte, la disposition du terrain et de la pente (Chabaca, 2004). Elles sont construites perpendiculairement à la pente générale de la parcelle. L'écartement entre ces raies varie entre 0,8 et 1,3 m selon les types de sols. Elles sont disposées dans la parcelle en blocs parallèles de 5 à 10 m de large jusqu'à 300 m de long (photo 11, figure 11).



Photos 11 : Maïs sur sequia en intercalaire avec tomate (gauche) et réseau de distribution d'eau sur parcelle de choux (droite). Région de Dar el Beïda (Mitidja Est).

Source : Chabaca, 2000



Figure 11 : Dispositif d'amenée et de distribution de l'eau par seguias au niveau des micros - raies

3.1.1.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

L'eau est ramenée à la parcelle par des canaux en terre, mais plus souvent maintenant par des gaines plastiques souples ($\varnothing = 80$ à 130 mm) ou des conduites en polyéthylène basse densité ($\varnothing = 50$ à 90 mm) jusqu'en tête des seguias de distribution pour limiter les pertes par infiltration profonde depuis la source d'eau (photo 11 de droite). Ces gaines lors de leurs déplacements se dégradent et deviennent elles mêmes source de fuites d'eau en différents endroits. Une fois l'eau dans la segua, sa progression est freinée par la mise en place de batardeaux (diguettes en terre). Ensuite elle est déviée dans deux micros - raies à la fois chez certains agriculteurs, sinon dans une seule chez d'autres (figure 12). La technique de conduite peut changer d'un agriculteur à l'autre. Une fois la ou les deux micros - raies remplies, le batardeau est détruit ce qui permet l'écoulement de l'eau vers la partie avale de la segua pour être à nouveau bloquée par l'élévation d'un autre batardeau et ce jusqu'à l'alimentation de la dernière micro - raie desservie par cette segua. Deux à trois ouvriers conduisent l'irrigation. Ils ont pour rôle de diriger l'eau, colmater les brèches dans les seguias, réaliser des batardeaux en terre, les supprimer dès que les micros - raies sont pleines, canaliser le flot (figure 12). Ces opérations supposent un rythme permanent dans le travail à fournir, le temps que dure l'irrigation, entre 8 à 12 heures pour la moitié d'un hectare (Chabaca, 2004). Visuellement on constate une plus grande homogénéité du développement végétatif au niveau des micros - raies. On peut penser vu leur dimension que le profil de distribution de l'eau en profondeur y est homogène. Cela reste cependant à démontrer, comme il serait intéressant de voir si ce type de conduite n'engendre pas une différence significative de la dose d'irrigation entre les différentes parties de la parcelle (amont, milieu et aval). La structure même du système fait que dans cette pratique il n'y a pas de perte d'eau en colature comme pour le cas des raies ouvertes. Cependant on peut s'interroger sur l'importance des pertes par infiltration au niveau des seguias? Dans certains cas, l'eau des seguias est valorisée en mettant sur ses bords, des cultures secondaires tel que maïs, sorgho, haricot, salade (photo 11 à gauche). Dans la figure 12, est présenté le cheminement de l'eau au niveau de deux micros - raies sous la conduite des irrigants. L'eau depuis la segua arrive en tête des première et deuxième micros - raies et dès que les

fronts se rejoignent à l'aval de celles-ci, on arrête l'alimentation en eau et on passe aux deux suivantes tandis qu'un troisième ouvrier déblaie et nettoie le reste du tronçon de la seguia.



Figure 12 : Mode de cheminement de l'eau dans les micros – raies

3.1.1.3. REPARTITION GEOGRAPHIQUE

On trouve ce mode dans les plaines côtières, les hautes plaines de l'intérieur ainsi que les oasis du Sud.

3.1.1.4. EXIGENCES EN EAU

L'irrigation par micros - raies, vise à mieux répartir l'eau sur la parcelle. C'est un mode d'irrigation traditionnel bien maîtrisé par l'agriculteur. Son organisation, son réseau de distribution d'eau à la parcelle et à l'intérieur même de la parcelle (seguias) est une source supplémentaire de consommation en eau. Les pertes par infiltration sont importantes vu les mains d'eau utilisées (4 à 20 l/s) et les petites longueurs des raies. Selon les résultats du RGA, 47,6% des superficies irriguées sont composés d'exploitations dont la taille est comprise entre 0,1 et 10 ha (annexe 10, p. 264). Celles-ci constituent 82,3% de l'ensemble des exploitations pratiquant l'irrigation. Ces exploitations ne peuvent investir pour la plupart dans des infrastructures de stockage d'eau. Elles procèdent aux irrigations directement avec de petites motopompes (15 à 72 m³/heure) depuis les forages, les puits, les ceds ou l'oued. Les puits et forages existent dans un grand nombre d'exploitations, mêmes celles qui sont situées dans les GPI. L'eau est alors exploitée à la demande et non plus au tour d'eau. La sécheresse récurrente qui sévit depuis de nombreuses années en Algérie et dans les autres pays Maghrébins explique en partie ce phénomène de multiplication des forages (El Amrani et al, 1999). Ces creusements de puits ou de forages se font en grande partie dans l'illégalité. Les autorisations se heurtant soient à la lourdeur bureaucratique ou à un refus des directions de wilaya des services de l'hydraulique, par souci de limiter la surexploitation des nappes. Surtout que le suivi et le contrôle des agriculteurs qui utilisent des motopompes ne constituent pas l'urgence du moment. Dans les zones semi arides, de nouveaux comportements ont commencé à se développer. Il s'agit notamment de creusements de puits et forages et leur équipement par des motopompes (Benmouffok, 2003). Les raisons qui ont amené les agriculteurs à ce type de comportement, concernent la sécurisation de leur production et la sauvegarde de leur cheptel. Leur part sociale de l'eau à partir des sources superficielles (barrages et retenues collinaires) a considérablement diminué et certaines années supprimée en faveur de l'alimentation en eau des villes. Ainsi, au début de l'été 2002, pour ne citer que ce cas, l'eau destinée à l'irrigation du périmètre de la Mitidja ouest (8 600 ha), plaine du littoral centre a été détournée pour être transformée en eau potable alimentant Alger et sa banlieue (Benmouffok, 2003). Pour répondre à la

consommation en eau exigée par ce mode d'irrigation, les stratégies développées par les agriculteurs pour augmenter les quantités d'eau prélevées sont très diverses. En l'absence de contrôles rigoureux, certains propriétaires, après avoir obtenu l'autorisation pour la réalisation d'un puit, creusent un deuxième avec le même document. D'autres optent pour l'augmentation des débits prélevés en achetant des moteurs plus puissants et des pompes plus grandes que celles dont ils disposaient initialement (El Amrani et al, 1999 ; Benmouffok, 2003). Ce phénomène conduit à une surexploitation des nappes.

3.1.1.5. CONTRAINTES

En dehors de l'aspect consommation en eau du fait de la conduite empirique des irrigations, on relève d'autres contraintes:

- Le temps et la main d'œuvre consacrés à l'arrosage, constituent un facteur important à prendre en considération. Ce mode utilise entre deux et trois ouvriers par hectare avec une durée approximative de 20 à 24 heures ;
- La consommation d'énergie est une autre contrainte à prendre en considération. Le prix du m³ d'eau pompé revient entre 10 DA et 12 DA, alors que pour l'eau superficielle jusqu'en 2004 il était de 1,20 DA (Benmouffok, 2003), depuis Janvier 2005 il est de 2,5 DA;
- Les pertes occasionnées par la confection des seguias de distribution sont de deux types:
 - Pertes de 10 à 15%/ha, de terrain au profit du réseau de distribution à l'intérieur même de la parcelle (Chabaca, 2004). Conséquence de cette réduction de surface, une densité de peuplement à l'hectare qui se trouve réduite de 36% (Hernafi, 1999) par rapport aux autres modes d'irrigation, d'où des rendements agricoles inférieurs;
 - Les pertes en eau par infiltration dans les circuits d'amenée à la parcelle (canaux en terre) et ceux de distribution à l'intérieur de la parcelle (segua) sont d'autant plus importantes que le débit à véhiculer est élevé ;

D'après Messaadi (1999) les pertes en eau à la parcelle sont de l'ordre de 30 à 40%, en particulier celles dues aux percolations. Ainsi, pour ne citer que cet aspect, dans la région de Kasba Tadla (Maroc) sur 61 millions de m³ d'eau utilisés en gravitaire traditionnel, pour une superficie de 7 600 ha, 20 à 40 millions de m³ sont perdus annuellement par percolation et infiltration. Un tel volume permet d'irriguer 2 500 à 5 000 ha supplémentaires. En termes monétaires, il s'agit d'une perte d'environ 20 millions de Dirhams (1 euro = 10 Dh = 95 DA) soit 10 Dh/heure et par station de pompage.

3.1.1.6. EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'EAU PAR LA CULTURE

Une étude comparative entre différentes techniques d'irrigation gravitaire (Hernafi, 1999) a montré que l'irrigation par micros - raies se classe en dernier (tableau 23).

Tableau 23 : Efficacité à la parcelle pour différents modes d'irrigation gravitaire

	Rampes à vannettes	Gaine souple	Film plastique	Arroseur en béton	Arroseur en terre	Robta
E*	11,3	9,98	10,7	10,5	10	6,7

* E = Rendement/Volume en eau consommé ; E*=efficience (kg/mm)

Source: Hernafi, 1999

3.1.2. IRRIGATION PAR MICROS - PLANCHES

3.1.2.1. DESCRIPTION

Les micros - planches, ont des pentes de 0,1 à 1%. La simplicité de l'opération qui consiste à remplir la planche fait que cette technique est fréquemment utilisée. Elle s'adapte à des terres mal ou pas planées, sur de petites surfaces. Les mains d'eau utilisées varient de 4 à 20 l/s. Elle domine dans les Oasis (60 000 à 70 000 ha). Elle s'applique à l'ensemble des cultures herbacées et pérennes. Dans le Nord elle vient en deuxième position après les micros - raies en irrigation gravitaire. L'uniformité de répartition dans une même planche n'est vraisemblablement pas très bonne, car le débit utilisé détruit en partie les ados ou transporte la terre (dénivellement de la surface des micros - planches). L'uniformité au niveau de la parcelle est probablement encore plus faible, dans la mesure où le remplissage des planches est soumis à l'appréciation visuelle de l'irriguant qui coupe l'alimentation lorsque l'eau a ruisselé sur toute la surface du sol (Yacoubi et al, 1999). L'opération peut alors devenir délicate et pénible avec une culture couvrante.

3.1.2.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Il s'agit de planches de 12 à 30 m² (Chabaca, 2004). Elles sont disposées perpendiculairement à la pente générale de la parcelle (photo 12, figure 13). L'agriculteur prélève l'eau dans l'arroseur en terre pour alimenter la seguia en réalisant une brèche. Il peut aussi ramener l'eau directement dans la seguia depuis le forage soit par des gaines souples en plastique ou des conduites en polyéthylène basse densité (Ø = 50 mm à 90 mm). Il alimente une seguia à la fois. Une fois l'eau dans la seguia, sa progression est freinée par la mise en place de batardeaux (diguettes en terre), ensuite elle est déviée dans les micros - planches (préalablement ouvertes par une brèche). Une fois celles-ci remplies, les brèches sont colmatées et le batardeau est détruit, ce qui permet l'écoulement de l'eau vers la partie avale de la parcelle et la planche suivante. Les planches sont remplies à tour de rôle. Les seguias portent très fréquemment sur leurs bords, des plants de maïs ou de sorgho (photo 12, droite). Cela permet de valoriser l'eau qui y circule. La conduite de l'irrigation nécessite la présence permanente de 1 à 2 ouvriers/ha durant l'irrigation.



Photo 12 : Micros - planches en irrigation gravitaire région de Rouïba (droite) et Oasis de Ghardaïa (gauche)

Source : Chabaca, 2003

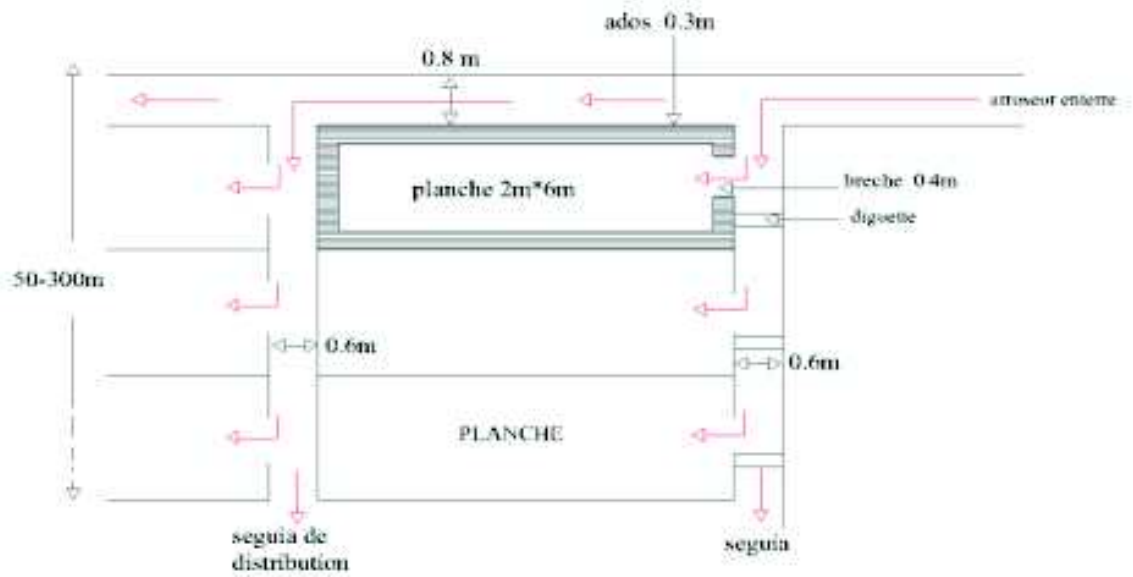


Figure13 : Schéma de distribution de l'eau au niveau d'une micro – planche

4. LES MODES TRADITIONNELS DE CAPTAGE ET DE COLLECTE DES EAUX SOUTERRAINES ET DE SURFACE

4.1. INTRODUCTION

Il s'agit de pratiques qui ont lieu surtout dans les zones désertiques comme le Sud Algérien (Adrar, Saoura..), ou à faible pluviométrie telle que les régions situées sur les versants sud de l'Atlas Saharien (Hodna, Némencha, Abada).

Le Sud couvre 13 wilayate sur les 48 que compte l'Algérie. Il regroupe 258 communes pour une superficie de 2 124 300 km² et concentre une population de 4 millions d'habitants selon le recensement général de la population et de l'habitat de 1998 (RGPH), soit 89% de la superficie totale du pays et 14% de la population nationale.

Selon les caractéristiques géographiques, morphologiques et sociales on peut y distinguer les ensembles régionaux suivants :

- Saoura – Touat - Gourrara
- Vallée du M'Zab
- Vallée de l'Oued Righ
- Le Souf et les Zibans
- Hoggar - Tassili
- Chott Chergui - Oued Touil

Ils sont situés sur la carte 4 et les wilayate qui les composent ainsi que leurs superficies figurent dans le tableau 24.



Carte 4 : Situation des ensembles régionaux dans le Sud Algérien

Source : www.fao.org/countryprofiles

Tableau 24 : Wilayate et superficies des grands ensembles du Sud (km²)

Ensembles Régionaux	Wilayate	Indicatifs des wilayate	Superficies des wilayate	Superficies des ensembles
Saoura – Touat - Gourrara	Adrar Bechar	101 08 f37	455 395 145 293 167 209	767 897
Vallée du M'Zab	Ghardaïa	47	77 701	77 701
Vallée de l'Oued Righ Le Souf et les Zibans	Ouargla El-Oued Biskra	09 39 07	210 104 45 820 21 073	276 997
Hoggar - Tassili	Illyzi Tamanrasset	36 11	224 226 615 087	839 313
Chott Chergui- Oued Touïl	El-Bayadh Naama Djelfa Laghouat	32 45 17 03	70 047 29 811 33 929 62 605	962 392
Superficie totale				2 124 300

4.2. LES MODES DE CAPTAGE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LE SUD : LES FOGGARAS

4.2.1 ORIGINE DES FOGGARAS

Depuis plusieurs siècles, l'aridité et la semi aridité des espaces occupés par les populations maghrébines en bordure du Sahara ont été à l'origine de l'installation de systèmes de galeries souterraines qui drainent les eaux captées dans la nappe phréatique. Elles sont par la même conduites au point d'utilisation et ce au moyen d'une pente régulière inférieure à la pente générale du sol. Connue sous le nom de quanat ou kary en Iran, ces ouvrages s'appellent foggaras en Algérie, khattara au Maroc et kriga ou n'goula en Tunisie. Selon Goblot (1979), cette technique de captage des eaux aurait pris naissance en Iran où ce système très répandu, représente un véritable patrimoine hydraulique encore utilisé de nos jours. A titre d'exemple, la quanat qui alimentait Irbil en Perse a été construite à la fin du VII^e siècle av. J-C, ce qui atteste des origines très lointaines de ce type de captage. Cette technique s'est ensuite propagée vers l'ouest et le sud de l'Iran. Elle fut introduite en Espagne et au Maroc (Marrakech) par les Omeyyades, au cours des premiers siècles de l'Islam. Jusqu'à une période récente, l'agriculture irriguée a constitué la seule et unique activité au Sahara, lieu où l'on rencontre les foggaras. Il est utile de rappeler que cette irrigation séculaire n'a été possible que grâce à l'existence de l'eau d'une part et surtout grâce à l'utilisation des techniques hydrauliques adaptées et appropriées pour son captage et sa distribution.

En Algérie, les foggaras figurent un système de captage ingénieux, qui s'est largement développé dans les régions du Tidikelt, du Touat et du Gourara en fonction des conditions hydrogéologiques et topographiques favorables.

Dans le Sahara Algérien, ces foggaras auraient été introduites au XI^e siècle par El Malik El Mansour qui aurait creusé la première à Tamentit à 15 km d'Adrar (Hassani, 1997).

4.2.2. DESCRIPTION

Goblot en 1979, (in Pérennes, 1990) donne cette définition de la foggara: "c'est une technique qui consiste à exploiter des nappes d'eau souterraines au moyen de galeries drainantes". Ce spécialiste insiste sur le fait que plus qu'une technique d'irrigation, le quanat,

est une technique minière de recherche de l'eau souterraine. Il emploie même à propos des inventeurs iraniens des qanats, l'expression "mineurs d'eau".

Les foggaras sont des galeries qui captent l'eau d'une nappe souterraine par drainage et permettent de l'amener à la surface du sol par gravité ; d'où leur grand intérêt. L'ouvrage se compose d'une galerie de section variable et d'une succession de puits espacés de 10 à 20 m. Les puits n'ont aucune fonction hydraulique, ils permettent de creuser la foggara et de l'entretenir ultérieurement. La longueur des galeries varie de 100 m à plusieurs kilomètres ; ainsi les foggaras d'Imguérich et Hadj Laoum dans la palmeraie d'Adrar, dépassent 11 km de longueur.

4.2.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Une foggara est une canalisation souterraine construite pour alimenter les jardins dans les palmeraies, lorsqu'il n'est pas possible de creuser des puits (figure 14).

La technique de construction permet d'en mieux comprendre le fonctionnement (Pérennes, 1990).

Dans sa partie amont, la galerie s'enfonce dans la zone saturée du réservoir et constitue un drain qui collecte les eaux de la nappe. L'eau s'écoule en pente douce vers l'aval, jusqu'à la sortie de la galerie. Quant à la partie en aval de la galerie, située au dessus du niveau – la nappe – elle ne participe pas au captage. Cette "tête morte" a pour fonction principale d'acheminer l'eau à la surface du sol. Ainsi la foggara peut être assimilée à un forage horizontale.

Tout commence par le forage d'un puit mère ou puit de tête (dans l'Ahaggar, on parle de ras-el-foggara: tête de foggara) jusqu'à une couche de terrain humide. Le niveau de profondeur de la nappe étant évalué, l'opération consiste à creuser de l'aval vers l'amont et en pente douce (0,3 à 0,5%) une galerie de diamètre suffisant (1 m à 1,20 m) pour permettre le déplacement d'un homme courbé, travailleur progressant d'aval en amont au moment du percement et ouvrier circulant pour effectuer des travaux d'entretien. Cette galerie vient rejoindre la zone humide initialement découverte. Le creusement et l'aération exigent qu'à intervalles réguliers on creuse des puits pour évacuer les déblais. Ces regards sont espacés de 5 à 30 m selon les situations. Ils peuvent être très nombreux, comme ce cas observé par Chiche où il y a dénombré 360 puits espacés de 1 à 16 m. En surface, il y a les cônes de déblais (photo13) où les ouvrages maçonnés jalonnent le trajet de la foggara et de l'eau, entre la nappe et le bassin de réception. Ces cônes protègent l'orifice en même temps qu'ils permettent de surveiller l'écoulement et au besoin de descendre dans la foggara pour débayer le point précis de la galerie qui viendrait à être obstrué. Au débouché de chaque galerie dans la palmeraie, l'eau est reçue dans un bassin.

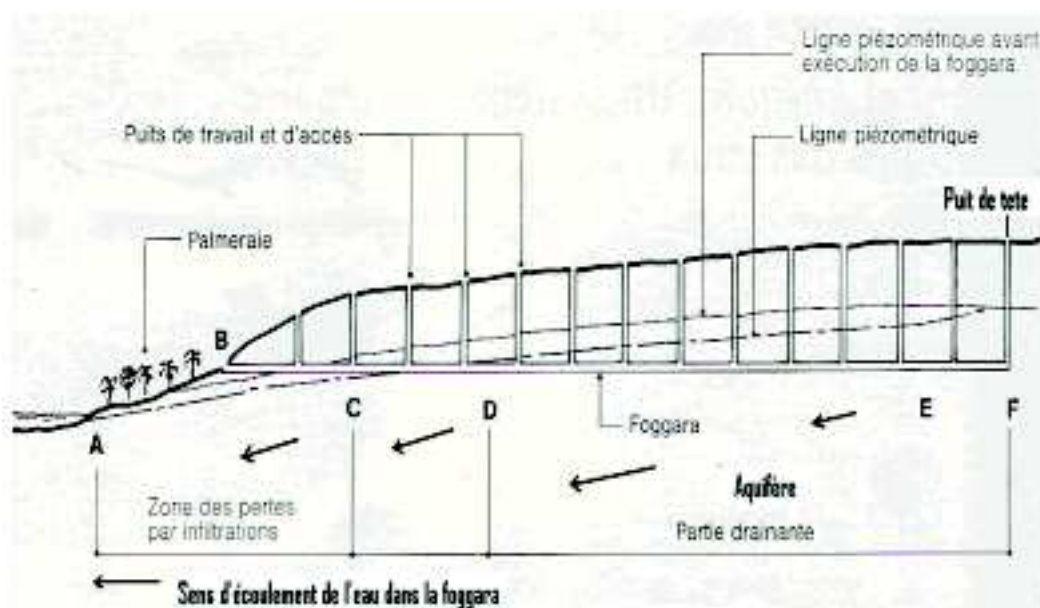


Figure 14 : Principe de fonctionnement des foggaras

Source : Salem, 1988

Source : Hassani, 1997 **Source :** Salem, 1988

Le drainage opéré par la galerie provoque un rabattement de la nappe et le point D aura tendance à se déplacer vers l'amont. Lorsque le débit drainé est égal au débit affluent, il s'établit un régime constant et le point D se stabilise à une position donnée. Le déplacement de ce point vers l'amont provoque un allongement de la " tête morte ", où les pertes par infiltration contribuent à une baisse du débit. Une augmentation du débit de la foggara passe nécessairement par un prolongement de la galerie (figure 14). En fait, les dimensions actuelles des foggaras sont le fruit des extensions successives menées au fil des siècles pour augmenter les débits, mais ces travaux sont de plus en plus problématiques. Du fait de la pente du sol, les puits augmentent en profondeur et rendent les travaux difficiles à réaliser avec les seuls moyens manuels. A titre d'exemple, il faut creuser des puits de 40 m de profondeur pour allonger de 10 m les foggaras de la zone de Timimoun.

En zone aride, cette technique est un moyen tout à fait performant qui présente l'avantage de fournir des débits continus sans aucun travail d'exhaure et sans exploration. La contrepartie est un certain gaspillage de l'eau en période de faible utilisation. Les foggaras transportent l'eau sans arrêt toute l'année, de ce fait, l'eau qui n'est pas utilisée est perdue. Le débit est à son maximum pendant la saison des pluies, époque où la demande d'eau pour l'irrigation est au minimum, alors que pendant la principale période d'irrigation (l'été), les foggaras peuvent ne donner aucune eau durant les années de sécheresse (Hassani, 1997). Au lieu d'arroser les terrains situés en amont, les foggaras desservent les terrains situés en aval, qui sont souvent les sols les plus salins et les plus pauvres. Selon Granguillaume (1973) dans son étude sur le Touat, il a fallu 48 000 journées de travail pour creuser une foggara de 4 km à une profondeur moyenne de 12 m. Il faut environ 2 000 m de galeries dans cette région pour obtenir un débit de 1 l/s, soit un temps de travail énorme. Il estime le travail nécessaire pour obtenir une unité de débit à 300 journées par litre/seconde pour une khattara de débit inférieur à 10 l/s et 100 journées de travail par litre/seconde pour un débit supérieur à 20 l/s. Ces galeries peuvent avoir un développement de 2 à 10 km.

L'entretien et le curage demandent des soins constants, difficiles et pénibles. En 1960, pour assurer cet entretien, il fallait 500 jours de travail par kilomètre de galerie. L'enjeu de la période actuelle est d'entretenir les foggaras qui peuvent s'effondrer ou s'ensabler. L'ingéniosité du procédé réside dans sa conception et son adaptation aux conditions de la vie et du climat saharien. Il supprime les corvées d'eau épuisantes, qui prennent l'essentiel du temps des habitants. Il assure un approvisionnement à débit constant, sans risque de tarir la nappe d'eau et en limitant l'évaporation au minimum. On estime à environ 4 000 km (la moitié au Touat) la longueur totale des canalisations de ce type existant dans l'ensemble Saharien Algérien.

4.2.4. LE SYSTEME DE GESTION DES FOGGARAS

La mise en place d'un système hydraulique aussi important que les foggaras a conduit les populations locales à développer à travers les siècles, un système juridique et technique très élaboré de gestion des eaux et des ouvrages. Ce système de gestion a été très fortement influencé par les facteurs sociaux, culturels et géographiques de la région : "La propriété de l'eau est acquise à celui qui par son travail ou ses deniers a contribué à la faire couler". Ce principe fondamental en zone aride, semble être à l'origine du concept de propriété de l'eau dans ces régions. Chaque individu est propriétaire d'une part d'eau en relation avec les dépenses qu'il a engagé dans la construction ou l'extension d'une foggara. La propriété des eaux individuelles ou collectives et les droits d'eau peuvent être aliéner dans le temps. Les règles qui régissent les transferts de propriété des eaux sont "dominées par le fait que l'eau constitue au Désert, l'objet principal de la propriété foncière". La terre ne constitue donc pas le vrai capital, elle n'a de valeur que par les droits d'irrigation qui lui sont rattachés. Par ailleurs, bien que le facteur religieux ait un rôle déterminant, les coutumes locales ont façonnées les règles qui régissent la propriété, le partage et l'utilisation de l'eau. Les règles sont plus ou moins complexes selon que l'eau est plus ou moins rare.

4.2.5. LA REPARTITION DES EAUX ET SES REGLES

a/. Le régime de la copropriété des foggaras en vigueur jusqu'en 1971, a nécessité l'élaboration de règles techniques et juridiques très précises. En effet les terrains qui affluent constituent l'immense réservoir "Albien" du Sahara septentrional, formé de grès perméables du Continental Intercalaire. La région du Touat et du Gourara constitue comme en témoigne le chapelet de Sebkhia qui s'étend du nord au sud, un exutoire naturel de la nappe à faible profondeur. D'ailleurs, ces conditions hydrogéologiques favorables alliées à de faibles pentes du terrain ont permis aux foggaras de se généraliser. A la sortie de la foggara, l'eau est canalisée jusqu'à un partiteur en forme de peigne -construit en pierre et en argile- dont le rôle est de la répartir selon des proportions données. L'eau est divisée et canalisée par une série de seguias (canaux en argile) vers la palmeraie à irriguer (photo 14).

b/. A différents niveaux de la palmeraie l'eau est à nouveau divisée par d'autres peignes et conduites vers les parcelles par des seguias plus petites. Les seguias parcourent la palmeraie dans tous les sens et forment ainsi un réseau de distribution très dense, dont les ramifications se terminent dans un bassin de collecte appelé madjen (figure15). Ce dernier est utilisé pour régulariser l'eau qui arrive en faible quantité et qui est ainsi distribuée en quantité suffisante pour l'irrigation. La profondeur du bassin généralement faible, est commandée par des considérations pratiques, telle que les cotes d'arrivée de l'eau ou le point le plus haut à irriguer.



Photo.14 : Répartiteur d'eau (amont) et seguias de transport vers les parcelles (aval)

Source : Salem, 1988

c/. Il faut en outre relever que les pertes par évaporation sont très importantes dans ces bassins. A la différence des autres oasis sahariennes qui utilisaient une répartition au tour d'eau (nūba), dans le Touat et le Gourara l'eau est réparti en volume (Salem, 1988). Selon ce système, chaque bénéficiaire reçoit, continuellement le débit qui lui revient. La mesure des débits est réalisée par un préposé, le kyal el ma (littéralement le mesureur d'eau) assisté d'assesseurs. Celui-ci est choisi par la jamaā (assemblée des copropriétaires), en considération de ses connaissances hydrauliques et de son intégrité. Son autorité est incontestée et sa fonction peut être comparée, en bien des points, à celle d'un magistrat. Quant à l'instrument de mesure utilisé, il est différent d'un ksar à l'autre et porte le nom de lūh ou chekfa selon les régions. Il est constitué par une plaque de bois recouverte de cuivre et percée de trous de plusieurs dimensions ; les trous de lūh matérialisent l'unité de débit avec ses multiples et ses sous multiples. Ainsi à titre d'exemple, le lūh de Timimoun est basé sur une unité de mesure appelée thmane (de thménia = 8) et qu'on traduit par le $1/8^{\text{e}}$. Il est percé de 3 rangées de trous. La rangée supérieure est perforée de trous égaux dont le débit est de 1 thmane, la rangée du milieu de fractions de thmane $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/6$, $1/8$. La rangée du bas de multiples de thmane 10, 15, 20 etc. Les mesures se font par une série de jaugeages successifs pour évaluer la totalité du débit d'une foggara, ou d'une grande séguia. Les parts d'eau de chaque copropriétaire sont déterminées, parfois avant même l'achèvement des travaux, selon un mode de calcul original qui ne tient pas compte des fluctuations probables du débit réel. Ainsi tous les copropriétaires qui ont participé à la réalisation de l'ouvrage, par leur travail ou leur financement, se voient attribuer une part proportionnelle à leur contribution. Le débit fictif de la foggara est divisé en 24 parts, subdivisées en 24 sous – parts. Ces unités de calcul sont réalisées à l'unité de mesure de la plaque de jauge et permettent de réaliser les calculs dans une arithmétique particulière ayant pour base 24.

d/. Le partage est enregistré dans un livre spécial appelé " registre de la foggara", mis à jour au fur et à mesure des mutations de propriétés et des extensions. Les registres des foggaras constituent à ce titre le témoignage écrit de l'évolution des ouvrages à travers le temps et des transactions commerciales concernant leur eau.

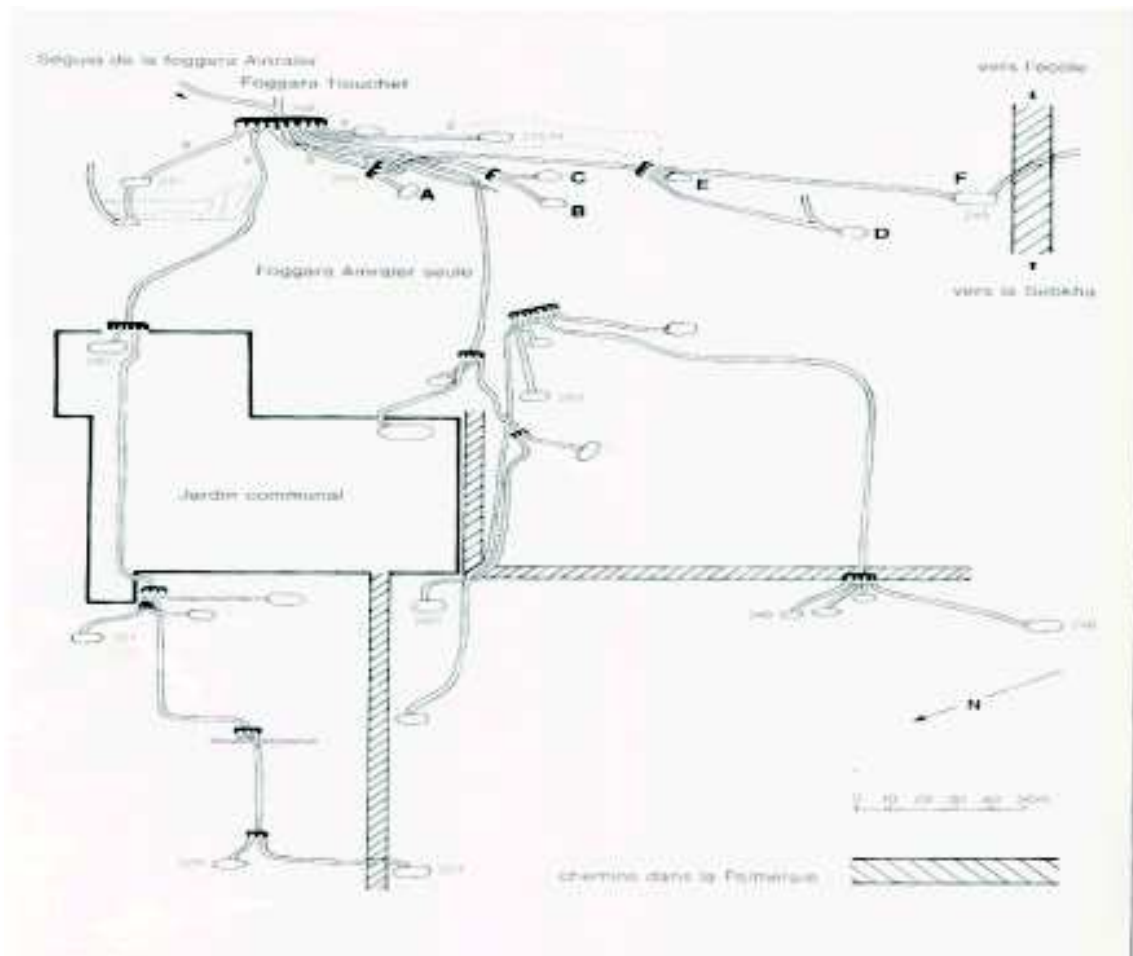


Figure 15 : Plan de distribution d'eau de la foggara Tiouchet à Timimoun

Source : Salem, 1988

4.2.6. REPARTITION GEOGRAPHIQUE

Les foggaras ont exercé une influence extraordinaire sur l'existence et l'évolution des oasis de cette région à tel point que "les conditions sociales elles mêmes dépendent des particularités de l'organisation hydraulique". Les informations historiques sur l'origine du peuplement des oasis et leur implantation restent rares et fragmentaires. Cependant dans ces régions où l'irrigation est une nécessité vitale, il semble difficile de dissocier le développement de grandes oasis de la création d'un système de captage approprié tel que les foggaras.

4.2.6.1. CAS DES FOGGARAS DE LA WILAYA D'ADRAR

4.2.6.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE LA WILAYA D'ADRAR

a. Situation

La wilaya d'Adrar est située dans la partie centrale du Sahara Algérien. Elle fait partie de l'ensemble régional Saoura – Touat - Gourara. Elle s'étend sur une superficie globale de 455 395 km² (carte 5). Adrar est située aux coordonnées suivantes :

27° 45' 00 39" N

0° 12' 40 51" W

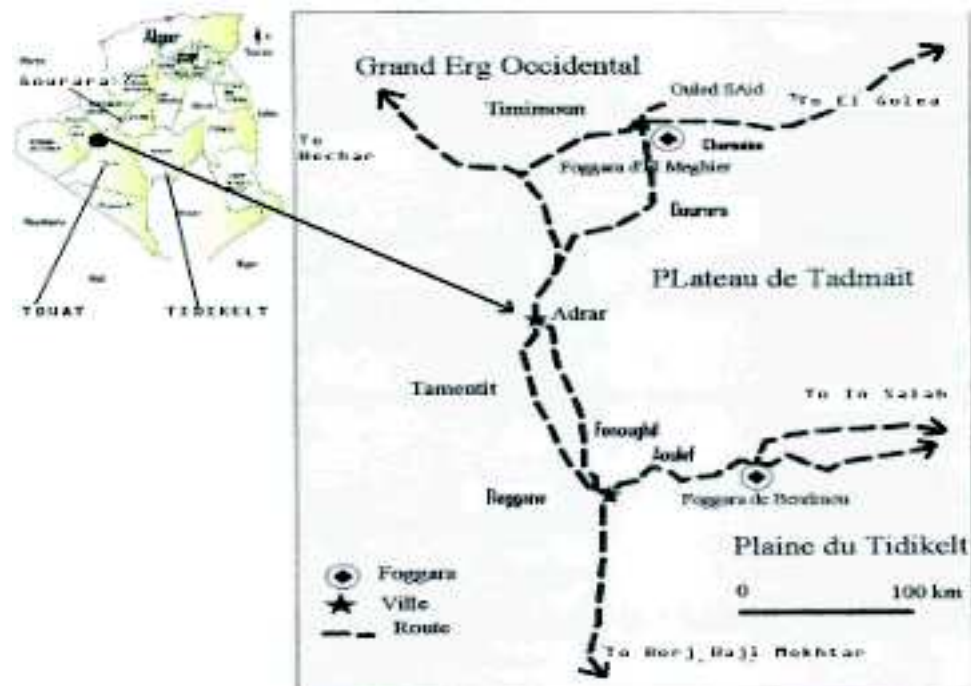
Elle est limitée :

- Au nord ouest par les wilayate de Bechar et d'El bayadh ;
- A l'est par les wilayate de Ghardaïa et Tamanrasset ;
- A l'ouest par la wilaya de Tindouf ;
- Au sud ouest par la Mauritanie ;
- Au sud par le Mali ;

L'activité principale des habitants de la région est l'agriculture. Elle est fondée essentiellement sur la culture du palmier dattier qui occupe une superficie globale de 16 000 ha. La wilaya d'Adrar compte 1 314 foggaras (Ansari, 2005) :

* 907 foggaras en services

* 407 foggaras taries



Carte 5 : Situation de la wilaya d'Adrar (Remini, 2006)

A travers cette technique de captage, la région du Touat et du Gourara a accumulé un système d'ouvrages hydrauliques extrêmement important. Le recensement réalisé en 1963 a montré qu'à cette date le nombre de foggaras actives totalisait une longueur de 1377 km. Quant aux débits captés et distribués aux irrigations, ils s'élèvent à près de 3 m³ /s. Les rendements moyens des différents ouvrages se situent entre 2 l/s/km (Touat) et 2,5 l/s/km (Gourara) avec de grands écarts autour de ces valeurs moyennes, puisqu'une partie importante des débits est captée par un nombre réduit de foggaras et avec une longueur totale de galeries relativement faible. C'est ainsi que pour le Gourara, 80% du débit total est

capté par 35% seulement des foggaras (45% de la longueur totale) et pour le Touat, 67% du débit total est capté par 36% des foggaras (43% de la longueur totale).

La stabilité des débits dans le temps a été également analysée au cours du recensement de 1963, en comparaison avec les jaugeages successifs réalisés antérieurement (Ansari, 2005).

Climat

La température présente de très grandes variations annuelles et journalières. Les valeurs moyennes maximales sont enregistrées en Juillet et les minimales en Janvier (figure 16). L'amplitude des températures moyennes absolues est assez importante et dépasse parfois les 23°C. Le gel est fréquent de décembre à février. Les précipitations sont rares irrégulières et violentes. Il tombe annuellement moins de 20 mm. L'humidité de l'air est faible (moins de 50%) durant l'année, excepté dans les oasis. L'insolation annuelle est très forte (3 000 h). L'ETP annuelle calculée selon la méthode Penman est de 3 322 mm. Les vents sont fréquents durant l'année. Le Sirocco, vent chaud et sec prédomine de juin à septembre (annexe 8, p. 261).

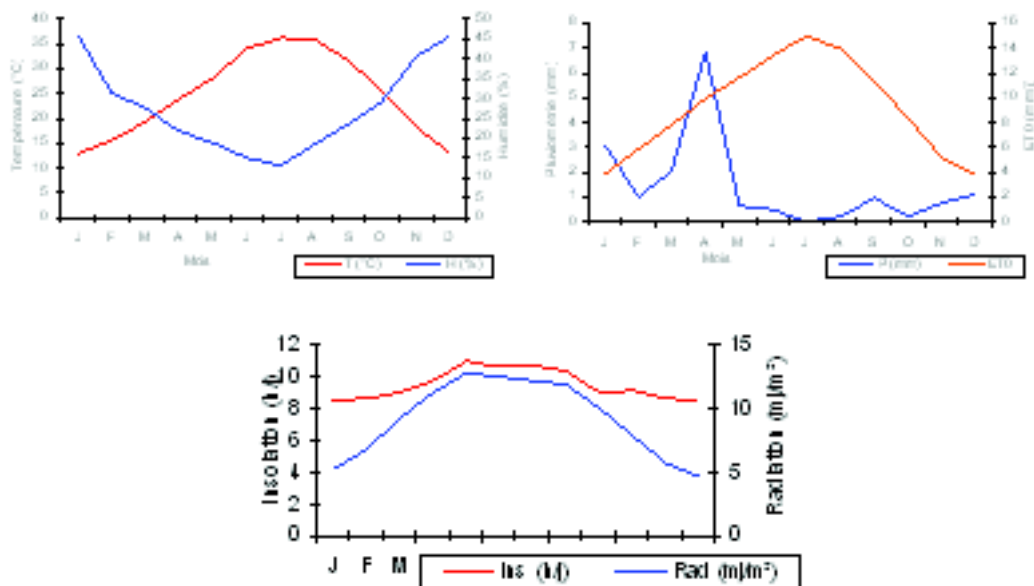


Figure 16 : Données climatiques de la région d'Adrar. Station d'Adrar (1974-1994)

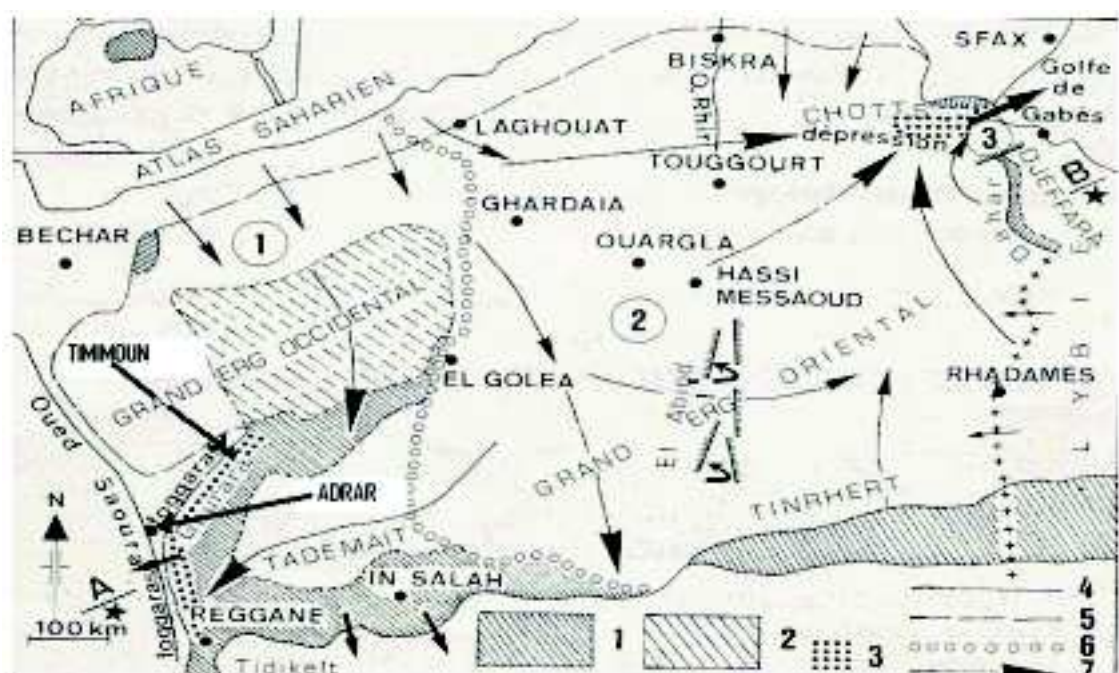
4.2.6.1.2. Caractéristiques géologiques de la région

La région d'Adrar est située sur le rebord sud occidental d'un vaste bassin sédimentaire d'âge secondaire. Celui-ci s'étend de l'Atlas Saharien au nord, à la Hammada de Tihirt, le plateau du Tademaït au sud et le Touat - Gourara à l'ouest. Du Tidikelt au Gourara, l'ensemble structural est le continental intercalaire (CI) qui se termine en biseau sur le substratum primaire. Ce dernier affleure en surface à la faveur de la disparition des formations du CI dans la dépression de la vallée de la Saoura qui forme la limite occidentale. Dans la région de Reggane, l'auréole du primaire s'interrompt et les formations du CI se prolongent vers le plateau du Tanezrouft au sud ouest. Les formations du primaire sont très plissées et faillées. La direction des failles est nord-ouest à Adrar et nord-sud à Reggane (carte 6).

4.2.6.1.3. Caractéristiques hydrogéologiques

Parmi les formations qui affleurent dans la région, la plus importante du point de vue hydrogéologique est celle du Crétacé inférieur appelée aussi continental intercalaire (CI) (carte 6). Celle-ci est constituée de dépôts continentaux, des argiles, argiles sableuses et grès. C'est un système multicouche qui s'étend sur une superficie de l'ordre de 780 000 km².

Sa réserve totale (estimée) est de 6.10^{13} m³ (Ansari, 2005). L'épaisseur de la formation du CI varie du nord au sud et de l'est vers l'ouest. Selon les données des forages semi profonds, son épaisseur oscille entre 150 m et 400 m. Elle diminue progressivement de l'est vers l'ouest et du nord vers le sud et échoue en biseau sur le substratum du primaire. Le niveau statique de la nappe aquifère du CI oscille entre 13 m et 30 m par rapport à la côte du sol et peut atteindre 100 m au niveau du plateau du Tademaït (forages d'Ain belbel). Vu l'étendue du CI, les paramètres hydrodynamiques varient d'une zone à l'autre suivant les types de formations géologiques qui prédominent.



Carte 6 : Aquifères du bassin hydrogéologique du Sahara septentrional. Cadre général de l'aquifère à nappe captive du continental intercalaire (CI) UNESCO (1972) in Castany (1982)

1 affleurements de la formation hydrogéologique perméable du CI; 2 affleurements du CI sous les sables du Grand Erg occidental (alimentation par drainance descendante); 3 zone d'émergence des foggaras; 4 limite du bassin hydrogéologique; 5 limite du bassin hydrologique; 6 ligne de partage des eaux souterraines; 7 grands axes de flux de l'écoulement de l'eau souterraine.

Les axes d'écoulement des eaux de la nappe aquifère du CI sont généralement : nord - sud, nord - est et sud - est.

Les apports du système aquifère s'effectuent selon différentes manières:

- Infiltrations des eaux de ruissellements sur les reliefs à la bordure du bassin versant ;
- Infiltrations directes des eaux de précipitations ;

L'analyse physico-chimique des eaux de foggaras issues de ces nappes est présentée ci-dessous:

Eléments	Valeur minimum	Valeur maximum	Moyenne	Ecart - type
Ph	7,45	8,19	8,04	0,178
CE à 25°C	1,10	12,53	3,19	2,62
Ca me/l	3,13	9,37	6,09	3,30
Mg me/l	2,55	32,13	7,40	6,97
Na me/l	4,13	77,39	16,92	16,82
K me/l	0,51	1,79	0,77	0,34
SAR	2,37	15,76	6,011	3,044

Source : Ansari, 2005

On a 82% des eaux qui ont un Ph supérieur à 8. Les teneurs en calcium supérieures à 4 me/l concernent 70% des eaux, dont 6% ont une teneur supérieure à 10 me l⁻¹. Les teneurs en magnésium supérieures à 5 me l⁻¹ touchent 56% des eaux. Pour le sodium, 75% des eaux ont des teneurs qui excèdent 8 me l⁻¹. En ce qui concerne le potassium, 94% des eaux ont une teneur supérieure à 0.51 me l⁻¹. Presque toutes les eaux possèdent une minéralisation inférieure à 2 000 mg l⁻¹. Seule la dureté pourrait poser un problème de tartre, selon le Ph et l'alcalinité, une dureté supérieure à 200 mg l⁻¹ de CaCO₃ peut provoquer des dépôts de tartre. Dans la foggara de Tinkrame la dureté oscille entre 30°f (degré français : unité conventionnelle pour déterminer la dureté et l'alcalinité des eaux : 1 meq = 5° f) soit 300 mg l⁻¹ de CaCO₃ et 241°f soit 2 410 mg l⁻¹ de CaCO₃. Dans la région d'Aoulef, la dureté des eaux des foggaras varie entre 30°f et 81°f. Parmi les eaux analysées 75% sont actuellement utilisées dans l'irrigation des cultures et sont de qualité médiocre selon le diagramme de Riverside (US Salinity Laboratory Staff, 1954) et peuvent présenter des risques d'alcalinisation. L'utilisation de ces eaux en agriculture requiert certaines précautions telles que le choix des textures, l'addition de doses de lessivage aux besoins des cultures et la pratique systématique du drainage. Or dans toutes ces zones irriguées par ces eaux, le drainage n'est pas une pratique connue. Ces considérations confortent l'hypothèse de l'extension des surfaces salées par l'irrigation.

La multiplication des forages pour l'irrigation, s'accompagne d'apports en engrais pour les cultures, dont les effets n'ont pas encore fait l'objet d'études d'impact sur la nappe dans la région. Cet impact n'est pas négligeable. Kazemi (2004) met en évidence l'impact de l'utilisation excessive d'engrais dans les zones de captage des qanats de Shahrood (Iran), où les valeurs moyennes de concentration en nitrates sont de 14,5 mg/l et celles en phosphate de 0,105 mg/l. Des valeurs élevées de la concentration en Ca (entre 36 et 54 mg/l), Mg (entre 14 et 39 mg/l), pH (entre 7,97 et 8,41) et le fait que la dureté dépasse les limites recommandées mettent en évidence l'influence des carbonates sur la composition des eaux souterraines.

4.2.6.1.4. Localisation et caractéristiques des foggaras

L'examen de la topographie de la région d'Adrar montre que toutes les foggaras se situent sur la périphérie du plateau du Tademaït (carte 5 et 6). L'existence de ce système de drainage est favorisée par les conditions topographiques et surtout hydrogéologiques:

- Présence d'une nappe peu profonde ;
- Existence d'une dépression naturelle ;

Les résultats de l'inventaire réalisé par l'ANRH, direction régionale sud ouest en 1998/2004 ont permis de mieux connaître ce système de captage :

a. La foggara est constituée généralement de deux parties différentes (figure14)

- Une partie amont qui pénètre dans la nappe c'est la partie active (drainante de D à F) ;
- Une partie avale qui permet l'écoulement de l'eau vers les jardins c'est la partie Inactive de A à C ;

La direction de la foggara n'a aucune relation avec le pendage des couches mais avec la topographie locale de la région. Généralement les foggaras sont parallèles au sens d'écoulement de la nappe aquifère.

Le drainage permanent effectué par la partie active provoque un rabattement continu de la nappe d'eau et par conséquent une diminution du débit et l'évolution de la partie inactive vers l'amont. La stabilisation des deux parties ne se fait que lorsque le débit drainé est égal au débit rentrant (régime permanent). L'amélioration du débit par le creusement de nouveaux puits va permettre la migration de la partie inactive vers l'amont. Cela se traduit par l'augmentation des taux de pertes des eaux drainées dans la partie avale par l'infiltration, surtout s'il existe un obstacle qui gêne l'écoulement libre de l'eau. La fraction de débit perdue par infiltration dans la partie inactive est estimée entre 10% et 20% du débit total drainé.

b. Les dimensions des parties principales

Des mesures par GPS appliquées dans la foggara d'Ait youcef (ksar l'Ahmeur) ont donné les résultats suivant (Ansari, 2005):

- Longueur de la partie drainante : 1 500 m (52,63%) ;
- Longueur de la partie inactive : 1 350 m (47,36%) ;
- Pente de la partie drainante : $5,47 \cdot 10^{-4}$;
- Pente de la partie inactive : $9,52 \cdot 10^{-3}$;

c. Contraintes agissant sur le fonctionnement des foggaras selon l'enquête réalisée par l'ANRH entre 1998 et 2004

- Nature des formations drainées : la nature des formations géologiques qui renferment la nappe d'eau superficielle joue un rôle important dans les débits des foggaras. Le faible débit qui caractérise la majorité des foggaras de la région d'Ikkis (70 km au sud d'Adrar) revient essentiellement à la nature des formations géologiques qui renferment la nappe d'eau superficielle. Les coupes géologiques de forages montrent que cette nappe aquifère est constituée par une alternance de grès argileux et d'argile rouge gréseuse. La perméabilité moyenne de cette nappe aquifère est de l'ordre de $1,686 \cdot 10^{-5}$ m/s. Dans le champ de captage des foggaras elle varie de 3,2 m/s à $1,5 \cdot 10^{-5}$ m/s. Généralement, ces valeurs caractérisent les formations peu perméables ;
- Nature de la nappe aquifère exploitée : Les foggaras drainent les eaux de la nappe du CI. Les ressources de ce système aquifère ne sont pas renouvelables. Chaque volume d'eau extrait influe sur le volume global, ce qui se traduit ensuite par un rabattement continu du niveau statique de la nappe. Dans la wilaya d'Adrar, où la

nappe du CI est libre sur une large superficie, la baisse piézométrique observée entre 1 950 et 2 000 a été de quelques mètres (5 à 20 m en 20 ans dans le Gourara ; 3 à 28 m en 30 - 35 ans, dans le Touat et 5 à 10 m en 30 - 35 ans dans le Tidikelt). D'une manière générale la nappe du CI accuse une baisse sensible ;

4.2.7. Cultures pratiquées avec les eaux de captage

Les jardins des Oasis contiennent surtout des céréales (blé, orge, seigle..) et des maraîchages. Le climat Saharien, associé à l'eau des foggaras permet des récoltes hivernales pour les maraîchages et une moisson en avril. Ceci est rendu possible grâce à un système de cultures en étage: palmier d'abord, ensuite en sous étage d'autres arbres fruitiers (grenadiers, agrumes...) puis les cultures herbacées.

Cependant l'accroissement de la population dans les Oasis et l'extension de l'urbanisation aux dépens des terres cultivées amènent progressivement à une insuffisance de la production agricole locale. Les gens ne peuvent se contenter de ce subside résultant de la production oasienne. Sur le plan agricole, ils mettent en valeur des terres avec des forages, mais ceux-ci doivent absolument être éloignés des foggaras traditionnelles. Les forages doivent être suffisamment loin, pour ne pas provoquer un déséquilibre au niveau du captage d'eau dans les foggaras et entraîner par la même à long terme, leur disparition. De même que d'autres problèmes résultant de l'amélioration du niveau de vie, guettent les foggaras.

L'adduction d'eau potable, les réseaux d'égouts évoluent en milieu fermé, ce qui conduit progressivement à la pollution des nappes (cas de l'Oasis de Ghardaïa et de Oued Souf).

4.2.8. ASPECT SOCIAL

Le système des foggaras est encore largement utilisé aujourd'hui. Il contribue en grande partie au captage des eaux utilisées dans le Touat et le Gourara. Mais au cours des vingt dernières années, cette région a subi de profondes mutations et des conditions nouvelles ont été créées. Le déclin des systèmes traditionnels est amorcé, bien que des actions d'entretien aient été mises sur pied par les autorités. Ce déclin a été favorisé par les programmes de développement et ce à travers l'urbanisation rapide, l'utilisation généralisée de l'énergie électrique, la réalisation de forages modernes équipés de pompes, la création d'emplois non agricoles etc. Tous ces facteurs ont rendu la foggara difficilement compatible avec les exigences de la vie moderne. Les foggaras disparaîtront à terme par manque d'entretien, mais il serait naïf de croire qu'on peut les supprimer systématiquement par des forages, quand on connaît l'importance des quantités d'eau qu'elles fournissent et leur utilisation généralisée dans les oasis du Touat et du Gourara.

L'expérience multiséculaire des foggaras dans ces régions du Sud Algérien, est l'illustration la plus ancienne connue de prise en charge totale d'une gestion collective de l'eau et de l'irrigation au niveau local d'un terroir.

4.3. LES GHOUTS

4.3.1. INTRODUCTION

Faire descendre la racine jusqu'à être en contact avec la nappe : C'est le procédé de la "culture sèche" qu'on appelle "ghout". Ce procédé est très répandu dans la région d'El Oued (carte 7). Le Souf central compte 9 000 "ghouts".

4.3.2. SITUATION

Le Souf se situe dans le nord - est du Sahara. Il est délimité au sud par les dunes du Grand Erg Oriental, à l'est par une série de Chotts à l'ouest par la vallée de l'Oued Righ (carte 8). Cette région de 80 000 km² possède des dunes qui dépassent parfois 100 m de hauteur, son altitude moyenne est de 80 m.

Une grande partie constitue la wilaya d'El Oued, dont la superficie est de 54 573 km² avec une population de 504 401 habitants (densité de 9 habitants au km²).

La vallée quant à elle s'étend sur 3 000 km² dans une configuration géographique caractérisée par une topographie plane et sans exutoire. Elle compte une population de 380 000 habitants (densité de 127 habitants/km²) répartie à travers 18 communes : El oued, Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Débila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khélifa, Réguiba Mihouensa, Oued Alenda, Oglia, Nakhla, Ourmes, Tifraoui (carte 8).

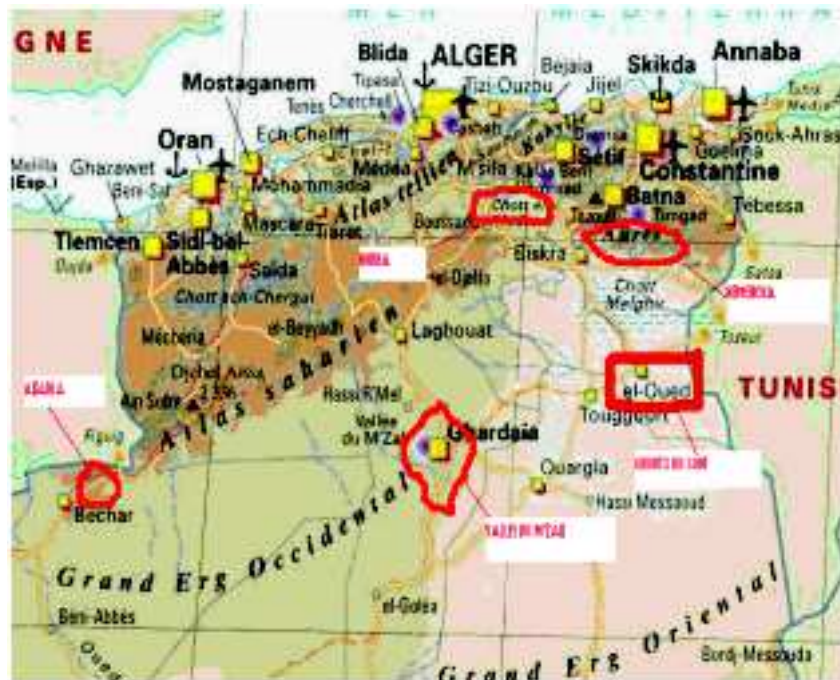
L'économie de la région est essentiellement basée sur la phoeniciculture dont une grande partie est localisée dans les ghouts qui avoisinent les 10 000.

Depuis quelques années, cette économie s'est diversifiée avec des cultures saisonnières irriguées telles que celles de la pomme de terre, du tabac, des arachides....

Le système d'irrigation traditionnel qui reposait essentiellement sur les ressources de la nappe phréatique, assurait un équilibre entre les besoins et les ressources en eau.

Le développement économique de la région a induit une forte croissance et une forte concentration démographique. Pour faire face aux besoins en eau domestique il a fallu recourir aux ressources des nappes profondes (nappe du complexe terminal et du continental intercalaire). En l'absence totale d'un réseau d'assainissement et de drainage et en l'absence d'exutoire, les eaux aboutissant à la nappe phréatique ont fait monter son niveau.

A partir des années 70, le phénomène s'est intensifié et de l'eau stagnante est apparue dans certains ghouts ainsi que dans les zones basses de la ville d'El Oued, autour du Chott, puis plus récemment dans les quartiers de Nezla et de Sidi Mestour (Demmak et al, 2005).



Carte 7 : Situation des régions du Souf, du Hodna, des Néméncha, du M'Zab et de Abadla

Source : www.fao.org/countryprofiles



Carte 8 : Situation dans la vallée du Souf

Source : www.El-Oued Souf.com

4.3.3. LE CLIMAT

Le climat de la région est en certains points, analogue à celui du reste du Sahara : très chaud l'été (entre 42°C et 52°C), assez froid en hiver (de 2°C à 8°C), voire des gelées la nuit. On observe des différences de température assez élevées entre le jour et la nuit (jusqu'à -30°C en été). Les précipitations sont rares mais il peut pleuvoir en particulier entre les mois de novembre et février. Cela reste une pluie fine et modérée même si des pluies

torrentielles sont toujours possibles (avril 1947 et mai 1967 où des précipitations importantes ont provoqués des inondations). L'humidité de l'air ne dépasse pas les 66% durant l'année. L'insolation annuelle est très forte (3 323 h). L'ETP annuelle calculée selon la méthode Penman est de 2 030 mm. Les vents sont fréquents durant l'année. Le Sirocco, vent chaud et sec prédomine de juin à septembre figure 17 (annexe 8, p. 262).

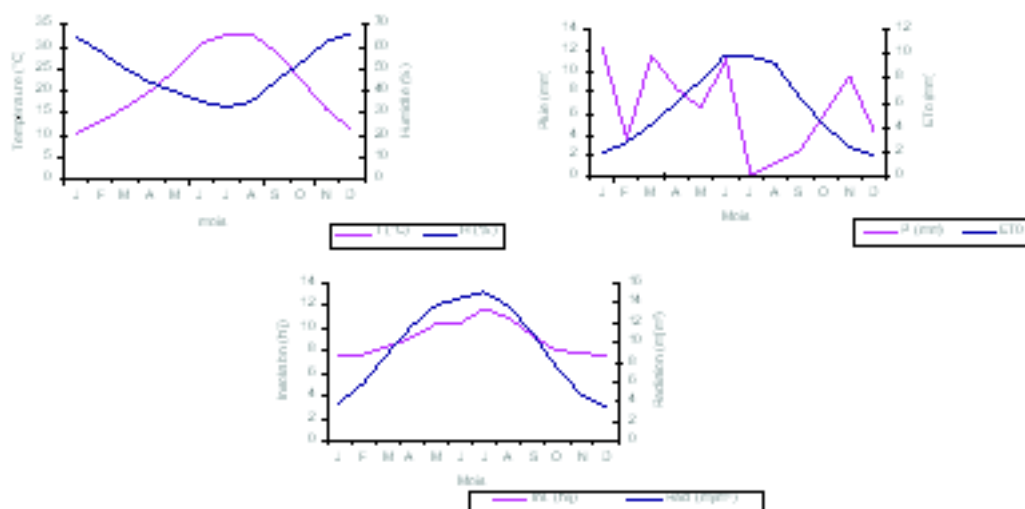


Figure 17 : Données climatiques de la région du Souf. Station Oued Souf (1974-1994)

4.3.4. Ressources en eau

Souf est un mot berbère qui a la même signification en arabe que le mot oued. L'expression "Oued Souf" a donc la particularité de répéter 2 fois le même terme mais en 2 dialectes distincts. Ces 2 expressions signifiant fleuve en français. Il y a effectivement dans la région d'El Oued, une nappe acquière qui remonte à la surface, du sud vers le nord. Cette nappe est assez proche de la surface, entre 5 m et 15 m de profondeur selon l'endroit (tableau 25).

Tableau 25 : Niveau de la nappe du Souf

Localités	Altitude (m)	Direction	Profondeur de la nappe (m)
El Oglâ El	84 77 55 52 51 50	Sud Nord	11 à 14,8
Oued Kouinine Taghzout	Guémar Ghamra	Zgoum Béhima	11 à 14,8
Aoun		Est Nord Est Nord	5,7

Source : www.El-Oued Souf.com

4.3.5. TECHNIQUES D'APPORT D'EAU ET AGRICULTURE

Les paysans Souafas ont imaginés un système d'irrigation original. Au lieu d'irriguer en surface, ils vont à la rencontre de l'eau en creusant des palmeraies – entonnoirs (photo 15). Ainsi les palmiers n'ont plus qu'à puiser l'eau d'eux-mêmes au bout de leurs racines. Mais si l'irrigation se fait toute seule, l'entretien des ghouts (entonnoir) n'a rien de facile. C'est une lutte sans fin contre le vent qui aurait tôt fait de combler le cratère et d'ensevelir les palmiers.



Photo 15 : Cuvettes ou ghouts à gauche et cultures pratiquées dans le fond de la cuvette à droite

Source : www.El-Oued Souf.com

Les palmeraies enterrées du Souf sont disséminées par groupe de 20 à 100 palmiers au centre de larges cuvettes concentriques (10 m de dénivellation) creusées par l'homme. La côte topographique artificielle a été ramenée à un mètre et moins au dessus de la nappe phréatique. On creuse progressivement le sol afin que les palmiers aient constamment les racines dans l'eau. Ils n'ont donc pas besoin d'irrigation. Lorsque l'agriculteur Soufi crée sa palmeraie, il commence par l'entourer d'une dune artificielle fixée par des pierres de gypse et de palissades en djérid (palmes sèches). Les gros travaux terminés, il lui restera sa vie durant, à charrier le sable du fond au sommet du cratère sur une distance de 80 m à 20 m et à barrer le flux de sable par d'innombrables digues de palmes. Le principe des ghouts est simple et a l'avantage de réduire l'évaporation mais il nécessite bien sur d'importants terrassements pour une superficie réellement cultivée très réduite et un entretien permanent sinon c'est la mort de la petite palmeraie par ensablement. Les spéculations agricoles qui sont pratiquées en dehors du palmier sont celles que l'on rencontre dans la majorité des oasis (tableau 26).

Tableau 26 : Spéculations agricoles pratiquées dans le Souf au niveau des ghouts et dans les zones de mise en valeur

Cult	CS	CI	J	LS	CFI	CIS	CII	CMPCS	CMPCI	CMSS	CMSA
S(ha)	229	2994	19731	5	440	1,46	2651,83	8	4073	8,1	0,5
Cult	AgrS	AgrI	APNS	APNI	FI	OS	OI	PDS	PDI	VI	CFS
S(ha)	0	37	0	143	14	1	49	472	25224	16	10

CS : céréales en sec ; CI : céréales en irrigué ; J : jachère ; LS : légumes secs ; CFS : cultures fourragères en sec ; CFI : cultures fourragères en irrigué ; CIS : cultures industrielles en sec ; CII : cultures industrielles en irrigué ; CMPCS : cultures maraîchères plein champ en sec ; CMPCI : cultures maraîchères plein champ en irrigué ; CMSS : cultures maraîchères sous serres ; CMSA : cultures maraîchères sous abri ; AgrS : agrumes en sec ; Agr I : agrumes en irrigué ; APNS : arbres à pépins et noyaux en sec. APNI : arbres à pépins et noyaux en irrigué ; FI : figuiers en irrigué ; PDS : palmier dattier en sec ; PDI : palmier dattier en irrigué ; VI : viticulture en irrigué.

Source : RGA, 2003

4.4. LES EPANDAGES DES EAUX DE CRUES

Ils sont pratiqués sous deux modes, selon les régions Nord et Sud. Dans le premier cas il s'agit d'une irrigation de complément généralement pour les céréales d'hivers à partir des

eaux de crues d'oueds. Cela permet également de réalimenter les nappes. Un système de canaux à partir des points hauts permet l'épandage des eaux de crues dans les terres basses et plates.

Dans le deuxième cas, au Sud, où les pluies sont rares, l'eau de crues est canalisée par un système de canaux et parfois de galeries. Elle permet ainsi de réalimenter les nappes. La gestion de la ressource est collective et a un aspect social important. Le cas de la vallée du M'Zab est édifiant à ce sujet.

4.4.1. LES EPANDAGES DES EAUX DE CRUES DANS LA REGION NORD

Elle concerne un peu plus de 120 000 ha, pour 2% à 3% de la sole céréalière (RGA, 2003). Cette pratique est occasionnelle et les surfaces concernées, varient en fonction de l'importance de la durée et de la répartition des pluies.

4.4.1.1. CAS DE LA REGION DU HODNA (carte 9)

C'est une pratique courante dans cette région, dont la dominante agricole est la céréaliculture extensive.



Carte 9 : Situation des zones d'épandage du Hodna

Source : [www.google earth](http://www.google.com/earth/), 2005

4.4.1.1.1. CONTEXTE

La pluviométrie moyenne annuelle dans cette région se situe entre 200 mm et 250 mm (carte 2). La hauteur pluviométrique annuelle dépassée en moyenne une année sur cinq est entre 300 et 350 mm, celle dépassée en moyenne une année sur dix est de 350 à 400 mm (ANRH, 1993). La température présente de grandes variations annuelles et journalières. L'humidité de l'air ne dépasse pas les 70% durant l'année. L'insolation annuelle est très forte

(3 028 h). L'ETP annuelle calculée selon la méthode Penman est de 1 746 mm. Les vents sont fréquents durant l'année (figure 18 et annexe 8, p. 262).

L'irrégularité pluviométrique et le caractère très érodé des reliefs font que ces régions passent constamment de la sécheresse à l'excès d'eau. Les oueds coulent rarement, si ce n'est de façon impétueuse et destructrice. Ils sont alimentés par les pluies qui tombent sur les contreforts des monts du Hodna situés au nord - est. A défaut d'être présent lorsque se produit la crue de l'oued, il suffit d'observer la configuration de son lit : très large, divaguant, laissant sur ses berges des débris de bois et de pierres charriés depuis l'amont. Habituellement rare, l'eau arrive ici sous le signe de l'excès.

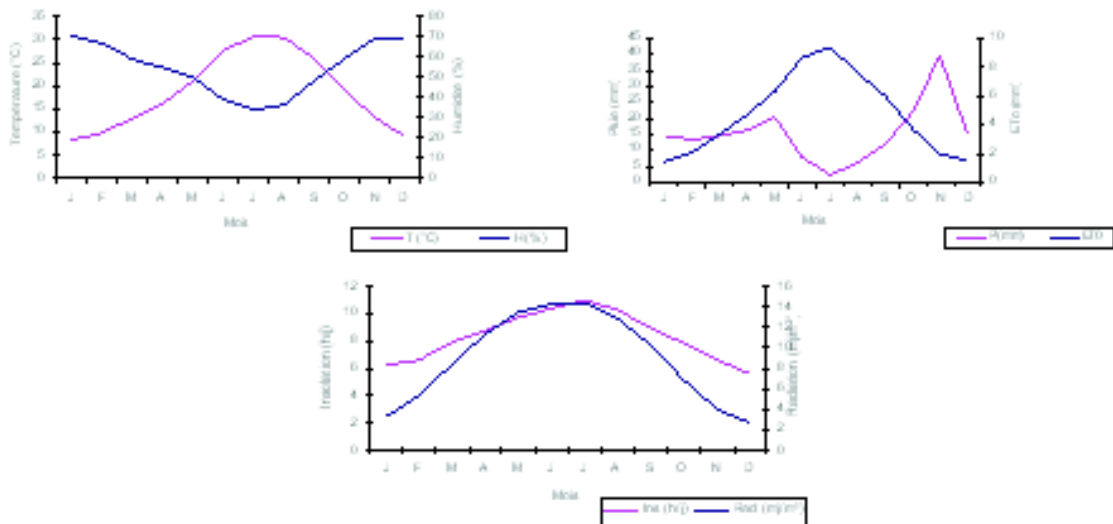


Figure 18 : Données climatiques de la région du Hodna. Station de M'Sila (1974-1994)

4.4.1.1.2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Despois (1959) estime qu'il se soit toujours conservé un peu partout sur la bordure septentrionale du désert et de la steppe d'Afrique du Nord, en particulier dans la plaine du Hodna, une technique simple mais adaptée aux conditions naturelles, de construction de barrages de dérivation ou Ceds. Ces ouvrages de dérivation souffrent beaucoup quand la crue est trop violente. Que la crue soit moyenne ou abondante, la façon dont se dispersent les eaux est toujours la même. Elles s'étalent en nappes immenses, peu profondes dans les dépressions. Elles passent ainsi d'une propriété dans l'autre, sans canal de distribution, sans aucune digue ni fossé et naturellement sans réglementation. Il existe bien de temps à autre, de petites élévations de terre barrant les dépressions, mais leur but est de disperser les eaux de faibles crues et aussi d'empêcher les nfidas (dépressions) de se creuser et de devenir des oueds profonds.

Le principe de ces barrages est de ne rien laisser perdre du mince filet d'eau quand elle est rare et d'être submersible au moment des crues. En effet tout ouvrage important risque d'être emporté et surtout de provoquer des dégâts car l'oued contrarié se détourne de son lit et creuse un lit imprévu. En somme, le type de climat et de relief impose dans ces régions intermédiaires des ouvrages fusibles assez rudimentaires pour freiner l'écoulement sans le retenir tout à fait. C'est le principe de l'épandage de crue, encore appelé inondation dirigée.

Ce principe d'aménagement est très répandu dans la plaine du Hodna, même de nos jours (Sebhi, 1987). On le retrouve dans des régions du même type comme le pays des

Némencha (carte 7) où Cote (1988) en a encore observé le fonctionnement en 1987. La région du Hodna est typique: à la jonction du Tell, dont elle reçoit l'essentiel de son eau et du Sahara qui en marque le climat. La plaine du Hodna est habitée par des pasteurs qui nomadisent et pratiquent ici et là une céréaliculture extensive. Recevant entre 200 mm et 250 mm, l'apport total en eau n'est pas négligeable et permettrait selon Despois (1959), de cultiver 5 000 ha de jardins et 60 000 ha de céréales dans de bonnes conditions, au prix d'un aménagement. La technique mise au point au fil des siècles est simple :

Construction de barrages de dérivations très rudimentaires : on commence par creuser un canal oblique par rapport au lit de l'oued, souvent dans la concavité d'une courbe. Sa profondeur n'atteint le fond de l'oued que s'il est peu encaissé. Puis on construit un barrage de dérivation submersible, faisant un angle obtus avec le sens du courant, pour éviter une trop grande poussée (figure 19) ;

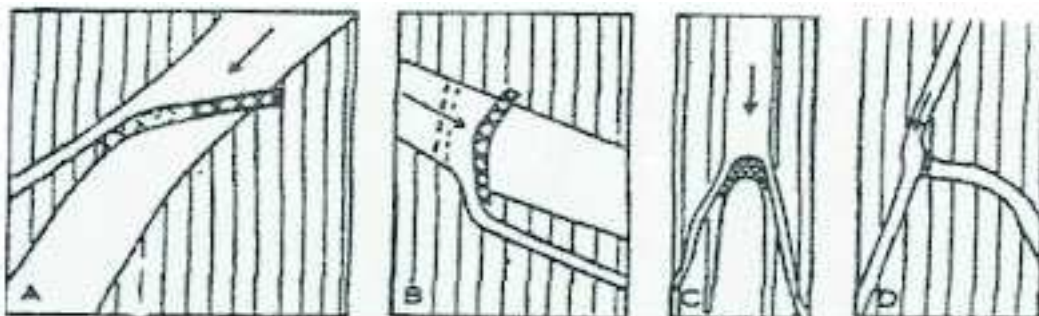


Figure 19 : Types de barrages dans le Hodna

Détail des types de barrages : A. sur l'oued Bitham (Sahari) ; B. Sedd el Djir sur l'oued el Leham (en pointillé, les vestiges de l'ancien barrage) ; C. Sedd el Adjabi sur l'oued bou Hamadou (Souania) ; D. dérivation d'un petit affluent de l'oued Sbisseb (Sidi Aissa).

Source : Despois, 1959

Ce barrage est fait de levées de galets ou de pierres retenues par des branchages ou le plus souvent, de lits alternés de branchages (tamaris, jujubier, atriplex) mêlés à de la terre tassée. La difficulté est plus grande quand le lit de l'oued est encaissé: il faut alors construire une digue qui peut avoir 3 ou 4 mètres de haut et risque d'être emportée. On ne trouve pas de barrages maçonnés, sauf de rares vestiges romains. Toutes les tentatives coloniales pour bâtir en dur ont échoué (par exemple, le barrage en pierre de l'oued Mazouz, construit en 1907 et emporté en 1926). En somme, c'est la technique la plus rudimentaire qui est la plus appropriée, même si des améliorations techniques sont possibles, comme le gabionnage.

Ensuite, un canal de dérivation conduit l'eau aux parcelles par l'intermédiaire de seguias en terre. Le résultat est un parcellaire très lanière, comme le montre le relevé suivant de parcelles d'inondation dirigée dans le Hodna (figure 20) ;

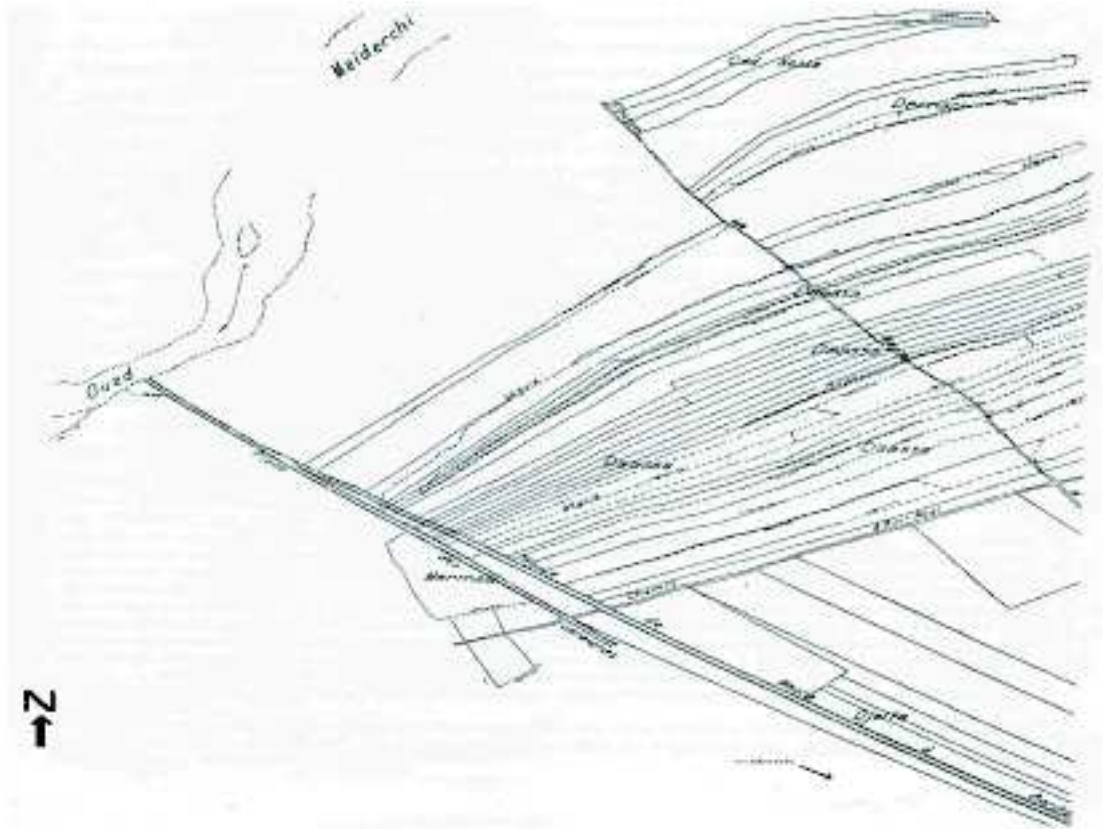


Figure 20 : Parcelles irriguées par les eaux de crues dans le Hodna

Source : Despois ,1959 in Pérennes, 1990

Ceci permet une première irrigation au moment des semailles et une seconde en hiver, s'il n'a pas assez plu. Surtout, la moindre pluie de printemps est ainsi utilisée pour une troisième irrigation, décisive celle-là. Pratiquée en mars, elle suffit, si les semailles sont précoces, particulièrement pour l'orge. Une dernière irrigation a lieu le cas échéant, en avril pour les blés et les orges tardives. Ces terres arrosées irrégulièrement peuvent donner de bons résultats car elles ne sont pas surexploitées.

4.4.1.1.3. GESTION SOCIALE DE L'EAU

Si la technique est simple, la répartition de l'eau pose des problèmes. L'irrégularité des apports, mais aussi la position des riverains par rapport au cours d'eau se répercutent sur le bénéfice qu'ils peuvent en tirer. Les riverains d'amont ne sont favorisés que par les petites crues, car leurs barrages sont vite emportés dès que le flot est plus fort; dans ce cas, l'aval en bénéficie d'avantage. Comment dès lors, se répartir les terres régulièrement arrosées (on les appelle terres *hai* dans le Hodna) et celles qui le sont rarement (terres *djelf*)? On trouve mêlées des règles de répartition de l'eau qui proviennent des deux régions voisines : tantôt c'est la propriété du sol qui prédomine comme dans le Tell, tantôt c'est la propriété de l'eau comme au Sahara. Par ailleurs, il semble que, traditionnellement, on palliait l'irrégularité des débits disponibles par des rotations dans l'attribution des terres : « Dans chaque groupe, le partage annuel, favorisait tour à tour les uns et les autres ; les terres d'amont les plus fréquemment inondées par les petits oueds et les terres d'aval passaient successivement entre toutes les mains ». Mais ce système s'est peu à peu dégradé : les partages se sont espacés, puis n'ont plus eut lieu ; les gens influents ont

gardé les parcelles d'amont, la terre est devenue melk. Hormis quelques communautés rurales, il semble que ce déclin des mécanismes sociaux de répartition soit assez général (Pérennes, 1990). Dernière caractéristique, c'est une technique coûteuse en main d'œuvre, en particulier pour la fréquente réfection des barrages de dérivation et des seguias en terre.

4.4.1.2. CAS DES AUTRES REGIONS

4.4.1.2.1. REGION DES NEMENCHA

La pluviométrie moyenne annuelle dans la région des Némencha est comprise entre 200 mm et 250 mm (ANRH, 1993). La température présente de très grandes variations annuelles et journalières. Les valeurs moyennes maximum sont enregistrées en juillet et les minimum en janvier. L'amplitude des températures moyennes absolues est assez importante. Le gel est fréquent de décembre à février. L'humidité de l'air ne dépasse pas 60 % durant l'année. L'insolation annuelle est très forte (3 269 h). L'ETP annuelle calculée selon la méthode Penman est de 2 259 mm, figure 21 (annexe 8, p. 262). Les vents sont fréquents durant l'année.

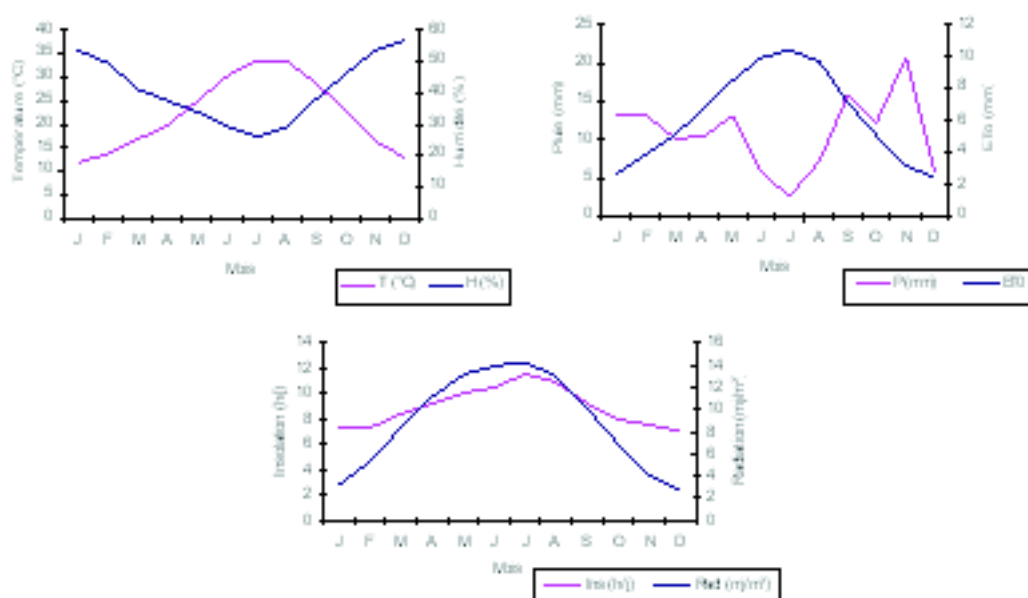
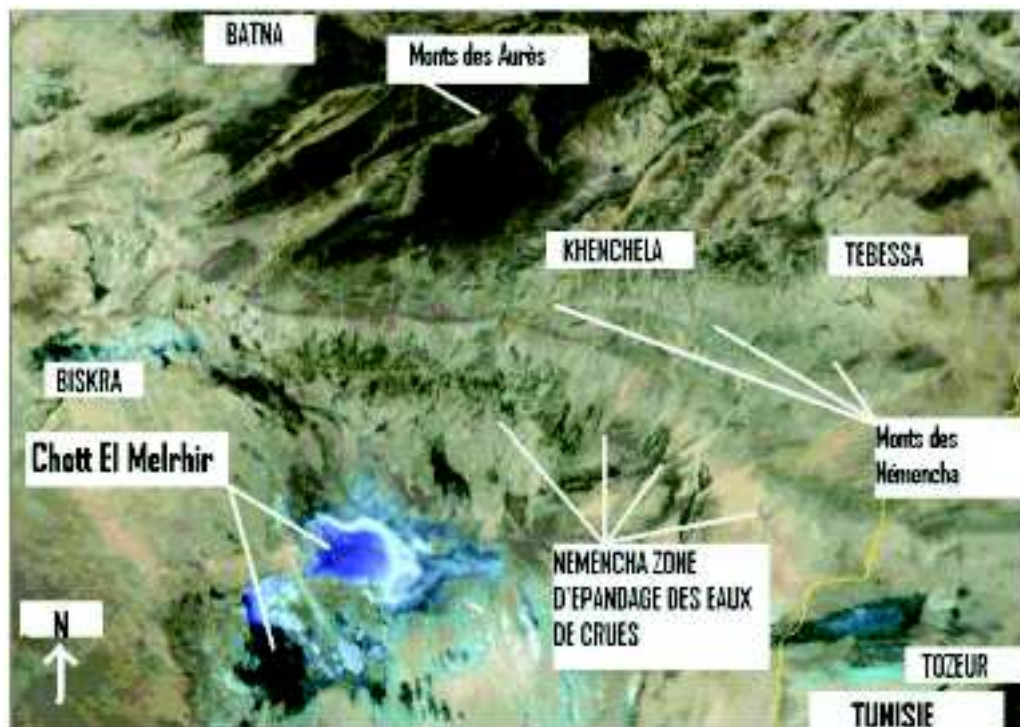


Figure 21: Données climatiques de la région des Némencha (Aurès) (1974 – 1994)

Pour le cas des Némencha dans les Aurès (carte 10), Cote (1988) décrit des mécanismes de régulation un peu différents. Ce système aux résultats par définition aléatoires, comporte une série d'éléments régulateurs destinés à égaliser au maximum les chances de tous les membres du groupe : parcelles étirées sur tout le front de la crue (répartition des chances suivant le tracé de la crue) ; division des droits sur chacun des



Carte 10 : Situation des zones d'épandage

Source : www. Google Earth 2005

blocs (répartition des chances en fonction des forces de la crue) ; redistribution périodique (répartition des chances dans le temps). Suivant les groupes (ici les fractions), les redistributions ont lieu tous les 3 ; 4 ; 5 ou 6 ans ; la collectivité reprend l'ensemble des terres comptabilise, les ayants droits et attribue à chacun de nouvelles parcelles. Courant 1987, ce système fonctionne comme il fonctionnait à l'époque coloniale.

4.4.1.2.2. REGION DE ABADLA

Le même système pratiqué dans la région de Bechar à Abadla (carte 11), a disparu peu à peu avec la mise en place du périmètre irrigué de Abadla à partir du barrage de Djorf Torba. La température présente de grandes variations annuelles et journalières. Les valeurs moyennes maximales sont enregistrées en juillet et les minima en janvier. L'amplitude des températures moyennes absolues est assez importante et dépasse parfois les 23°C. Le gel est fréquent de décembre à février. Les précipitations sont rares irrégulières et violentes. Il tombe annuellement moins de 90 mm. L'humidité de l'air est faible (moins de 45%) durant l'année, excepté dans les oasis. L'insolation annuelle est très forte (3 488h). L'ETP annuelle calculée selon la méthode Penman est de 2 312 mm, figure.22 (annexe 8, p. 262). Les vents sont fréquents durant l'année. Le Sirocco, vent chaud et sec prédomine de juin à septembre.

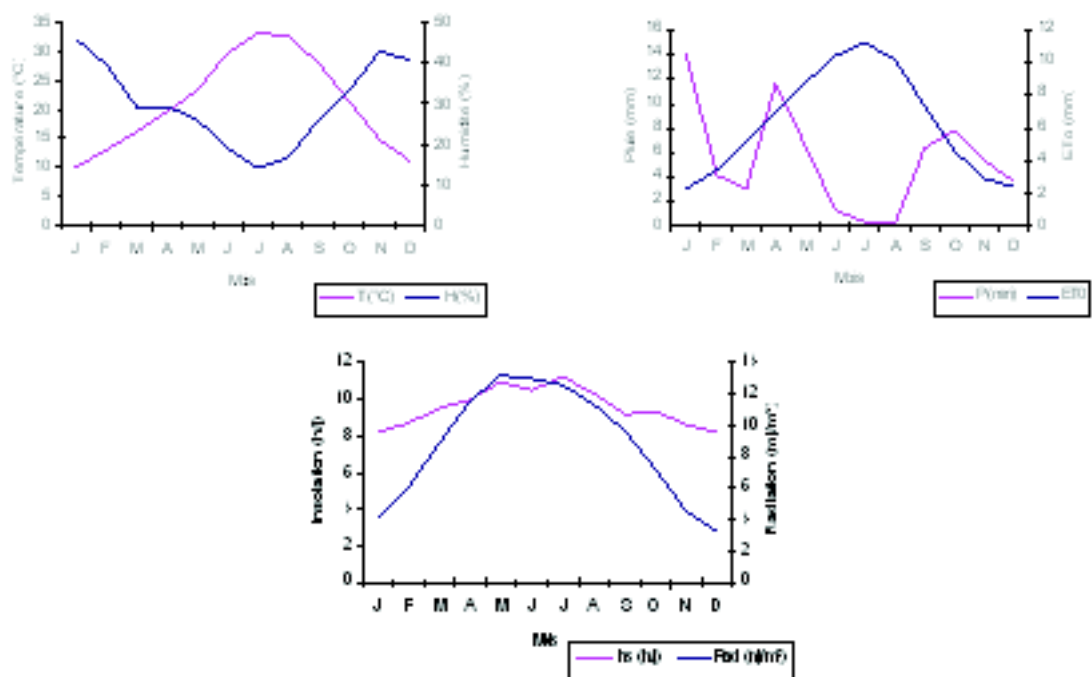
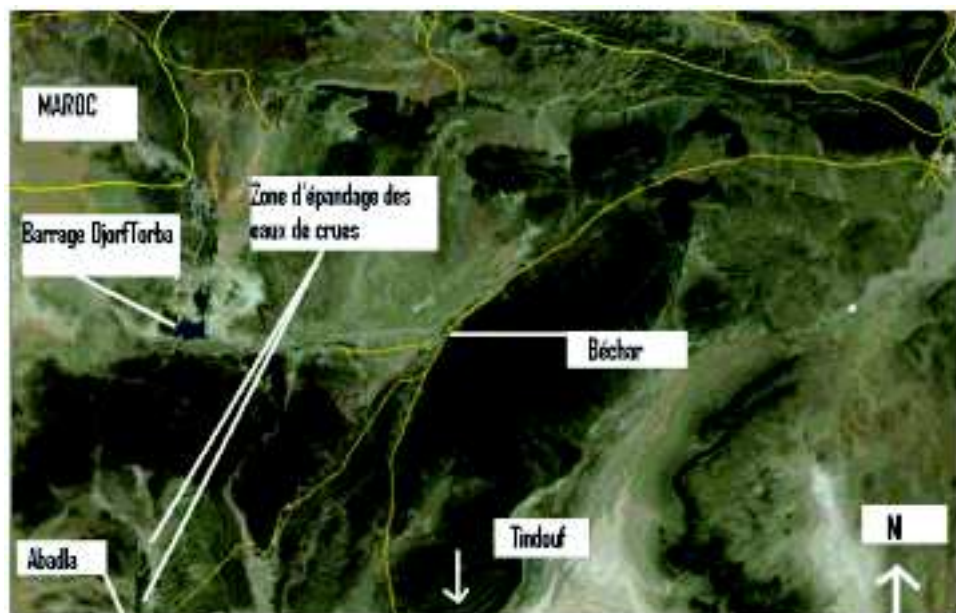


Figure 22 : Données climatiques de la région de Abadla. Station de Béchar (1974 –1994)



Carte 11 : Zone d'épandage de Abadla

Source : www.Google Earth 2005

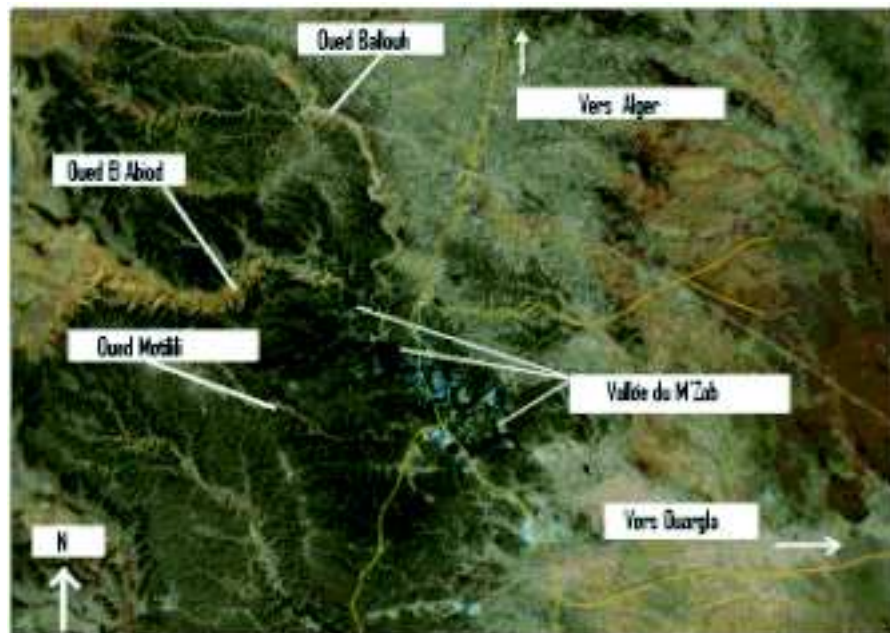
4.4.2. LES EPANDAGES DES EAUX DE CRUES DANS LA REGION SUD

4.4.2.1. CAS DE LA VALLEE DU M'ZAB (PARTAGE DES EAUX)

4.4.2.1.1. SITUATION

La région du M'Zab est située à 600 km au sud d'Alger. Elle se trouve sur le plateau de la Hammada, dans sa portion nord, son étendue est de 112 km² à 125 km² et elle est comprise entre le 32° et le 33° 20' de latitude Nord et 2° 30' de longitude Est. Son altitude est variable, de 300 m à 800 m. Ce plateau est une véritable charpente rocheuse recouverte par des terrains quaternaires (carte 12).

Sur une partie du plateau, de considérables érosions ont fait surgir un monde de crêtes et de buttes escarpées : c'est la chebka (filet ou réseau). Ainsi sont sculptées les mailles de ce filet géant, ouvert au nord - ouest et au sud - est pour laisser passer l'oued M'Zab,



Carte 12: Situation de la vallée du M'Zab

Source : [www.google](http://www.google.com) Earth 2005

renfermant les cinq villes du M'Zab, Ghardaïa, Mélika, Benisguen, El Atteuf, Bounoura d'où son nom de pentapole. La vallée de l'oued M'Zab mesure 20 km de long sur à peu près 2 km de large.

La Vallée a été creusé par l'Oued M'Zab (mizab = gouttière) dans un plateau calcaire, d'altitude moyenne de 500 m, faisant 2 km de large. C'est l'oued M'Zab qui a donné son nom à la vallée et aux habitants.

Peu de terre arable, sauf au fond des vallées, qui sont envahies par des oueds en crue (l'oued M'Zab et ses affluents : Touzouz, n'tissaa, Azouil, Oued Metlili, oued N'sa oued Zegheir). Tous les deux ou trois ans, ses crues alimentent la nappe phréatique grâce à un système hydraulique très ancien et fort subtile.

Les apports en eau se résument en 2 ou 3 averses par année pluvieuse (10 jours de pluie/an). La vallée peut rester à sec plus de 7 années de suite. Les températures varient de plus 47°C en été, à 10 - 15°C l'hiver et souvent, 0°C la nuit (URBAT, 2000).

La température présente de très grandes variations annuelle et journalière. L'amplitude des températures moyennes absolues est assez importante. Les précipitations sont rares, irrégulières et violentes. L'humidité de l'air est faible (moins de 58%) durant l'année, excepté dans les oasis. L'insolation annuelle est très forte (3 319 h). L'ETP annuelle calculée selon

la méthode Penman est de 2 184 mm, figure 23 (annexe 8, p. 262). Les vents sont fréquents durant l'année. Le Sirocco, vent chaud et sec prédomine de juin à septembre.

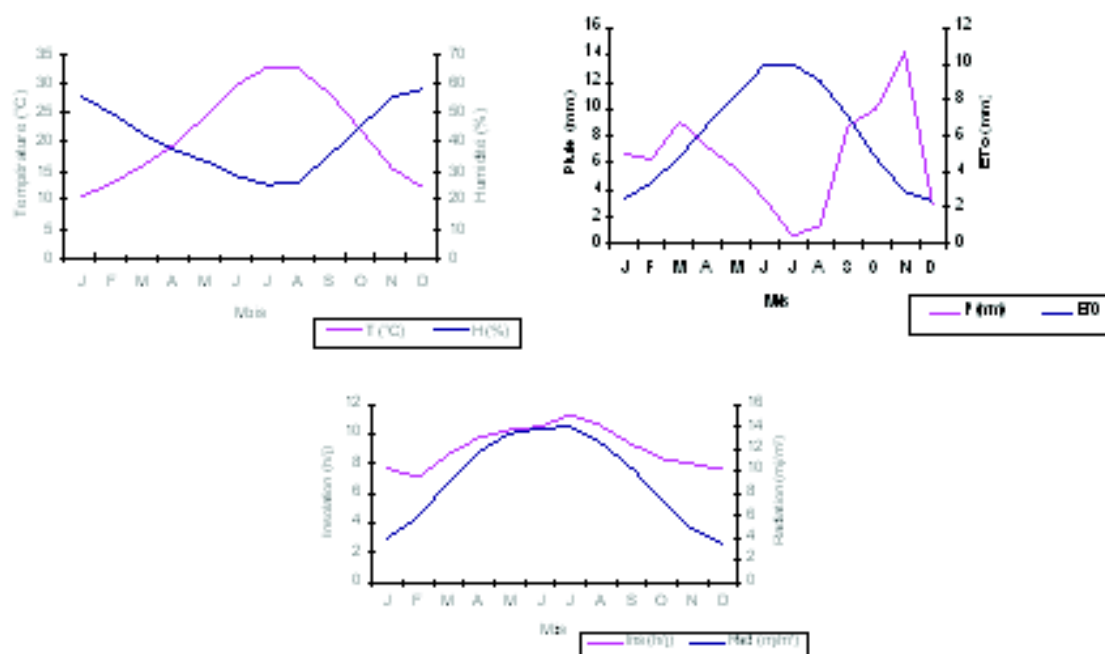


Figure 23 : Données climatiques de la vallée du M'Zab. Station de Ghardaïa (1974/1994)

La vallée est confrontée aujourd'hui à une série d'agressions qui menacent la pérennité du modèle, de son organisation, de la gestion sociale des ressources hydriques et qui se matérialisent par :

- Les extensions urbaines inconsidérées dans la vallée ;
- La reconversion des palmeraies en zones d'habitats ;
- La forte urbanisation de la vallée ;
- L'exploitation abusive des ressources hydriques ;
- Le recul de ses ressources en eau et de la biodiversité ;
- Le rejet massif d'eaux usées ;

4.4.2.1.2. AGRICULTURE

Elle est centrée sur le palmier dattier, 200 000 arbres le long des 20 km de la vallée, puis viennent d'autres arbres fruitiers ,agrumes, arbres à pépins et à noyaux ainsi que des cultures herbacées, maraîchages, céréales. (tableau 27).

Tableau 27 : Principales spéculations agricoles de la vallée du M'Zab

Cult	CS	CI	J	LS	CFI	CIS	CII	CMPCS	CMPCI	CMSS	CMSA
S(ha)	4	1332	1765	1	304	2,8	384,9	6	991	12,4	2,22
Cult	AgrS	AgrI	APNS	APNI	FI	OS	OI	PDS	PDI	VI	CFS
S(ha)	6	101	3	59	10	0	0	71	7795	26	304

CS : céréales en sec ; CI : céréales en irrigué ; J : jachère ; LS : légumes secs ; CFS : cultures fourragères en sec ; CFI : cultures fourragères en irrigué ; CIS : cultures industrielles

en sec ; CII : cultures industrielles en irrigué ; CMPCS : cultures maraîchères plein champ en sec ; CMPCI : cultures maraîchères plein champ en irrigué ; CMSS : cultures maraîchères sous serres ; CMSA : cultures maraîchères sous abri ; AgrS : agrumes en sec ; Agr I : agrumes en irrigué ; APNS : arbres à pépins et noyaux en sec. APNI : arbres à pépins et noyaux en irrigué ; FI : figuiers en irrigué ; PDS : palmier dattier en sec ; PDI : palmier dattier en irrigué ; VI : viticulture en irrigué ; OS : oliviers en sec ; OI : oliviers en irrigués ;

Source : RGA, 2003

4.4.2.1.3. RESSOURCES EN EAU D'IRRIGATION

Eaux souterraines : Plus de 5 000 puits dans la vallée alimentent ces activités agricoles. Originellement et souvent encore à ce jour (photo 16) l'eau était puisée par un système à outres (capacité 40 - 50 l) tirées par un animal sur un chemin de hallage. Depuis l'arrivée des groupes motopompes dans les années 40, l'exploitation s'est intensifiée, certains puits se sont taris et le mode outre est progressivement remplacé par des groupes motopompes.



Photos 16 : Puisage de l'eau par traction animale (gauche) et par moto pompe (droite).

Source : www.mzab.free.fr

Eaux superficielles : Elles proviennent des crues des bassins versants situés à l'amont de la vallée du M'Zab par le biais des affluents de l'oued M'Zab (carte 12). Certaines crues parviennent depuis les versants sud des monts du Djebel Ammour (Atlas Saharien). Ces eaux participent à l'irrigation par submersion ainsi qu'à la réalimentation des nappes. Le but de cette pratique de partage des eaux est à la fois économique et social. Du point de vue économique, elle permet par un réseau de captage astucieux des eaux de crues, de pouvoir canaliser celles-ci et permettre leur redistribution sur l'ensemble des oasis de la vallée pour à la fois pratiquer des irrigations par submersion et réalimenter l'ensemble des nappes superficielles sans énergie. Du point de vue social, cette pratique est collective. Au moment des crues c'est toute la population agricole qui est mobilisée et qui participe de manière active. Cet événement renforce la cohésion sociale et souligne l'importance accordée à la ressource eau dans cette région. De même que le réseau de collecte des eaux nécessite un entretien permanent de la collectivité.

4.4.2.2. PARTAGE DES EAUX

La vallée est située à l'aval et à la confluence d'une série de bassins versants couvrant approximativement 4 000 km² et dont elle reçoit les eaux de pluie (carte 12).

Tout un cérémonial annonce l'arrivée des crues : "n'tissa ad izouilen at'tichen aman il atoufa chared ighazraouen harden at'tichen al' azi' lagnina". L'oued N'tissa, qui s'unit à

celui d'Azouil offre de l'eau à latoufa (El atteuf); trois oueds bouillonnent et font honneur à lagnina (El atteuf). C'est avec ce chant célèbre que tous, hommes et femmes, garçons et filles accueillent et applaudissent l'arrivée de l'oued, une fête sans pareille, un événement exceptionnel. On entend partout " El oued h'mel" (la crue a porté), une nouvelle qui remplit tous les cœurs de joie (Benyoucef, 1988). Certes ici plus qu'ailleurs, l'eau est appréciée à sa juste mesure. Elle a une valeur sans égale. L'eau a bien souvent uni et séparé. Elle a fait le bonheur et le malheur des gens ; indispensable à tout élément de vie, l'eau aussi rare qu'elle soit, est arrachée au fond des puits, alimentés irrégulièrement par les rares crues qui ont lieu une fois tous les 2 ou 3 ans et parfois même plus. C'est justement pour cette raison que les Kharijites choisirent ce site aride pour fonder leurs célèbres cités - jardins millénaires. Chose qui relève certainement du paradoxe. Dans un milieu où la nature est avare, les villes du M'zab ne confirment en rien les facteurs habituels du développement urbain." Nous sommes ici en train d'apprécier la chebka en tant que siège d'établissement humain. On peut dire sans crainte qu'il y a peu de contrées aussi déshéritées sur la terre". Et c'est à juste titre qu'Ibn Khaldoun qualifie le M'zab de pays de chaleur. C'est donc bien l'aridité qui devait motiver les Kharijites à s'installer au M'zab. Elle devait les épargner de toute migration humaine et leur assurer la protection. Et c'est au milieu de cette aridité que cette communauté humaine s'est lancée dans une bataille difficile contre la nature et a appris à apprécier l'effort humain à sa juste valeur, un contraste avec le faste qui fut l'une des causes de la ruine de leur premier villes-Etat (Tahert, Sédrata). Ce fut bien au M'zab que cette communauté retrouva l'isolement recherché. Des villes fortifiées furent édifiées sur des collines difficiles d'accès : El atteuf (Tajrinte) en 1012, Bounoura (Atbùnâr) en 1406, Ghardaïa (Taghardait) en 1053, Melika (At Amlichet) en 1124, Benisguen (Atizjan) en 1347. Plus tard à la suite de rivalités tribales, apparurent Guérara (Lagrara) en 1630 et Berriane (Bariyane) en 1679.

4.4.2.2.1. LES PUIITS

Les puits ou tirst, de la ville sont éparpillés un peu partout de sorte que chaque quartier est doté du sien. Ils constituent ainsi l'unique source d'eau de la ville. La particularité de ces puits réside dans leur aménagement. Pour atteindre la nappe phréatique, ils sont creusés de 20 m à 60 m et sont maçonnés en pierre ; au sommet

se dressent deux montants verticaux où est fixé la barre horizontale qui supporte la poulie ; sur cette dernière passe la corde à laquelle on suspend le récipient, et le puisage se fait à l'aide de la traction verticale de l'homme (photo 17), contrairement à la palmeraie où elle s'effectue à l'aide de la traction horizontale de l'animal ou par pompage (photo 16). Le puit est un équipement public, juridiquement classé bien "habous", formule selon laquelle les propriétaires, par un geste très généreux, rendent ce bien inaliénable ; de la même manière, on peut léguer aussi des palmeraies et des terres.



Photo 17 : Puit de la ville à puisage verticale

Source : Benyoucef, 1988

4.4.2.2. LE CAPTAGE DES EAUX

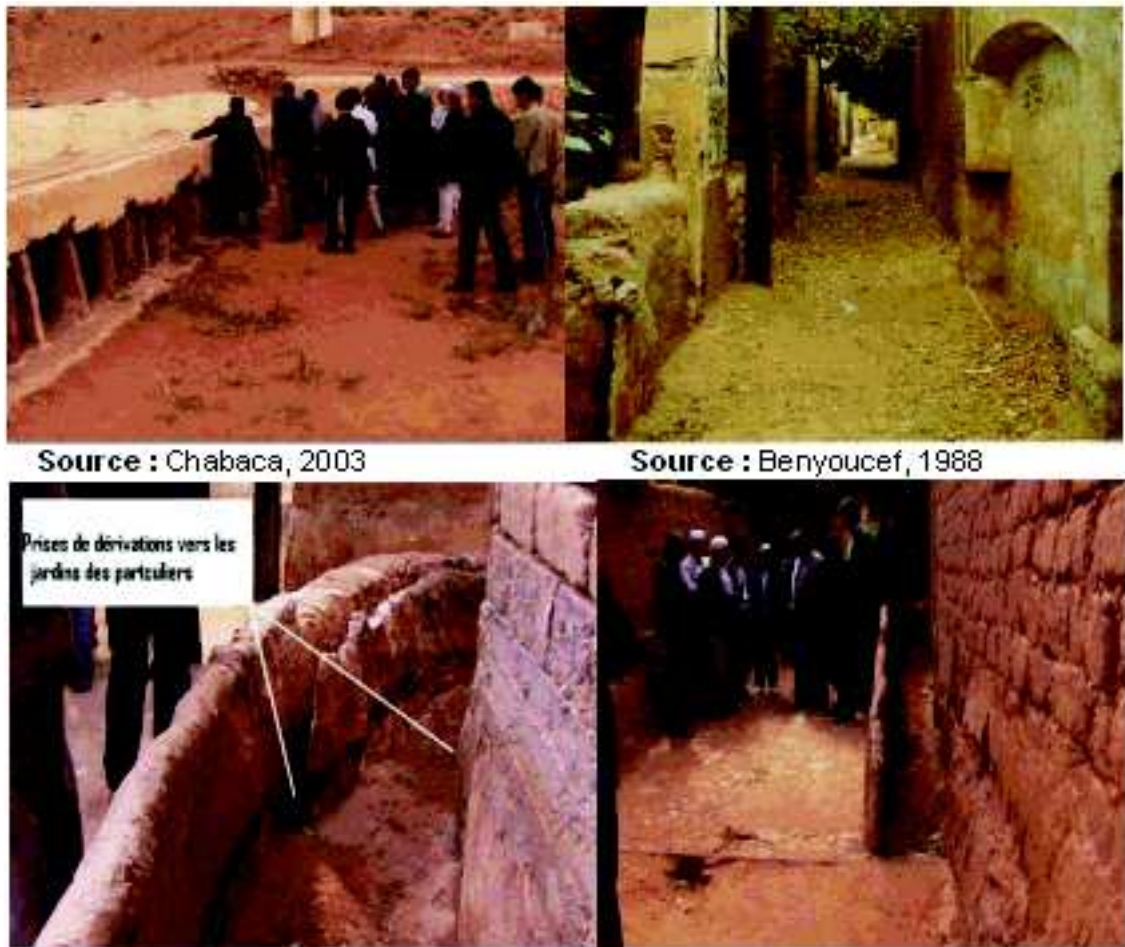
C'est en été, pour fuir la grande chaleur, que toute la population se déplace vers la cité - jardin, où la palmeraie l'accueille avec sa fraîcheur et sa verdure, véritable étendue verte sur le lit de la vallée, preuve d'un grand défi, témoin de la volonté de l'homme. Cette oasis a pu s'imposer dans un milieu où la nature est ingrate, grâce à un système hydraulique très ancien, conçu de façon géniale. Il est composé d'un ensemble d'ouvrages appelés à faciliter toutes les opérations (captage, drainage et répartition) : barrages, ceds, peignes, trémies, plaines d'épandage, tous mobilisés dans le but de ne pas perdre la moindre goutte d'eau et de permettre de tirer le plus grand profit des crues, rares et irrégulières. C'est à l'amont de Ghardaïa que se trouve le barrage de dérivation ainsi que des digues pour canaliser de tous les cotés le cours de l'oued (Photo 18)



Photo 18 : Barrage de dérivation (droite) et digues en pierre dans le lit de l'oued M'Zab (gauche) à l'amont de la Vallée du M'Zab

Source : Chabaca, 2003

Ces eaux sont drainées vers des canaux souterrains dont les ouvertures maçonnées en pierres plates, madūn, sont soumises à de minutieux calculs, afin de permettre une répartition équitable de l'eau (Photo 19). Ces canaux souterrains, qui s'étendent sur des centaines de mètres sont percés par des puisards nécessaires à l'aération et à l'entretien.



Photos 19 : Grilles de répartition des eaux vers les différents canaux souterrains (haut à gauche) à Ghardaïa ; venelles et ruelles des quartiers aménagées en seguias et rigoles servant occasionnellement au transport de l'eau au sein de l'Oasis d'El Atteuf (haut à droite) ; ouvertures aménagées dans les murs des jardins (bas)

Source : Chabaca, 2003

Chacun des canaux débouche dans un quartier où les passages sont aménagés en seguia, rigoles, suivant un plan incliné, pour permettre un meilleur drainage. Des ouvertures sont aménagées sur la partie inférieure du mur de chaque jardin, calculées en fonction de la surface, du nombre de palmiers et de l'importance de l'activité, afin que chaque jardin reçoive la quantité d'eau qui lui revient de droit (photo 19).

Alors qu'une partie de l'eau est dérivée vers les jardins, des peignes aménagés latéralement, permettent d'évacuer le surplus vers des plaines d'épandage, aménagées en retrait sur les cotés, où s'effectue l'infiltration de cette eau dans le sol et l'alimentation des puits.

Quant à l'aval où la position est défavorable par rapport à l'amont, des barrages de retenue y sont installés ; de véritables digues épaisses qui s'étendent sur toute la largeur de l'oued, suivant un plan incliné (photo 20, annexe 9, p. 263).



Photo 20: Diques de rétention dans la vallée (avant et après une crue)

Source : www.mzab.free.fr

Ceci constitue un bon moyen de mesure des niveaux de l'oued et de sa vitesse. Ces digues ont une épaisseur remarquable afin de résister à la pression qu'exerce la vitesse de la crue. Sur les hauteurs sont érigés un ensemble de tours aménagées tout le long de la vallée, distinguées entre l'amont et l'aval, pour permettre de superviser le mouvement de la crue. Le guetteur qui s'y trouve doit annoncer, suivant un code qui utilise la fumée, toutes les informations relatives à la crue, depuis le signal de l'arrivée jusqu'à sa vitesse et son ampleur. Suivant ces directives, les gens mettent en œuvre tous les moyens pour en tirer le plus de profit. Par ailleurs et en dépit du lit tracé de l'oued, tous les plateaux du massif sont cernés par une multitude de rigoles, canaux, permettant un bon drainage des eaux de ruissellement.

4.4.2.2.3. LA GESTION DES EAUX

Pour veiller sur la bonne marche du système et résoudre tout litige, le contrôle est confié à la djémaa, institution laïque de la ville qui assiste à l'assemblée des clercs, azzaba, dans la gestion des affaires sociales, politiques et économiques. Elle est composée des muqqadim, représentant chacun une tribu ; outre la gestion urbaine, elle s'occupe de la gestion du système hydraulique et tranche tout litige entre les gens, sur la base d'un recueil juridique, ittifikat, promulgué par les clercs (Benyoucef, 1988).

4.4.2.2.4. L'EAU ET L'IRRIGATION

Dans la palmeraie, l'irrigation constitue l'essentiel du travail. Le puisage de l'eau se fait encore très fréquemment à l'aide de la traction horizontale de l'animal.

C'est ainsi que des puits sont aménagés partout dans les jardins et présentent le même aspect que ceux de la ville. Ils sont maçonnés en pierre et disposent de deux montants verticaux dans la partie supérieure, où est fixée la barre horizontale qui supporte la poulie. Un bout de la corde qui passe par la poulie suspend le délou (outré en peau de chèvre, ouverte en haut et prolongée d'un tuyau vers le bas permettant d'évacuer l'eau puisée), alors que l'autre bout est attaché à l'animal (chameau ou âne). La piste de halage, aghled nù lam, est aménagée en pierre et suivant un plan incliné, elle est aussi longue que le puit est profond. L'animal en la parcourant permet de faire descendre et remonter le delou ; celui-ci descend à peu près deux fois à chaque minute et déverse les 20 ou 30 litres d'eau amassées dans un bassin aménagé au pied du puit, asifi, à partir duquel des seguias conduisent l'eau vers les différentes parties du jardin (photo 16).

5. CONCLUSION

A travers cette étude sur les modes de collecte des eaux et l'irrigation gravitaire traditionnelle totale ou d'appoint, différents points ressortent :

- Il y a une prépondérance et une continuité marquées du système micros - raies et micros - planches. Les raisons sont multiples : considérations économique (peu d'investissements et facilité d'adaptation à la configuration du terrain) ; juridique, (statut des terres non définis à ce jour) ; prédominance de micros exploitations dont les revenus ne permettent pas un réinvestissement important, ni d'équipements lourds. Cette prédominance, si les conditions actuelles persistent, pourrait durer encore longtemps. Le statut actuel des terres privées du domaine de l'Etat qui représentent le potentiel le plus riche (25%de la SAU), induit une pratique de location des terres et même de sous location en deuxième ou troisième main à des non agriculteurs qui tend à compliquer cette situation ;
- L'existence d'un mode ancestral et ponctuel d'apport d'eau: l'irrigation par épandage des eaux de crues. Son importance n'est pas négligeable, puisqu'il concerne plusieurs milliers d'hectares. Il est cependant fonction des crues et ne se répète pas chaque année. Si nous l'avons abordé et développé dans cette partie c'est qu'en dehors de l'aspect économique, il dévoile que cela soit dans le Hodna, les Néméncha ou la Vallée du M'zab, une gestion sociale de l'eau très efficace et qui permet de rendre équitable sa répartition malgré sa rareté et rationnelle son utilisation pour l'ensemble de la collectivité ;
- Ce mode pourrait servir d'exemple dans le Nord où le déséquilibre dans la répartition de l'eau entre la ville, l'agriculture et l'industrie a développé chez les agriculteurs, un besoin d'autonomie dans l'approvisionnement en eau. Ce qui a conduit à un comportement individualiste par la multiplication de forages et de puits qui risque à long terme d'être préjudiciable pour la gestion des ressources en eau souterraines.
- L'originalité de l'agriculture dans les ghouts spécifique à la région du Souf et qui elle aussi fait ressortir la prépondérance du tissu social comme moyen de lutte contre l'adversité climatique et géographique.

Cet inventaire des pratiques de l'irrigation gravitaire montre qu'elle constitue un potentiel dont l'influence sur la gestion de la ressource eau est indéniable. Nous avons menés dans différentes exploitations agricoles situées dans la plaine de la Mitidja, des expérimentations sur l'efficience du système micros - raies et micros - planches. Les observations et résultats obtenus, sont traités dans la partie qui suit.

B2.SUIVI D'UNE CAMPAGNE D'IRRIGATION PAR MICROS RAIES AU NIVEAU DE LA PARCELLE DANS TROIS EXPLOITATIONS AGRICOLES DE LA MITIDJA

1. INTRODUCTION

Les micros - raies couvrent plus de 80% des superficies consacrées à l'irrigation gravitaire traditionnelle sur l'ensemble de la SAU irriguée.

Pour étudier les indicateurs de ce mode d'irrigation, (doses, fréquences des irrigations, teneurs en eau, stocks), nous avons réalisé des suivis dans trois exploitations agricoles de la plaine de la Mitidja d'avril à août 2001 et 2002. Le choix de cette zone était dicté par ses potentialités en sol et en eau ainsi que par sa proximité.

Au niveau des exploitations, nous avons étudiés différents facteurs:

- Sources d'approvisionnement en eau ;
- Main d'eau ou débit en tête utilisés au niveau de la parcelle et des micros-raies ;
- Main d'œuvre nécessaire pour l'irrigation ;
- Temps consacré à l'irrigation, fréquences des irrigations et doses brutes apportées ;
- Teneurs en eau et tensions de l'eau dans le sol ;
- Densité des réseaux de seguias de distribution de l'eau dans la parcelle ;
- Modes de conduite des irrigations ;

2. PRESENTATION DE LA PLAINE DE LA MITIDJA

2.1. SITUATION ET LIMITES

Elle est située sur la zone côtière, dans la région centre de l'Algérie. C'est la plus grande plaine sub littorale. Elle couvre une superficie de 1 450 km², avec une longueur moyenne de 100 km et une largeur variant entre 10 et 18 km. Sa superficie agricole est comprise entre 120 000 et 130 000 ha.

Elle est limitée au nord par la mer, au sud sur une trentaine de km par une barrière montagneuse dont l'altitude moyenne est de 1 000 m (Atlas Blidéen qui fait partie de la chaîne de l'Atlas Tellien). L'altitude de la plaine est comprise entre 50 m et 260 m.

Le réseau hydrographique d'est en ouest est constitué par une série de petits oueds très fréquemment à sec en été : Hamiz, Djemaa, El Harrach, Chiffa, Bouroumi et Djer. Ils sont en grande partie en liaison hydraulique avec la nappe de la Mitidja puisque leurs eaux peuvent s'infiltrer ou inversement drainer la nappe. Les limites de la nappe aquifère se confondent avec celles de la plaine (figure 24).

La plaine couvre totalement les wilayate de Blida et d'Alger, partiellement celles de Boumerdes et Tipaza (figure 24). Le climat est de type méditerranéen avec une pluviométrie moyenne annuelle sur 34 ans de 660 mm.

La plaine représente 1,5% de la SAU nationale, 9,17% de la SAU Irriguée, 15,57% des ressources en eau superficielles et 16,6% des eaux souterraines (tableau 28)

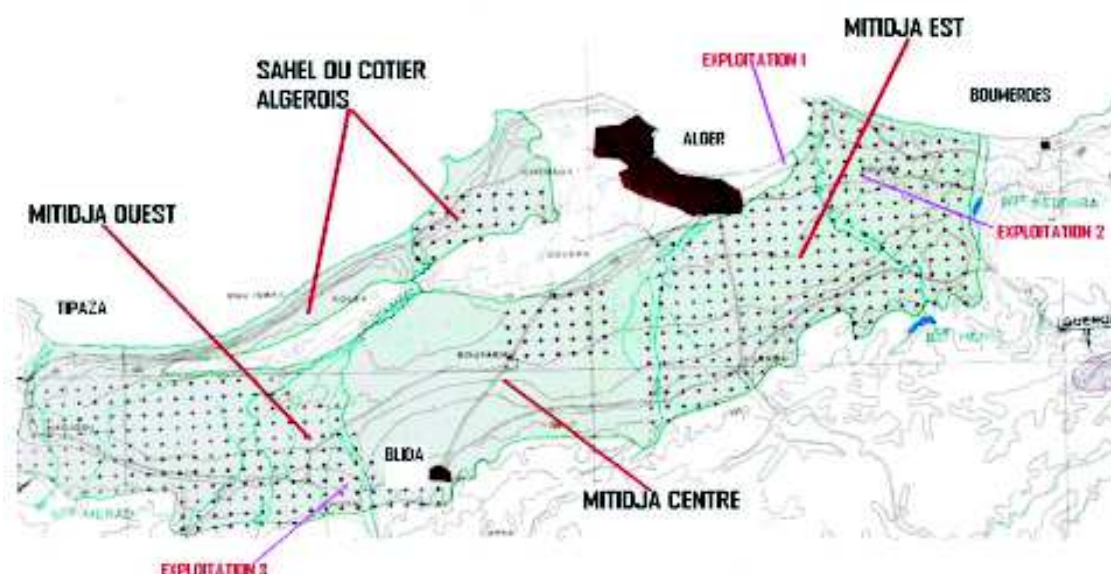


Figure 24 : Situation et limites de la plaine de la Mitidja

Source : ANRH, 2004

Potentialités sol et eau		Mobilisables	
		Nationales	Mitidja
Sol	SAU	8 458 650 ha	120 000 à 130 000 ha (1,45 à 1,53 %)
	SAU Irriguée	620 687 ha	56 938 ha (9,17%)
Eau	Superficielle	3 milliards de m ³	467,3 Hm ³ (15,57%)
	Souterraine	1,8 milliards de m ³ /an	300 Hm ³ /an dont 127 Hm ³ /an pour l'agriculture (7,05%)

Tableau 28 : Ressources en sol et en eau de la plaine de la Mitidja par rapport aux potentialités Nationales

Source : RGA, 2003 ; ANRH, 2003

Les productions agricoles ne sont pas le reflet des potentialités en eau et sol. Il y a 0,62% de la production céréalière nationale ; 1,36% des maraîchages et 0,88% de l'arboriculture (tableau 29).

Tableau 29 : Potentiel de production agricole de la plaine

Productions	Nationale	Mitidja
Céréales et terres nues	2 063 334 ha	12 905 ha (0,62%)
Maraîchages	323 290 ha	4 427 ha (1,36%)
Arboriculture	1 236 281 ha	7 246 ha (0,88%)

Source : RGA, 2003

La wilaya de Blida dispose de la plus grande SAU irriguée (tableau 30).

Tableau 30 : Ressources en sols de la plaine

	Tipaza	Alger	Blida	Boumerdès
Surface totale (ha)	172 500	76 652	148 280	145 000
SAU (ha)	64 300	35 726	55 400	64 996
SAU Irriguée (ha)	10 190	14 141	25 030	6 477
Parcours (ha)	8 200	1 420	9 510	19 460
Forets (ha)	40 330	4 900	65 250	16 890

Source : RGA, 2003

La SAU des 4 wilayate comprend également les superficies hors limites de la plaine de la Mitidja.

L'irrigation gravitaire est prépondérante à Tipaza 94,28%, Alger 83,35% et Blida 83,20%. Cependant c'est Blida qui dispose des plus grandes superficies en gravitaire, à Boumerdes, le gravitaire occupe à peine 25% par rapport à l'aspersion 40% et la micro irrigation 35% (tableau 31).

Tableau 31 : Répartition des modes d'irrigation et des superficies irriguées par wilaya

Modes	Tipaza	Alger	Blida	Boumerdes
Gravitaire (ha)	9 608	11 787	20 823	1 619
Aspersion (ha)	187	1 044	1 189	2 591
Localisé (ha)	395	1 310	3 018	2 267
Total (ha)	10 190	14 141	25 030	6 477

Source : RGA, 2003

3. PROCEDURES DE DIAGNOSTIC

3.1. OBJECTIFS

Dans les trois exploitations qui ont servi de site d'observation, pour aboutir au diagnostic, il s'agit :

- De suivre l'évolution des tensions et teneurs en eau durant la campagne d'irrigation, de connaître les stocks d'eau la veille des irrigations ;
- De déterminer les pertes par infiltration dans les seguias lors des irrigations ;
- De connaître les superficies consacrées aux réseaux de seguias dans les parcelles, leur impact sur la densité de peuplement ;

La finalité est de quantifier les insuffisances et les contraintes du système, également ses avantages.

3.2. MATERIEL ET METHODES

3.2.1. CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS ETUDIEES

3.2.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Les exploitations 1 ; 2 et 3, étudiées sont localisées l'une sur la zone côtière de la Mitidja Est (Alger), la deuxième plus à l'intérieur à hauteur de la ville de Rouïba (Boumerdes), la troisième dans la zone sud ouest de la plaine entre Mouzaïa et Chiffa (figure 24).

Leurs superficies sont comprises entre 2 et 10 ha. Cette tranche de superficie est représentative des classes dominantes dans la plaine (figure 25). Ainsi, 53,6% des exploitations de la wilaya d'Alger, 43,9% de celles de Blida et 53,6% de celles de Boumerdes ont des superficies comprises entre 2 et 10 ha (RGA, 2003).

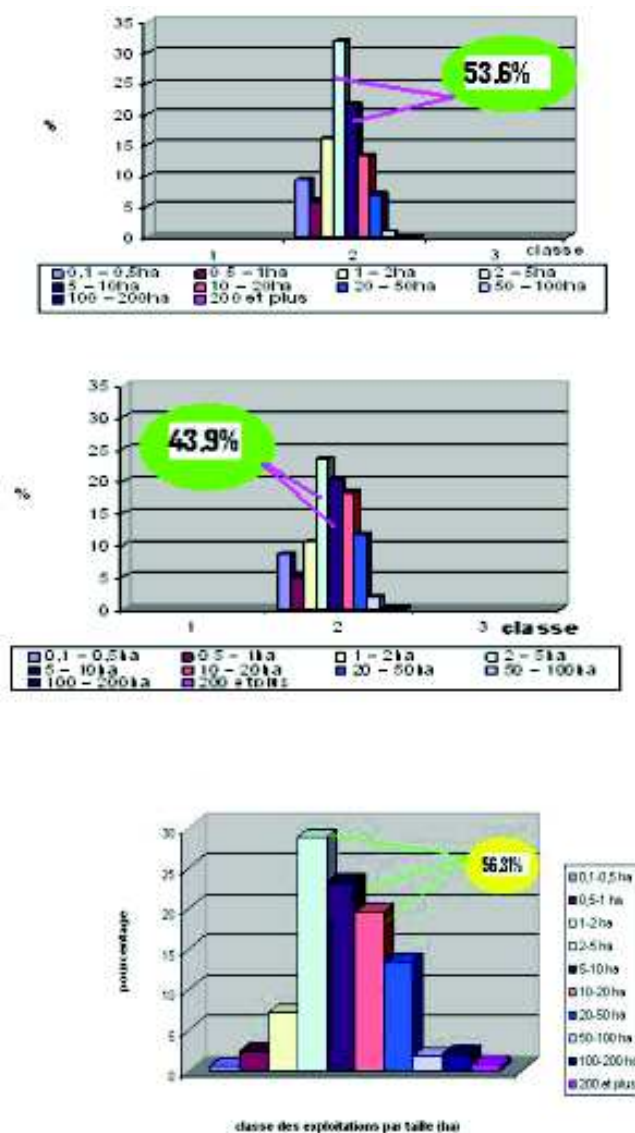


Figure 25 : Répartition des exploitations par classe de superficie des wilayate d'Alger (haut), Blida (milieu) et Boumerdes (bas)

Source : RGA, 2003 (annexe10, p. 264)

3.2.1.2. CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS

Les données sur les superficies, les modes d'irrigation et la dénomination des exploitations sont présentées dans le tableau 32.

Dénomination des Exploitations	Superficies cultivées (ha)				Irrigation	
	En Sec	Irriguées Plein champ	Irriguées Sous serres	Total	Mode	Surface (ha)
exploitation 1 (El Alia ; Alger)	1,75	1,5 ha	1,25 ha	4,5 ha	gravitaire	2,8 ha
*exploitation 2 (Rouïba)		0,35 ha	0,48 ha	0,84ha	gravitaire localisé	0,35 ha 0,48 ha
exploitation 3 (Chiffa)		8,6 ha		8,6 ha	gravitaire localisé	4,6 ha **3,96 ha

Tableau 32 : Superficies irriguées par exploitation et modes d'irrigation

* L'exploitation 2 dispose de 0,828 ha cultivés sur 1,967 ha

** Irrigués en gravitaire et localisé en même temps

3.2.2. DONNEES AGRO CLIMATIQUES

3.2.2.1. LE CLIMAT

Les stations météorologiques de Dar El Beïda et de Chiffa sont les plus proches des exploitations étudiées (annexe 11, p. 265). La plaine a un climat méditerranéen sub humide. L'humidité oscille durant l'année entre 60 et 80%. La pluviométrie moyenne annuelle est de 660 mm. La figure 26 présente les variations des températures, pluies et humidité pour les exploitations 1 et 2 (Dar El Beïda) et l'exploitation 3 (Chiffa). Ces 20 dernières années, on a remarqué une baisse régulière des précipitations. Il n'y a eu que 8 années humides avec une moyenne de 700 mm (ANRH, 2003).

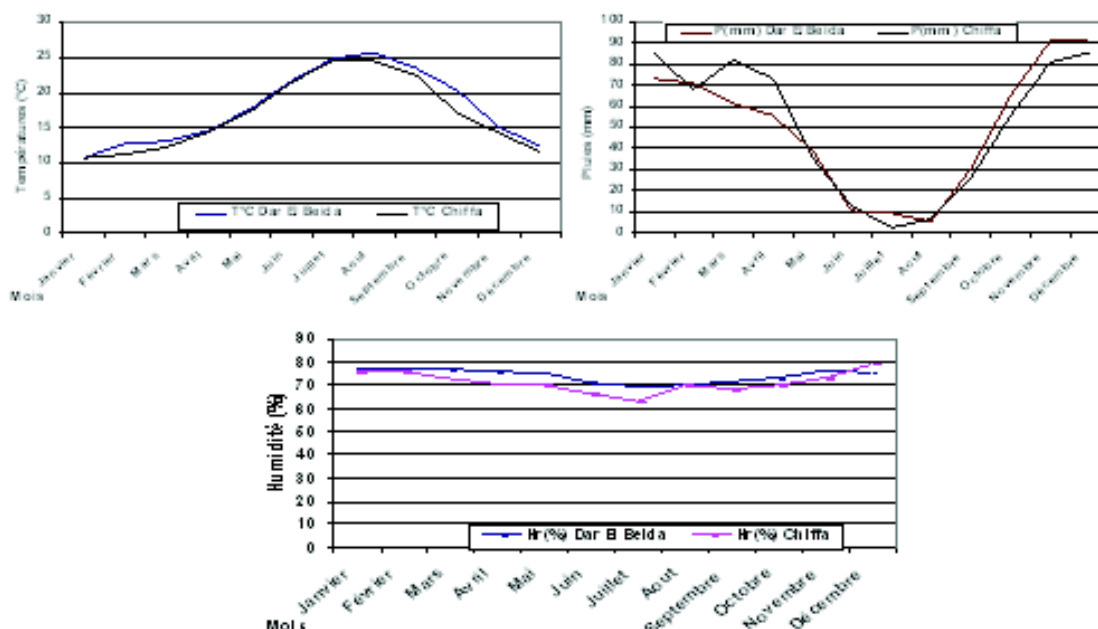


Figure 26 : Evolution des températures, pluies et humidités dans les Stations de Dar El Beïda et Chiffa (Mitidja) période 1974-1994

3.2.2.2. LE SOL

Dans cette plaine, les sols sont en grande majorité d'apports alluviaux et colluviaux. La figure 27 indique l'importance de chaque classe de sol et la figure 28 donne un aperçu de leur répartition dans la plaine.

Les sols hydromorphes couvrent 7 000 ha de la superficie totale, les sols à sesquioxydes de fer, 13 500 ha, les sols bruns, 13 500 ha, les vertisols 6 000 ha et les sols carbonatés 1 500 ha (Mutin, 1977).

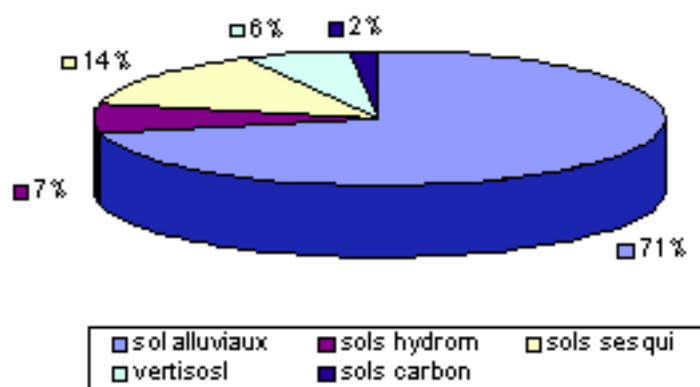


Figure 27: Répartition des sols de la Mitidja par classes

Les exploitations sont situées respectivement sur des sols d'apport alluviaux pour la première, à tendance vertique pour la deuxième et à sesquioxydes de fer pour la troisième. Les profils pédologiques réalisés sur les trois exploitations (annexe 12, p. 266), indiquent des sols limono argileux pour l'exploitation 3, limono argilo sableux pour la première et argilo limoneux pour la deuxième. Les photos 21 réalisées sur une partie non cultivée de la parcelle de mesure dans l'exploitation 2, montrent des fentes de retraits de 50 cm de profondeur qui confirment la prédominance argileuse.



Photos 21 : Fentes de retraits sur sol argileux dans l'exploitation 2

Source : Chabaca 2002

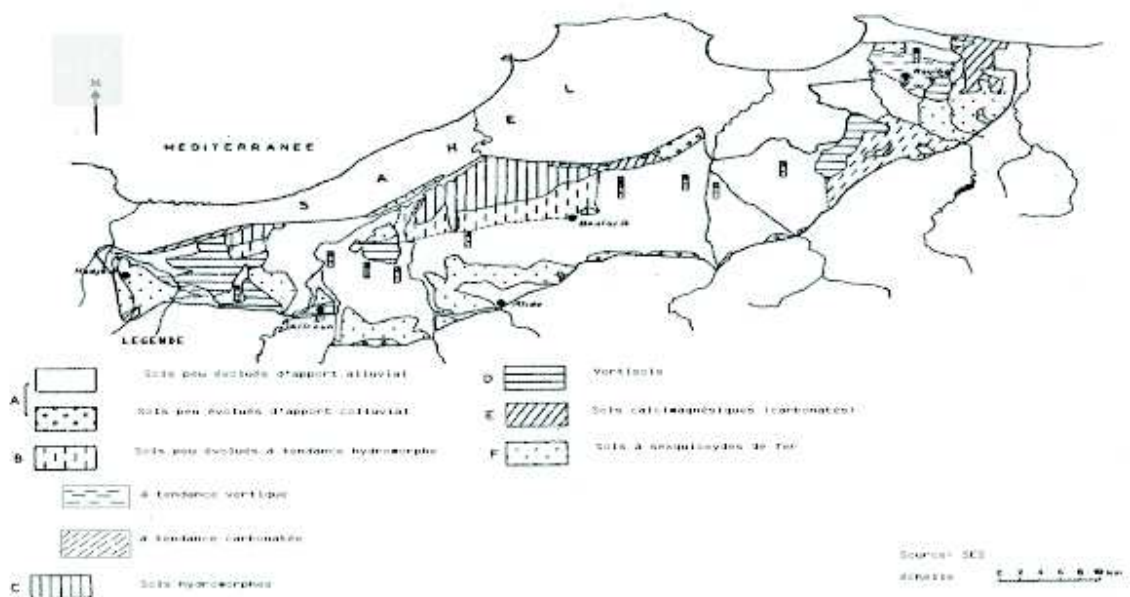


Figure 28 : Esquisse pédologique de la plaine de la Mitidja (Mutin, 1977)

Letableau 33 indique les caractéristiques physiques des profils. Les teneurs en argile, sable et limon représentent une valeur moyenne de chaque profil.

La valeur moyenne de la densité apparente de l'exploitation 2 est de 1,45, légèrement inférieure à celle de l'exploitation 3 qui est de 1,6.

Tableau 33 : Teneur moyenne en argile, sable et limon des sols des 3 exploitations (annexe 12, p. 266)

Teneurs	Exploitation 1	Exploitation 2	Exploitation 3
Argile (%)	22,8	42,33	16,87
Limon (%)	28,2	39,6	64,62
Sable (%)	35,2	11,3	18,5
Classe	Limono argilo sableux	Argilo limoneux	Limono argileux

3.2.2.3. LES CULTURES PRATIQUEES

Il y a des maraîchages plein champ et sous serres pour les exploitations 1 et 2, arboriculture et maraîchages plein champ pour l'exploitation 3. La tendance dans la zone de la Mitidja Est, est céréales - maraîchages plein champ et maraîchage sous serres, pour la zone Ouest c'est céréales – arboriculture – viticulture - maraîchages plein champ ainsi que des maraîchages sous serres. Le tableau 34 indique pour les 3 exploitations les spéculations qui y sont pratiquées ainsi que leurs superficies.

Exploitations	Maraîchages		Arboriculture		Divers		Surface Totale (ha)
	Cultures	(ha)	Cultures	(ha)	Cultures	(ha)	
Exploitation 1	CMPC* CMSS*	1,25 1,25	pêcher	0,25	Céréales	1,5	4,5
Exploitation 2	CMPC CMSS	0,348 0,480			Sol nu	1,142	0,93 ha sur 1,97 ha
Exploitation 3	CMPC pastèques	1,54 3,1	agrumes	3,94			8,6

Tableau 34 : Spéculations pratiquées et superficies dans les trois exploitations

*CMPC : cultures maraîchères plein champ ; * CMSS : Cultures maraîchères sous serre

3.2.2.4. LES RESSOURCES EN EAU

L'exploitation 1, située en dehors du réseau d'adduction d'eau d'irrigation de la Mitidja Est possède un forage. L'exploitation 2 est à la limite du périmètre de la Mitidja Est mis en eau en 1935, elle est desservie par le réseau mais dispose d'un forage. L'exploitation 3 est située dans la zone sud-est de la Mitidja ouest qui a été mise en eau en 1987. Elle dispose d'une borne d'irrigation et d'un forage. La présence des forages évite pour ces agriculteurs, la contrainte du tour d'eau, mais leurs débits compris entre 8 et 11 l/s limite les superficies irriguées (tableau 35).

Tableau 35 : Caractéristiques des forages des 3 exploitations

Exploitations	Ressources en eau	Caractéristiques	Observations
Exploitation 1	Forage	Pompe immergée à 50 m ; débit 8,42 l/s	Pas de réservoir
Exploitation 2	Forage borne	Pompe immergée à 60 m ; débit 11 l/s	Réservoir enterré de 20 m ³ pour la micro irrigation
Exploitation 3	Forage borne	Pompe immergée à 60 m ; débit 10 l/s	Réservoir surélevé de 200 m ³ Eau : CE : 0,65 mmhos/cm ² , Ph : 7,4, SAR : 1,9

3.2.3. DISPOSITIF DE MESURES

3.2.3.1. INTRODUCTION

Durant le diagnostic, les agriculteurs des exploitations étudiées, ont maintenu leur mode de conduite des irrigations comme par le passé, en se fiant à leurs propres indicateurs fussent-ils empiriques. Nous avons réalisé des suivis sur les teneurs et tension en eau dans le sol, les vitesses et volumes d'eau infiltrés, les stocks d'eau, les transports solides dans les seguias de distribution de l'eau au niveau des micros - raies. Ces mesures n'ont pas été reproduites dans leur totalité au niveau des 3 exploitations.

3.2.3.2. EXPLOITATION 1

La parcelle de suivi couvre 0,56 ha. Elle porte une culture de poivron (plein champ) de saison, variété *Lipari*, en place du 20 mars 2001 au 30 août 2001. Elle est située sur la zone sud est de l'exploitation (annexe 13, p. 267). La campagne d'irrigation a débuté le 11 mai et s'est terminée le 25 août. L'alimentation en eau est assurée directement en tête de parcelle à partir du forage distant de 50 m, par le biais d'une conduite en polyéthylène basse densité ($\varnothing = 90$ mm).

3.2.3.2.1. DISPOSITIF DE MESURES

Les longueurs de micros - raies (4 à 10 m) assurent une répartition homogène du profil d'humidité sur toute leur longueur. Nous ne connaissons pas cependant la redistribution de cette eau dans la parcelle. Le dispositif que nous avons mis en place, devrait répondre à cette question.

3 batteries situées en haut (site 1), milieu (site 2) et bas de parcelle (site 3), (photo 22 ; annexe 13, p. 267) permettent de suivre l'évolution des tensions, des teneurs en eau et des températures du sol durant la campagne d'irrigation. Ils sont équipés chacun, de 3 sondes Watermark® pour le suivi des tensions de l'eau dans le sol (30 cm ; 50 cm ; 80 cm), de géothermomètres pour le suivi des températures du sol (30 cm ; 70 cm) ainsi que d'un tube d'accès pour sonde à neutrons (Troxler 4 300), planté à 1 m de profondeur, pour le suivi des teneurs en eau du sol (30 cm ; 50 cm ; 80 cm) ;



Photos 22: Emplacement des sites de mesure dans la parcelle (gauche) et détail d'une batterie (droite)

Source : Chabaca, 2001

- Des mesures d'infiltration linéaire dans les seguias, avec des seuils jaugeurs (Flum de 15 l/s maximum) nous permettent par le biais d'abaques, de connaître les débits transitant en différents points et d'en déduire les valeurs d'infiltrations linéaires (annexe 14, p. 268). Nous avons disposé un Flum en tête de seguia et un à l'extrémité (106 m) ;
- Des mesures d'infiltration verticale cumulée dans un tronçon de seguia de 1,5 m de long, une largeur de fond de 0,4 m et une profondeur moyenne de 0,16 m. Le tirant d'eau est $h_0 = 5,8$ cm, la section de la raie de 238,86 cm². Le dispositif est constitué de 2 plaques de plexiglas distantes de 15 cm entre elles et placées perpendiculairement à l'axe du tronçon, à ses deux extrémités. Le fond et les bords sont tapissés d'un film plastique avant que la seguia ne soit remplie d'eau à une hauteur $H = h_0 + 2$ cm. Un pointeau est planté au milieu du tronçon et permet de repérer les niveaux H et h_0 pour maintenir une charge constante. Trois tensiomètres

à manomètres (IRROMETER) placés sur les cotés du tronçon de seguia à 30 cm du bord et aux profondeurs de 30 cm ; 50 cm ; 80 cm permettent de suivre l'avancée du front d'humectation. Les mesures commencent dès le retrait du film plastique de la seguia. Il s'agit de maintenir une charge constante dans le tronçon. A chaque fois que le niveau d'eau atteint h_0 , on remet à niveau à $h_0 + 2$ cm et on note le temps. Les essais ont duré 240 mn (annexe 15, p. 269). Le dispositif de mesure est présenté sur les photos 23.



Photo 23 : Dispositif de mesure de l'infiltration dans un tronçon de seguia

Source : Chabaca, 2001

3.2.3.2. COMPOSANTES DE LA PARCELLE

Nous avons déterminé le nombre de seguia se trouvant dans la parcelle ainsi que leur longueur, largeur et profondeur, de même que pour les micros - raies alimentées par chaque seguia. Le but est de connaître le taux d'occupation de la parcelle par les seguias, les volumes d'eau perdus par infiltration, l'hétérogénéité des volumes délivrés aux micros - raies.

3.2.3.3. EXPLOITATION 2

La parcelle de suivi est située dans la partie sud-est de l'exploitation (annexe 16, p. 273). Sa superficie est de 0,35 ha avec une culture de tomate de plein champ (variété Joker) plantée en double densité (photo 24). Le repiquage a eu lieu le 30 mars, la fin de récolte le 30août.



Photo 24 : Site de suivi de la parcelle de tomate, vue détaillée (gauche) et vue générale (droite)

Source : Chabaca, 2002

La parcelle est alimentée depuis un forage situé à 200 m, par une conduite en polyéthylène ($\varnothing = 90$ mm). Elle comprend 15 seguias de distribution alimentant chacune 24 micro raies (annexe 17, p. 274).

Le suivi a permis :

- De déterminer le temps de remplissage des 24 micros - raies alimentées par une même seguia. L'objectif est de connaître l'homogénéité de distribution de l'eau dans ces micros - raies. Elles ont une longueur de 5,5 m, une largeur de 0,40 m, une profondeur de 0,15 m et un espacement inter raie de 1,30 m ;
- De quantifier les transports solides dus aux irrigations sur la couche de sol superficielle (0 à 10 cm) le long du lit de la seguia. Nous avons procédé à des échantillonnages de sol durant la campagne d'irrigation. Les prélèvements ont été effectués avant la troisième et après la septième irrigation ;

3.2.3.4. EXPLOITATION 3

La parcelle de suivi de 0,77 ha est située dans la zone sud-ouest de l'exploitation (annexe 18, p. 275). Elle comprend un jeune verger d'agrumes de 1 ans et une culture intercalaire de pastèques (mars à août 2002).

Cette parcelle est irriguée en même temps par deux techniques, le gravitaire traditionnel par micro - raie et le système localisé (photo 25).

L'alimentation en eau est assurée par un forage débitant 10 l/s et une borne d'irrigation du réseau de la Mitidja Ouest tranche I. Ces deux sources alimentent un réservoir de 200 m³, lequel fournit l'eau en tête de parcelle par le biais de gaines souples en plastique ($\varnothing = 120$ mm)



Photo 25 : Pratique combinée de l'irrigation par micros.-raies et goutte à goutte dans l'exploitation 3 (gauche) et dispositif de suivi tensiométrique sur micros - raies (droite)

Source : Chabaca, 2002

Le dispositif mis en place comprend:

- 3 batteries de tensiomètres à manomètres (IRROMETER) au site 1 (haut de parcelle), site 2 (milieu) et site 3 (bas de parcelle) de profondeur 25 cm ; 40 cm ; 60 cm et espacés entre eux de 40 cm (photo 25). Le suivi des tensions a duré 30 jours ;
- Des prélèvements d'échantillons de sol effectués tous les deux jours sur les 3 sites à hauteur des dispositifs tensiométriques du 16/05 au 06/06, pour le suivi des teneurs en eau ;

- Une étude sur l'homogénéité de distribution des débits dans les micros - raies tenant compte des valeurs d'infiltration linéaire dans les seguias ;

3.3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.3.1. RESULTATS

3.3.1.1. EXPLOITATION 1

3.3.1.1.1. SUIVI DES PROFILS HYDRIQUES

Les valeurs de teneur en eau dans la parcelle sont présentées en annexe 19, et 20 ; p. 276 et 277. Les teneurs en eau au point de flétrissement varient pour les 3 couches de sol de 9,06% en surface (0-15 cm) à 14,07% en profondeur (75-90 cm). Celles de la capacité au champ, varient quant à elles de 16,47% en surface à 26,74% à 60 cm. Par rapport à ces limites, la veille des irrigations, les teneurs en eau pour l'ensemble de la parcelle sont de 15% pour l'horizon le moins pourvu en eau qui est au site 2 (0 à 20 cm ; irrigation du 15/06/01 ; figure 29). Le sol contient encore assez d'eau et l'irrigation pouvait être retardée de 2 à 3 jours, pour une ETP de Juin de 5 mm/jour.

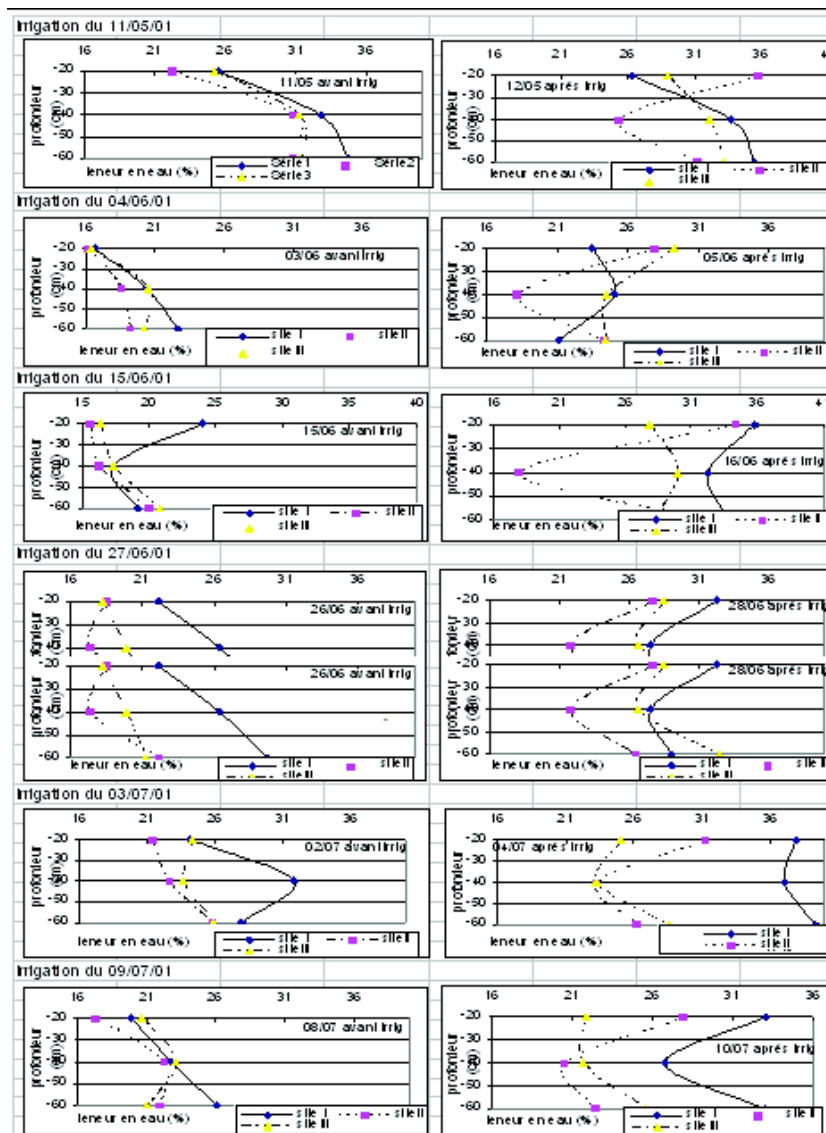


Figure 29 : Evolution des teneurs en eau sur les 3 sites durant les irrigations (exploitation 1).

Après irrigation, les différents sites réagissent assez nettement sur l'ensemble des horizons. Les valeurs de teneurs en eau dépassent souvent la capacité au champ. Elles sont supérieures ou égales à 26% en surface (0-20 cm) et varient de 26 à 36% entre 40 et 60 cm. Le site 1 se distingue par ses teneurs en eau élevées.

3.3.1.1.2. STOCKS ET VARIATIONS DE STOCKS D'EAU

Nous avons déterminés les apports d'eau par site (annexe 21, p.278) après irrigation ainsi que les départs (percolation, évapotranspiration) la veille d'une irrigation. Ces calculs ont été réalisés sur un ensemble de 5 irrigations du 04/06/01 au 9/07/01. Les apports fluctuent d'une irrigation à l'autre et montrent que les doses apportées après chaque irrigation sont hétérogènes (tableau 36).

Tableau 36 : Bilan des apports et départs en eau sur une série de 5 irrigations du 04/06/01 au 9/07/01(annexe 21, p. 278)

Dates des irrigations	Site 1			Site 2			Site 3		
	App (mm)	Dép (mm)	Bilan (mm)	App (mm)	Dép (mm)	Bilan (mm)	App (mm)	Dép (mm)	bilan
4 juin	19,74	18,34	+1,4	32,14	37,22	-5,08	42,24	47,28	-5,04
15 juin	82,78	47,98	+34,8	65,92	15,64	+50,28	63,76	54,04	+9,72
27 juin	21,22	9,88	+11,34	35,86	12,56	+23,3	56,28	27,58	+28,7
3 juillet	60,7	9,8	-50,9	22,1	38,8	-16,7	6,24	22,81	-16,57
9 juillet	48,24	49,26	-1,02	38,6	55,1	-16,5			
Total	232,68	135,26	97,42	194,62	159,32	35,3	168,52	151,71	16,81
Total apport des 3 sites	595,8								
Total départ des 3 sites	446,2								
Bilan	149,53								

App. : Apports en eau d'irrigation ; dép. : départs (consommation plante évaporation sol et percolation)

Le bilan des 5 irrigations fait ressortir un surplus de 97,42 mm dans la partie amont de la parcelle (site 1) de 35,3 mm dans la partie milieu (site 2) et de 16,85 mm à l'aval (site 3). Le bilan final résultant des apports et départs globaux des 3 sites indique un surplus au niveau de la parcelle de 149,53 mm.

3.3.1.1.3. EVOLUTION DES TENSIONS DE L'EAU DANS LE SOL

a. Introduction

L'état de liaison de l'eau avec le sol est mesuré à l'aide du potentiel matriciel, couramment dénommé "tension" (en valeur absolue) dans la pratique agricole. La valeur de la tension isolée de son contexte, ne permet pas à l'agriculteur de connaître la quantité d'eau sortant dans le sol pour la culture. Cette donnée est pourtant fondamentale, puisqu'elle lui permettrait de savoir dans combien de temps il devra arroser, s'il n'y a pas de pluie (Isberie, 1996).

C'est l'évolution des mesures qui constitue une source d'information de l'état de la tension de l'eau dans le sol et de sa disponibilité ou non pour la plante et non la valeur intrinsèque de chaque mesure.

b. Rôle de la tensiométrie

Aux Etats-Unis, dès 1965, l'utilisation des tensiomètres est proposée avec pour objectif d'augmenter l'efficience de l'eau apportée. Richards fait la synthèse de diverses recherches sur les tensions pour lesquelles l'utilisation de l'eau dans le sol est optimum. Elles sont représentatives de conditions pour lesquelles le sol est profond et bien drainant, l'eau étant le seul facteur limitant (Brian, 1998).

Richards préconise l'installation des tensiomètres à 2 profondeurs au minimum sur chaque site de mesure : le premier doit être placé dans la zone d'activité racinaire la plus importante ; le second doit rester à la limite inférieure des racines. Pour déterminer les profondeurs correspondantes, il faut réaliser un profil cultural. La tension à prendre en compte pour le déclenchement des irrigations est celle mesurée à la profondeur d'activité racinaire maximum.

Pour déterminer la dose à apporter, on observe la tension aux 2 profondeurs précédemment citées. On diminue les apports si le tensiomètre en profondeur atteint la capacité au champ après une irrigation. Il faut par ailleurs tenir compte des conditions climatiques précédant la mesure (pluie ou chaleur importante).

c. Suivi des tensions

Le suivi des tensions sur la parcelle a été réalisé du 4 avril au 22 juillet 2001 (annexes 22 et 23 ; p.281 et 282). Sur les 3 sites (figure 30), jusqu'au 22 mai l'eau est très facilement disponible dans le sol (20 cm; 40 cm; 60 cm). Dans cette zone, la culture peut sans trop de difficultés extraire de l'eau. La consommation reste suffisamment faible pour que l'eau du sol ou provenant par ascension capillaire des zones plus profondes y pourvoie. Durant la période du 14 avril au 22 mai il est tombé 22 mm de pluie. A partir du 22 mai, les tensions augmentent rapidement jusqu'à atteindre le seuil de 50 kPa et 60 kPa pour le niveau 20 cm, alors que pour les horizons 40 cm et 60 cm où le dessèchement est lent, les tensions sont restées inférieures à 20 kPa.

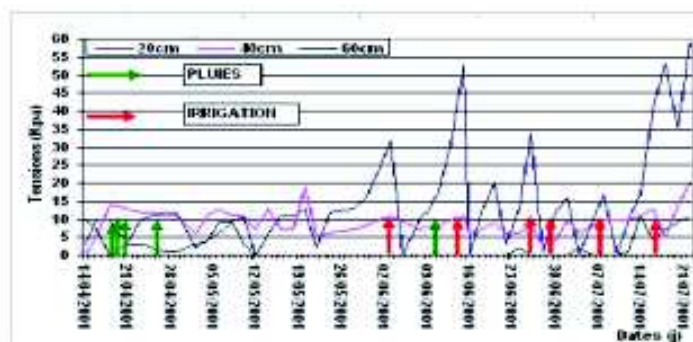
Les réactions des tensiomètres ne sont pas nettes au début des irrigations jusqu'au 16 juin sur l'ensemble des sites. On remarque que les valeurs de tension dans l'horizon 20 cm sur le site 1 ne chutent pas, ce qui indique des apports insuffisants pour cet horizon, alors que les horizons 40 cm et 60 cm indiquent des tensions en dessous de 15 kPa. L'idéal aurait été d'avoir comme seuil de référence, celui de la valeur de tension la veille de la première irrigation, pour la suite de la saison. Les horizons 40 cm et 60 cm sont à la limite du ressuyage et ne nécessitent pas d'apports en eau au moment où l'agriculteur le faisait.

On remarque un comportement identique des potentiels aux niveaux 40 cm, 60 cm où les valeurs sont élevées et situées dans la plage (0-20 kPa) sur les 3 sites ; alors que le potentiel de niveau 20 cm, varie mais en restant également dans une plage de valeurs comprises entre -20 kPa et -60 kPa. On observe aussi par rapport aux valeurs

Site I



Site II



Site III

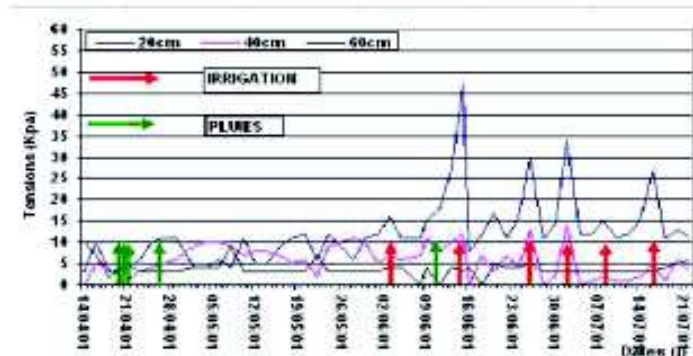


Figure 30 : Evolution des tensions sur les 3 sites de l'exploitation 1, campagne 2001

de potentiel, au niveau du site 3, un plan de flux divergent lors des irrigations du 20/06 ; 26/06 et 08/07/2001 à 40 cm de profondeur (annexe 24, p.283).

Une irrigation conduite rationnellement à partir du suivi tensiométrique et en prenant comme référence de déclenchement, des valeurs de tensions légèrement inférieures à celles observées la veille de la première irrigation, donnerait l'allure suivante des courbes tensiométriques (figure 31).

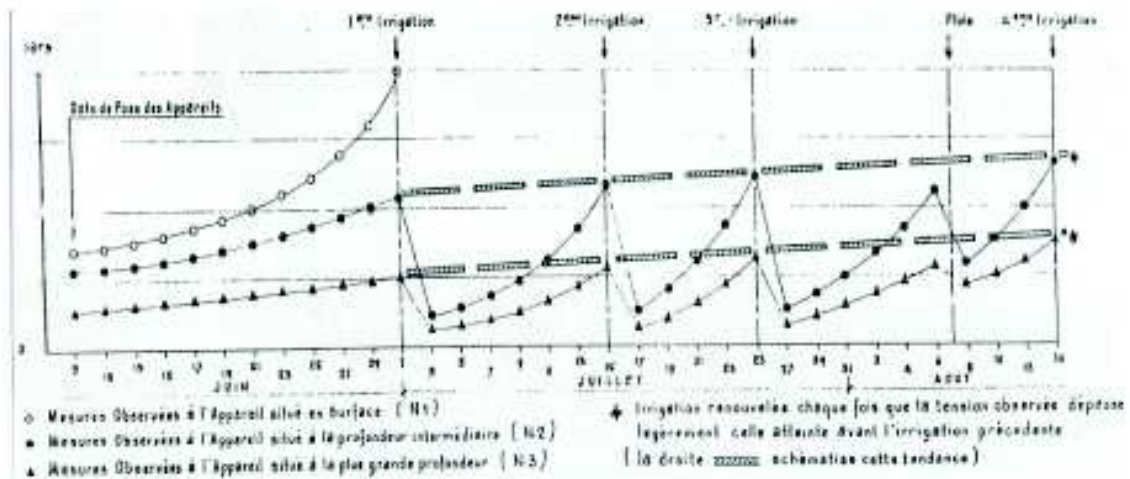


Figure 31 : Evolution des tensions lors d'une conduite rationnelle des irrigations

Source : Isberie, 2000

d. Conclusion

L'évolution des valeurs de tension permet de suivre l'influence des apports en eau et leur fréquence sur l'allure des courbes tensiométriques. La décision de commencer les irrigations à partir du 22 mai coïncidait avec le début de l'élévation des valeurs de température. La couche de sol 0 à 20 cm est très sensible et les variations y sont plus marquées. Elle est sollicitée à la fois par le chevelu racinaire qui ne s'est pas encore très développé en profondeur, assez actif à ce niveau, et par la proximité de la surface du sol où les échanges hydriques sont très importants.

Les valeurs de tension n'ont jamais dépassées les 60 Kpa sur l'ensemble des sites (zone de tension préférentielle). Celles des couches 20 cm à 40 cm ont évolué entre 0 et 20 kPa, dans un sol ressuyé. Dans la couche 40 cm à 60 cm, les tensions se sont maintenues tout au long de la campagne d'irrigation entre 0 et 10 kPa indiquant un sol saturé (annexe 22 et 23 ; p.281 et 282).

3.3.1.1.4. EFFICIENCE HYDRAULIQUE AU NIVEAU DU SYSTEME DE DISTRIBUTION DE L'EAU DANS LES MICROS - RAIES

3.3.1.1.4.1. ESTIMATION DE L'INFILTRATION LINEAIRE DANS UNE SEGUIA DE DISTRIBUTION

L'infiltration linéaire a pu être calculée en mesurant les débits en tête et en bout d'un tronçon de seguia de 150 m. Le premier flum est en tête de seguia, le deuxième 106 m plus bas. La pente est de 1,5%. Les micros raies sont perpendiculaires à la seguia et à la pente générale de la parcelle. Sur ce tronçon de 106 m il y a 132 micros raies (inter - raies de 0,8 m). On procède à une mesure de hauteur de la lame d'eau dans les flums. Les valeurs qui sont lues permettent par le biais d'abaques (annexe 14, p.268) de connaître les débits qui y transitent.

La relation hauteur débit est donnée par (1) :

$$Q = 0,2637 H_a^{1,600} \quad (1)$$

Avec :

Q : débit en l/s

Ha : hauteur d'eau en cm

Les valeurs de débits obtenues au niveau de la seguia à partir des mesures des flums sont présentées ci-dessous :

Unité	Débit amont	Débit aval	Infiltration
l/s	8,42	6,69	
l/mn	505,2	401,4	0,98 l/m/mn

L'infiltration linéaire moyenne est de : 0,98 l/m/mn

Si l'on considère la durée moyenne d'irrigation d'une micro - raie égale à 0,6 mn les 132 micros - raies seront irriguées en 70 mn (1,1 h). Ce qui permet de déterminer le volume perdu par infiltration au niveau de la seguia :

Infiltration linéaire (l/m/mn) x Durée de l'irrigation (70 mn) x Distance (106 m)

Soit : 7,3 m³

Le débit en tête délivré dans les seguias est de 8,42 l/. Il fournit un volume global pour la même durée de 39,4 m³

L'infiltration engendre des pertes d'eau de l'ordre de 18,5%. Cependant dans ce cas on ne peut parler de pertes au sens strict du terme, car elles s'effectuent de façon bidimensionnelle. L'infiltration latérale profite aux micros - raies situées de part et d'autres de la seguia.

Efficience hydraulique à l'échelle de la parcelle :

Les pertes par infiltration linéaire le long de la seguia de transport permettent de quantifier la perte de débit évaluée à 18,5%. Si on raisonne au niveau de l'efficience du système à la parcelle, dans la mesure où l'eau est ramenée directement en tête, on ne tiendra compte que des pertes au niveau des seguias ;

L'efficience hydraulique est donnée par (2):

$$\eta = (Q_{\text{irri}} / \text{Surface} - Q_{\text{perte}} / \text{Surface}) / (Q_{\text{irri}} / \text{Surface}) \quad (2)$$

Le débit d'irrigation en tête de seguia est de 8,42 l/s, celui des pertes de 1,56 l/s, la surface de la parcelle est de 0,46 ha. Nous obtenons une efficience de 80%. Malgré 18,5% de pertes au niveau des seguias, cette valeur peut être considérée comme satisfaisante ;

Les pertes par percolation à l'échelle des micros – raies ne sont pas prises en compte dans les calculs.

3.3.1.1.4.2. INFILTRATION CUMULEE MESUREE DANS UN TRONÇON DE SEGUIA

Sur le tronçon de seguia décrit dans la partie matériel et méthode, nous avons procédé à des mesures d'infiltration durant 4 heures (annexe 15, p.269). La figure 32 présente l'allure générale de l'infiltration.

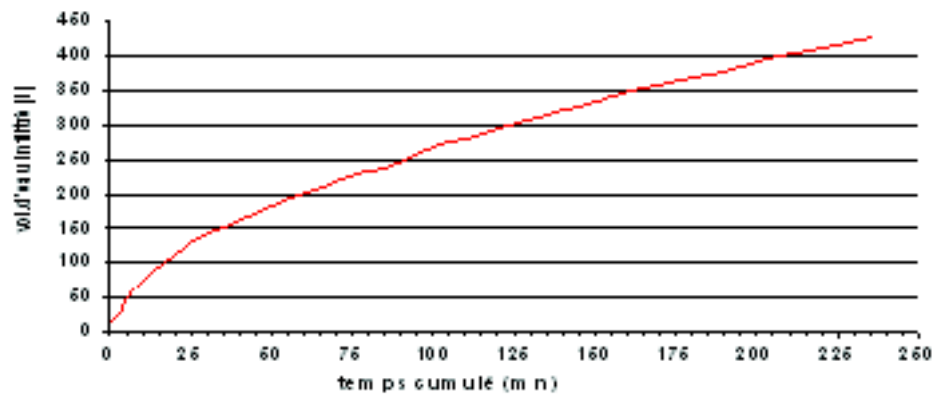


Figure 32 : Infiltration cumulée durant 4 h sur un tronçon de seguia

La veille de l'essai, nous avons placés en bordure du tronçon de seguia, une batterie de tensiomètres destinés à indiquer après le démarrage de l'essai, le moment précis de l'arrivée du front d'humectation dans les différentes couches de sol (tableau 37). Ainsi, le niveau 30 cm est atteint au bout de 48 mn, celui de 50 cm au bout de 56 mn ; la progression entre ces deux niveaux est rapide. Le niveau 80 cm est atteint au bout de 59 mn, soit une profondeur de 30 cm parcourue en 3 mn. Ce niveau avait une tension de 6 kPa avant le démarrage des mesures.

Tableau 37 : Suivi des tensions durant les mesures d'infiltration sur le tronçon de seguia

Prof, (cm)	Temps mn	Tension kPa	Prof (cm)	Temps mn	Tension kPa	Prof, (cm)	Temps mn	Tension kPa
	0	52		0	62			
	42	50		49	58		0	6
	43	48		50	50	80 cm	55	2
	45	28		50,5	48		59	0
30 cm	46	18		51	44			
	47	10		51,25	40			
	47,5	8	50 cm	52,1	30			
	47,75	0		52,5	24			
				53	20			
				53,3	14			
				54	10			
				55	6			
				56	2			

3.3.1.1.4.3. SIMULATION NUMERIQUE DE L'INFILTRATION DANS UNE SECTION DE SEGUIA

A. INTRODUCTION

Dans l'exploitation 1, nous avons effectué des mesures d'infiltration sur un tronçon de seguia durant 4 h. L'objectif était de connaître les valeurs de cette infiltration, son importance aussi, en vue d'estimer la dose réellement apportée à la plante ainsi que l'efficience hydraulique à l'échelle de la parcelle.

L'eau de la seguia s'infiltré en profondeur et latéralement. Il est fort probable qu'une partie de l'eau infiltrée profite aux extrémités latérales des micros - raies avoisinantes. Il est dans ce cas difficile d'affirmer que toute l'eau infiltrée dans la seguia est de l'eau perdue pour la culture.

Le réseau de seguias de distribution au sein de la parcelle (16 à 20% de la superficie) entraîne une diminution conséquente du volume globale de l'eau destinée à l'irrigation des micros - raies. Ce volume percole en profondeur. Réaliméte t'il la nappe ou remonte t'il par ascension capillaire lors du desséchement de la couche superficielle du sol ? La durée des mesures (4 h) s'est avérée insuffisante pour une évaluation précise (l'agriculteur met 8 h pour irriguer sa parcelle). Il est essentiel de savoir si l'infiltration se stabilise au-delà de 4 h ou continue de croître durant toute l'irrigation. La modélisation numérique permet de résoudre les équations différentielles régissant les transports d'eau et de solutés en milieu poreux non saturés pour des conditions initiales et aux limites très éloignées des conditions standards à la faveur desquelles des solutions analytiques du transport 1D et 2D d'eau et de solutés ont pu être développées. Dans cet objectif, le code numérique HYDRUS-2D (Simunek et al, 1996) a été utilisé pour simuler l'infiltration sur une durée équivalente à celle que met l'agriculteur pour irriguer sa parcelle (approximativement 8 h).

B. LE MODELE HYDRUS-2D

Nous proposons de faire une description succincte du modèle HYDRUS-2D (Simunek et al. 1996 in Mailhol, 2001) permettant de résoudre en 2D les équations aux dérivées partielles régissant les transferts d'eau (modèle de Richards) et de solutés.

B.1. Le transfert d'eau

Avec les hypothèses d'un milieu poreux rigide dans lequel l'air joue un rôle négligeable dans un processus d'écoulement de l'eau de type Darcien, l'équation modifiée de Richards en 2D s'exprime selon :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K (K_{ij}^A \frac{\partial h}{\partial x_j} + K_{iz}^A) \right] - S \quad (3)$$

où h la tension de l'eau [L] est l'inconnue, S un terme puits T^{-1} , X_j ($j = 1,2$), les coordonnées d'un point de l'espace [L], K_{ij}^A sont des composantes d'un tenseur d'anisotropie K^A et K est la conductivité hydraulique $[LT^{-1}]$ donnée par :

$$K(h,x,z) = K_s(x,z) K_r(h,x,z) \quad (4)$$

où θ est la teneur en eau, K_r est la conductivité relative et K_s la conductivité hydraulique à saturation. Le tenseur d'anisotropie permet de rendre compte d'une anisotropie du milieu. Dans le cas nous concernant, à savoir l'écoulement dans une section plane $x_1 = x$ est la coordonnée horizontale et $x_2 = z$, la coordonnée verticale affectée d'une convention de signe (ici : $\uparrow +$).

B.2. L'extraction racinaire

Le terme puit S représente le volume d'eau déplacé par unité de temps d'une unité de volume de sol due à la consommation de la plante. Le terme S est défini selon Feddes et al (1978) par:

$$S(h) = a(h) S_p \quad (5)$$

où la fonction stress hydrique $a(h)$ est une fonction adimensionnelle ($0 \leq a \leq 1$) et S_p la consommation en eau potentielle de la plante [T^{-1}]. Lorsque le régime de consommation potentielle est également distribué dans a domaine rectangulaire à 2 dimensions S_p s'exprime alors selon :

$$S_p = \frac{1}{L_x L_z} L_t T_p \quad (6)$$

où T_p est la transpiration potentielle [$L T^{-1}$], L_z profondeur de la zone racinaire et L_x largeur de la zone racinaire à la surface, associée au processus de transpiration. L'équation précédente peut être généralisée en introduisant une distribution non uniforme de prélèvement d'eau par la plante pour une zone racinaire de forme arbitraire (Vogel, 1987) :

$$S_p = b(x, z) L_t T_p \quad (7)$$

où $b(x, z)$ est la distribution normalisée du prélèvement [L^{-2}]. Cette fonction décrit la variabilité spatiale du terme d'extraction potentielle, S_p sur la zone racinaire et est déduit de $b'(x, z)$ selon :

$$b(x, z) = \frac{b'(x, z)}{\int_{\Omega_r} b'(x, z) d\Omega} \quad (8)$$

où Ω_r est la région occupée par la zone racinaire et $b'(x, z)$ est une fonction définie arbitrairement. La distribution des prélèvements est normalisée de sorte que sur le domaine :

$$\int_{\Omega_r} b(x, z) d\Omega = 1 \quad (9)$$

A partir de (7) et (9), il découle que S_p est relié à T_p par l'expression :

$$\frac{1}{L_t} \int_{\Omega_r} S_p d\Omega = T_p \quad (10)$$

La distribution réelle de la consommation est obtenue à partir des équations (7) et (5):

$$S(h, x, z) = a(h, x, z) b(x, z) L_t T_p \quad (11)$$

Tandis que la transpiration réelle, T_r est obtenue par intégration de (11):

$$T_r = \frac{1}{L_t} \int_{\Omega_r} S d\Omega = T_p \int_{\Omega_r} a(h, x, z) b(x, z) d\Omega \quad (12)$$

Il convient de noter que l'extraction racinaire peut être considérée négligeable lors de la simulation d'un essai d'infiltration de quelques heures à peine. Cela n'est bien évidemment plus acceptable lorsqu'on s'intéresse au phénomène de redistribution sur un minimum de 24 heures par exemple.

B.3. Les fonctions caractéristiques du milieu poreux non saturé

Les propriétés hydrodynamiques du milieu non saturé utilisées dans HYDRUS-2D font référence au modèle de Van Genuchten (1980) utilisant la distribution statistique des

pores du modèle de Mualem (1976) pour obtenir une forme prédictive de l'équation de la conductivité hydraulique. L'expression de la courbe de rétention $h(\theta)$ est celle proposée par Van Genuchten (1980) :

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + |\alpha h|^n\right]^m} \quad (13)$$

Avec $\theta = \theta_s$ pour $h \geq 0$

La conductivité hydraulique $K(h)$ est obtenue au moyen des équations :

$$K(h) = K_s K_r(h) \quad h < 0 \quad (14)$$

La conductivité hydraulique $K(h)$ est obtenue au moyen des équations :

$$K(h) = K_s K_r(h) \quad h < 0 \quad (14)$$

$$K(h) = K_s \quad h \geq 0$$

où:

$$K_r = S_e^{1/2} \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (15)$$

Avec :

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (16)$$

B.4. Conditions initiales et aux limites

La résolution de l'équation (3) requiert la connaissance de la distribution de h sur l'ensemble du domaine :

$$h(x, z, t) = h_0(x, z, t) \text{ pour } t = 0 \quad (17)$$

Le modèle traite 3 types de conditions aux limites : la condition de charge appelée aussi condition de Dirichlet :

$$h(x, z, t) = \Psi(x, z, t) \text{ pour } (x, z) \in \Gamma_D \quad (18)$$

La condition de flux (condition de Newman) :

$$-\left[K(K_{\text{v}}^A \frac{\partial h}{\partial x_j} + K_{\text{w}}^A) n_i \right] = \sigma_1(x, y, t) \text{ pour } (x, z) \in \Gamma_N \quad (19)$$

Et enfin une condition à la limite avec gradient de charge :

$$-\left[K(K_{\text{v}}^A \frac{\partial h}{\partial x_j} + K_{\text{w}}^A) n_i \right] = \sigma_2(x, y, t) \text{ pour } (x, z) \in \Gamma_G \quad (20)$$

Les symboles $\Gamma_D, \Gamma_N, \Gamma_G$ se réfèrent aux segments du domaine où s'appliquent respectivement les conditions Dirichlet et de gradient. Les expressions $\Psi[L], \sigma_1, [LT^{-1}], \sigma_2[-]$ sont fonction de x, z, t et n_i sont les composantes des vecteurs unitaires normaux aux limites du domaine Γ_N ou Γ_G . La condition de gradient s'applique en terme de gradient hydraulique vertical pour simuler le drainage libre à la base du profil loin de toute influence hydraulique due à la présence éventuelle d'une nappe. En complément du système définissant les conditions aux limites indépendantes régies par les équations (18), (19) et (20), le modèle considère 3 types de conditions aux limites indépendants ne pouvant être définies a priori. L'une d'entre elles met en jeu les interfaces sol-air soumises aux conditions atmosphériques. Le potentiel de flux au travers de ces surfaces est exclusivement contrôlé par des conditions externes. Cependant, le flux réel (ETR) dépend des conditions d'humidité du sol. Notons au passage que les conditions à la surface du sol peuvent s'inverser (condition de charge à condition de flux). En l'absence d'infiltration sous conditions de charge (submersion) la solution numérique de (3) s'obtient en limitant la valeur absolue du flux de sorte que la condition suivante soit satisfaite (Newman et al. 1974) :

$$\left| K(K_{\text{v}}^A \frac{\partial h}{\partial x_j} + K_{\text{w}}^A) n_i \right| \leq E \quad (21)$$

$$h_A \leq h \leq h_S \quad (22)$$

où E est le régime d'infiltration ou d'évaporation maximal sous les conditions atmosphériques actuelles, h est la charge (ou tension) à la surface du sol et h_A et h_S sont respectivement les tensions minimales et maximales autorisées sous les conditions prévalant à la surface du sol. La valeur de h_A est déterminée à partir des conditions d'équilibre en eau du sol et de vapeur d'eau atmosphérique tandis que h_S est généralement fixée à zéro.

Un deuxième type de conditions aux limites pris en compte par le modèle concerne les surfaces affectées par le transfert de l'eau en sortie du domaine saturé. La longueur de ce domaine affectée par le mouvement de l'eau n'est pas connue a priori, le modèle impose une charge uniforme toujours égale à zéro le long de ce domaine.

Enfin une troisième classe de conditions aux limites est relative à la présence d'un drain le long duquel une charge nulle est affectée tant que celui-ci opère en milieu saturé. Un rôle de puits est ainsi affecté au drain. Ce dernier peut cependant se comporter comme un nœud puits/source du domaine avec recharge nulle lorsqu'il se trouve dans la zone non saturée.

B.5. Le principe de la méthode aux éléments finis

La méthode numérique de résolution des équations différentielles aux dérivées partielles utilise la méthode des éléments finis de Galerkin. La description de cette méthode est proposée en détail par Newman (1975), Zienkiewicz (1977), Pinder et Gray (1977). Elle sort quelque peu du cadre de ce travail c'est pourquoi nous n'en donnerons qu'une brève explication du principe.

La technique des éléments finis consiste à remplacer la formulation différentielle par une formulation intégrale. On recherche alors une solution approchée du nouveau problème en un nombre fini de points du domaine. Le domaine est d'abord transformé en un réseau d'éléments triangulaires, de telle sorte que chaque sommet (appelés points nodaux) soit un sommet de chacun des éléments qui l'entourent. La valeur de la variable recherchée en l'occurrence la pression h à l'intérieur de chaque élément est approchée au moyen d'un polynôme d'interpolation :

$$h'(x, z, t) = \sum_{n=1}^N \phi_n(x, z) h_n(t) \quad (23)$$

des valeurs de la fonction aux nœuds. Les fonctions linéaires ϕ_n devant satisfaire la condition $\phi_n(X_m, Z_m) = \delta_{nm}$, h_n étant des inconnues solutions de (3) aux points nodaux, N étant le nombre de nœuds.

La formulation différentielle est ensuite transformée en formulation intégrale. La méthode de Galerkin postule que l'opérateur différentiel associé à l'équation de Richards (3) est orthogonale à chacune des N fonctions de bases, i.e.,

$$\int_{\Omega} \left\{ \frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K(K_{ij}^A \frac{\partial h}{\partial x_j} + K_{iz}^A) \right] + S \right\} \phi_n d\Omega = 0 \quad (24)$$

Les conditions aux limites imposant la nullité de l'intégrale du contour. La formule de Green appliquée à l'expression précédente après remplacement de h par h' conduit à une sommation d'intégrales calculées selon des techniques numériques appropriées sur le domaine occupé par l'élément e ainsi que sur la frontière du segment de l'élément e . Après avoir fait choix d'hypothèses simplificatrices et réalisé l'intégration sur l'ensemble des éléments, la procédure conduit à un système d'équations différentielles ordinaires dépendant du temps à coefficients non linéaires. En forme matricielle ces équations sont données par :

$$[F] \frac{d\theta}{dt} + [A][h] = \{Q\} - \{B\} - \{D\} \quad (25)$$

C. APPLICATION DU MODELE HYDRUS-2D AU CAS DU SOL LIMONEUX DU TRONÇON DE SEGUIA

C.1. Les conditions initiales et aux limites

Le domaine permettant d'appliquer la méthode de résolution des éléments finis au cas de l'infiltration sous tirant d'eau h_0 , avec ses conditions initiales aux limites sont représentées à la figure 33. Compte tenu de la symétrie du domaine seule une demi section de seguia est représentée.

La section de la segua est de forme trapézoïdale, allure que l'on rencontre le plus fréquemment. Les pentes des cotes de la segua trapézoïdale ou fruit peuvent varier de 1/1 et 1/2 (cas extrême).

Sur le tableau 38 sont présentées les caractéristiques physiques du sol et les conditions initiales avant l'essai. La teneur en eau a été déterminée par prélèvement d'échantillons de sol à la tarière en un point du lit du tronçon de segua. La figure 34 présente le profil de teneur en eau établi à partir du tableau 38 une heure avant le début de l'essai.

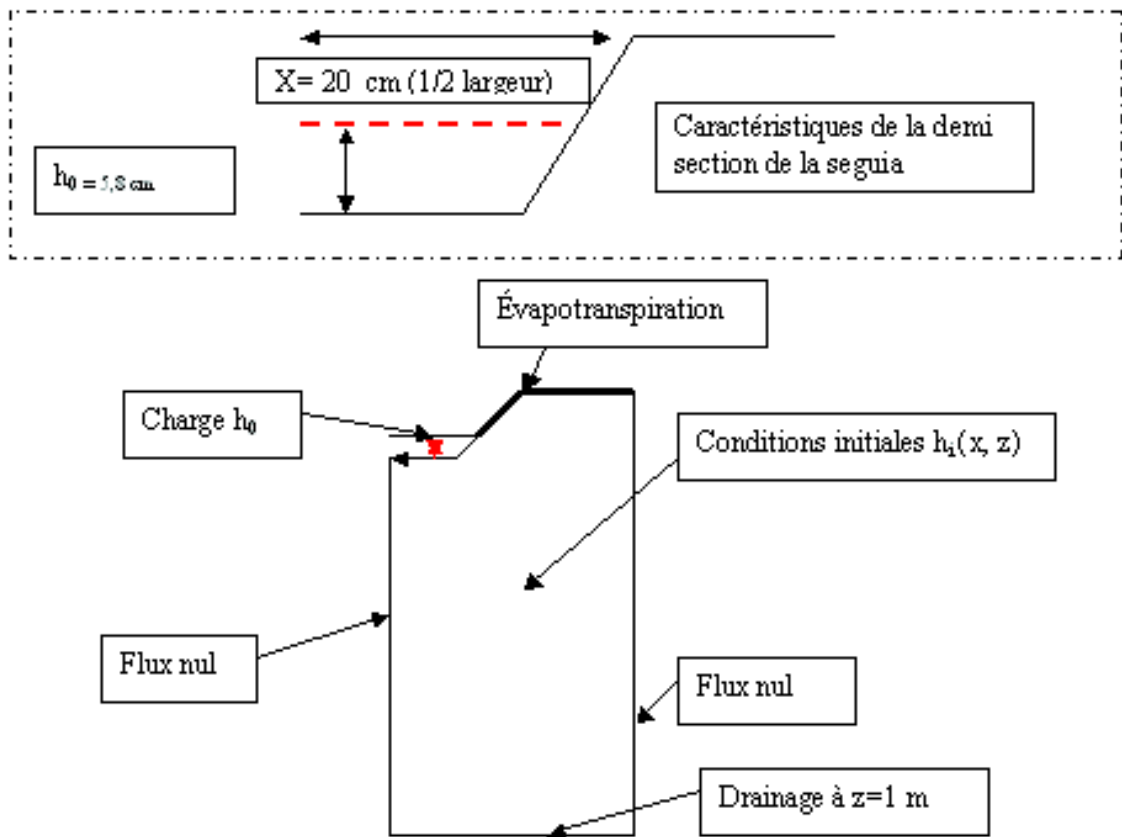


Figure 33: Caractéristiques de la demi section de segua et domaine représentant les conditions initiales avant simulation

Tableau 38: Caractéristiques pédologiques du sol de la segua et conditions initiales avant l'essai

Profondeur d'échantillonnage (cm)	capacité au champ C.C(%)	Pf (%) à 4,2	Da	Teneur en eau (%) 1 heure avant mesures	Type de sol	Texture(%)		
						Arg.	Lim	Sab.
0-15	16.5	9.1	1.45	11.4	Limoneux	22	40,4	37,6
15-30	23.8	13.1	1.44	14.	Limoneux	25,5	38,9	35,6
30-50	23.8	13.1	1.44	13.9	Limo-arg	25,5	38,9	35,6
50-70	26.7	14.7	1.45	18.4	Limoneux	21	45,32	33,5
70-90	26.7	14.7	1.45	25.2	Limoneux	21	45,32	33,5

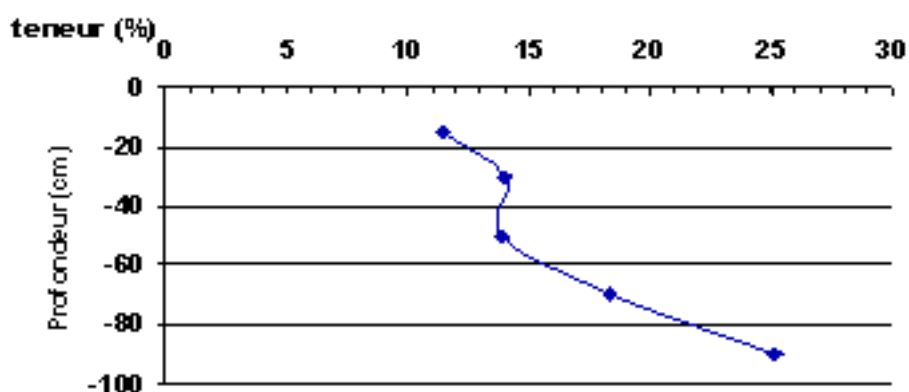


Figure 34 : Profil de teneur en eau 1 heure avant l'essai sur seguia (le zéro de l'échelle correspond au sommet du billon)

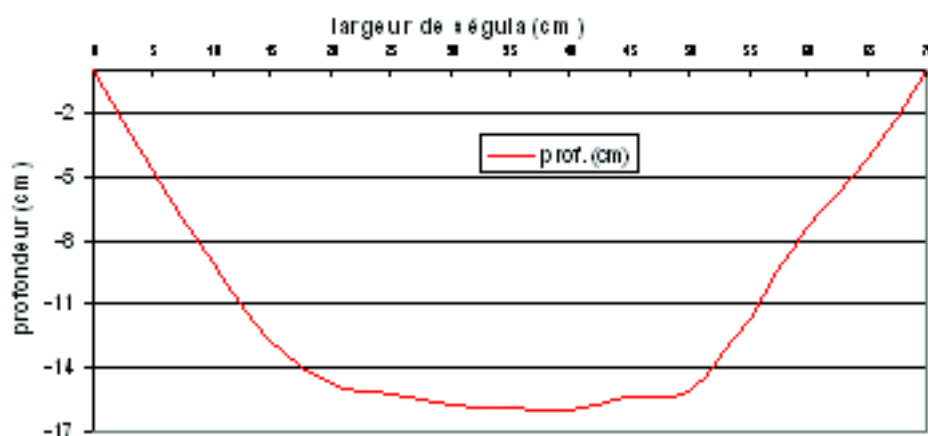


Figure 35 : Représentation géométrique moyenne de la section de seguia

C.2. Les paramètres du modèle

Pour des cotes situées au-delà de 15 cm, avec les valeurs de $\theta_s = 0,4$ et $\theta_r = 0$ proposées par Revol (1994), les valeurs de θ et n sont respectivement $0,017 \text{ cm}^{-1}$ et $1,387 \text{ cm}^{-1}$ avec un $R^2 = 0,889$. Avec $\theta_s = 0,38$ et $\theta_r = 0,05$, valeurs que l'on adopte au-delà de la première irrigation en raison de l'effet de tassement du sol, on obtient des valeurs sensiblement différentes $\theta = 0,015$ et $n = 1,457$. Les valeurs de θ et n relatives à la couche 0-15 cm de l'essai de caractérisation sont respectivement $0,049 \text{ cm}^{-1}$ et $1,292$ (avec $m = 1 - 1/n$) avec $\theta_s = 0,4$ et θ_r fixée à 0 d'après Revol.

Les caractéristiques hydrodynamiques de la couche 0-15 cm, correspondant à l'horizon travaillé, seront affectées à la partie supérieure du billon (de l'ordre de 15 cm d'épaisseur) en apparence moins compactée que les couches situées en deçà du niveau correspondant au fond de la raie. L'analyse du tableau des données granulométriques (annexe 15, p. 269) ne justifie pas que l'on différencie le sol en plusieurs couches en deçà du niveau horizontal correspondant au fond de la seguia étant donné que le changement de la granulométrie ne se perçoit qu'au-delà d'une profondeur susceptible d'influer très significativement l'infiltration.

C.3. Application au cas de notre essai

L'infiltration cumulée mesurée durant 4 heures et celle simulée par HYDRUS-2 D sont représentées par les courbes de la figure 36.

Le fait que le profil des courbes mesurées et simulées soit identique dans la tranche 0 à 4 heures témoigne de l'adéquation des caractéristiques hydrodynamiques adoptées.

On constate que l'infiltration ne se stabilise pas et qu'elle continue de croître entre 4 et 8 heures ou les volumes infiltrés on pratiquement doublés (résultats de simulation annexe 25, p 284).

La durée de simulation en condition de charge variable en surface est de 8 h. Ce temps est de l'ordre de grandeur du temps moyen que met l'agriculteur pour irriguer la totalité de sa parcelle.

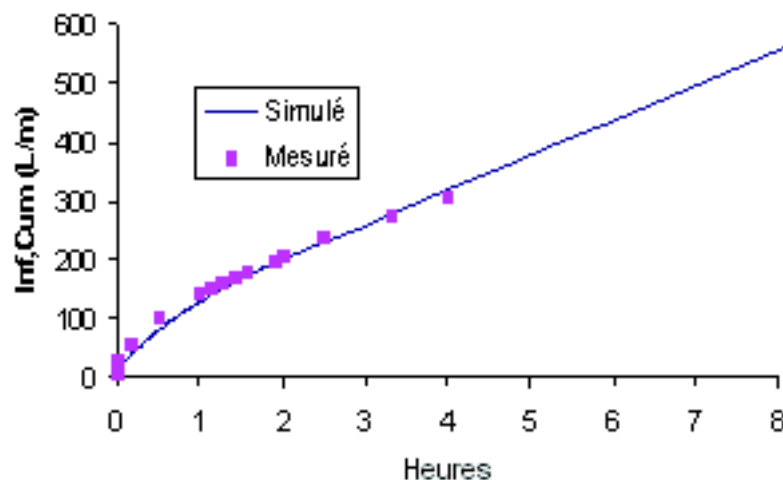


Figure 36: Simulation de l'infiltration cumulée sur segua durant 8 heures (code numérique Hydrus-2D)

On peut constater que l'infiltration cumulée simulée par HYDRUS-2D est de l'ordre de 600 l/m sous le tirant d'eau maximal $h_0 = 5,8$ cm (ce tirant d'eau est celui mesuré en conditions réelles d'irrigation).

L'absence de fissures à la surface du sol liée à une teneur moyenne en argile n'exclue cependant pas l'existence de macros - pores dans les couches sous-jacentes (Larson, 1999), le modèle basé sur le modèle de Richards simulant quant à lui l'infiltration dans la micro - porosité. Même avec une valeur de K_s résultant d'une méthode indirecte d'identification globale, intégrant du fait, à la fois macro et micro - porosité, le modèle basé sur l'hypothèse d'un milieu ride continu à flux Darcien pourrait donc sous estimer, pour les temps courts, l'infiltration cumulée même en sol limoneux.

C.4. Facteurs susceptibles d'influencer l'infiltration dans une section de segua

L'intérêt du modèle numérique est de pouvoir tester l'impact de facteurs pouvant être sources de variabilité pour l'infiltration comme le périmètre mouillé ou la géométrie de la raie. Le débit du fait de l'infiltration diminue de l'amont vers l'aval. Il en résulte une diminution du périmètre mouillé et par voie de conséquence de l'infiltration. Le fait de pouvoir apprécier l'importance de cette diminution nous paraît intéressant.

La géométrie est imposée par la forme de l'outil et les conditions de travail du sol. La section de segua est sujette aux processus érosifs essentiellement localisés en partie

amont de la parcelle et évolue plus ou moins selon la texture, surtout entre le premier et le deuxième arrosage.

C.5. Impact des conditions initiales

Nous utilisons le modèle numérique afin de tester l'impact des conditions initiales d'humidité et plus précisément pour apprécier l'erreur que l'on commet sur l'infiltration lorsque l'on suppose que les conditions initiales sont homogènes. Il est en outre intéressant d'identifier le seuil d'hétérogénéité admissible et en particulier de pouvoir proposer une méthode permettant d'initialiser le profil à la valeur minimisant l'erreur de simulation de l'infiltration cumulée. Par soucis de simplification nous considérons le cas d'un sol mono couche. C'est-à-dire que l'on ne distingue que les conditions d'infiltration dans la partie haute du billon du reste du profil.

3.3.1.2. EXPLOITATION 2

La parcelle qui a servi de site pour les mesures (infiltration et transports solides) couvre 0,348 ha en tomate de plein champ (variété Joker). Elle comprend 15 seguias de distribution qui alimentent chacune 24 micros raies soit un total de 360 micros raies (figure 78 c, annexe 17 p. 274). La densité de plantation est de 8 640 plants pour la parcelle soit 26 000 plants / ha. Les normes de densité de plantation pour l'Algérie sont comprises entre 50 000 et 62 000 plants /ha (Reguieg, 2002). Cette densité résulte des pertes de terrain au profit des seguias et au non respect des normes de plantation. L'infiltration linéaire dans la seguia de suivi est de 0,62 l/m/mn.

Dans cette exploitation les mesures effectuées permettent :

- A partir de l'infiltration linéaire de 0,62 l/m/mn, d'estimer le débit délivré à
- chacune des 24 micros - raies sur lesquelles ont été chronométrés les temps de remplissage ;
- A partir des analyses granulométriques sur les échantillons prélevés dans le lit
- de la seguia d'estimer l'importance des transports solides entre la 3^è et la 7^è
- irrigation ;

3.3.1.2.1. UNIFORMITE DE DISTRIBUTION DE L'EAU DANS LES MICROS - RAIES

Le débit en tête de seguia, de 11 l/s, irrigue 24 micros raies. A partir du débit en tête, de l'infiltration linéaire et du temps de remplissage de chaque micro - raie, nous avons déterminé le débit réel délivré à chacune d'elles (annexes 26 et 27, p 289 et 290). La figure 37 illustre cette distribution, ainsi que le volume délivré dans chacune des micros raies.

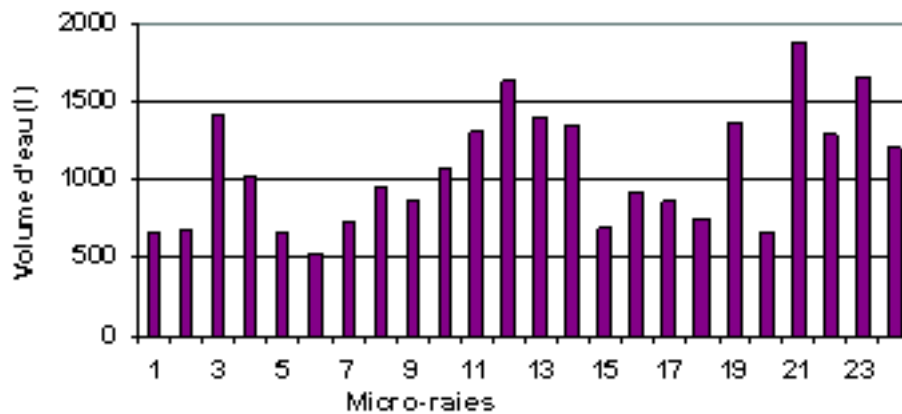


Figure 37 : Distribution de l'eau dans les micros – raies

Les volumes d'eau apportés dans les micros - raies varient du simple au quadruple

(515 l pour la micro raie 6 et 1 921 l pour la 21). Les écarts sont très importants, avec une répartition hétérogène de l'eau pour les 24 micros - raies. Cela n'est pas dû seulement à la diminution du débit le long de la seguia suite aux infiltrations linéaires mais aussi à l'appréciation visuelle (temps de remplissage des micros raies) par l'irrigant. Malgré des débits réduits de 40% au niveau des 5 dernières micros raies, les volumes délivrés (6 845 l) sont supérieurs à ceux des 6 premières (4 488 l).

Le débit de 11 l/s délivré en tête de seguia subit sur une distance de 39 m, des pertes en eau de 42%, dues aux infiltrations latérales et verticales (figure 38)

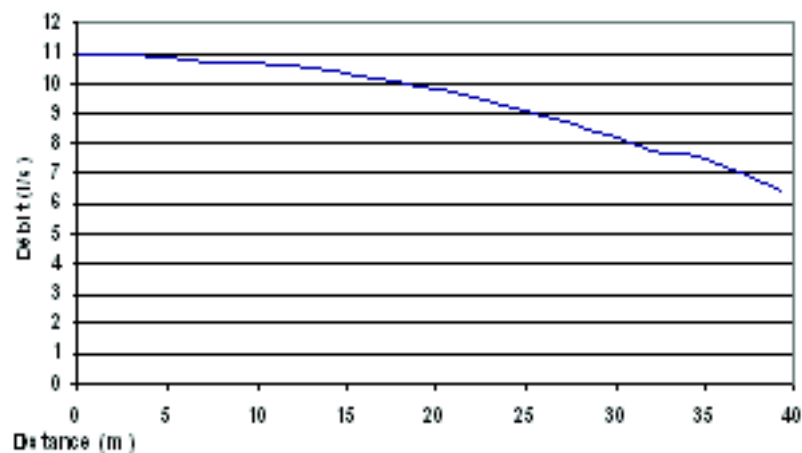


Figure 38 : Influence de l'infiltration linéaire sur le débit de seguia

Pour corriger cette hétérogénéité, l'agriculteur met en place un système de rotation de la pratique d'irrigation au niveau de sa parcelle : Lors de la première irrigation au niveau de la seguia il alimente la première micro - raie et termine par la 24^é ; l'irrigation suivante il commence par la 24^é et termine par la première. Le principe est appliqué pour les 15 seguias qui alimentent les micros - raies de sa parcelle.

Il serait intéressant de faire des mesures dans les 2 cas de figures, et voir quel est l'effet de cette pratique sur la répartition des volumes d'eau distribués.

Au niveau des micros - raies entre elles, l'hétérogénéité ne peut être supprimée du fait des infiltrations linéaires dans les seguias. Le profil d'humidité dans la micro - raie peut être homogène vu ses dimensions (5,5 m). Par rapport à ces déperditions liées au système de distribution, l'impact de la répartition de l'eau au niveau de la parcelle entre les parties amont, avale et milieu engendre des hétérogénéités au niveau des volumes d'eau distribués comme nous l'avons vu dans le cas de l'exploitation 1 (tableau 36).

3.3.1.2.2. TRANSPORTS SOLIDES DANS LES SEGUIAS

En fin d'irrigation, on remarque la formation dans le fond des seguias, et des micros raies, d'un dépôt constitué d'éléments granulométriques fins, résultant de l'entraînement du à l'écoulement de l'eau d'irrigation. Nous avons procédé à l'analyse d'échantillons de sol prélevés dans le lit d'une des 15 seguias de la parcelle. Les échantillonnages ont été effectués avant la 3^e et après la 7^e irrigation, en 9 points distants entre eux de 3 m. Les résultats de l'analyse granulométrique (tableau 39) et des graphiques qui on en résulté (figure 39)montrent :

- Pour les argiles, une tendance à l'accumulation que ce soit avant ou après irrigation de l'amont vers l'aval des seguias.
- Pour les limons fin, la même tendance à l'accumulation en fin de seguia ;
- Pour les limons grossiers une accumulation progressive et peu importante en fin de seguia avec différenciation des teneurs avant ou après irrigation ;
- Pour les sables fins et grossiers nous remarquons en fin de seguia, une tendance inverse des valeurs de teneurs par rapport aux autres constituants;

L'étude de l'influence des irrigations sur les transports solides a été faite sur la base de 5 irrigations pour une campagne qui en a compté 11. Nous ne pouvons prétendre à ce stade de l'observation, que l'irrigation répétée puisse avoir un effet érosif important au niveau de la parcelle par le biais du réseau des seguias. Il est nécessaire que ce travail soit réalisé sur un ensemble de plusieurs campagnes d'irrigation.

Tableau 39 : Transports solides dans une seguia de distribution d'eau au niveau de la parcelle de l'exploitation 2. Teneur exprimée en pourcent (%)

Points de prélèvements	Argile Avant	Argile Après	Lim F Avant	Lim F Après	Lim G Avant	Lim G Après
1	48	50	19	22	8	5
2	50	47	21	19	6	9
3	51	52	20	21	10	11
4	52	50	21	21	7	8
5	53	52	22	21	6	7
6	50	49	22	19	6	8
7	52	53	22	22	5	6
8	53	53	24	24	6	7
9	53	52	24	22	8	15
Points de prélèvements	SF Avant	SF Après	SG Avant	SG Après		
1	11	13	13	12		
2	12	10	12	13		
3	11	10	19	11		
4	12	10	10	12		
5	12	10	7	10		
6	14	8	12	16		
7	13	11	9	9		
8	10	9	5	8		
9	9	8	7	8		

Lim F : limon fin ; Lim G : limon grossier ; SF : sable fin ;
 SG : sable grossier

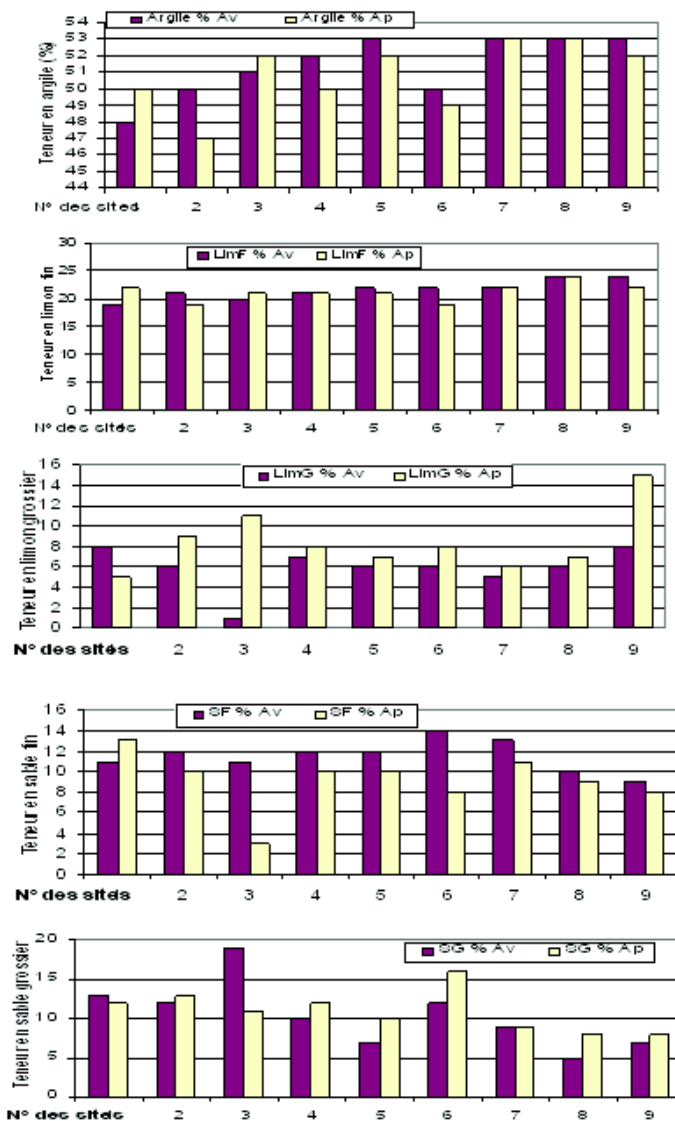


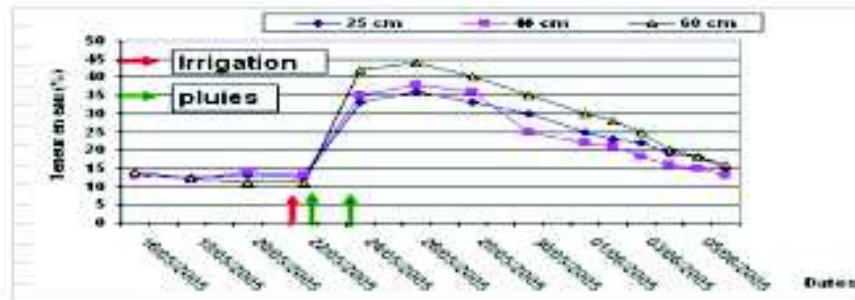
Figure 39 : Effet des irrigations répétées sur les transports solides dans les seguias de distribution d'eau

3.3.1 3. EXPLOITATION 3

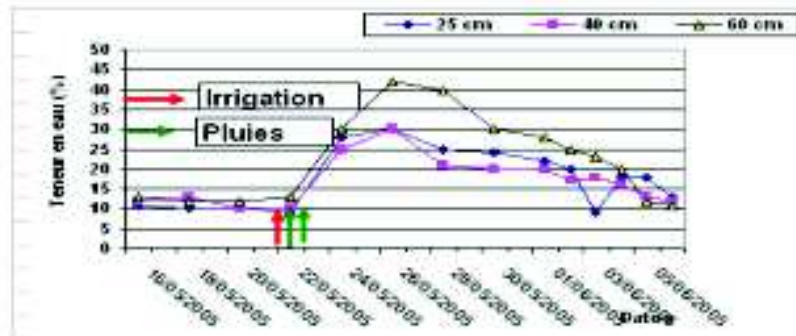
4.3.1.3.1. EVOLUTION DES TENEURS EN EAU

Pour les 3 sites de suivi, on observe 2 paliers dans l'évolution des teneurs en eau (figure 40 dans le texte et annexe 28, p.291).

Site 1



Site 2



Site 3

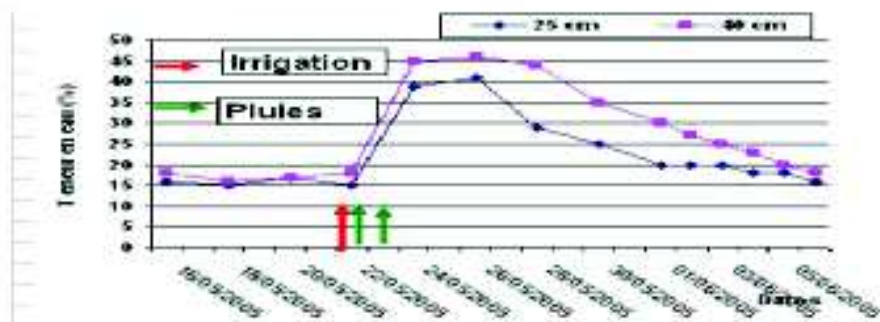


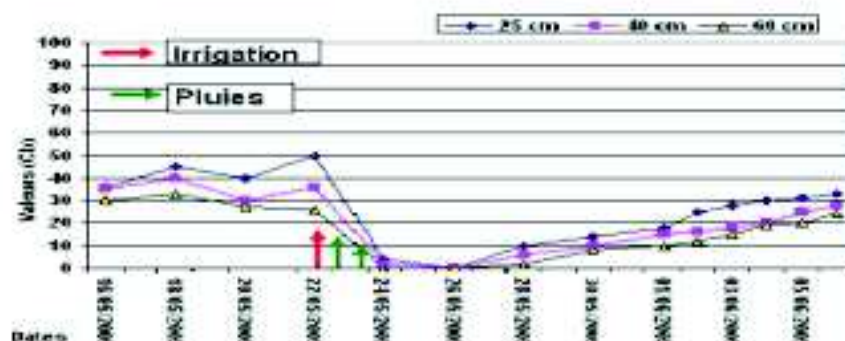
Figure 40 : Evolution des teneurs en eau sur les 3 sites de la parcelle

- Un premier palier pour la période du 16/05 au 22/05 où les teneurs en eau étaient à la limite du Pf (Pf de 14,2% entre 0 cm et 25 cm et Pf de 16% entre 25 cm et 40 cm) pour le site 1 (haut de parcelle), en deçà pour le site 2 (milieu de parcelle entre 0 cm et 20 cm puis entre 20 cm et 40 cm) et au dessus pour le site 3 (bas de parcelle). La parcelle a reçu une irrigation de reprise en début de plantation. L'état des teneurs en eau au niveau de celle-ci montre que la dose apportée était faible et hétérogène ;
- Un deuxième niveau à partir du 24 /05 après la première irrigation qui a été suivie de deux jours de pluie (40 mm). Les teneurs en eau étaient entre 40% et 45% dans la tranche 25 cm à 40 cm du site 3 ; 30% entre 25 cm et 40 cm du site 2 ; 35% entre 25 cm et 40 cm du site 1 et entre 40 et 45% pour la tranche 40 cm à 60 cm des sites 1 et 2. Elles dépassent la capacité au champ (27%) d'où une saturation du sol jusqu'au 28 mai. L'homogénéité de la répartition des teneurs en eau sur l'ensemble de la parcelle après cette irrigation est due en grande partie aux deux jours de précipitations. Au bout du quatrième jour après les apports, les teneurs en eau commencent à baisser. La limite du pF est atteinte en 14 jours.

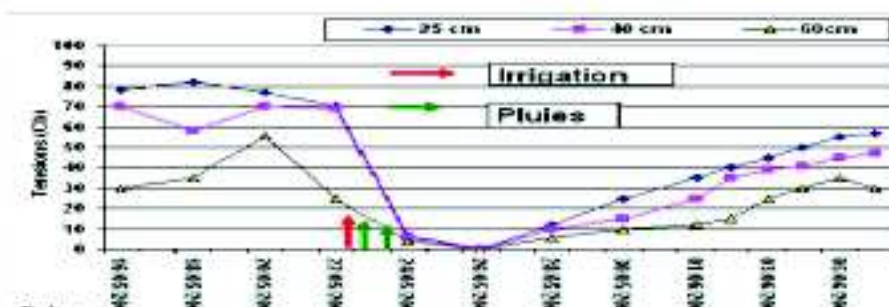
3.1.1.3.2. EVOLUTION DES TENSIONS

Nous observons le même phénomène pour les tensions aux 3 niveaux de profondeurs pour les 3 sites, mais légèrement moins prononcés pour le site 3, figure 41, tableau 69 et annexe 28, p.291.

Site 1



Site 2



Site 3



Figure 41: Evolution des tensions sur les 3 sites de la parcelle

Les tensions augmentent progressivement à partir du 26 mai. Elles restent pour les 3 sites à des valeurs acceptables pour la plante (inférieures à 60 kPa pour l'horizon de surface situé entre 0 cm et 25 cm). Pour le potentiel total (H), les courbes de la figure 80 des sites 1 ; 2 et 3 (annexe 28, p.291) montrent qu'à partir du 26 mai,

un flux ascendant part de l'horizon 60 cm et alimente les horizons 40 cm et 25 cm.

3.3.1.3.3. UNIFORMITE DE DISTRIBUTION DE L'EAU DANS LES MICROS - RAIES

La parcelle a été irriguée la première fois en deux jours. Le premier jour le débit délivré depuis le bassin (par gravité, en charge variable) était de 4 l/s, le deuxième jour de 3 l/s. Nous avons estimé les débits délivrés sur un ensemble de 8 micros - raies en tenant compte de l'infiltration linéaire (0,98 l/m/mn). Le premier jour, avec un débit en tête de seguisa de 4 l/s, qui alimente la première micro - raie, la huitième ne reçoit que 2,75 l/s. Sur une distance de 17 m, la perte par infiltration est estimée à 31% du débit nominal. Le deuxième jour, avec le débit de 3 l/s délivré au niveau de la première micro - raie, la huitième ne reçoit que 1,78 l/s soit une perte de 42%, (figure 42 ; 43 dans le texte et annexe 29, p. 292). Les volumes d'eau délivrés dans les huit micros - raies sont hétérogènes. Cela confirme les résultats obtenus à partir des mêmes observations faites dans l'exploitation 2.

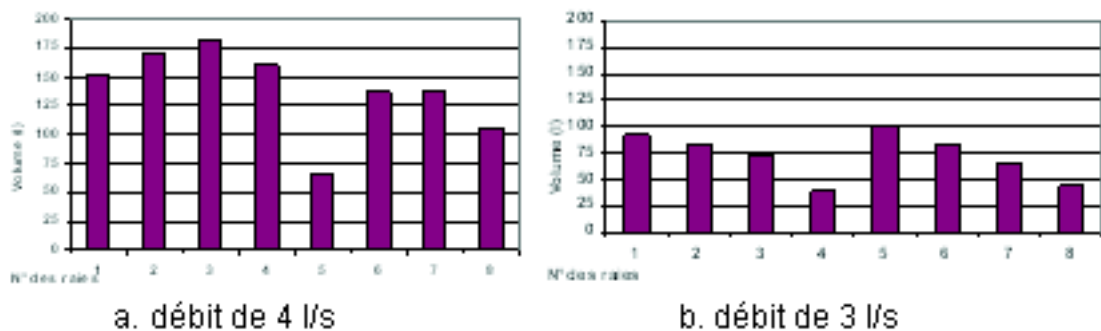


Figure 42 : Influence des pertes par infiltration dans la seguisa sur la distribution des volumes d'eau dans les micros – raies

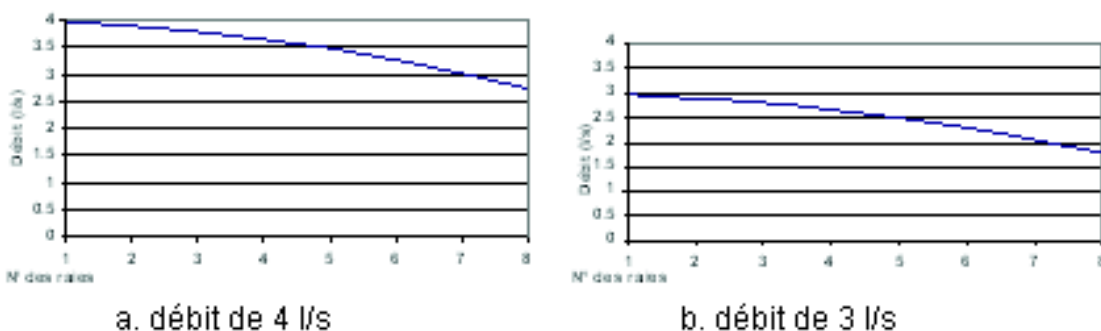


Figure 43 : Pertes en débits par infiltration dans la seguisa de distribution

3.3.2. ANALYSE ET DISCUSSIONS

Les essais menés dans les 3 exploitations, nous ont permis de quantifier les paramètres suivants :

- Infiltration dans les réseaux de seguisas ;
- Densité du réseau de seguisas dans la parcelle ;
- Durée de l'irrigation ;
- Tensions et teneurs en eau dans les micros - raies sur différents sites de la parcelle de suivi ;
- Transports solides dans les seguisas ;
- Uniformité de distribution de l'eau dans les micros - raies ;
- Mains d'eau utilisées ;

Ainsi que d'autres facteurs liés à la conduite des irrigations :

- Main d'œuvre nécessaire ;
- Fréquence des irrigations ;
- Modes de conduites des irrigations ;

Sur la base de quelques uns de ces paramètres, nous avons déterminés les volumes perdus par infiltration dans les seguias de transport, leur importance par rapport aux volumes d'eau mobilisés pour l'irrigation. Dans l'exploitation 1, qui a été suivie sur la totalité de la campagne d'irrigation, nous avons établis un calendrier d'irrigation sur la base des données pédo climatiques, que nous avons comparé à la pratique observée chez l'agriculteur sur la parcelle de poivrons. A partir des mesures réalisées dans les 3 exploitations nous avons quantifié les différents paramètres de l'irrigation pratiquée par les agriculteurs (doses, fréquences des arrosages, temps d'irrigation, pertes en eau dans les seguias...).

3.3.2.1. COMPARAISON DU CALENDRIER DES IRRIGATIONS MENEES PAR L'AGRICULTEUR AVEC CELUI ETABLI SUR LA BASE DES DONNEES PEDO CLIMATIQUES

L'analyse du tableau 40 montre que le nombre d'irrigations déterminé par calcul et celui pratiqué par l'agriculteur sont proches. La différence est plus visible cependant au niveau des fréquences, qui sont variables chez l'agriculteur (entre 4 et 10 jours pour les mois de juillet et août). Les doses également par irrigation sont variables, elles passent de 14,4 mm pour l'irrigation du 5/06 à 32,5 mm pour celle du 16/6.

Mois	Calendrier basé sur les données pédo climatiques					Calendrier suivi par l'agriculteur					
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a
mai	2	15	20,1	402		2	10/5 21/5	107,64 130,8	238,44		
juin	4	7		804	2613	3	5/6 16/6 28/6	144,3 325,77 173,78	643,85	1970	3272
*juillet	4	7		804		4	4/7 10/7 17/7 27/7	136,52 145,31 188 199,73	669,56		
août	3	10		603		3	5/8 15/8 23/8	130,2 170,4 117,6	418,2		

Tableau 40 : Calendrier d'irrigation basé sur les données pédo climatiques et calendrier suivi par l'agriculteur

Légende : signification des numéros avec asterix de la première ligne du tableau 40

* 1 : Nombre d'irrigation par mois ; 2 : Fréquences des irrigations dans le mois ; 3 : Dose par irrigation en mm (fixe dans le calendrier) ; 4 : Apport mensuel net en m³ ; 5 : Apport net sur la campagne en m³ ; 6 : Nombre d'irrigations par mois chez l'agriculteur ; 7 : Fréquences des irrigations (variables chez l'agriculteur) ; 8 : Doses nettes stockées dans le sol par irrigation en mm (déterminées sur la base des mesures de teneurs, tableau 66; annexe 3) ; 9 : Apport mensuel net stocké en m³ (déterminées sur la base des mesures

de teneurs ; 10 : Volume net stocké en m^3 ; 11 : Apport brut m^3 déterminé sur la base du débit pompé et de la durée des irrigations.

L'apport net calculé pour l'ensemble de la campagne est de $2\,613\ m^3$. La dose nette stockée dans le sol après les apports réalisés par l'agriculteur sur la totalité de sa campagne est de $1\,970\ m^3$. L'apport réel brut de l'agriculteur sur la base de 12 irrigations avec une durée moyenne de pompage par irrigation de 9 heures et un débit de $30,3\ m^3$ /heure est de $3\,272\ m^3$.

Dans le diagnostic de l'exploitation 1 nous avons estimé à 18,5%, le volume perdu par infiltration dans le réseau de seguias lors de l'irrigation, soit $605\ m^3$. Les micros raies reçoivent un volume de $2\,667\ m^3$ sur ce volume, $1\,970\ m^3$ sont stockés dans la zone racinaire (0,6 m) soit 60% du volume brut pompé. Il y a 18,5% du volume perdu au niveau des seguias, 21,5% au niveau des micros raies l'efficacité globale est de 60%.

Nous détaillerons cette approche comparative dans la deuxième partie avec le modèle Bilcemak (Mailhol et al, 1996).

3.3.2.2. TEMPS D'IRRIGATION ET MAIN D'OEUVRE

La conduite de l'irrigation dans le mode étudié, exige la mobilisation permanente d'un à deux ouvriers à raison de 9 h/jour pour 0,3 à 0,5 ha. L'irrigation d'un hectare nécessite un minimum de 20 heures. Cette mobilisation de main d'œuvre gêne une partie des autres activités agricoles (entretien, récoltes...). En aspersion ou par micro irrigation l'ouvrier qui conduit l'irrigation pendant le déroulement de celle-ci peut réaliser d'autres travaux sur d'autres parcelles.

3.3.2.3. IMPACT DU RESEAU DE SEGUIAS SUR LA SUPERFICIE CULTIVEE

Les normes de plantation pour une culture de tomate de plein champ varient de 50 000 à 63 000/ha pour des écartements inter raies de 0,8 m et inter plants de 0,20 m à 0,25 m (Reguieg, 2002). Dans le cas de l'exploitation 2, la densité de plantation par hectare était de 28 000 plants (écartement inter lignes de 1,3 m et inter plants de 0,46 m ; ceci en plus de la surface occupée par les seguias). Ce déficit en plant induit des rendements par hectare inférieurs à ceux des autres modes d'irrigations où la totalité de la surface irriguée est plantée.

3.3.2.4. IMPACT DES PERTES EN EAU DANS LES SEGUIAS SUR LES VOLUMES EN EAU MOBILISES POUR L'IRRIGATION

Nous aborderons cet aspect à trois niveaux :

3.2.2.4.1. NIVEAU DE L'EXPLOITATION

Le volume brut utilisé pour la campagne d'irrigation dans l'exploitation 1 est de $3\,272\ m^3$ (tableau 39) pour une superficie de 0,46 ha. Sur ce volume, les pertes par infiltration dans le réseau de seguias estimées à 18,5% correspondent à $605\ m^3$. Ramenées à l'hectare, ces pertes seraient de $1\,315\ m^3$. L'agriculteur irrigue au total 3 ha avec ce mode gravitaire,

soit une perte globale de 3 945 m³. Ce volume lui aurait permis d'irriguer 0,6 ha en plus des 3 ha avec le même mode de conduite des irrigations sur la base de 7 113 m³ /ha.

Le prix de revient du mètre cube d'eau pompée à partir d'un forage est estimé entre 10 DA et 12 DA (AGID, 2003), soit un manque à gagner par hectare compris entre 13 150 DA et 15 780 DA. Pour un agriculteur utilisant l'eau du barrage dont le prix de vente est de 2,5 DA le m³, le manque à gagner par hectare est de 3 287 DA.

Par rapport à ce manque à gagner, d'autres facteurs (facilité de disposer de l'eau du forage à tout moment, faible investissement dans le mode gravitaire, prix du mètre cube d'eau de surface bas...) laissent à penser que l'agriculteur n'est pas sensibilisé à l'aspect économie en eau.

3.3.2.4.2. NIVEAU DE LA PLAINE DE LA MITIDJA

Ces pertes ramenées à l'échelle de la plaine se chiffrent en millions de mètres cubes. La superficie totale irriguée en gravitaire dans la Mitidja et le Sahel Algérois est de 43 834 ha (y compris les superficies hors Mitidja des wilayate de Boumerdes et Tipaza). Sur ces superficies irriguées en gravitaire traditionnel, globalement 80% sont irriguées par micros-raies, le reste par micros-planches et cuvettes pour l'arboriculture. Soit 35 067 ha, les pertes en eau estimées précédemment à 1 315 m³/ha ramenées à l'ensemble de cette surface seraient de 46 millions de m³.

Sur la base d'un volume de 7 113 m³/ha utilisé par l'agriculteur pour la culture de poivrons, cela permettrait d'irriguer 6 500 ha supplémentaires en maraîchages.

3.3.2.4.3. NIVEAU NATIONAL

A l'échelle de la SAU totale irriguée en gravitaire estimée à 250 343 ha (tableau 31), 80% sont irriguées par le mode micros-raies (200 000 ha). Les pertes en eau occasionnées par la pratique de ce mode seraient de 263 millions de m³ pouvant irriguer 37 000 ha supplémentaires.

On remarque que les préoccupations au niveau de l'agriculteur sont celles de la sécurisation de sa ressource en eau, de la garantie d'une production régulière quelques soient les aléas, l'aspect économie d'eau n'est pas une préoccupation immédiate, encouragé en cela aussi par le prix du mètre cube d'eau de surface en deçà de sa valeur réelle (prix de revient du mètre cube de 4,4 DA).

4. CONCLUSION

Le diagnostic des différents indicateurs de l'irrigation par micros-raies au niveau des trois exploitations nous permet d'aboutir au constat suivant :

- Les pertes de débit par infiltration linéaire le long de la seguia de transport sont évaluées à 18,5% du débit nominal (8,42 l/s) soit, 1,56 l/s dans le cas de l'exploitation 1.
- Pour l'infiltration cumulée dans les seguias, l'utilisation du modèle numérique Hydrus-2D, nous a permis de tester l'impact des conditions initiales d'humidité et plus précisément pour apprécier l'erreur que l'on commet sur l'infiltration lorsque l'on

suppose que les conditions initiales sont homogènes. L'intérêt du modèle numérique est de pouvoir tester l'impact de facteurs pouvant être sources de variabilité pour l'infiltration comme le périmètre mouillé ou la géométrie de la raie. Le débit du fait de l'infiltration, diminue de l'amont vers l'aval. Il en résulte une diminution du périmètre mouillé et par voie de conséquence de l'infiltration. Le fait de pouvoir apprécier l'importance de cette diminution nous paraît intéressant. La géométrie est imposée par la forme de l'outil et les conditions de travail du sol. La section de segua est sujette aux processus érosifs essentiellement localisés en partie amont de la parcelle et évolue plus ou moins selon la texture, surtout entre le premier et le deuxième arrosage.

- La densité de plantation de 8 640 plants pour la parcelle de l'exploitation 2, soit 26 000 plants /ha, montre que l'on est loin des normes de densité de plantation pour l'Algérie, qui sont comprises entre 50 000 et 62 000 plants /ha (Reguieg, 2002). Cette diminution de densité, résulte des pertes de terrain au profit des seguias et au non respect des normes de plantation elles mêmes.
- Les volumes d'eau apportés par micros - raies varient du simple au quadruple (515 l pour la micro raie 6 et 1 921 l pour la 21) dans le cas de l'exploitation 2. Les écarts sont très importants, avec une répartition hétérogène de l'eau pour les 24 micros raies. Cela n'est pas dû seulement à la diminution du débit le long de la segua suite aux infiltrations linéaires mais aussi à l'appréciation visuelle (temps de remplissage des micros - raies) par l'irrigant. Malgré des débits réduits de 40% au niveau des 5 dernières micros - raies, les volumes délivrés (6 845 l) sont supérieurs à ceux des 6 premières (4 488 l).
- Les facteurs densité de plantation inférieures aux normes et l'hétérogénéité de distribution de l'eau dans les micros – raies, sont parmi les plus importants inconvénients du système micros – raies. L'hétérogénéité ne peut être supprimée du fait des infiltrations linéaires dans les seguias. Par rapport à ces déperditions liées au système de distribution, l'impact de la répartition de l'eau au niveau de la parcelle entre les parties amont, avale et milieu engendre des hétérogénéités au niveau des volumes d'eau distribués.
- Les seguias du fait des débits véhiculés (4 à 12 l/s) créent des phénomènes de transport des particules fines de l'amont vers l'aval des parcelles. L'étude de l'influence des irrigations sur les transports solides a été faite sur la base de 5 irrigations pour une campagne qui en a compté 11. Nous ne pouvons prétendre à ce stade de l'observation, que l'irrigation répétée puisse avoir un effet érosif important au niveau de la parcelle par le biais du réseau des seguias. Il est nécessaire que ce travail soit réalisé sur l'ensemble de la campagne d'irrigation.
- Pour l'ensemble des exploitations, La conduite de l'irrigation, exige la mobilisation permanente d'un à deux ouvriers à raison de 9 h/jour pour des superficies allant de 0,3 à 0,5 ha. L'irrigation d'un hectare nécessite un minimum de 20 heures. Cette mobilisation de main d'œuvre gêne une partie des autres activités agricoles (entretien, récoltes....).

DEUXIEME PARTIE

INTRODUCTION

L'irrigation à la raie est une technique d'irrigation gravitaire parmi les plus anciennes et les plus répandues dans le monde. Elle est présente de nos jours sur environ 80% des superficies irriguées. Il existe une relation étroite entre système d'irrigation et cultures.

La souplesse et le confort apportés par les systèmes comme l'aspersion et le goutte à goutte ont incité les agriculteurs à s'investir peu à peu dans ces types d'équipements. Ce fut le cas entre autre en France, pays où la main d'œuvre représente d'une part un coût élevé et où d'autre part les problèmes de maintenance ne constituent pas un handicap majeur. C'est tout à fait le contraire dans les pays en voie de développement où les coûts d'énergie sont élevés. Pour toutes ces raisons les tentatives de passage à l'aspersion ou au goutte à goutte ont rencontré des difficultés de pérennisation dans ces pays. Tel fut le cas par exemple dans la plaine du Gharb au Maroc où les responsables de la gestion de l'eau ont préconisé un retour au gravitaire modernisé. L'exemple de cette plaine en est un parmi tant d'autres montrant à l'évidence que la gestion, l'aménagement des périmètres irrigués et le choix des modes d'irrigation, doivent prendre en compte les aspects socio-économiques (Mailhol, 2001). En Algérie, les contraintes d'approvisionnement en eau des superficies irriguées on conduit vers des choix d'équipement en système d'irrigation à efficience élevée et mobilisant peu de main d'œuvre (irrigation localisée), malgré les problèmes de coût de l'équipement, de l'énergie, du manque de maîtrise de la technique.

Par rapport à cette tendance, une autre voie est possible, c'est la modernisation de l'irrigation gravitaire. Cependant cette volonté de modernisation, ne consiste pas seulement à améliorer le rendement hydraulique net de l'arrosage des parcelles mais à réduire aussi la pénibilité du travail. En effet des techniques traditionnelles comme les micros raies, ont des rendements hydrauliques pouvant atteindre 80%. Ces techniques ont le mérite de pouvoir s'adapter à des conditions topographiques assez variées (flancs de coteaux) et à des conditions de planage très médiocres contrairement à la technique de la raie longue du système modernisé.

Par ailleurs, la modernisation du gravitaire parait à court terme incompatible avec les conditions socio-économiques de certains pays comme ceux du Maghreb, dans la mesure où cette modernisation entraînerait une réduction d'emplois. Cependant si l'on envisage le long terme, on peut s'interroger quant aux possibilités de maintien de pratiques d'irrigation telles que les micros - raies. Le choix d'un système d'irrigation doit résulter du meilleur compromis entre la ressource en eau (quantité et qualité), la main d'œuvre disponible, le sol et sa topographie (Mailhol, 2001).

Dans un contexte d'irrigation gravitaire modernisée, celui dans lequel nous nous plaçons, le planage des parcelles est incontournable. Actuellement les techniques de planage au laser garantissent un nivellement de qualité.

La modélisation peut aussi contribuer à l'amélioration des pratiques d'irrigation, après avoir vérifié que les conditions nécessaires (bon planage, système performant de distribution en tête) sont satisfaites.

Une pratique d'irrigation associe une méthode de pilotage, (celle-ci est relative à la prise de décision d'irriguer) à une conduite d'arrosage (raies avec colatures ou raies bouchées) avec son jeu de paramètres (débit, durée). La méthode de pilotage régit les conditions initiales du sol, lesquelles ont un impact direct sur les potentialités d'infiltration du sol et son corollaire l'avancement. Il apparaît donc fort peu pertinent que de vouloir améliorer la conduite indépendamment de la méthode de pilotage. Il importe enfin que la combinaison des différents paramètres à la fois liés à la conduite et au pilotage permette d'obtenir un niveau de rendement satisfaisant avec une variabilité acceptable.

Pour cela, le modèle qu'il convient de développer doit représenter les pratiques d'irrigation et permettre d'analyser leur impact sur la production et l'efficacité hydraulique à l'échelle de la parcelle et en même temps évaluer les risques de drainage excessifs souvent synonymes de lessivage d'azote.

Dans cette deuxième partie, nous allons en premier lieu présenter l'irrigation gravitaire à la raie avec ses différents paramètres. Nous verrons par la suite quels sont les modèles possibles de simulation et leurs solutions.

Nous proposerons pour le court terme, des moyens d'amélioration de la conduite des arrosages avec les micros - raies. Pour le moyen terme, nous proposerons des solutions pour la modernisation de l'irrigation gravitaire traditionnelle.

A/. L'IRRIGATION GRAVITAIRE MODERNE OU AMELIOREE

.1. L'IRRIGATION A LA RAIE

1.1. GENERALITES

Il nous parait utile de rappeler quelques aspects de caractère général sur l'irrigation à la raie. Nous décrivons en premier lieu le phénomène physique d'une irrigation à la raie, en identifiant les principaux facteurs déterminant les phénomènes de l'infiltration et de l'avancement et de leur influence sur la qualité hydraulique d'un arrosage (Gonzalez Camacho, 1991). Puis nous énoncerons les principes de l'évaluation et de l'amélioration d'une irrigation à la raie.

1.2. DESCRIPTION D'UNE IRRIGATION A LA RAIE

L'eau est délivrée à l'amont de la raie. Pendant son écoulement dans la raie, une partie du volume apporté s'infiltré dans le sol verticalement et latéralement en direction des billons où la culture est mise en place. L'infiltration est bidimensionnelle. En raison de cette infiltration, le débit diminue de l'amont vers l'aval ainsi que le tirant d'eau. Par ailleurs, l'infiltration instantanée ponctuelle décroît au cours du temps. La vitesse de déplacement du front d'avancée de l'eau décroît avec le temps et la distance. Elle dépend du débit en tête, de l'infiltration dans le sol et des conditions de l'écoulement en surface (rugosité, géométrie). Le front d'avancée se déplace jusqu'à ce qu'il atteigne l'extrémité de la raie. Lorsque cette extrémité n'est pas bouchée, l'eau ruisselle en colature (Gonzalez Camacho, 1991).

On coupe l'alimentation en tête lorsqu'on juge avoir apporté la dose utile à la culture pour la période considérée. Ensuite, l'écoulement en surface continue, la vitesse et le tirant d'eau observés en un point diminuent au cours du temps jusqu'à s'annuler. Ce phénomène se propage de l'amont vers l'aval. Le front de récession se déplace vers l'extrémité de la

raie. La topographie d'une raie n'étant jamais parfaite, de l'eau peut demeurer piégée en surface puis finit par s'infiltrer. D'après Basset (1980) le phénomène de l'écoulement dans une raie semble être l'écoulement transitoire graduellement varié.

1.2.1. LES PHASES D'UNE IRRIGATION A LA RAIE

Dans une irrigation à la raie nous identifierons les phases suivantes (figure 44).

1.2.1.1. LA PHASE D'AVANCEMENT

C'est la période au cours de laquelle le front d'avancement se déplace de l'amont vers l'aval de la raie.

1.2.1.2. LA PHASE D'ENTRETIEN

C'est la période comprise entre la fin de la phase d'avancement et la coupure de l'alimentation en tête de raie.

1.2.1.3. LA PHASE D'ÉPUISEMENT

C'est la fraction de la durée de l'arrosage, comprise entre la fin de l'alimentation en eau et le début de la récession en tête de raie.

1.2.1.4. LA PHASE DE RECESSION

C'est la fraction de la durée de l'arrosage comprise entre le début de la récession en tête de raie et la disparition complète de l'eau en surface dans toute la raie. En fait l'écoulement dans la raie se termine bien avant la disparition de l'eau en surface qui reste stockée en raison des variations topographiques tout le long de la raie.

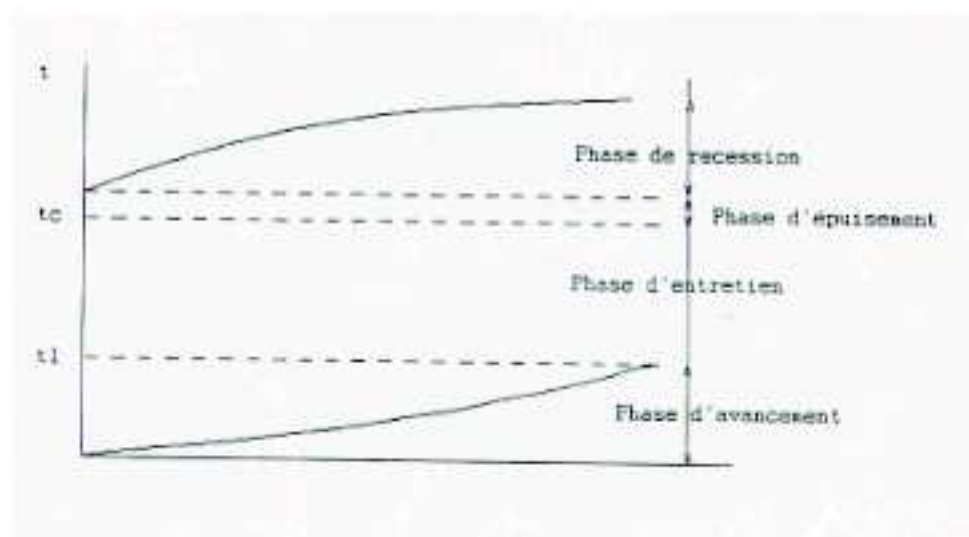


Figure 44 : Les différentes phases d'une irrigation à la raie (in Gonzalez Camacho, 1991)

1.2.2. LES FACTEURS INFLUENÇANT LE PROCESSUS PHYSIQUE

L'écoulement de l'eau en surface et dans le sol est influencé par des facteurs liés à l'hydraulique de surface tels que le débit, la pente, la rugosité, la géométrie de raies et des

facteurs liés à la physique du sol caractérisant l'infiltration. La connaissance de ces facteurs permet une formulation mathématique du processus couplé avancement - infiltration d'une irrigation à la raie. Cette formulation mathématique permet de déterminer les critères de qualité d'un arrosage. Dans une parcelle cultivée, ces facteurs présentent une variabilité spatiale et temporelle : hétérogénéité du débit délivré en tête due aux imperfections ou à un mauvais réglage du matériel de distribution, hétérogénéité de la pente due à un mauvais planage, hétérogénéité de la rugosité et de la géométrie des raies dues au travail du sol et enfin, la variabilité des caractéristiques hydrodynamiques du sol qui a été déjà étudiée entre autres par Nielsen et al (1973), Warrick (1977), Thirriot et Valiantzas (1978), Simmons et al (1979), Peck (1983), Vauclin (1983).

1.2.3. FORMULATION MATHÉMATIQUE DE L'ÉCOULEMENT EN SURFACE

1.2.3.1. L'ÉQUATION DE TRANSPORT DE L'EAU EN SURFACE

Les équations de Saint Venant s'expriment par :

- L'équation de continuité

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (26)$$

- L'équation dynamique

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \left[S_0 - S_f + \frac{V}{Ag} \frac{\partial I}{\partial t} \right] = 0 \quad (27)$$

Où :

- Q : le débit en tête de raie ($L^3 T^{-1}$)
- A : la section transversale à l'écoulement (L^2)
- g : l'accélération de la pesanteur ($L T^{-2}$)
- I : le volume infiltré par unité de surface ($L^3 L^{-2}$)
- x : la distance d'avancement de l'amont vers l'aval (L)
- S_0 : la pente de la raie ($L L^{-1}$)
- S_f : la pente de la ligne d'eau ($L L^{-1}$)
- V : la vitesse de l'écoulement en surface ($L T^{-1}$)
- t : le temps (T)

1.2.3.2. LOIS D'AVANCEMENT EMPIRIQUES

L'évolution du front d'avancement dans une raie a été représentée par des lois empiriques mettant en relation le temps de passage de l'eau à différentes abscisses le long de la raie.

$$t = p \quad (28)$$

$$t = \frac{1}{p} \ln \left[\frac{r}{r-x} \right] \quad (29)$$

$$t = p \left[e^{rx} - 1 \right] \quad (30)$$

$$t = \left[\frac{x}{p} \right] e^{rx} \quad (31)$$

Avec :

- t : le temps d'avancée à une abscisse donnée (T)
- x : l'abscisse le long de la raie (L)
- p,r : des constantes de calage

Conditions aux limites d'une loi d'avancement

$$x = f(t)$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} x = f(t) = 0 \quad \text{et} \quad \lim_{t \rightarrow \infty} x = f(t) = l \max$$

On peut aisément montrer que seulement l'équation 26 satisfait les deux conditions aux limites. Lorsqu'il ne s'agit que de réaliser un calage, on peut privilégier la loi qui s'ajuste le mieux aux données de terrain. Toutes ces lois s'ajustent en fait assez bien aux mesures de terrain.

1.2.3.3. LOI DE RECESSION EMPIRIQUE

Pour représenter le déplacement du front de récession la loi souvent utilisée est :

$$Xr = a(t_r - t_c)^b \quad (32)$$

Avec :

- Xr : la distance de récession à l'instant t donné
- (t_r - t_c) : le temps de récession après la phase d'entretien
- a, b : paramètres de calage

L'estimation des paramètres des équations précédentes peut être réalisée à partir de deux abscisses le long de la raie, généralement conseillée vers le milieu et la fin de la raie, ou bien à partir de l'ensemble de mesures par une procédure d'optimisation non linéaire. Notons

au passage que les mesures de récession, contrairement à celles de l'avancement, sont fortement entachées d'erreurs (arrêt de l'écoulement difficilement décelable).

1.2.4. REPRESENTATION DE L'ÉCOULEMENT SOUTERRAIN

1.2.4.1. GENERALITES

Ce phénomène est complexe à décrire mathématiquement, même dans l'hypothèse d'un milieu homogène et isotrope, ce qui est rarement le cas (fissuration). L'infiltration a fait l'objet de nombreuses études, entre autres, Green et Ampt (1911), Richards (1931), Philip et al (1974), Hillel (1980), Parlange (1982), Haverkamp et al (1988 ; 1990). L'infiltration est un phénomène inhérent au sol et dépend de ses caractéristiques, telles que la structure, la texture du profil, la teneur en eau et la charge hydraulique en surface. Dans le cas particulier d'une irrigation à la raie, l'infiltration peut également être influencée par les conditions de surface telles que le périmètre mouillé, la géométrie des raies, les résidus de la culture. La microfissuration et le travail du sol jouent un rôle important sur de nombreux sols, notamment à la première irrigation.

FORMULATION MATHÉMATIQUE DE 'ÉCOULEMENT DE L'EAU DANS LE SOL

On exprime la continuité par l'équation :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla \bar{q} \quad (33)$$

Où :

θ : la teneur en eau volumique ($L^3 L^{-3}$)

\bar{q} : la densité de flux volumique (LT^{-1})

Et la dynamique par l'équation de Darcy généralisée :

$$q = -K\nu(H) = -K\nu(h - z) \quad (34)$$

Avec,

K : la conductivité hydraulique (LT^{-1})

H : la charge hydraulique (L)

h : la pression effective de l'eau étant une fonction de la teneur en eau négative dans la zone saturée (L)

z : la profondeur, positive vers le bas (L)

En éliminant \bar{q} de (33) et (34), on obtient l'équation en (θ), ou équation de Fokker-Planck.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla \bar{q} = \nabla [D(\theta)\nabla(\theta)] + \nabla [K(\theta)\nabla(z)] \quad (35)$$

Et l'équation exprimée en (h), ou équation de Richards (1931)

$$C(h)\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla [K(h)\nabla(h)] + \nabla [K(h)\nabla(z)] \quad (36)$$

Où:

$D(\theta) = K(\theta)\frac{dh}{d\theta}$: la diffusivité ($L^2 T^{-1}$)

$C(h) = \frac{dh}{d\theta}$: la capacité capillaire (L^{-1})

La résolution de l'équation de Richards requiert au préalable la connaissance de la relation entre la teneur en eau volumique, la pression $[h(\theta)]$ et de la relation entre la teneur en eau volumique et la conductivité hydraulique $[K(\theta)]$. Ces relations souvent obtenues par des essais d'infiltrométrie très longs et délicats à mettre en œuvre sur le terrain, se heurtent aussi au problème de la représentativité spatiale et temporelle à l'échelle de la parcelle.

1.2.4.3. LOIS D'INFILTRATION EMPIRIQUES

Parmi les lois analytiques d'infiltration, celles qui sont empiriques sont toujours largement utilisées eu égard à l'inexistence actuelle des approches conceptuelles purement déterministes pour le cas de la raie. Ces lois empiriques expriment l'infiltration cumulée comme une fonction explicite du temps de séjour de l'eau en un point de la raie. Dans ce cas, le volume d'eau infiltrée varie en fonction du temps de séjour tout au long de la raie.

$$I = K t^a \text{ Kostiakov (1932) (37)}$$

$$I = K t^a + ct \text{ Kostiakov modifiée (38)}$$

$$I = S t^{1/2} + At \text{ Philip (1957) (39)}$$

$$I = ct + b(1 - e^{-rt}) \text{ Horton (1940) (40)}$$

Où :

I : la dose infiltrée ($L^3 L^{-2}$)

K, a, C : paramètres empiriques des lois type Kostiakov

S, A : paramètres de la loi de Philip

c, b et r : paramètres de la loi de Horton

En appliquant les conditions initiales et aux limites aux lois d'infiltration empiriques citées précédemment, nous pouvons aisément constater que :

La loi de Kostiakov (37) n'est pas bien adaptée pour les temps longs. Par contre la loi de Kostiakov modifiée (38) permet de résoudre le problème avec la valeur de c proche de K_s pour le temps long.

Dans le cas de la loi de Philip à deux paramètres (39), $q(t)$ tend vers $A \neq K_s$ lorsque t tend vers l'infini. Enfin pour la loi de Horton (40), $q(t)$ tend vers une constante $(c+br)$ lorsque t tend vers 0 au lieu de l'infini.

En irrigation à la raie, la formule de Kostiakov modifiée est largement utilisée pour représenter l'évolution du volume infiltré le long de la raie.

1.3. CRITERES CARACTERISANT LA PERFORMANCE D'UNE IRRIGATION A LA RAIE

Il existe plusieurs critères permettant d'évaluer la performance d'une irrigation à la raie. Ces critères servent à caractériser l'uniformité de la distribution de la dose apportée le long de la raie, le rendement hydraulique, l'efficacité des apports, les pertes en colature et par infiltration en profondeur.

1.3.1. CONCEPTS DE BASE

Avant d'introduire les critères de performance, rappelons les concepts de base suivant :

La dose moyenne apportée (D_a)

$$D_a = \frac{Q_0 t_c}{LE_c} \quad (41)$$

Où :

- Q_0 : le débit en tête de raies ($L^3 T^{-1}$)
- t_c : la durée d'alimentation (T)
- L : la longueur de la raie (L)
- E_c : l'écartement entre raies (L)
- D_a ($L^3 L^{-2}$) peut être déterminée si l'on connaît Q_0 et t_c

La dose moyenne infiltrée D_i

$$\bar{D}_i = \frac{1}{L} \int_0^L I(t_c - t_s) ds \quad (42)$$

Où :

$I(t)$: le volume infiltré par unité de longueur au temps t ($L^3 L^{-2}$)

T_s : le temps d'arrivée du front d'avancée à l'abscisse s (T)

\bar{D}_i ($L^3 L^{-2}$) ne peut être connue que si l'on connaît la loi d'infiltration et la loi d'avancée, ou bien le volume d'eau perdu en colature.

Où :

$I(t)$: le volume infiltré par unité de longueur au temps t ($L^3 L^{-2}$)

T_s : le temps d'arrivée du front d'avancée à l'abscisse s (T)

($L^3 L^{-2}$) ne peut être connue que si l'on connaît la loi d'infiltration et la loi d'avancée, ou bien le volume d'eau perdu en colature.

La dose nette infiltrée D_n

$$D_n = I(t_c - t_L) \quad (43)$$

$D_n = (L^3 L^{-2})$ est la dose infiltrée à l'abscisse L (fin de la raie), qui est l'endroit de la raie théoriquement le moins arrosé.

Avec :

- $t_c - t_L$: le temps d'humectation à l'abscisse L (T)
- $I(t_c - t_L)$: le volume total infiltré à l'instant $t_c - t_L$ ($L^3 L^{-2}$)

La dose requise D_r (44)

$D_r (L^3 L^{-2})$ est la dose nécessaire pour satisfaire les besoins en eau d'irrigation. Souvent, en l'absence d'information sur la dose requise, on la considère égale à la dose nette infiltrée en bout de raie.

La dose infiltrée dans le dernier quart D_i Q

$\bar{D}_{iq} (L^3 L^{-2})$ est la dose moyenne infiltrée dans le dernier quart de la raie

$$\bar{D}_{iq} = \frac{1}{0,75} \int_{3/4L}^L I(t_c - t_s) ds \quad (45)$$

Dose infiltrée dans la zone racinaire (Dir)

$Dir (L^3 L^{-2})$ est exprimée par :

$$D_{ir} = \frac{2}{3} (CC - PFP) D_s P_r \quad (46)$$

Avec :

- CC : la capacité au champ
- PFP : le point de flétrissement permanent
- D_s : la densité sèche
- Pr : la profondeur racinaire

1.3.2. DEFINITION DES CRITERES DE PERFORMANCE D'UNE IRRIGATION A LA RAIE

Plusieurs critères ont été proposés Christiansen (1942), Hansen (1960), ICID (1978) pour l'évaluation ou la détermination de la performance d'un arrosage.

1.3.2.1. UNIFORMITE DE LA DOSE APPORTEE

Pour estimer l'uniformité de la dose apportée tout le long de la raie, on dispose de trois critères couramment utilisés dans la pratique de l'irrigation à la raie selon qu'on

considère soit un seul point de la raie (théoriquement le moins arrosé), soit la totalité de la raie, soit le dernier quart de la raie.

- L'uniformité d'arrosage est définie par :

$$UD = \frac{D_n}{D_i} \quad (47)$$

Soit le rapport entre la dose nette infiltrée en bout de raie et la dose moyenne infiltrée.

- Le coefficient de Christiansen (1942)

$$C_U = \left[1,0 - \frac{\sum |dk - \bar{D}_i|}{n\bar{D}_i} \right] \quad (48)$$

Avec :

$|dk - \bar{D}_i|$: la différence en valeur absolue entre la dose infiltrée dk en un certain point k et la dose infiltrée \bar{D}_i

n : le nombre d'abscisses k choisies

- L'uniformité de la dose apportée dans le dernier quart

$$UD_q = \frac{D_{1q}}{D_i} \quad (49)$$

- Le rendement hydraulique de l'arrosage

Le rendement hydraulique d'une irrigation à la raie peut être défini, en fonction de la fraction de raie utilisée:

- Le rendement net

$$R_n = \frac{D_n}{D_a} \quad (50)$$

- Le rendement hydraulique moyen

$$Rhm = \frac{\overline{D_i}}{D_a} \quad (51)$$

- Le rendement hydraulique dans le dernier quart

$$RHq = \frac{D_{iq}}{D_a} \quad (52)$$

- Le rendement hydraulique potentiel du dernier quart de la raie

$$RHq = \frac{D_r}{D_a} \quad (=D_{iq}/D_a \text{ si la dose requise est apportée dans le dernier quart}) \quad (53)$$

- Le taux de pertes en colature

$$PC = 1 - \frac{\overline{D_i}}{D_a} \quad (54)$$

- Le taux de pertes par infiltration en profondeur

$$PIp = \frac{\overline{D_i - D_r}}{D_a} \quad (55)$$

- L'efficacité de stockage

Hanssen (1960) propose le rapport suivant :

$$Es = \frac{D_{ir}}{D_r} \quad (56)$$

On observe que lorsque la dose nette en bout de raie est égale à la dose requise, l'efficacité de stockage est égale à 1.

1.3.3. RELATION ENTRE LES CRITERES DE PERFORMANCES D'UN ARROSAGE

1.3.3.1. RELATION ENTRE LE RENDEMENT HYDRAULIQUE POTENTIEL, LE TAUX DE PERTE EN COLATURE ET L'UNIFORMITE D'ARROSAGE DANS LE DERNIER QUART DE RAIE

Concernant le dernier quart de la raie (théoriquement le moins arrosé) ces trois critères sont liés par la relation, si la dose requise est apportée dans le dernier quart ($D_{iq} = D_r$).

$$RHq = UDq (1-PC) \quad (57)$$

1.3.3.2. RELATION ENTRE LE RENDEMENT HYDRAULIQUE POTENTIEL, LE TAUX DE PERTE EN COLATURE ET LE TAUX DE PERTE PAR INFILTRATION EN PROFONDEUR

On peut montrer aisément que ces trois critères sont exprimés par la relation suivante :

$$RHq = 1 - (P + P_{lp}) \quad (58)$$

1.4. EVALUATION DE LA QUALITE D'UNE IRRIGATION A LA RAIE

Nous considérons ici le cas concret d'une parcelle irriguée à la raie, à débit unique, avec des raies pentues et non bouchées à l'aval. Comment évaluer, à l'aide des critères précédemment définis la performance de l'arrosage ?

L'estimation de la dose infiltrée permet de calculer l'uniformité d'arrosage et le rendement hydraulique, et d'apprécier ainsi la qualité de l'arrosage.

Pour un couple (débit, temps d'arrosage) donné, l'évaluation consiste donc à mesurer le volume d'eau apporté, le volume stocké (très souvent estimé), et le volume d'eau écoulé en colature ; un bilan de masse permet ensuite de déduire le volume d'eau total infiltré. A partir de ces mesures, on peut évaluer la qualité moyenne de l'arrosage, mais cela ne nous permet pas de connaître la répartition de la dose infiltrée le long de la raie.

La modélisation se propose d'en donner une estimation. On effectue pour cela des mesures des temps d'avancées à différentes abscisses le long de la raie et au moyen d'un modèle simplifié fondé sur l'équation du bilan en volume, on peut identifier les paramètres de la loi d'infiltration cumulée. Cette identification peut s'effectuer soit sur la phase d'avancement seule, soit sur la durée totale de l'arrosage. Avec la loi d'infiltration ainsi identifiée, les critères de qualité (uniformité d'arrosage, rendement net, etc.) peuvent être aisément déterminés.

On s'aperçoit que les résultats de l'évaluation seront tributaires de la raie choisie. La question que l'on se pose à l'issue d'une évaluation est : Quelle est la représentativité des critères de qualité ainsi estimés ? Ou bien, quelle est l'incertitude des paramètres identifiés, à l'échelle de la parcelle ? Ou encore, comment tenir compte de cette incertitude pour améliorer la conduite des arrosages ? On constate donc l'intérêt d'étudier le problème du point de vue stochastique.

1.5. AMELIORATION DE LA QUALITE D'UNE IRRIGATION A LA RAIE

1.5.1. BUTS D'UNE CONDUITE OPTIMALE

La conduite d'une irrigation à la raie est considérée comme optimale lorsqu'elle satisfait simultanément plusieurs objectifs :

- Le volume d'eau infiltré permet de couvrir les besoins en eau d'irrigation entre arrosages (éviter une chute de rendement) ;
- Ce volume ne dépasse pas la capacité de stockage du profil racinaire (percolation et lessivage d'engrais négligeables) ;
- L'arrosage induit une perte minimale en colature et il limite les risques d'érosion.

Traduite en terme de critères, la conduite optimale cherche à rendre minimales les pertes en eau (colature et infiltration en profondeur) en maximisant le rendement hydraulique et l'uniformité pour une dose nette requise donnée.

Certains critères empiriques ont été avancés : Merriam (1978) propose une valeur "idéale" du rapport entre le temps d'arrivée en bout de raie et le temps d'entretien nécessaire pour apporter la dose requise :

$$t_I = \frac{1}{4} t_R \quad (59)$$

Le Soil Conservation Service, SCS, cité par Merriam (1978) préconise que la dose minimale requise soit apportée à $7/8^{\text{e}}$ de L (L : longueur de la raie) pour avoir une conduite optimale. Ces critères sont de caractère empirique et ne sont pas valables pour tous les types de sols, notamment sur des sols fissurés.

1.5.2. METHODE D'OPTIMISATION

Il faut utiliser une technique de simulation dans laquelle on peut faire varier le couple (débit, temps d'arrosage) pour déterminer à l'aide de critères, l'arrosage optimal. Cependant l'inadéquation de lois d'infiltration pour prendre en compte les conditions initiales du sol représente une forte limitation.

Dans la pratique, les seules variables qui peuvent être modifiées au cours d'un arrosage sont le débit et la durée de l'arrosage. Nous supposons que la dose requise est déterminée par la culture et les conditions pédoclimatiques et que les caractéristiques hydrauliques du système telles que la pente, la géométrie, l'écartement et la longueur des raies sont fixées.

2. LA MODERNISATION DE L'IRRIGATION GRAVITAIRE

2.1. BASES DE LA MODERNISATION

Le passage de l'irrigation à la raie longue traditionnelle vers l'irrigation à la raie moderne (photo 26) nécessite un affinement de la topographie de la parcelle (pente). Le planage est une étape obligatoire. Il permet la mécanisation de l'irrigation à la raie en utilisant des siphons tubulaires, des gaines souples perforées, des rampes à vannettes, le système californien (tuyau enterré avec cannes), la trans irrigation de surface ou enterrée pour l'alimentation en tête. Ce matériel moderne d'irrigation de surface permet de rationaliser la conduite des apports et la qualité du travail est nettement améliorée (contrôle du débit, efficacité de l'irrigation, arrosages de nuit, etc.). Une fois la mise en eau effectuée (ouverture des vannettes, amorçage des siphons) l'agriculteur ne revient sur sa parcelle que pour changer de poste d'arrosage ou couper l'alimentation. La majorité des équipements, exceptés les siphons, permet également l'automatisation de la distribution de l'eau en tête de raies. Aux USA, où les longueurs des parcelles peuvent dépasser 600 m, un marché des automatismes s'est développé, constitué de vannes programmables équipées de capteurs solaires.



Photo 26 : Conduite de l'irrigation gravitaire à la raie traditionnelle à gauche et de l'irrigation gravitaire moderne à droite

Source : CEMAGREF ; 1990

2.2. LE PLANAGE

Il permet d'avoir des raies suffisamment longues pour faciliter les opérations culturales et diminuer les temps de main d'œuvre. Cette longueur doit cependant être compatible avec l'infiltration et le débit délivré en tête de raie. Le planage au laser permet actuellement d'obtenir un nivellement de très faible pente. Les pentes obtenues sont de l'ordre de 1 ; 2 ou 3 pour mille.

C'est une pratique très répandue aux USA, en Espagne, en France et dans d'autres pays à travers le monde. En Algérie une expérience a été tentée par l'AGID en 1985, mais sans suite, dans le cadre de travaux de planage pour un réseau de drainage souterrain. Le Maroc est à notre connaissance le seul pays du Maghreb à avoir réalisé des travaux de planage pour l'irrigation sur des terres agricoles dans les périmètres irrigués du Tadla, du Gharb, des Doukkala, durant la décennie 90. Cela a concerné plusieurs milliers d'hectares dans un objectif d'amélioration de l'irrigation gravitaire.

Nous citerons l'expérience de ce pays dont le contexte et les pratiques agricoles sont proches des nôtres.

En 1993, l'USAID a initié au Maroc le projet management des ressources du Tadla (Allen, 1994). Ce projet vise à améliorer l'efficacité et la durabilité de l'agriculture irriguée dans le Tadla. Les réalisations de nivellement par laser faisaient partie de ces financements. La plaine du Tadla est constituée de petites exploitations agricoles. La majorité des agriculteurs (81%) possèdent 5 hectares, voire moins, et cultivent 41% des terres du projet. L'irrigation des parcelles de terrain cultivées, habituellement d'un hectare ou moins, s'effectue par la méthode de la Robta (micro - raie). Cette méthode traditionnelle est pratiquée dans 98% des terres du périmètre.

Le planage a abouti à la réalisation de parcelles ayant une pente d'environ 2 m / 1000 dans la direction du canal tertiaire et de 1 m / 1 000 dans l'autre direction. Il y avait un potentiel de 33 165 ha à niveler qui fut revu à la baisse dans la mesure où les parcelles d'arboriculture n'étaient pas concernées.

Considérations techniques

L'expérience Marocaine dans le domaine du planage amène les remarques suivantes : La profondeur du sol constitue un facteur important lors de la réalisation de déblais dans le sol pour niveler les champs. Il importe que les déblais ne s'étendent pas dans les zones de terrain improductives, ce qui peut réduire les rendements pour de nombreuses

années. Dans les parcelles mises en œuvre dans les exploitations agricoles, les déblais ne dépassaient jamais 15 cm. Pour 1 hectare typique, le déblai est d'environ 15 cm, lorsque les inclinaisons normales existant dans les champs sont exploitées. Pour niveler un bloc de 2 ha, le déblai serait de 20 cm à peu près. Pour cette raison il n'est pas recommandé de niveler des superficies de plus de 2 ha en même temps, et d'installer des bassins à fond plat dans des zones dont la profondeur du sol est en dessous de 40 cm. Une étude de la durée de temps requise pour niveler les blocs montre combien le volume de terre et le temps de voyage affectent les taux de nivellement du sol. Il faut environ 2,5 heures pour niveler un bloc d'un hectare et près de 8 heures pour un bloc de 2 hectares. Il est plus économique de niveler un hectare à la fois. L'uniformité maximale de distribution de l'eau est traditionnellement de 53%. Avec un nivellement laser elle passe à 80%. La caractéristique des périmètres concernés est que 81% des exploitations y ont moins de 5 ha, cela pose le problème d'accès au gros matériel de planage. Pour cela, de petites unités de planage seraient mieux opérationnelles. Il a été estimé qu'une petite unité de réalisation de planage, comprend 2 tracteurs d'une puissance fiscale de 100 Cv, 1 scraper éjecteur de 2,1 m de largeur pouvant soulever et porter 3 mètres cubes de terre, 1 scraper à lame traîneuse de 3,1 m de largeur, 1 véhicule de service (photo 27).



Photo 27 : Tracteur traînant un scraper sur lequel est positionné sur le mat un récepteur laser MD 10

Source : www.topo2000.fr

Cette unité nivelle une moyenne de 600 ha /an avec un coût de 1725 Dirham (prix de 1997 : 1 euro= 15 DH = 94 DA), actuellement il est compris entre 3 000 et 4 000 DH. L'aide de l'Etat Marocain pour les agriculteurs est de 400 DH/ha.

Les incidences économiques du planage :

Il est prévu que les profits des cultures augmentent d'environ 20% dont 10% seront engendrés par des rendements accrus et 10% par l'augmentation de surface cultivée. L'augmentation de la surface cultivée résulte du fait que le sol est pris pour la construction de seguias et de billons nécessaires au système Robta.

Les coûts de production baissent de 10 % au titre du travail mécanique, 5% pour les plants et l'amélioration des sols et 5% pour la main d'œuvre agricole.

Les besoins en eau de surface estimés à 1 200 m³ pour le système Robta sont de 900 m³ pour le système modernisé.

A l'intérieur du périmètre du Tadla, l'accroissement des rendements des cultures par l'usage de surfaces nivelées par laser dépasse en moyenne 60% en ce qui concerne les oignons et le blé.

Il est recommandé pour maintenir un profit intéressant de procéder au surfaçage des sols tous les 5 ans.

2.3. LES EQUIPEMENTS DE DISTRIBUTION DE L'EAU EN TETE DE RAIES

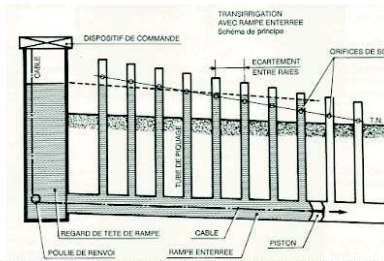
Nous en avons parlé précédemment. Ils sont destinés à diminuer les charges de main d'œuvre, spécifiques au gravitaire ; faire face à la disparition du personnel expérimenté, d'améliorer les conditions de travail au champ ; de maîtriser la conduite des arrosages (Rieul, 1990). Il s'agit des équipements par rampes à vannettes, gaines souples, trans irrigation, système californien qui ne nécessitent aucun amorçage. Ils permettent la mécanisation des différentes opérations de distribution d'eau en tête de parcelle sans une mobilisation conséquente d'ouvriers. Ils permettent d'irriguer plusieurs raies en même temps. Le temps d'irrigation étant long (plusieurs heures) l'ouvrier peut procéder à d'autres travaux après la mise en eau. L'autre avantage est qu'ils permettent également l'automatisation du démarrage et de l'arrêt des irrigations.

Les siphons tubulaires permettent également d'alléger le travail des irrigants. Ils exigent cependant d'être amorcés à chaque démarrage des irrigations. Ils se désamorcent également très facilement à cause des débris circulant dans les canaux de transport d'eau et de ce fait ne peuvent autoriser une automatisation des irrigations.

Les photos suivantes, présentent l'ensemble de ces équipements (photo 28).



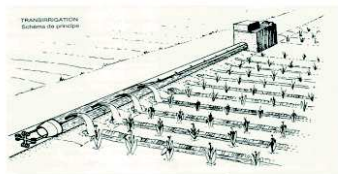
Système de distribution par rampes à vannettes (gauche) et gaine souple (droite)



Système transirrigation enterré (schéma de principe)



Système transirrigation enterré



Transirrigation de surface



Système californien ou tuyau enterré avec cannes (gauche) et système alimentation des raies par siphonage (droite)

Photos 28 (CEMAGREF, 1990)

3. LES MODELES D'AIDE A LA DECISION

3.1. INTRODUCTION

Un nombre conséquent de modèles en irrigation à la raie ont été développés ces deux dernières décennies. Les modèles simulant le phénomène couplé avancement infiltration peuvent se classer en 2 catégories : les modèles de type hydrodynamique et les modèles de type hydrologique (Mailhol, 2001). Selon Mailhol (2001), les difficultés à aborder la modélisation de l'irrigation à la raie peuvent se résumer ainsi : une infiltration de type bi-dimensionnel, des conditions initiales et aux limites à la fois variables dans l'espace et dans le temps, des paramètres hydrodynamiques difficiles d'accès et en outre évoluant d'un arrosage à l'autre (surtout entre premier et deuxième arrosage). Elles expliquent pour l'essentiel l'intérêt suscité par les approches empiriques toujours en vigueur pour traiter du

problème de l'infiltration avec un effort d'analyse plutôt tourné vers les aspects considérés plus maîtrisables de l'écoulement de surface.

Les façons d'aborder la modélisation de l'irrigation à la raie, trouvent des difficultés à s'appliquer au cas des micros – raies. Le processus avancement infiltration ne peut être suivi ni analysé entre la tête et la fin de la micro raie vu sa longueur.

3.2. LES CLASSES DE MODELES

3.2.1. LES MODELES HYDRODYNAMIQUES

Ces modèles résultent du couplage des équations de St Venant complètes :

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Z}{\partial x} = 0 \quad (60)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial P}{\partial x} = A s_0 - D$$

Où :

Q : débit entrant

A : section mouillée

Z : volume infiltré par unité de longueur

P : pression hydrostatique = $\int A dy$

s_0 : pente

D : force de frottement = AS_f avec $S_f = \frac{Q^2}{A^2} \frac{n^2}{R^{4/3}}$, n= coefficient de Maning,

R = rayon hydraulique, pour décrire l'écoulement à surface libre avec un modèle d'infiltration

R = rayon hydraulique, pour décrire l'écoulement à surface libre avec un modèle d'infiltration.

Pour la plupart des applications il n'est pas justifié d'utiliser la solution complète de St Venant.

Les équations de St Venant complètes ou non, n'ayant pas de solution analytique (à l'exception de l'onde cinématique dans certaines conditions), le résultat de ce couplage aboutit donc à un modèle numérique quelque soit le modèle d'infiltration choisi. Des schémas numériques adaptés au problème de l'avancement sur front sec ont été proposés (Stelkoff et Katapodes, 1977 ; in Mailhol, 2001). C'est au niveau de l'approche choisie pour décrire le processus d'infiltration que se fait la distinction entre modèles dits mécanistes, mettant en jeu des paramètres ayant un sens physique et modèles empiriques. Le modèle d'infiltration encore de nos jours le plus communément utilisé dans le couplage avec une des solutions numériques de St Venant est représenté par la loi empirique de Kostikov modifiée $I = k \tau^c + c_0 \tau$

Où :

I : est l'infiltration cumulée (m^3m^{-1} ou L/m)

K ($L/m/mn^4$),

a (mn^{-1})

c_0 ($L/m/mn$) des paramètres empiriques

τ : le temps de présence de l'eau à l'abscisse x

Peu de travaux pour le cas de la raie abordent le couplage des équations de St Venant au modèle de Richards (Richards, 1931 ; in Mailhol, 2001) utilisés pour décrire l'hydrodynamique du milieu poreux non saturé dont l'expression en terme de diffusivité capillaire $D(\theta)[L^2T^{-1}]$ est donnée dans le cas monodimensionnel (Z) par :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial Z} \right] - \frac{dK}{d\theta} \frac{\partial \theta}{\partial Z} \quad (61)$$

Avec :

θ : Teneur en eau volumique en cm^3/cm^3

$K[L T^{-1}]$: La conductivité hydraulique.

Relevant essentiellement de la compétence des numériciens, l'intérêt du couplage paraît très faible comparé à sa difficulté de réalisation.

3.2.1.1. APPROCHE ANALYTIQUE DE L'INFILTRATION POUR LE CAS BIDIMENSIONNEL DE LA RAIE

Les solutions analytiques ou semi analytiques adaptées à la simulation de l'infiltration en irrigation, sont peu nombreuses. Comme pour le cas monodimensionnel, elles dérivent toutes de l'équation (61).

Berthomé (1991) met en œuvre une solution approchée de l'équation de Richards qu'il exprime dans un système de coordonnées polaires. Les équations différentielles auxquelles il aboutit sont résolues par les techniques itératives développées par Parlange (1971). Ces méthodes de résolution le conduisent à deux approximations de la solution. La première donne de bons résultats en ce qui concerne l'infiltration cumulée alors que la deuxième améliore la connaissance de l'évolution du profil d'humidité au prix cependant de temps de calcul beaucoup plus élevés.

Schimtz (1993) selon Mailhol (2001) propose également une solution semi analytique de complexité et de temps de calcul susceptible d'envisager le couplage avec le modèle de surface (de type zéro inertie). Le modèle FURNIF, semi analytique concernant l'infiltration est intéressant dans l'optique d'un couplage possible avec une solution simplifiée de St Venant de type zéro inertie ou onde cinématique.

L'approche mécaniste ne s'applique pas aux sols susceptibles d'invalider le modèle de Richards comme les sols fissurés. Cela exclut une grande majorité de sols, le gravitaire ayant en outre la particularité de favoriser l'apparition des fissures dès que le taux d'argile atteint 25% (Mailhol et Gonzalez, 1993).

Les changements de pentes dus aux conditions de travail du sol induisent bien souvent des érosions partielles (surtout lors du premier arrosage) modifiant la géométrie de la raie et les caractéristiques locales de l'infiltration. Si l'on ajoute à cela les problèmes posés par la variabilité spatiale et temporelle des caractéristiques hydrodynamiques du sol, on comprend que l'approche empirique puisse occuper encore de nos jours une place importante dans la modélisation de l'irrigation à la raie.

3.2.2. LES MODELES DERIVES DE L'APPROCHE HYDROLOGIQUE (OU APPROCHE "BILAN- VOLUME")

Cette classe de modèles se fonde sur la conservation de la masse, les phénomènes d'inertie et de quantité de mouvement mis en jeu dans l'écoulement de surface sont totalement négligés dans cette approche. L'importance de ces phénomènes liée au débit et au système d'alimentation des raies, s'atténue rapidement dans le sens amont aval, pour devenir négligeable. On a pu en outre observer que la ligne d'eau est quasiment parallèle au fond de la raie 30 à 50 cm à peine en amont du front (Girousse, 1987 ; in Mailhol, 2001). L'équation sur laquelle se fondent ces modèles a été proposée par Lewis et Milne (1938) pour le cas de la planche et étendue au cas de la raie.

$$Qt = \alpha A_0 x(t) + \int_0^s I(t - t_s) ds \quad (62)$$

Dans cette équation :

- Qt : est le volume entrant en litres
- $\alpha A_0 x(t)$: le volume stocké en surface à l'instant t
- $I(t - t_s) ds$: le volume d'infiltration par unité de longueur fonction de la position s et du temps d'opportunité $t - t_s$, où t_s est le temps pour atteindre s , $x(t)$ étant la position du front à l'instant t

Dans le cas d'une raie alimentant à son extrémité aval un fossé de colatures, il faut ajouter à cette équation le volume perdu en colatures lorsqu'on entame la phase d'entretien. La question que l'on peut se poser est la suivante : le phénomène d'avancement de l'eau ne contribuerait-il pas à accroître l'infiltration en phase d'avancement ? C'est la thèse de certains chercheurs (Nance et Lambert, 1970 ; Fangmeier et Ramsey, 1978 ; Bautista et Wallender, 1985 ; Izadi et Wallender, 1985 in Mailhol, 2001) qui ont en effet mesurés des infiltrations plus élevées lors de tests d'infiltration réalisés en conditions d'écoulement (le cas réel de la raie) que lors de test réalisés en conditions d'eau stagnante (raies bloquées). Trout (1992) mentionne cependant que les processus érosifs dont peuvent faire l'objet certains sols entraînent une diminution de l'infiltration par formation d'une croûte en surface. Dans

ce contexte, l'effet d'augmentation de l'infiltration due à celle du périmètre mouillé, résultant d'une augmentation du débit (et en conséquence de la vitesse), serait contrecarré par l'accroissement des dépôts d'érosion. Des vitesses d'avancement élevées, essentiellement en amont des raies, peuvent favoriser la pénétration de l'eau en déplaçant les particules fines qui obstruent les macro pores entraînant ainsi une augmentation de l'infiltration.

La méthode consistant à déduire les paramètres de l'infiltration à partir de l'avancement est cependant loin d'être exempte de problèmes. Ces problèmes sont d'une part liés au caractère empirique des modèles d'infiltration généralement utilisés, condamnant leurs

paramètres à une certaine dépendance à la durée de calage, d'autre part à l'inégale importance de ces paramètres dans la phase d'avancement.

4. EXPERIMENTATIONS EN STATION DE L'INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE.

4.1. CARACTERISTIQUES GENERALES

Avant d'aborder l'aspect conduite des expérimentations à l'INA, il est important de préciser certains points.

L'évaluation d'un arrosage peut porter soit sur la totalité d'une parcelle, soit sur un poste, soit sur une raie. Plus l'échelle est importante, moins grande est la précision. On se limite ici à l'étude d'une seule raie, préalable indispensable à une évaluation sur une plus grande échelle d'une part, et à une meilleure connaissance des phénomènes physiques d'autre part. Pour se rapprocher des conditions réelles d'arrosage, il faut également alimenter les raies voisines de la raie support de l'expérimentation. Dans le cas des essais que nous allons présenter par la suite, on a retenu d'alimenter une seule raie tampon de part et d'autre de la raie suivie. Les trois raies ainsi définies ont des caractéristiques voisines.

4.2. METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

Les essais ont été menés sur des raies courtes de 30 m et 60 m de long, durant deux années sur une parcelle de la station expérimentale de l'Institut, alimentée en eau par une vanne reliée au réseau général de distribution (annexe 30, p. 293).

4.2.1. BUTS DES EXPERIMENTATIONS

Les expérimentations menées en 1998 et 2000 visaient les objectifs suivants :

- Acquisition de données concernant les variables hydrauliques de surface telles que les débits délivrés en tête des raies et les temps de passage du front d'avancement à différentes abscisses au cours d'un arrosage, afin de quantifier la variabilité de ces facteurs et d'étudier leur incidence sur l'évaluation de la qualité d'un arrosage ;
- Acquisition de données concernant les débits en colature pendant la phase d'entretien en vue d'alimenter des modèles pour des simulations sur raies ouvertes et bouchées afin de déterminer la longueur optimum utilisable avec de tels débits ;
- Relevés de mesures pour déterminer les profils d'humidité afin d'estimer les conditions initiales du sol avant les arrosages et les doses apportées au cours de ces arrosages ;
- Suivi des tensions de l'eau dans le sol afin de proposer un mode de conduite optimum des irrigations alliant fréquences des arrosages et gestion rationnelle de l'eau ;

4.3. CARACTERISTIQUES DU SITE EXPERIMENTAL

4.3.1. LOCALISATION

L'INA est située sur le plateau de Belfort (Hassan Badi) partie du Sahel Algérois. Le climat y est de type méditerranéen à longue période de sécheresse estivale (mai, juin, juillet,

août). Les températures en été sont élevées dépassant les 30°C, une demande climatique importante (une ETP de 1 106 mm en 1998 ; 1 317 mm en 2000 et une valeur moyenne de 1 152 mm sur 20 ans [1974 à 1994]), l'existence de vents desséchants comme le sirocco qui augmente la demande évaporative de l'air. L'irrigation est par conséquent indispensable.

4.3.2. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SOL DE LA PARCELLE

4.3.2.1. PEDOLOGIE

Les sols de la parcelle sont de texture argilo limono sableuse à Limono argilo sableuse. Les analyses granulométriques ont été réalisées au département des Sciences du Sol en 1997 (INA), à partir d'échantillons prélevés sur 5 sites. Les résultats montrent une assez bonne homogénéité texturale, argilo limoneuse dans les 40 premiers centimètres puis limono argileuse à argilo limoneuse entre 40 et 100 cm (tableau 41). Ces sols sont caractérisés par l'apparition de fentes de retrait lorsqu'ils se dessèchent (annexe 31, p.294). Ce phénomène de fentes de retrait étant accentué par le mode d'irrigation gravitaire.

N°de poste	Prof.	Arg %	Limón F%	Limón G%	Sable F %	Sable G%	Classification %	OBS
GP I	0-20 cm	29	13	37.28	11.12	9.06	A-L*	Argilo Limoneux
	20-40 cm	22	35.5	25.07	5.55	11.79	A-L	
	40-60 cm	24	49	2.66	19.88	4.26	L**	
	60-80 cm	14.5	27.5	33.21	10.2	14.60	L	
	80cm-1m	39.5	22.5	21.3	8.80	7.9	L-A***	
GP II	0-20 cm	43.5	28	10.24	7.76	10	A****	Argilo Limoneux
	20-40 cm	24.14	32	9.02	11.14	23.42	L	
	40-60 cm	25.5	24.46	17.66	14.62	17.82	L-A	
	60-80 cm	53.27	20.76	4.93	10.7	10.4	A	
	80cm-1m	45.70	13.9	13.60	15.73	11.60	A	
GP III	0-20 cm	44.5	25.62	4.8	22.1	3.0	A	Argilo Limoneux
	20-40 cm	19.80	14.22	21.04	11.2	33.4	L	
	40-60 cm	21.3	15.27	33.5	10.31	19.04	L	
	60-80 cm	42.51	16.69	6.9	10.4	23.10	A	
	80cm-1m	45.7	23.69	9.92	12.3	8.61	A	
GP IV	0-20 cm	23.48	14.54	30.74	14.8	16.4	L	Argilo Limoneux
	20-40 cm	42.4	31.98	5.58	8.60	11.33	A	
	40-60 cm	24.41	21.86	8.83	19.23	25.38	L	
	60-80 cm	55.32	21.67	5.71	1.87	15.88	A	
	80cm-1m	56.02	12.1	1.85	16.1	13.92	A	
GP V	0-20 cm	21.33	13.42	17.60	17.0	30.67	L	Argilo Limoneux
	20-40 cm	43.5	26.42	13.8	1.2	15.1	A-L	
	40-60 cm	41.01	18.46	9.1	19.08	12.44	A	
	60-80 cm	41.50	16.01	8.77	10.12	23.6	A	
	80cm-1m	49	13.04	13.04	5.34	12.92	A	

Tableau 41 : Résultats des analyses physiques du sol de la parcelle (station INA ; 1997)

AL* : Argilo limoneuse ; L** : Limoneuse ; LA*** : Limono argileuse ; A**** : Argileuse

4.3.2.2. DENSITE

La densité a été mesurée à 15 cm, 35 cm et 55 cm de profondeur (tableau 42). La couche de sol de 0 à 15 cm se distingue nettement des couches 15 cm à 35 cm et 35 cm à 55 cm.

Tableau 42 : Valeurs de la densité apparente à trois profondeurs (15 cm, 35 cm, 55 cm) Bloc C sites amont, milieu et aval. Station INA, essai 1998 (figure 49)

Sites	N° des prélèvements	15 cm	35 cm	55 cm
Amont	16 17 18 19 20	1.43 1.49 1.41 1.44 1.48	1.54 1.57 1.54 1.55 1.54	1.53 1.61 1.52 1.57
Milieu	21 22 23 24 25	1.45 1.44 1.40 1.38 1.40	1.54 1.56 1.55 1.60 1.54	1.53 1.52
Aval	26 27 28 29 30	1.48 1.47 1.49 1.49 1.48	1.54 1.55 1.56 1.58 1.57	1.56 1.55

4.3.2.3. CAPACITE AU CHAMP ET POINT DE FLETRISSEMENT

La teneur en eau aux différentes valeurs de pression figure au tableau 43. Elle permet la détermination de la capacité au champ et du point de flétrissement du sol de notre site. La disponibilité de l'eau du sol est alors exprimée à partir des valeurs de RU et de RFU.

		Teneur en eau volumique (%)		
		profondeur en cm		
PF	Pression (bar)	15 cm	35 cm	55 cm
1,6	0,04	30,2	32,48	36,16
2,5	0,32	24,35	24,74	27,6
2,7	0,502	22,6	23,58	25,5
4,2	16	12,89	14,48	15,8
4,45	28,2	11,1	12,96	14,07

Tableau 43 : Teneur en eau volumique du sol en fonction de la pression et de la profondeur. Station INA, essai 1998

4.3.3. TOPOGRAPHIE ET CARACTERISTIQUES DES RAIES

La parcelle expérimentale a une pente moyenne dans le sens des raies de 0,002 m/m. La section transversale des raies au démarrage des deux campagnes d'arrosage présente une géométrie trapézoïdale, avec une largeur moyenne de 40 cm, une hauteur de 15 cm et une largeur du lit de 20 cm. L'écartement des raies est de 1,20 m. La parcelle a une forme rectangulaire. Pour les essais de 1998 nous avons travaillé sur des raies de 30 m de long, et pour ceux de 2000, sur des raies de 60 m de long. La culture en place durant les deux années est celle de tomate industrielle variété *Pico de Aneto*. La parcelle expérimentale est divisée en 3 blocs, constitués chacun de 2 parcelles élémentaires comprenant chacune 3 raies (figures 49 et 50).

4.3.4. DONNEES CLIMATIQUES

Les données climatiques figurent en annexes 32 et 33, p. 295 et 296.

L'histogramme des pluies annuelles sur 34 ans montre que l'année 1998 (600 mm) est une année proche de la moyenne annuelle calculée sur 34 ans (660 mm), l'année 2 000 (240 mm) est celle où il a plu le moins sur la période observée (figure 45).

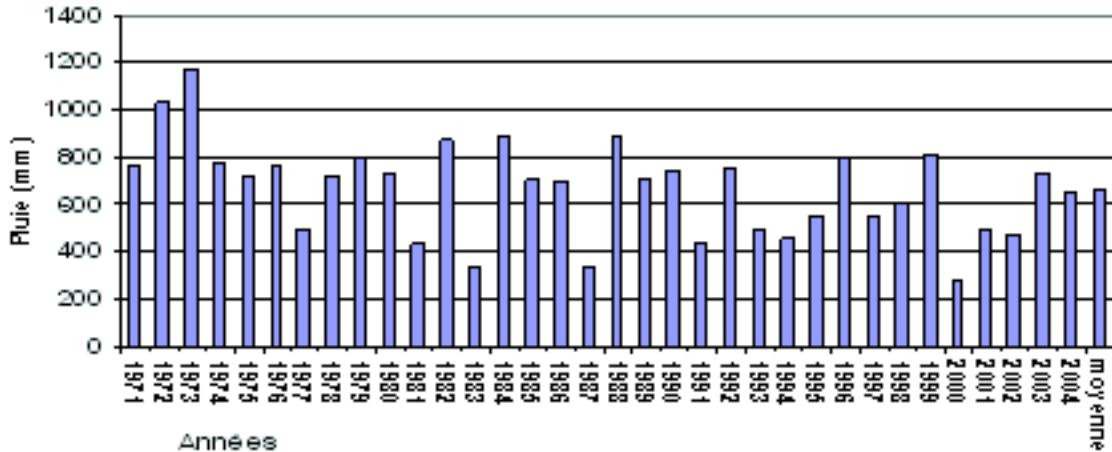


Figure 45 : Histogramme des pluies annuelles sur 34 ans, 1971 à 2004 (Station de Dar El Beïda)

L'histogramme des pluies mensuelles moyennes sur la même période, montre que l'année 1998, bien que proche de l'année moyenne, a des valeurs de précipitations mensuelles inférieures excepté pour les mois d'avril, mai et novembre (figure 46).

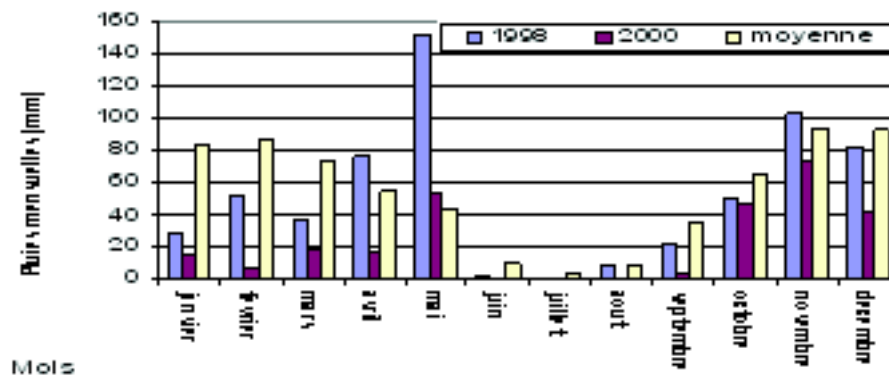


Figure 46: Histogramme des pluies mensuelles 1998, 2000 et des pluies moyennes mensuelles sur 34 ans de 1971 à 2004 (Station de Dar El Beïda)

Pour les températures, la figure 47, montre que pour l'année 2 000, celles-ci étaient sensiblement plus élevées, par rapport à l'année 1998 et à la moyenne mensuelle sur 34 ans.

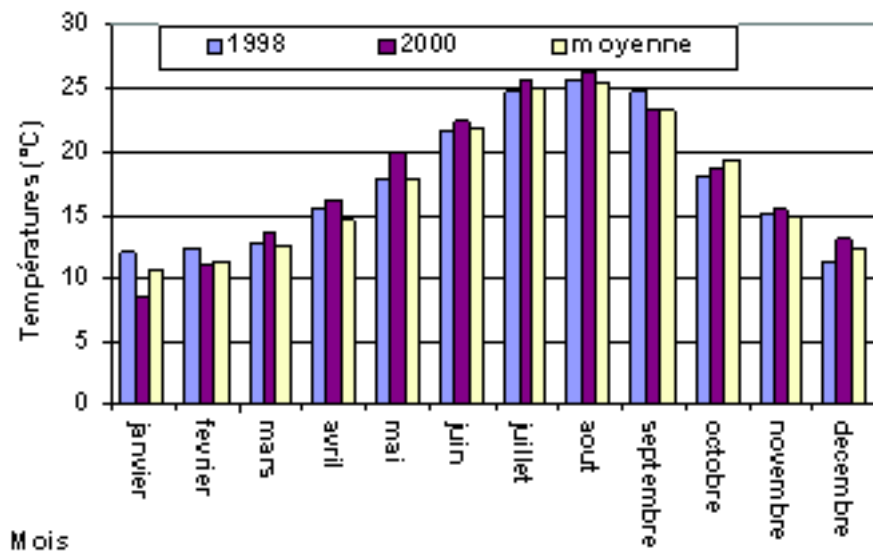


Figure 47 : Histogramme des températures mensuelles 1998, 2000 et des températures moyennes mensuelles sur 34 ans de 1971 à 2004 (Station de Dar El Beïda)

Ces facteurs, températures élevées, pluies moyennes pour 1998 et faibles pour 2000, ont pour conséquence des ETP (données annexes 34 et 35, p. 297 et 298) élevées par rapport aux valeurs d'ETP mensuelles moyennes observées de 1974 à 2004 (figure 48).

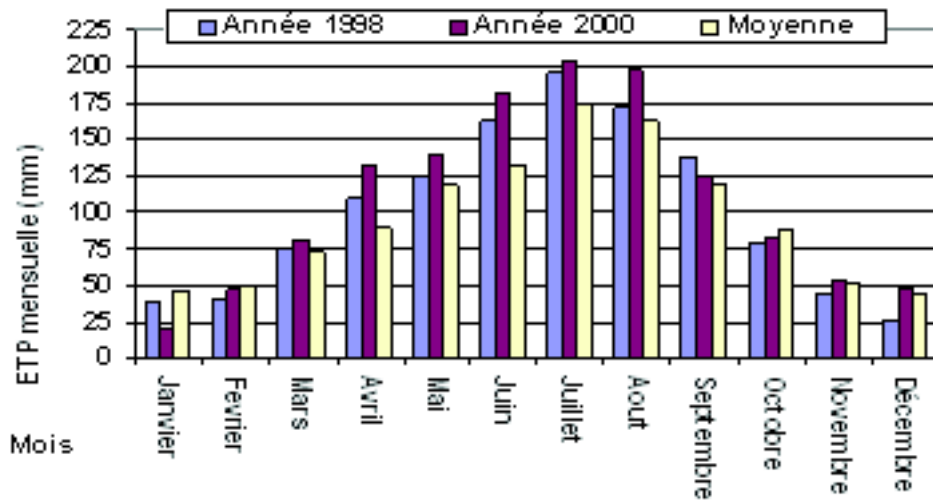


Figure 48 : Histogramme des ETP mensuelles de 1998, 2000 et des ETP moyennes mensuelles sur 20 ans de 1974 à 1994 (Station de Dar El Beïda)

4.5. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

4.5.1. DESCRIPTION DES SITES EXPERIMENTAUX

Les figures 49 et 50, présentent le dispositif expérimental mis en place pour réaliser les essais durant les deux années (1997/1998 et 1999/2000).

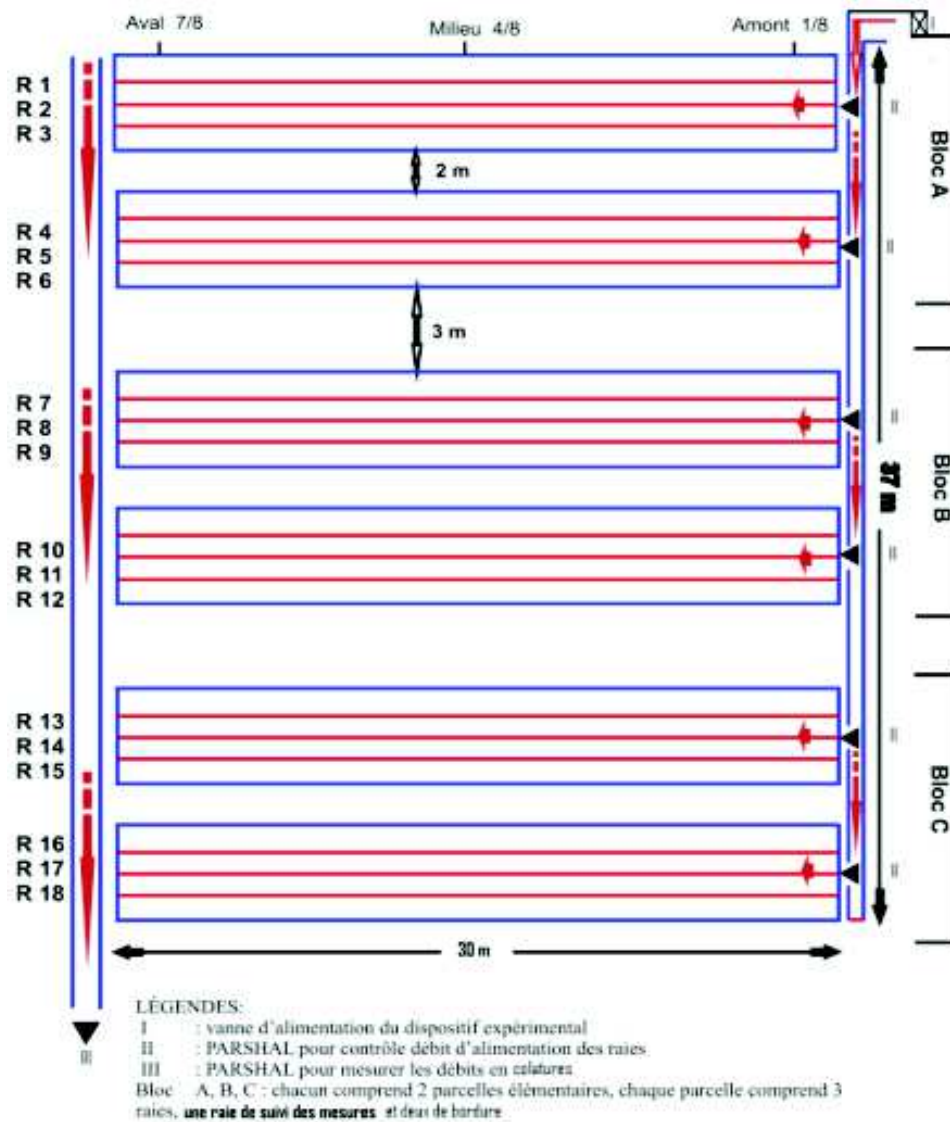


Figure 49 : Parcelle d'essai et dispositif expérimental durant l'année 1998 sur raies de 30 m. Station INA

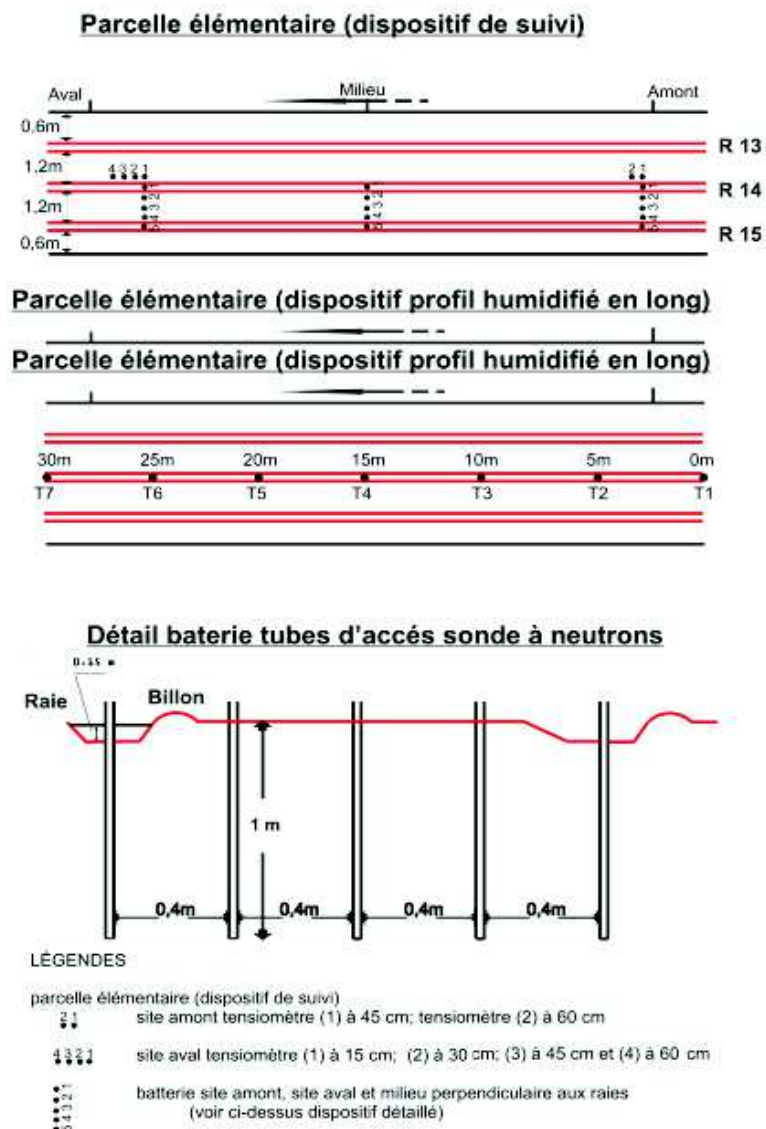


Figure 49 (suite) : Parcelle d'essai et dispositif expérimental durant l'année 1998. Station INA

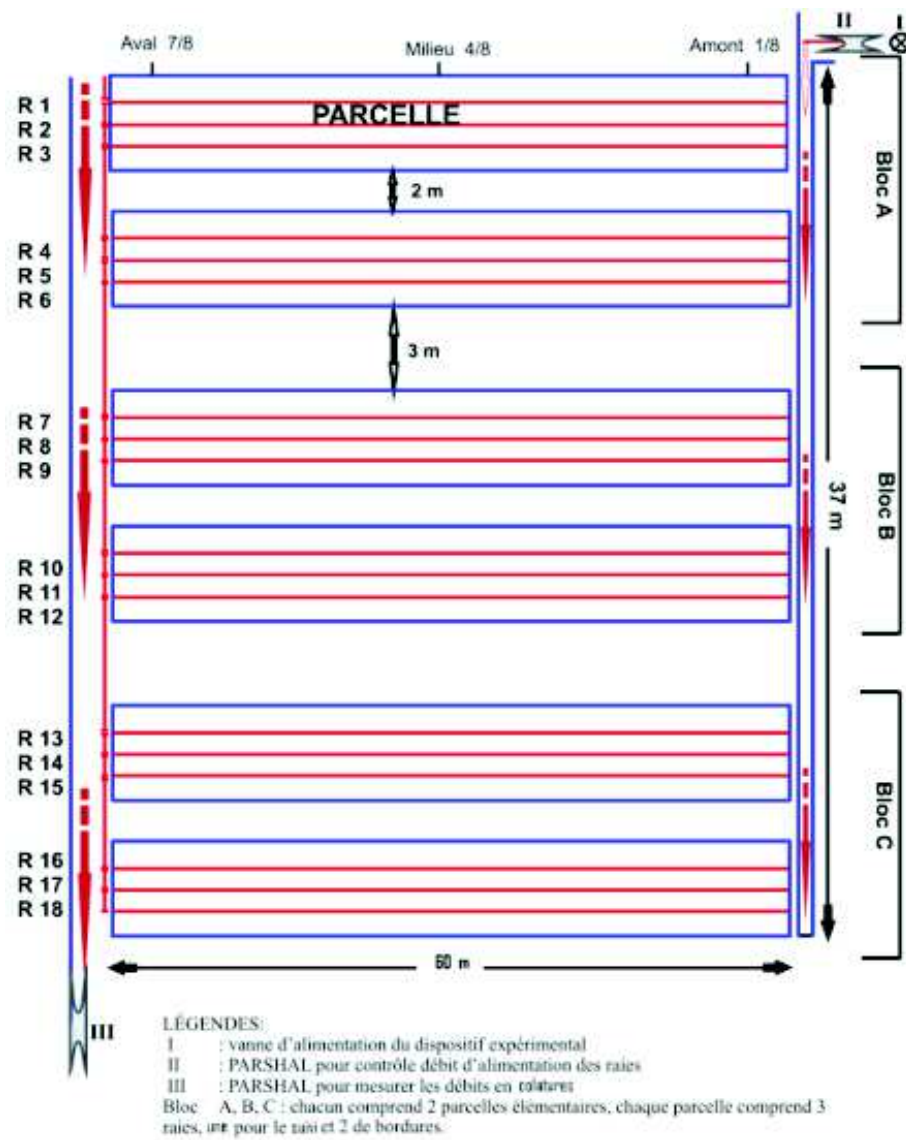


Figure 50 : Parcelle d'essai et dispositif expérimental durant l'année 2000 sur raies de 60 m. Station INA

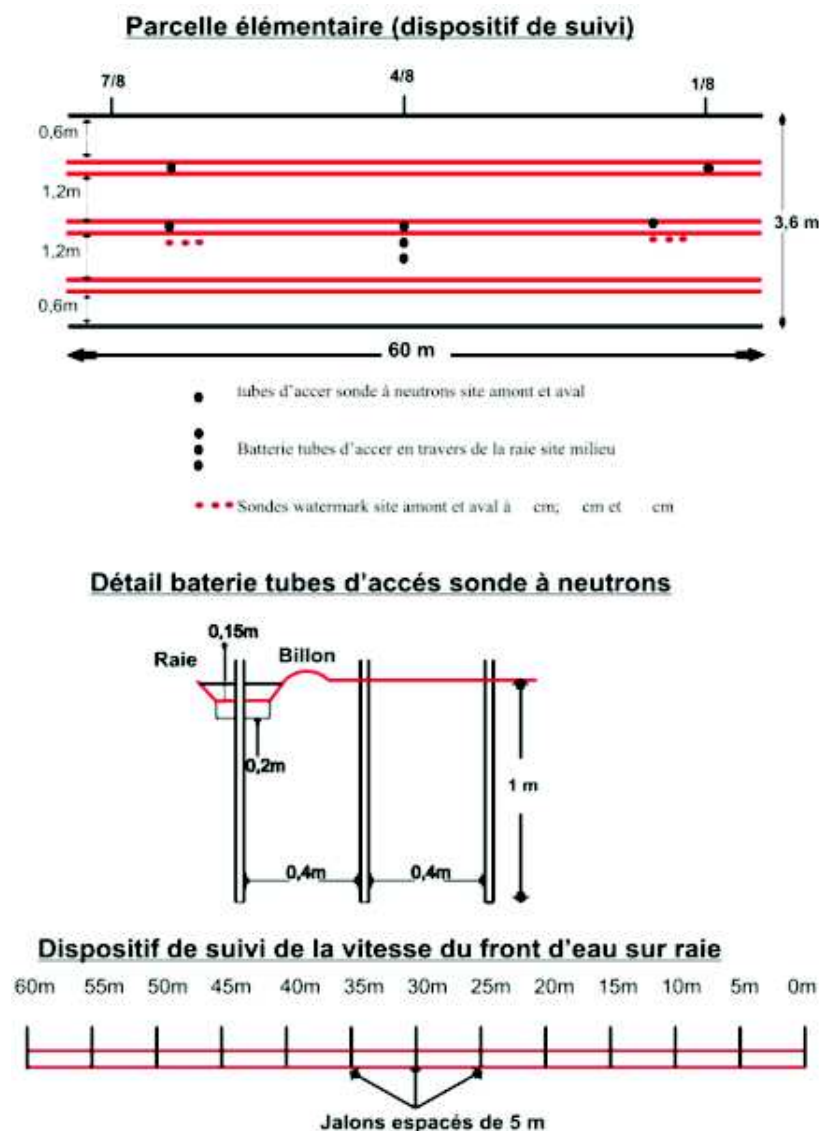


Figure 50 (suite): Parcelle d'essai et dispositif expérimental durant l'année 2000. Station INA

La distribution de l'eau au niveau de la parcelle est assurée par une vanne à opercule reliée au réseau de distribution d'eau de la station expérimentale (photo 29). Les débits en tête des raies ont été mesurés à l'aide de seuils Parshall. Pour mesurer le débit en colature un seuil Parshall a été également placé à l'extrémité des raies (photo 30). Le débit en tête de raie est théoriquement constant. Le débit en fin de raie est variable au cours du temps d'irrigation car il dépend de l'infiltration.



Photo 29 : Vanne à opercule pour l'alimentation en eau de la parcelle d'essai (1998 et 2000). Station INA

Source : Chabaca, 2000



Photos 30 : Seuils Parshall pour le contrôle des débits entrant en tête de raies (gauche) et sortant en bout de raies en colature (droite). Essai 2000. Station INA

Source : Chabaca, 2000

4.5.2. DISPOSITIF DE MESURES

Il permet:

- Les mesures des débits entrant et sortant dans les raies ;
- Les mesures du temps de passage du front d'avancement, à différentes abscisses, matérialisées par des jalons espacés de 5 m. Les jalons ont été placés avant les arrosages aux abscisses suivantes (figures 49 suite et 50 suite) :
- Pour l'essai de 1998 sur des raies de 30 m de long :
- $X_0 = 0$; $X_1 = 5$ m ; $X_2 = 10$ m. $X_3 = 15$ m ; $X_4 = 20$ m ; $X_5 = 25$ m ; $X_6 = 30$ m.
- Pour l'essai de 2000 sur des raies de 60 m de long :
- $X_0 = 0$; $X_1 = 5$ m ; $X_2 = 10$ m. $X_3 = 15$ m ; $X_4 = 20$ m ; $X_5 = 25$ m ; $X_6 = 30$ m,
- $X_7 = 35$; $X_8 = 40$ m; $X_9 = 45$ m. $X_{10} = 50$ m ; $X_{11} = 55$ m ; $X_{12} = 60$ m
- Les mesures de tirant d'eau au niveau de chaque abscisse pour la campagne 1998 (annexe 50, p. 332);

- Des tubes d'accès pour sonde à neutrons ont été mis en place sur les sites expérimentaux lors des deux campagnes (figure 49 et 50), pour estimer l'humidité avec une sonde à neutrons de type Solo 25 pour la campagne 1998 et Troxler 4300 pour la campagne 2000. Les tubes ont été mis en place le long de la raie centrale et d'autres en batterie de 3 sur une section transversale en milieu de raie (photo 31) ;
- Les mesures de la tension de l'eau dans le sol. Nous avons effectué des suivis à 30 cm, 45 cm, 60 cm et 80 cm de profondeur à l'amont et l'aval de la raie centrale (figures 49 et 50), les tensiomètres utilisés sont à eau pour la campagne 1998 (Irrrometer) et sondes Wattermark® pour la campagne 2000 (photo 31) ;



Photo 31 : Batterie transversale de tubes d'accès pour sonde à neutrons en site milieu de raie (gauche) et batterie de sondes Wattermark® en blanc sur site aval de raie (droite) ; essai 2000. Station INA

Source : Chabaca, 2000

4.5.3. PROTOCOLE DE MESURES

Nous avons effectué différents types de mesures :

a. Avant la campagne d'irrigation, les conditions initiales du site expérimental ont été déterminées (teneur en eau, tension, densité..).

Nous avons également procédé à des tests des différents dispositifs de mesure mis en place (débits, tension, teneur en eau).

b. Pendant les irrigations, lors de la phase d'avancement, le débit en tête de raie était régulièrement vérifié. Celui des colatures était également mesuré à différents intervalles de temps. Cela nous a permis ainsi d'estimer l'infiltration instantanée stabilisée en fin d'arrosage en mesurant le débit entrant et le débit sortant dans les raies équipées de seuils Parshal.

c. Le lendemain de chaque arrosage, la teneur en eau était mesurée à la sonde à neutron, les valeurs de tension lues à partir du boîtier de lecture (pour les sondes) et directement pour les tensiomètres à manomètres.

4.5.4. CONDUITE DES ARROSAGES

Les dates et les fréquences des arrosages étaient fixées à partir d'un seuil de consommation de 80% de la RFU. La dose était donc constante (45 mm).

Le calendrier des arrosages pour les deux campagnes est présenté dans le tableau 44.

Tableau 44 : Calendrier des irrigations pour les essais de 1998 et 2000. Station INA

1998 Semi en pépinière le 17/03	2000 Semi en pépinière le 16/04
Dates	Dates
27/06 Irrigation de reprise 02/07 Irrigation de reprise 09/07 Irrigation de reprise 14/07 Irrigation 28/07 Irrigation 13/08 Irrigation 24/08 Irrigation	26/04 Irrigation de reprise 23/05 Irrigation de reprise 14/06 Irrigation 18/06 Irrigation 03/07 Irrigation 22/07 Irrigation 6-7/08 Irrigation

5. RESULTATS

L'analyse des résultats à partir des données obtenues, concernera l'évaluation des paramètres des arrosages. Nous envisagerons aussi des simulations à l'aide d'un modèle bilan volume, pour identifier différentes combinaisons débits et longueurs de raies susceptibles de s'adapter aux conditions de l'agriculture irriguée. Ensuite, de l'analyse des résultats du suivi tensiométrique pourraient découler des recommandations pour une conduite rationnelle des irrigations.

5.1. ANALYSE DES FACTEURS DE RENDEMENT HYDRAULIQUE (COLATURES, PERCOLATIONS, EFFICIENCE)

L'analyse des facteurs de rendement hydraulique a concerné 2 irrigations de la campagne 1998 et 3 irrigations de la campagne 2000. Nous avons regroupé pour plus de clarté, les résultats sous forme d'un tableau unique (tableau 45). Le détail des calculs est en annexe 36, p. 299.

Année	Date irrig	N° Raie	Rdt (%)	Da* (L/m)	Di* (L/m)	Di* (mm)	Dn* (mm)	p* (%)	C* (%)	CU (%)	Q l/s
1997/1998	28/07	R5	62	51,84	32,15	28,65	15	33	38	46	1
	13/08	R5	61	52,38	32,10	26,75	15	32,64	39	47	1
1999/2000	03/07	R4	81	70	56,73	47,27	30	38	19	53	1,25
	22/07	R1	85	70,5	60,2	50,19	30	28,5	15	50	1,5
	06/08	R4	76	70	53,54	44,61	30	25,5	24	70	1

Tableau 45 : Estimation sommaire des valeurs de rendement hydraulique et de doses délivrées dans les raies. Station INA

*Da : dose apportée ; Di : dose infiltrée ; Dn : dose nette infiltrée dans le dernier quart de la raie ;

CU : coefficient d'uniformité de l'irrigation ; P : pertes par percolation ; C : pertes en colatures

Relations utilisées pour la détermination de ces valeurs :

$$\text{Rdt : rendement hydraulique : } R = \frac{V}{V_e} \quad (63)$$

Avec :

V : volume infiltré dans la raie
 V_e : volume apporté dans la raie

$$D_a : \text{dose apportée dans la raie par mètre linéaire : } D_a = \frac{V}{L} \quad (64)$$

avec :

V : volume apporté dans la raie
 L : longueur de la raie en m

$$D_i : \text{dose infiltrée en litre par mètre : } D_i = \frac{V}{L} \quad (65)$$

Avec :

V : volume infiltré dans la raie
 L : longueur de la raie

$$D_i : \text{dose infiltrée par mètre en mm ; } D_i = \frac{V}{L * e} \quad (66)$$

Avec :

e : écartement entre les raies

D_n : dose nette infiltrée dans le dernier quart de la raie

$$P : \text{perte par percolation profonde : } P = \frac{D_i - D_n}{D_a} \quad (67)$$

$$C : \text{pertes en colatures : } C = 1 - R \quad (68)$$

$$CU : \text{coefficient d'uniformité de l'irrigation } CU = \frac{D_n}{D_i} \quad (69)$$

La valeur du rendement hydraulique n'est pas un indicateur révélateur de l'estimation d'une irrigation. Ce qui est important dans une irrigation par rapport au volume total d'eau apporté, c'est le pourcentage de l'eau qui reste dans la zone exploitée par les racines. Le rendement hydraulique est un rapport entre le volume d'eau apporté et celui infiltré ; dans la partie infiltrée, le volume percolé (infiltration profonde au delà de la zone racinaire) peut être important si le sol est filtrant ou lourd avec des fentes de retraits profondes.

Le rendement hydraulique pour les raies de 30 m est proche de celui rencontré fréquemment en irrigation à la raie, par contre celui des raies de 60 m est trop élevé et plus proche du mode d'irrigation par aspersion. On obtient des valeurs d'uniformité des irrigations assez proches entre elles pour les deux longueurs, exception faite de la dernière irrigation. Par contre les pertes en colature et par percolation sont trop élevées, elles oscillent entre 50 et 70%. Pour ce type de sol, les combinaisons débits longueurs proposées ne donnent pas des résultats allant dans le sens d'une gestion rationnelle de l'eau.

5.2. ANALYSE DES DONNEES TENSIOMETRIQUES

5.2.1. INTRODUCTION

La connaissance de l'évolution de la tension de l'eau dans le sol est importante pour :

- Déterminer la direction des mouvements de l'eau du sol entre différents points, en tenant compte des potentiels matriciels définis à partir des cotes de ces points ;
- Savoir si l'eau du sol est disponible pour les plantes ;

Le potentiel gravitaire en un point peut s'exprimer directement en fonction de la cote de ce point. Il suffit de choisir une origine, le plus souvent la surface du sol, et un axe orienté vers le haut ou vers le bas. Par ailleurs la tension s'exprime également par une valeur négative. En effet l'eau libre, dans l'air ou à la surface d'une nappe d'eau est à la pression atmosphérique ; l'eau en contact avec le sol est soumise à une dépression par l'attraction que le sol exerce sur elle (à l'inverse pour extraire cette eau du sol, comme pour extraire de l'eau d'une éponge, il faudra exercer une pression au moins équivalente sur le sol). L'eau du sol est donc à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Si l'on prend celle-ci comme origine on a donc :

- Tension de l'eau "libre", $h = 0$
- Tension de l'eau dans un sol non saturé, $h < 0$

Dans une nappe, l'eau est libre, $h = 0$, mais soumise à une charge, ou pression, correspondant à la hauteur d'eau au dessus du point considéré.

Par conséquent le potentiel total de l'eau en sol non "saturé" symbolisé fréquemment par H , est : $H = h + z < 0$.

Il n'est pas aisé de manipuler des chiffres négatifs : dire que " le mouvement de l'eau se fait des potentiels les plus forts vers les plus faibles" signifie que l'eau par exemple se déplace de $H = - 20$ kPa à $H = - 200$ kPa. Dans la pratique agricole, on a tendance à raisonner en termes positifs, ce qui est correct aussi.

Nous présentons ici l'évolution des potentiels pour les deux campagnes ; les évolutions et les données sur les tensions, sont en annexes 37 à 42, p 311 à 314.

5.2.2. CAMPAGNE 1997/1998

Les évolutions des tensions et des potentiels ont été analysées sur une série de 3 irrigations de l'ensemble de la campagne. Nous présenterons ici l'analyse des potentiels.

Site amont

Ce sont généralement les horizons les moins profonds qui réagissent les premiers aux effets des irrigations.

Sur ce site la batterie comprend deux tensiomètres placés à 45 cm et 60 cm de profondeur (figure 49). Si l'on observe les courbes on remarque que l'évolution des potentiels après chaque irrigation n'est pas identique de même qu'entre les horizons. Ainsi, la réaction de l'horizon 45 cm est nette. Après chaque irrigation, il y a une diminution brutale des valeurs de potentiel, soit une plus grande disponibilité en eau. Par contre pour l'horizon 60 cm sur le même site, il n'y a presque pas de réaction aux irrigations, le potentiel reste élevé, dans une plage comprise entre 0 et -10 kPa, proche de la saturation en eau (figure 51).

Le flux est ascendant, cela signifie que lorsque l'horizon 45 cm commence à s'assécher, on assiste à une remontée de l'eau de l'horizon 60 cm plus humide.

La pente de la courbe n'évolue pas de la même manière pour l'horizon 45 cm, après les 3 irrigations (9/08, 14/08 et 24/08). Elle est plus prononcée après l'irrigation du 9 août où le potentiel passe en l'espace de 4 jours de - 4,5 kPa à - 58,5 kPa, alors qu'après l'irrigation du 14 août et celle du 24 août, en 9 jours il passe de - 11,5 kPa

à - 40,5 kPa, l'évolution est identique. Cette réaction, est fonction des facteurs climatiques (pluies, vents, température) qui vont interagir sur la plante (transpiration) et sur le sol (évaporation). Ainsi, plus la pente est prononcée plus le dessèchement est imminent, d'où la vigilance pour un agriculteur qui utilise la tensiométrie comme moyen d'avertissement à l'irrigation de savoir décider de l'irrigation avant qu'il ne soit trop tard.

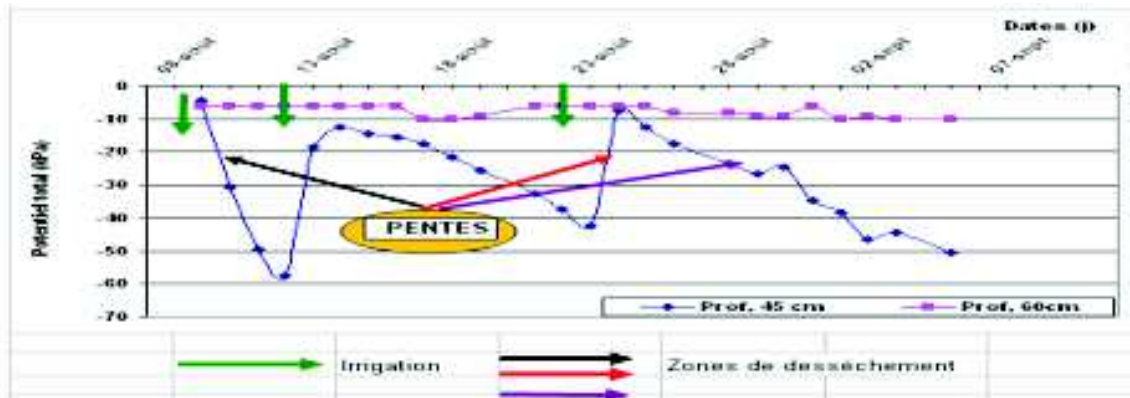


Figure 51 : Evolution du potentiel total après irrigation en site amont (1/8^e) raie 17. Station INA

Site aval

Ce site, qui reçoit moins d'eau que celui de l'amont comprend une batterie de 4 tensiomètres (15 cm, 30 cm, 45 cm et 60 cm). C'est la particularité de l'irrigation gravitaire à la raie où l'uniformité de répartition de la dose apportée reste hétérogène entre le haut et le bas, qui nous amène à mieux prospecter l'aval.

Par rapport au site amont, les horizons réagissent plus nettement aux apports en eau des irrigations. Les potentiels après irrigation lors de la phase de dessèchement, atteignent des valeurs plus faibles qu'en site amont, l'eau y est moins disponible, surtout dans les horizons 15 cm et 45 cm.

Si l'on analyse l'évolution des valeurs de potentiels lors des 3 irrigations (figure 52), on remarque, la présence de:

- Une zone de flux divergeant à l'horizon 30 cm, du 10 août au 13 août et du 20 août au 6 septembre, qui alimente les horizons 15 cm et 45 cm ;
- Une zone de flux convergent à l'horizon 45 cm pratiquement sur toute la durée d'observation. Celui-ci est alimenté par les horizons 30 cm et 60 cm.

L'horizon 60 cm reste bien pourvu en eau, excepté le 13 août, veille de l'irrigation, les valeurs de potentiel sont restées en deçà de - 30 kPa, ce qui indique que l'eau y est disponible.

L'évolution des pentes après irrigation, montre que pour les mêmes périodes les valeurs cumulées de potentiels sont plus faibles que sur le site amont. Cela signifie qu'à ce niveau, la demande en eau est encore plus importante.

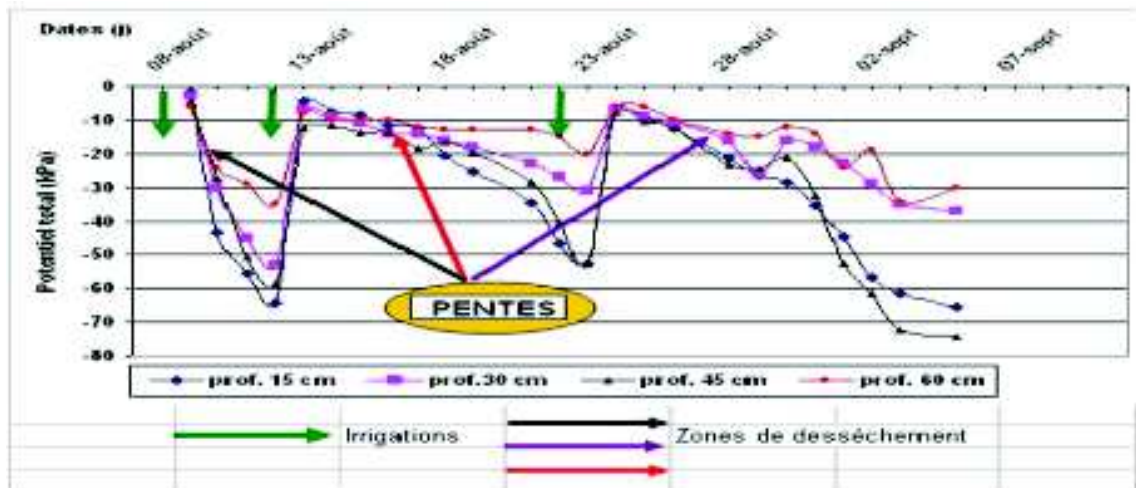


Figure 52 : Evolution du potentiel total après irrigation en site aval (7/8^e) raie 1. Station INA

5.2.3. CAMPAGNE 1999/2000

Nous avons deux postes de suivi des tensions, l'un situé sur le site amont et l'autre sur le site aval de la raie aux niveaux 30 cm, 45 cm et 60 cm (figure 50).

Nous analyserons ici l'évolution des courbes de potentiels sur les deux sites.

Les observations ont été faites sur quatre irrigations (14/06 ; 03/07 ; 22/07 ; 06/08).

Site amont

On constate que l'évolution des potentiels est lente après l'irrigation du 14/06. Pour les irrigations suivantes, la réaction est plus marquée (figure 53).

Sur l'ensemble des 4 irrigations, il y a une zone de flux divergent au niveau de l'horizon 45 cm. Celui-ci alimente les horizons 30 cm et 60 cm, même le lendemain des irrigations, exception faite le lendemain de l'irrigation du 22 juillet où le flux est descendant sur l'ensemble des horizons.

Si on analyse les évolutions du dessèchement des 3 horizons après les irrigations du 3 juillet, du 22 juillet et celle du 6 août on remarque :

- Pour l'horizon 30 cm :
 - Après l'irrigation du 3 Juillet : le potentiel diminue de – 6 kPa à – 97 kPa sur une période de 18 jours (une chute moyenne de potentiel de 5 kPa/jour). Le dessèchement est étalé dans le temps sans être brutal. L'agriculteur peut décider de la date de l'irrigation, mais il doit le faire rapidement car le potentiel peut baisser brutalement suite à des changements climatiques d'autant qu'on est à la limite pour cet horizon ;
 - Après l'irrigation du 22 juillet : le potentiel diminue de – 3 kPa à – 73kPa sur une période de 14 jours (une chute moyenne de 5 kPa/jour) ;
 - Après l'irrigation du 6 août : le potentiel diminue de – 23 kPa à – 89 kPa sur une période de 11 jours (une chute de potentiel de 6 kPa/jour), la pente de la courbe est plus prononcée. Dans ce cas, le dessèchement risque de s'accélérer sur une plage de temps plus courte et l'agriculteur doit anticiper sur la décision d'irriguer ;

Pour les horizons 45 cm et 60 cm, cette évolution est moins prononcée. Elle reste dans une plage de potentiel où l'eau est encore facilement disponible pour la plante. L'évolution des valeurs de potentiel est beaucoup plus prononcée sur le site aval que le site amont ;

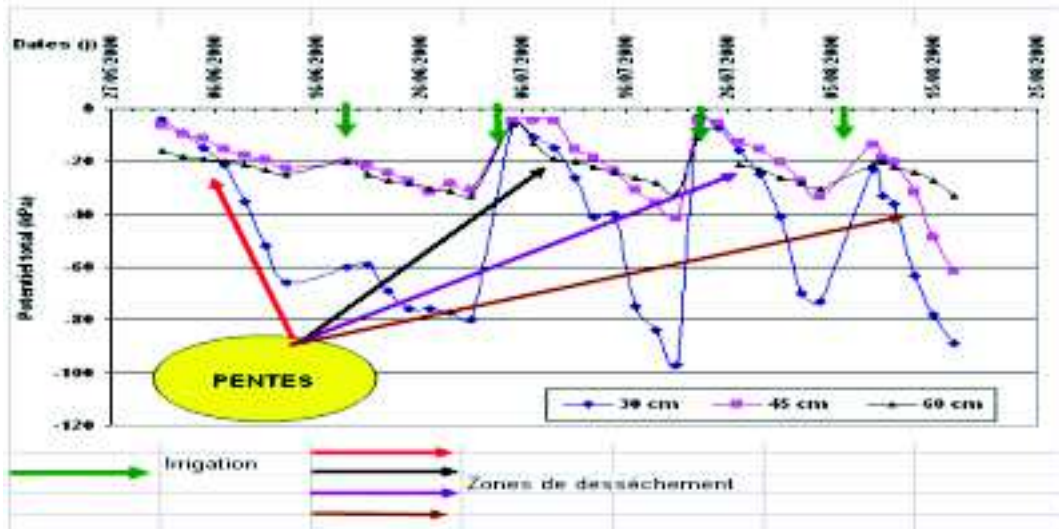


Figure 53 : Evolution du potentiel total après irrigation en site amont (1/8^e) sur raie (Campagne 1999/2000). Station INA

Site aval

Les observations que nous pouvons faire à partir de la figure 54, pour les pentes après irrigation, au niveau de l'horizon 30 cm est qu'elles évoluent de manière identique à celles du site amont. Ainsi, la chute de 4,7 kPa/jour après l'irrigation du 3 Juillet est proche de celle de 4,9 kPa/jour après l'irrigation du 22/07.

Pour les flux, on distingue une zone de flux convergent au niveau 45 cm sur une courte période, du 1^{er} juin au 11 juin, puis un flux ascendant depuis l'horizon 60 cm jusqu'à la surface, du 11 Juin au 17 Août.

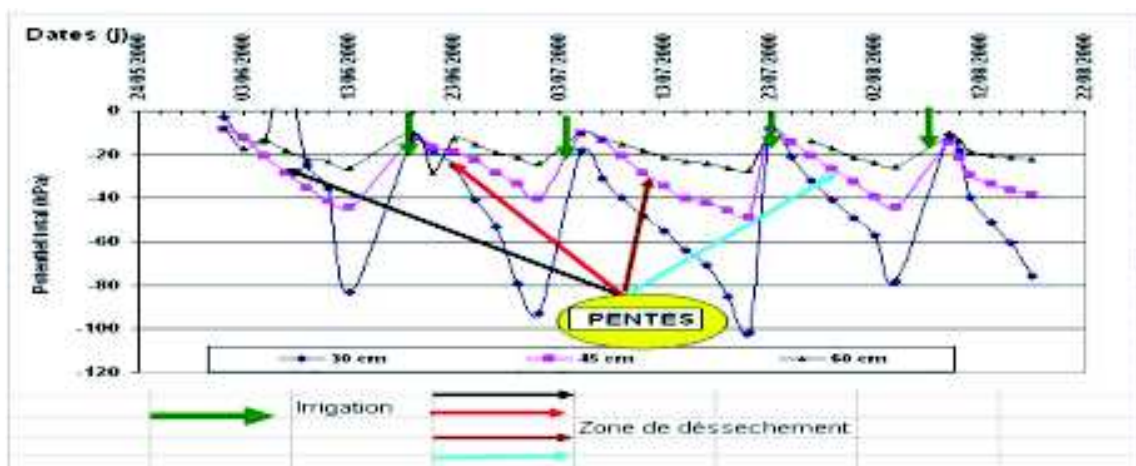


Figure 54 : Evolution du potentiel total après irrigation en site aval (7/8^e) sur raie (Campagne 1999/2000). Station INA

5.2.4. CONCLUSION

L'horizon de surface est le plus exposé au dessèchement, du fait du travail du sol qui favorise les phénomènes d'évaporation et le rend plus sensible aux influences climatiques. En début de culture, il est le premier à être exploité par le système racinaire. Dans le cas de la présence d'une semelle de labour, il risque de ne plus pouvoir être alimenté par les horizons inférieurs. Il semble donc être le meilleur indicateur qui puisse aider l'agriculteur dans sa décision d'irriguer. Des tensiomètres placés à ce niveau permettent d'avoir des informations fiables. Cet horizon peut aller jusqu'à 40 cm, selon la profondeur de labour.

5.3. ANALYSE DU SUIVI DES TENEURS EN EAU

5.3.1. INTRODUCTION

Pour la campagne 1997/1998, nous avons analysé l'évolution des teneurs en eau en milieu de raie jusqu'à 80 cm de profondeur. Les observations ont concerné les irrigations du 29/07/98, 13/08/98, et 24/08/98.

Pour la campagne 1999/2000, nous avons comparé les effets de deux irrigations (22/07 et 6/08) sur l'évolution des teneurs en eau, entre les sites amont, milieu et aval d'une même raie. L'objectif est d'analyser l'uniformité de distribution de l'eau le long de la raie.

Sur l'ensemble des figures qui suivent, le zéro de l'échelle pour l'axe des ordonnées, correspond au sommet du billon. Les données détaillées sont présentées en annexes 43 et 44, p 315 et 316.

5.3.2. CAMPAGNE 1997/1998

Irrigation 2 du 28/07

Les teneurs en eau 72 heures avant irrigation sont proches du pF. La RFU est totalement épuisée. L'irrigation a permis de remplir en partie le réservoir sol, au delà de 40 cm. Cependant la quantité d'eau apportée, qui a été stockée après 48 heures, n'a pas rempli le réservoir sol à la capacité au champ (figure 55)

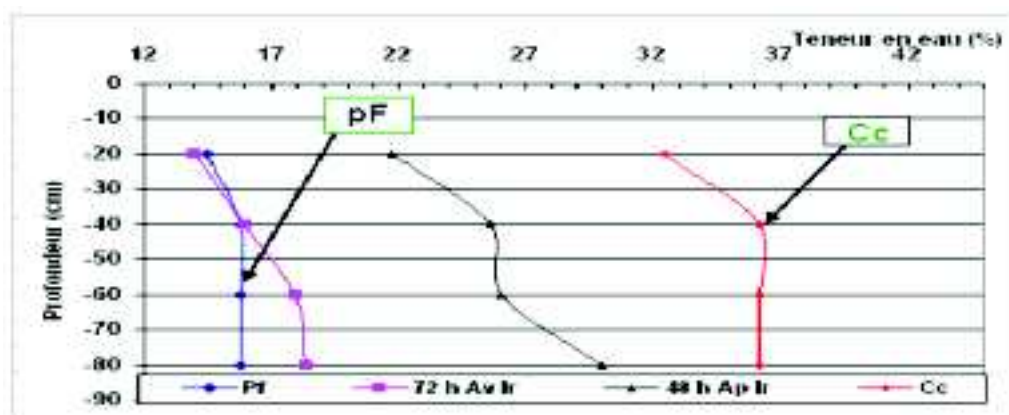


Figure 55 : Evolution des profils de teneur en eau en milieu de raie 72 h avant (25/07/98) et 48 h après (30/07/98) irrigation du 28/07. Station INA

Irrigation 3 du 13/08

24 heures avant l'irrigation, la situation est critique, car les teneurs en eau sont à la limite du pF sur l'ensemble du profil. Les réserves en eau sont proches de la capacité au

champ, 6 heures après irrigation, mais au bout de 24 h, après ressuyage, elles se stabilisent comme après l'irrigation du 29/07/98 dans la moitié supérieure de la RU (figure 56).

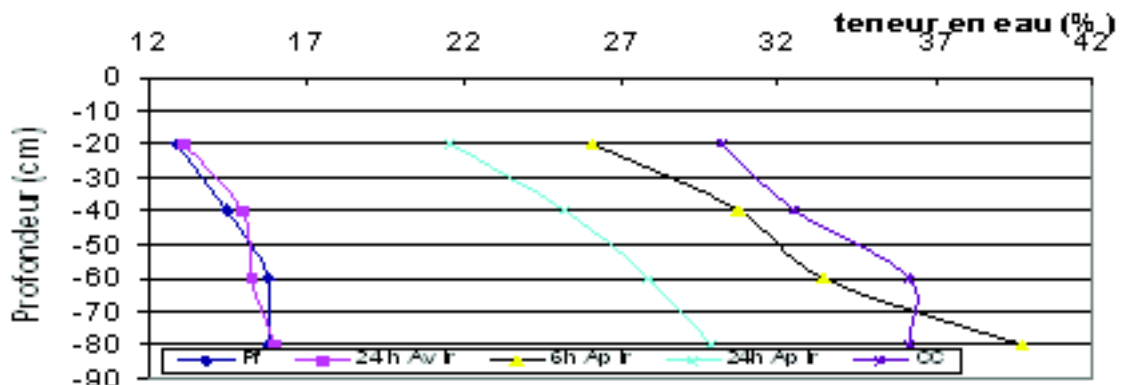


Figure 56 : Evolution des profils de teneur en eau en milieu de raie 24 h avant (12/08/98), 6 h après et 24 h après (14/08/98) irrigation du 13/08/98. Station INA

Irrigation 4 du 24/08

Dans le cas de l'irrigation du 24/08/98 (figure 57) le profil 0 à 40 cm la veille des apports en eau, est au Pf, au-delà, les teneurs en eau sont plus élevées. L'irrigation était insuffisante.

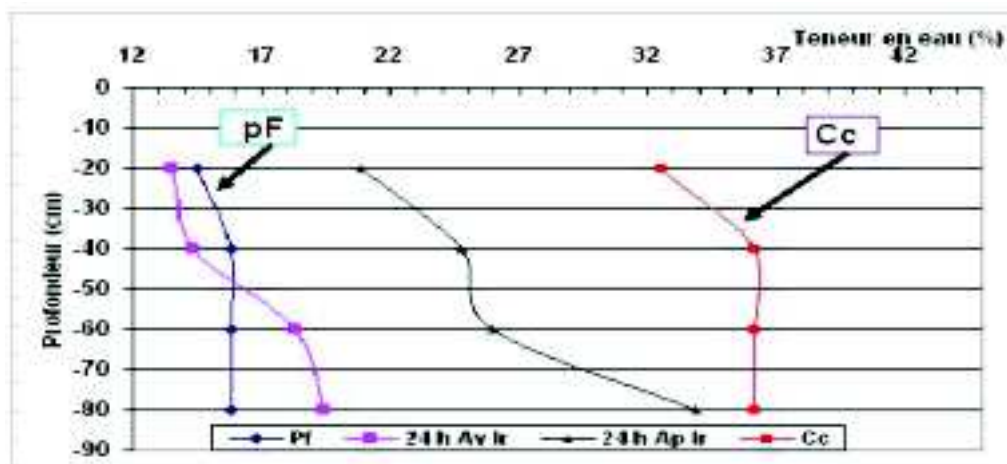


Figure 57 : Evolution des teneurs en eau en milieu de raie 24 h avant (23/08/98), 24 h après (25/08/98) irrigation du 24/08. Station INA

Pour comprendre cette évolution des profils des teneurs en eau, nous avons établi un suivi sur 24 h avec des pas de temps plus rapprochés. Les mesures ont été faites sur un site en milieu de raie après l'irrigation du 24/08/98. Dès la première demi heure, au-delà de 60 cm la capacité au champ est dépassée. Cela continue ainsi jusqu'à 8 h après. L'eau s'infiltre en priorité vers les horizons profonds. Mais au bout de 24 h, après ressuyage, le profil se stabilise à des valeurs de teneurs identiques à celles des irrigations précédentes (figure 58).

La dose apportée reste donc insuffisante pour remplir le sol à la capacité au champ.

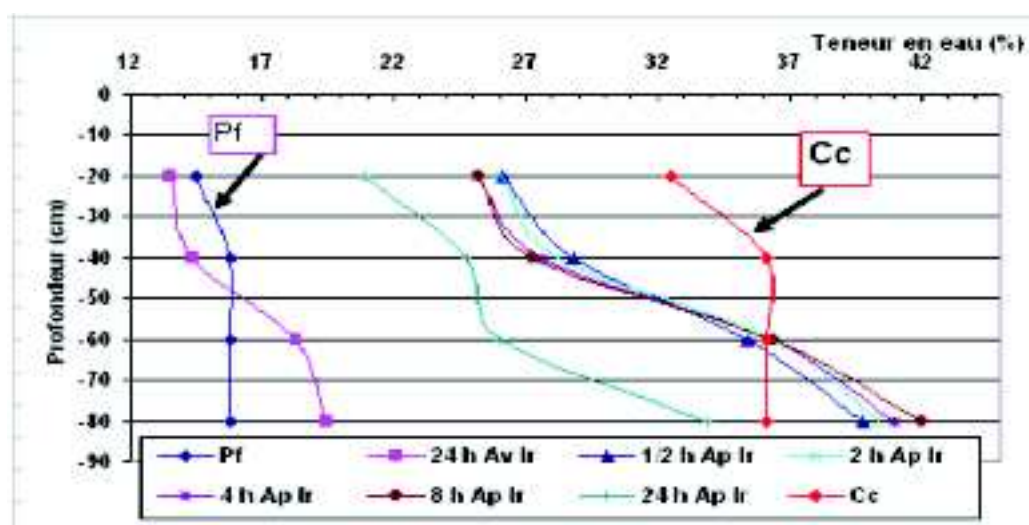


Figure 58 : Evolution des profils de teneur en eau, en milieu de raie, après irrigation du 24/08 durant 24 h. Station INA

5.3.2.1. CONCLUSION

Sur l'ensemble des profils étudiés, on remarque qu'à partir du niveau 40 cm, les valeurs de teneurs en eau augmentent jusqu'au niveau 80 cm. Cet horizon (40 cm) est une zone de flux que nous avons remarqué lors de l'étude sur les potentiels. Il alimente les horizons inférieurs et supérieurs. C'est un horizon où les teneurs en argile sont élevées (minimum de 25%), proche de la semelle de labour. Les horizons supérieurs lorsqu'ils sont proches du Pf, y puisent de l'eau.

Par ailleurs comme nous l'avons expliqué précédemment, nous avons conduit nos irrigations sur la base d'apport après consommation de 80% de la RFU.

5.3.3. CAMPAGNE 1999/2000

Irrigation du 22/07

Les profils au niveau des 3 sites (figure 59; 60 et 61) indiquent une progression continue des teneurs en eau jusqu'à l'horizon 60 cm. Au-delà de celui-ci, on remarque une diminution progressive des teneurs en eau. L'absence de tensiomètres au-delà de 60 cm, ne permet pas de savoir dans quel sens se dirige le flux. Pour les raies de 30 m le plan de flux semble situé à 45 cm, ici sur l'ensemble des graphiques, les profils après irrigation, indiquent un changement de tendance au-delà de 60 cm. Pour l'ensemble des irrigations les doses apportées sont nettement insuffisantes, puisque le réservoir sol ne se remplit qu'au tiers de sa capacité pour les sites amont et milieu. Si l'on compare l'évolution des profils entre les 3 sites pour l'ensemble des irrigations, le site milieu de raie semble mieux pourvu que le site amont, par contre pour le site aval les doses apportées n'ont aucun effet sur les stocks, ceux-ci restant au plus bas niveau.

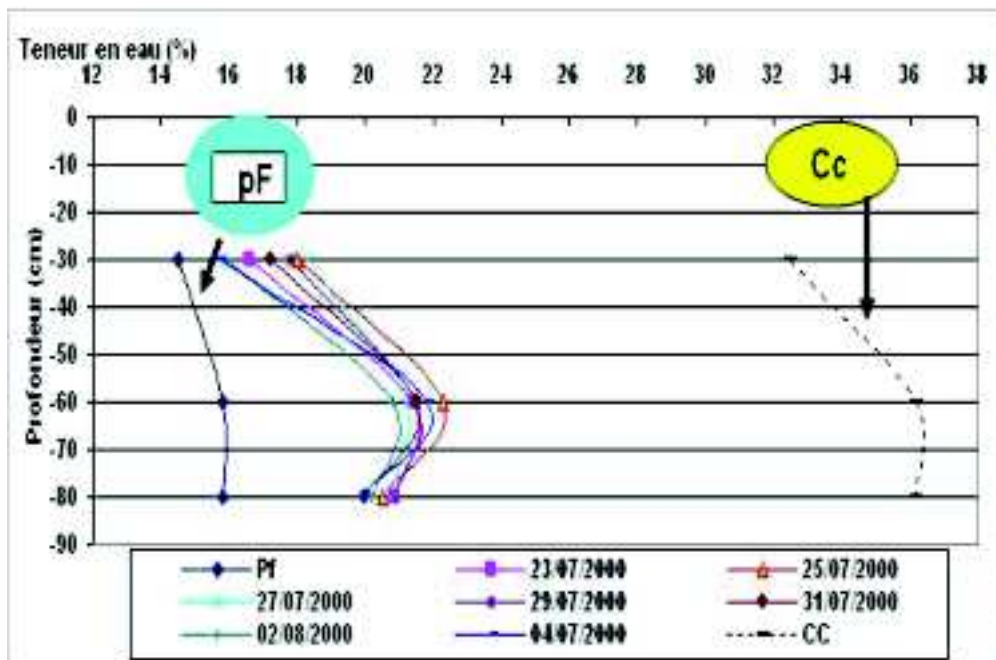


Figure 59: Evolution des profils de teneur en eau sur site amont après irrigation du 22/07/2000. Station INA



Figure 60 Evolution des profils de teneur en eau sur site milieu après irrigation du 22/07/2000. Station INA

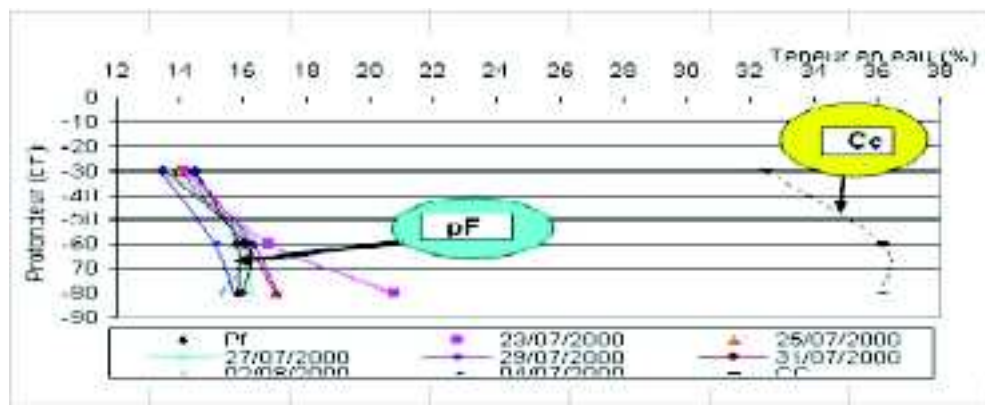


Figure 61 Evolution des profils de teneur en eau sur site aval après irrigation du 22/07/2000. Station INA

Irrigation du 6/08

Nous observons les mêmes évolutions des profils des 3 sites, après la deuxième irrigation (figure 62 ; 63 et 64). La diminution des teneurs en eau est nette, 24 h après ressuyage, ce qui indique une activité racinaire intense (Juillet).

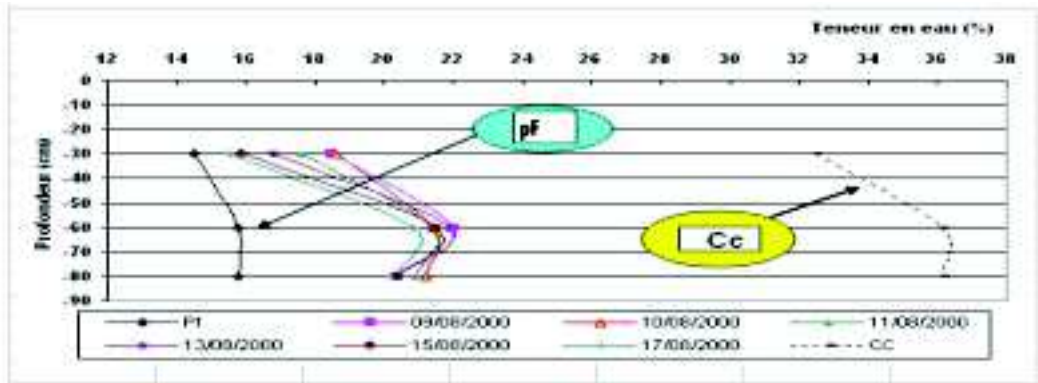


Figure 62 : Evolution des profils de teneur en eau sur site amont après irrigation du 06/08/2000. Station INA

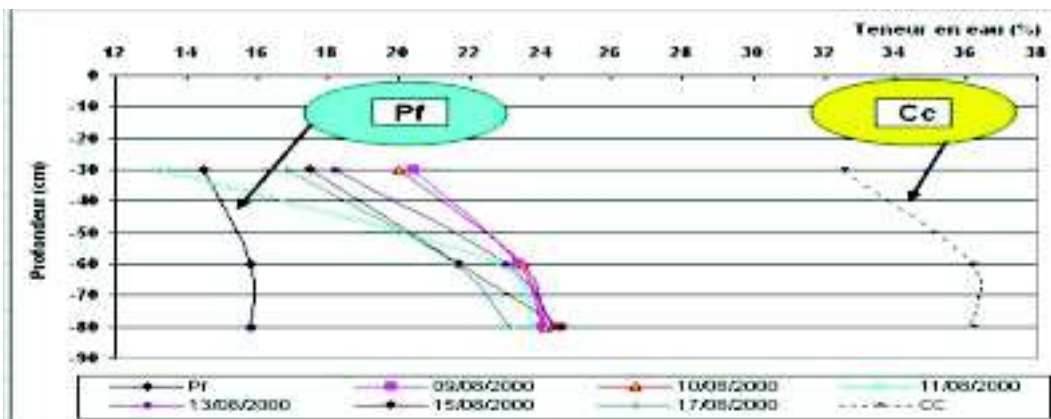


Figure 63 Evolution des profils de teneur en eau sur site milieu après irrigation du 06/08/2000. Station INA

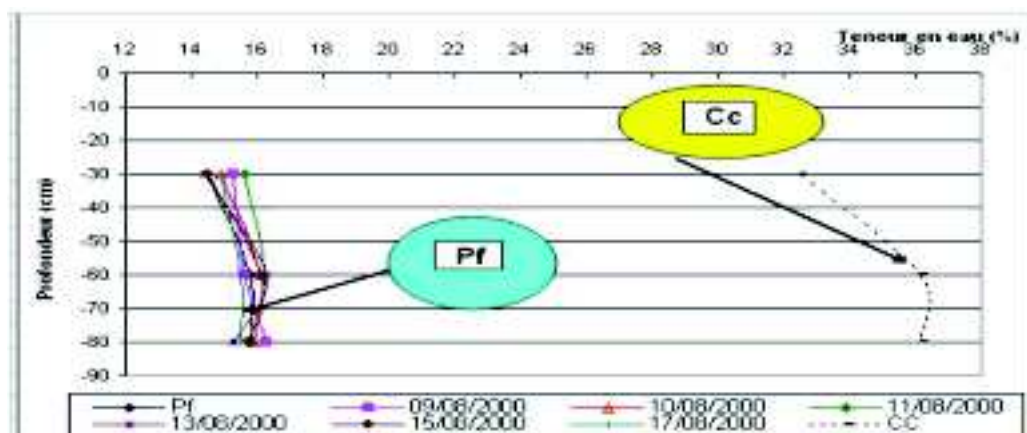


Figure 64: Evolution des profils de teneur en eau sur site aval après irrigation du 06/08/2000. Station INA

5.3.4. CONCLUSION

Durant l'année 2000 il n'a plu que 240 mm. Cela a été une année exceptionnellement sèche. Le niveau des réserves en eau dans le sol après était au plus bas. Les valeurs de l'ETP dépassaient celles de la moyenne annuelle (figure 48). Les doses apportées ne suffisaient pas à remplir le réservoir sol.

5.4. RELATION TENSION TENEUR EN EAU

La relation tension teneur en eau est importante pour mieux connaître les phénomènes d'humectation et de dessèchement du sol. Nous avons suivi une phase de dessèchement du sol après l'irrigation du 06/08/2000 (campagne 1999/2000) sur une période de 11 jours. Les mesures ont été faites à partir de la batterie de tensiomètres implantée sur le site amont de la raie 1. On observe au niveau des trois horizons (30 cm, 60 cm et 80 cm pour les teneurs en eau et 30 cm, 45 cm et 60 cm pour les tensions), que les couches du sol réagissent différemment face à ce phénomène (figure 65)

- Sur le niveau 30 cm, du 09/08 (3^e jour après irrigation) au 11/08 (5^e jour après irrigation), les teneurs en eau diminuent de 0,9% ou 2,7 mm d'eau (1% de volume = 1 mm/10 cm de hauteur de sol), les tensions augmentent de 13 kPa. Dès le 6^e jour et jusqu'au 11^e (après irrigation), alors que les teneurs chutent de 2,1% ou 6,3 mm d'eau, l'augmentation des tensions s'accélère et l'on passe de 33 kPa à 86 Kpa. Cette augmentation brusque des tensions, l'agriculteur pourra l'éviter, s'il a une bonne connaissance de son sol ;
- Sur le niveau 60 cm (45 cm pour les tensions), cette tendance à l'accélération des tensions est moins nette (60 kPa). Cet horizon étant moins sollicité que le premier par la plante ;
- Sur le niveau 80 cm (60 cm pour les tensions), les tensions restent inférieures à 30 kPa, signe que l'eau est encore facilement disponible pour la plante, 11 jours après irrigation ;

La couche 0 à 30 cm réagit en premier. Elle est la plus sollicitée, parce que proche de la surface, colonisée par la majorité du système racinaire de la plante, bien aérée. Elle est très souvent utilisée en maraîchage de manière empirique par nos agriculteurs, comme horizon de suivi pour la conduite des irrigations en fonction de l'évolution des tensions.

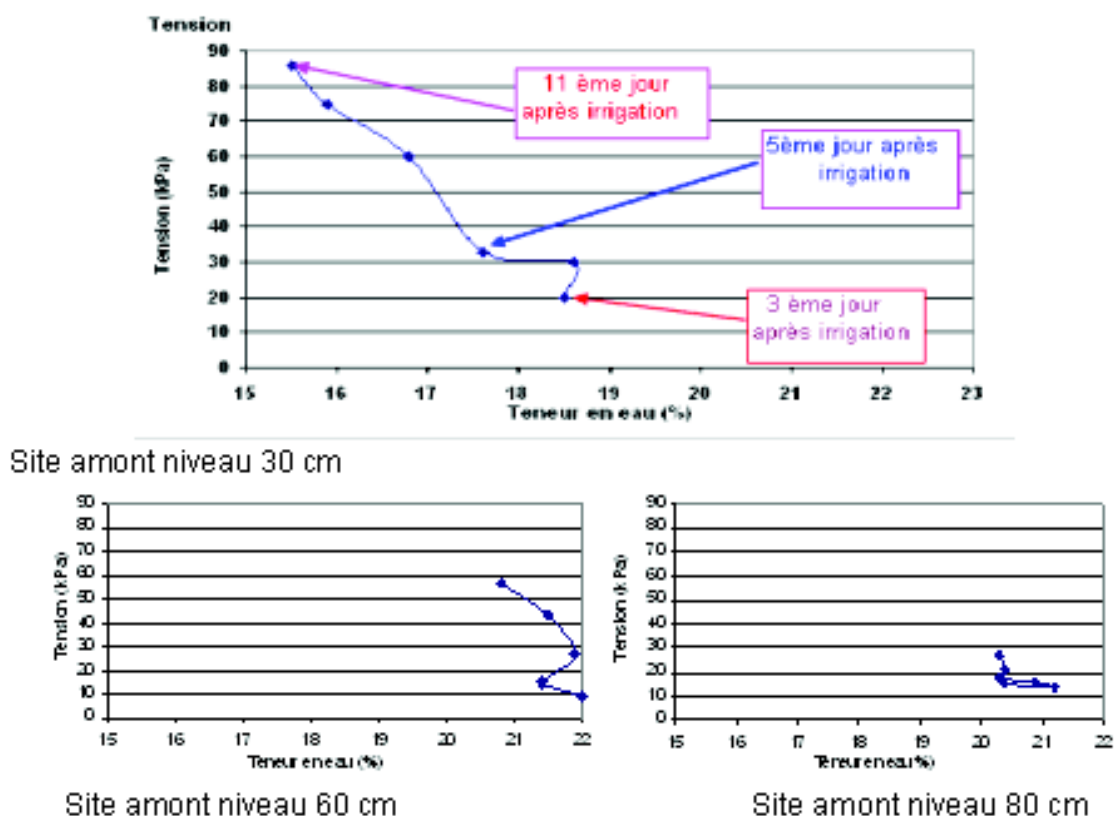


Figure 65: Relation tension teneur en eau sur un cycle de dessèchement (09/08/2000 au 17/08/2000) après la 4^è irrigation du 7/08 ; campagne 1999/2000

6. APPLICATION DES MODELES AUX ESSAIS MENES DANS LES EXPLOITATIONS PRIVEES ET EN STATION I.N.A.

6.1. APPLICATION DU MODELE BILCEMAK AUX ESSAIS MENES DANS LES EXPLOITATIONS PRIVEES

6.1.1. CAS DE L'EXPLOITATION 1

6.1.1.1. CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES DE L'ANNEE 2001

L'année 2001 au cours de laquelle a été fait le diagnostic des pratiques d'irrigation sur une culture de poivrons, est caractérisée par une pluviométrie annuelle (489 mm) inférieure à la moyenne pluviométrique annuelle sur 34 ans (665 mm). L'année qui l'a précédé était la plus sèche (284 mm) sur 34 ans (figure 41).

La répartition de la pluviométrie de l'année 2001, à l'échelle mensuelle, est inférieure à la valeur moyenne mensuelle de l'ensemble des mois de l'année, exception faite des mois de janvier et septembre (figure 66). Les mois de mars, avril et mai ont été moins pluvieux.

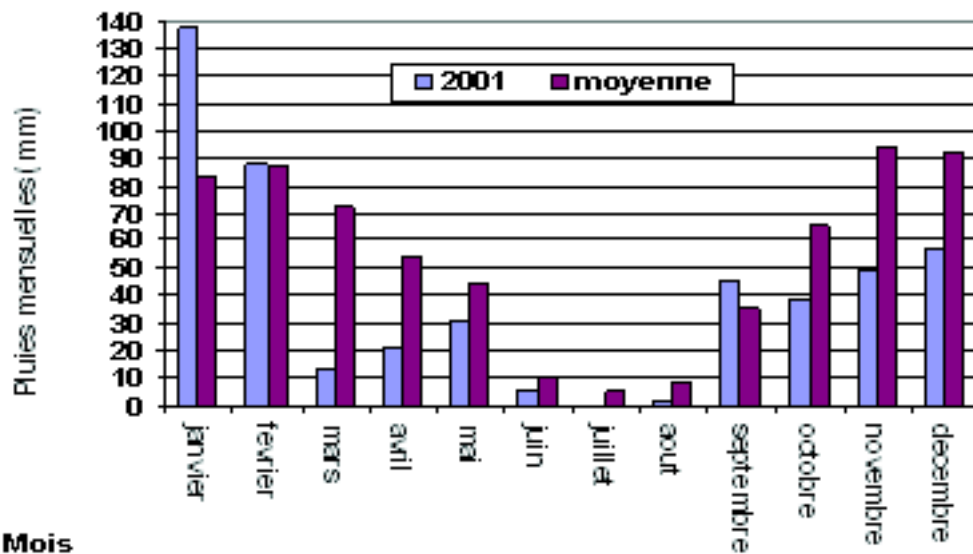


Figure 66: Histogramme des pluies mensuelles de 2001 et des pluies mensuelles moyennes sur 34 ans (1971-2004) Station de Dar El Beïda. (annexes 32, p.295).

Les températures mensuelles de l'année 2001 sont pour l'ensemble des mois, égales ou sensiblement supérieures à la moyenne mensuelle sur 34 ans, surtout d'avril à août où la demande climatique est élevée (figure 67). Les valeurs de l'évapotranspiration mensuelle de l'année 2001 sur l'ensemble de la campagne d'irrigation (avril à août) sont plus élevées que celles de la moyenne mensuelle sur 34 ans (figure 68).

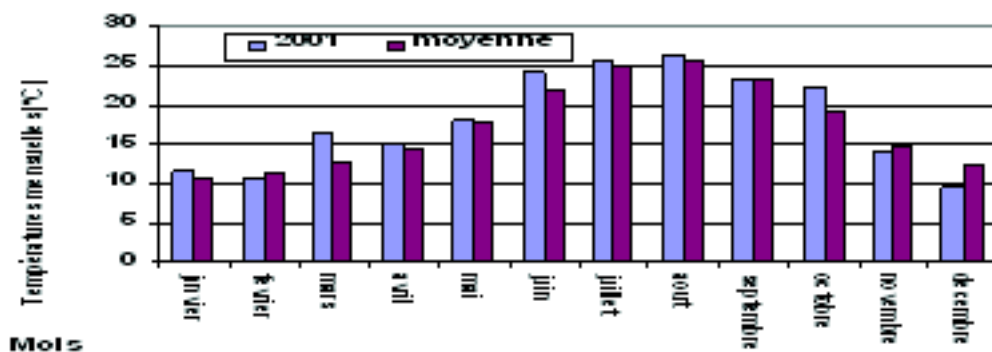


Figure 67: Histogramme des températures mensuelles de 2001 et des températures mensuelles moyennes sur 34 ans (1971-2004) Station de Dar El Beïda. (annexe 33, p.296)

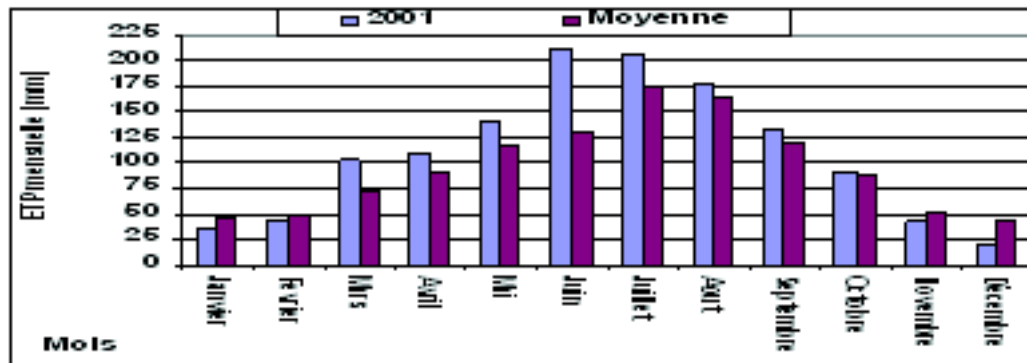


Figure 68: ETP moyenne mensuelle de 2001 et des ETP mensuelles moyennes sur 20 ans (1974-1994) Station de Dar El Beïda. (annexes 34 et 35, p.297 et 298)

Les besoins en eau de la culture de poivrons sur 34 ans, ont été calculés sur la base du modèle Bilcemak (il s'agit d'une des premières versions de pilote basée sur l'usage des « Chapitre 6, thèse Mailhol, 2001 »). On constate une sensible augmentation de ces derniers dans le temps (figure 69). Pour 2001, les besoins en eau sont de 649 mm, alors que ceux d'une année moyenne sont de 564 mm. Les besoins extrêmes sont de 434 mm pour 1972 et de 710 mm pour 1995.

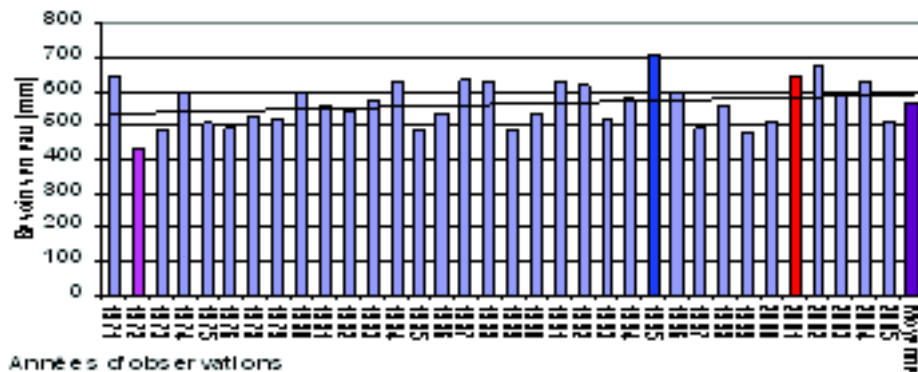


Figure 69: Besoins en eau du poivron sur une période de 34 ans (1971-2004) en relation avec les données climatiques. (annexe 45, p.318)

6.1.1.2. ANALYSE DE LA PRATIQUE DE L'AGRICULTEUR ET RESULTATS DU MODELE BILCEMAK (CAMPAGNE 2001)

Bilcemak (Mailhol et al, 1996) est un modèle de bilan basé sur les facteurs climatiques, les caractéristiques du sol (RU, RFU) et celles de la plante (Kc). En 2001, la demande climatique est élevée, la pluviométrie est inférieure à la moyenne. L'irrigation conduite de manière traditionnelle par l'irrigant est impérative. Le modèle a simulé une stratégie basée sur 11 irrigations alors que l'agriculteur en a réalisé 12, sur la base des données pédo climatiques nous les avons estimées à 13 (tableau 39). Les principaux résultats de la stratégie d'irrigation simulée pour l'année 2001 ont été regroupés dans le tableau 46.

Tableau 46 : Stratégie d'irrigation pour l'année 2001. Importance du stress entre les irrigations

Jour civil (JC)	Jours d'irrigation	N° irrigation	Intervalle en jours	Période de stress (JC)	Durée en jours	Stress/ Intervalle Irrigation (%)
131	11/05	1				
141	21/05	2	10	137 à 140	3	30
155	04/06	3	14	149 à 154	5	36
167	16/06	4	12	159 à 166	7	58
178	27/07	5	11	170 à 177	7	64
184	03/07	6	6	180 à 183	3	50
190	09/07	7	7	187 à 189	2	33
200	19/07	8	10	195 à 199	4	40
209	28/07	9	9	205 à 208	3	33
217	05/08	10	8	216	1	13
227	15/08	11	10	226	1	10

Les résultats détaillés sont présentés en annexe 46, p 319.

Les irrigations sont espacées de 14 jour maximum et 6 jours minimum. La culture subit un stress allant de 1 à 7 jours entre les irrigations, selon la période et la durée. Les apports en eau par irrigation semblent insuffisants puisqu'ils ne comblent pas la totalité du déficit en eau.

Sur la figure 70, les irrigations sont indiquées par des chiffres de 1 à 11. Les zones de stress se situent en dessous du stock critique (116 mm). Le stock d'eau au 80^e jour est de 143 mm. Il est épuisé au bout de 22 jours (du 80^e au 102^e j civil). Avant la première irrigation du 102^e au 129^e jour civil, le stock d'eau est en dessous du seuil critique.

Les valeurs de stock calculées à partir des apports de l'agriculteur se calent en grande partie avec celles simulées par le modèle excepté pour 3 points (figure 70). La conduite de l'irrigation par l'agriculteur malgré son empirisme est proche de celle du modèle. Cependant que cela soit pour la conduite par l'agriculteur ou celle simulée par le modèle, les irrigations semblent insuffisantes. La culture reste soumise à un stress entre les irrigations.

Si on compare les variations de stock par rapport à l'évolution des tensions (figure 30), nous remarquons que seul l'horizon 0-20 cm affiche des valeurs de tensions (50 kPa) proches de la limite admissible (70 à 80 kPa). Les horizons 20 - 40 cm et 40 - 60 cm, ont des tensions basses comprises entre 5 et 20 Kpa au niveau des 3 sites. Cela n'explique pas ces plages de stress.

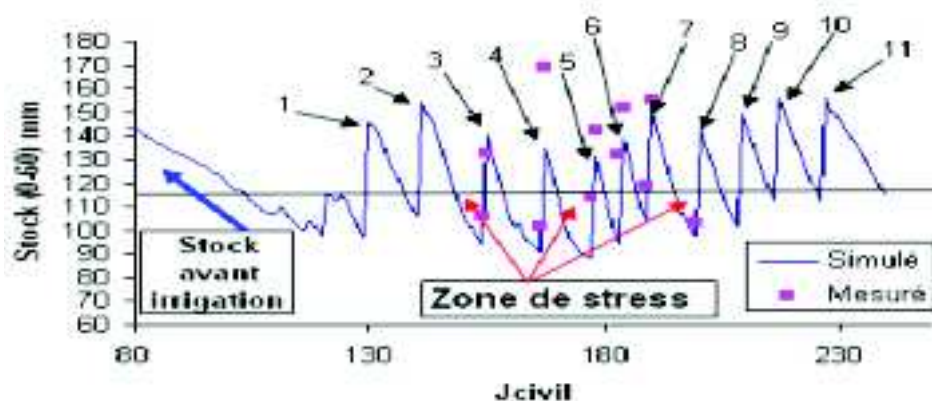


Figure 70 Stratégie d'irrigation pour la campagne 2001 (Bilcemak)

La spécificité de 2001 (pluviométrie inférieure à la moyenne) pouvait être à l'origine de ce stress. Pour le vérifier, deux autres stratégies d'irrigation ont été simulées durant l'année 1980 pour deux cas de RFU (0,5 et 0,6 RU). La pluviométrie annuelle est de 730 mm. Elle est supérieure à la moyenne annuelle sur 34 ans (665 mm).

L'analyse de la figure 71 montre que c'est grâce aux pluies d'avril et décembre, que 1980 a eut une pluviométrie annuelle supérieure à la moyenne annuelle. La répartition mensuelle des pluies pour les mois restant est inférieure aux moyennes mensuelles.

Les températures de l'année 1980 sont très proches de celles de l'année moyenne (figure 72).

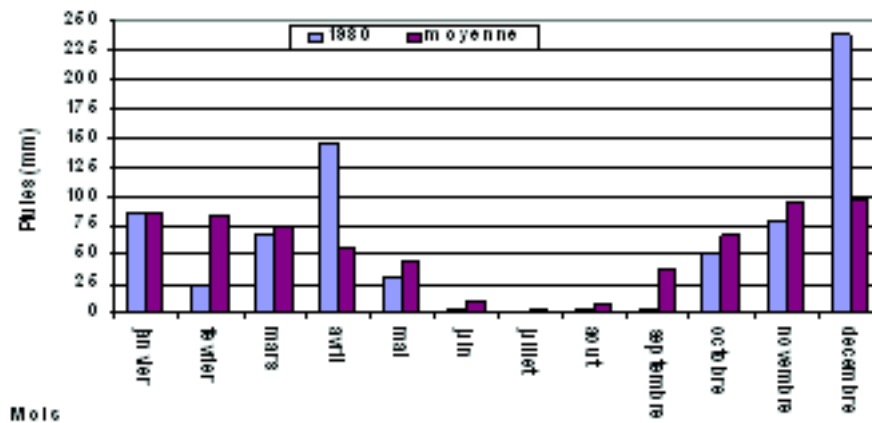


Figure 71 Histogramme des pluies mensuelles de 1980 et des pluies mensuelles moyennes sur 34 ans (1971-2004) Station de Dar El Beïda

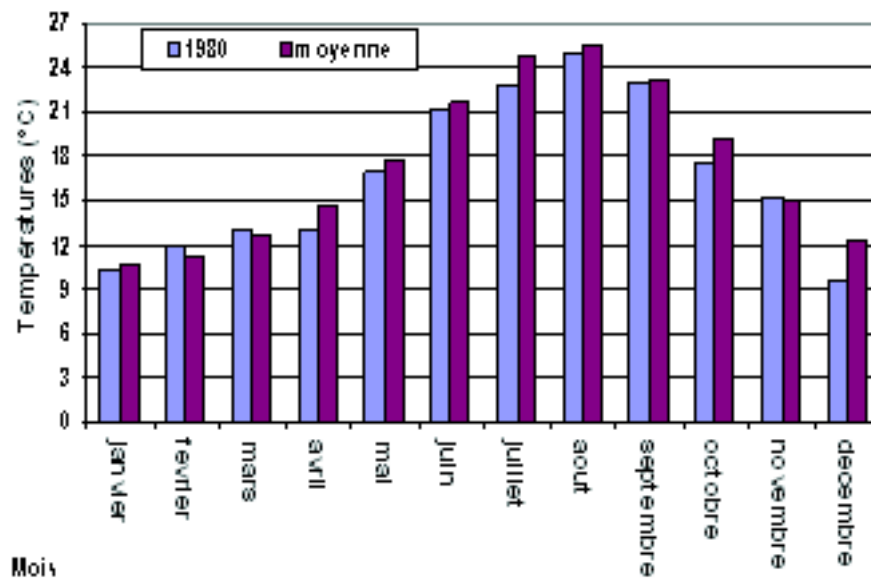


Figure 72 :Histogramme des températures mensuelles de 1980 et des températures mensuelles moyennes sur 34 ans (1971-2004) Station de Dar El Beïda.

Les résultats de la stratégie d'irrigation pour 1980, montrent que malgré un stock d'eau plus important avant le démarrage des irrigations, comparativement à la stratégie de 2001,

et un stock critique inférieur (100 mm et 90 mm), nous avons les mêmes phénomènes de stress (tableaux 47 et 48 ; figures 63 et 74). Le stress se maintient, avec moins d'intensité et de durée pour la RFU de 0,6 RU on remarque que la capacité de stockage en eau dans le sol, joue un rôle primordial dans l'atténuation du stress entre les irrigations.

Dans le cas d'une RFU de 0,5 RU le stock d'eau au 80^è jour est de 128 mm. Il est épuisé au bout de 49 jours (du 80^è au 129^è J civil). Avant la première irrigation, du 130^è au 146^è jour civil, le stock d'eau est en dessous du seuil critique.

Dans le cas d'une RFU de 0,6 RU le stock d'eau au 80^è jour est de 128 mm. Il est épuisé au bout de 53 jours (du 80^è au 133^è J civil). Avant la première irrigation, du 134^è au 146^è jour civil, le stock d'eau est en dessous du seuil critique.

Les résultats détaillés des simulations sont présentés en annexes 47 et 48, p 323 et 324.

L'agriculteur pour atténuer l'effet du stress doit irriguer plus fréquemment et donc réduire à au moins 6 jours, l'intervalle entre deux irrigations. Le mode d'irrigation traditionnelle qui utilise 1 à 2 ouvriers sur une parcelle de 0,46 ha pour 8 à 9 h ne le permet pas. L'exploitation 1, en plus de la parcelle de poivrons, comprend un verger et 12 serres qui doivent être également irrigués.

Cette culture de poivron de saison de plein champ, ne permet pas de mobiliser les moyens de main d'œuvre, d'eau, de temps d'irrigation et d'énergie à leur maximum, vu le prix de revient peu attractif en cette période de pleine production. Les rendements obtenus sont identiques aux rendements moyens nationaux (120 Qx/ha).

Tableau 47 : Stratégie d'irrigation pour 1980 (RFU = 0,5 RU); importance du stress entre les irrigations

Jour civil (JC)	Jours d'irrigation	N ^o irrigation	Intervalle en jours	Période de stress (JC)	Durée en jours	Stress/ Intervalle Irrigation (%)
147	27/05	1				
157	06/06	2	10	153 à 156	4	40
167	16/06	3	10	162 à 166	5	50
177	26/06	4	10	172 à 176	5	50
187	06/07	5	10	181 à 186	7	70
197	16/07	6	10	191 à 196	6	60
207	26/07	7	10	202 à 206	5	50
217	05/08	8	10	213 à 216	4	40
227	15/08	9	10	224 à 226	3	30
237	25/08	10	10	236	1	10

Tableau 48 : Stratégie d'irrigation pour 1980 (RFU = 0,6 RU); importance du stress entre les irrigations

Jour civil (JC)	Jours d'irrigation	N° irrigation	Intervalle en jours	Période de stress (JC)	Durée en jours	Stress/ Intervalle Irrigation (%)
147	27/05	1				
157	06/06	2	10	154 à 156	3	30
167	16/06	3	10	163 à 166	4	40
177	26/06	4	10	173 à 176	4	40
187	06/07	5	10	182 à 186	5	50
197	16/07	6	10	192 à 196	5	50
207	26/07	7	10	203 à 206	4	40
217	05/08	8	10	214 à 216	3	30
227	15/08	9	10	225 à 226	2	20
237	25/08	10	10			

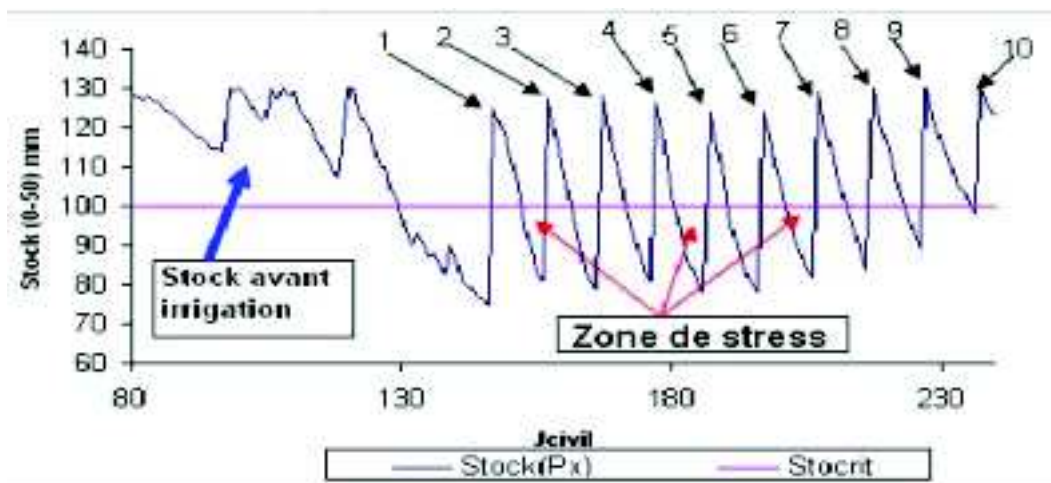


Figure 73 Stratégie d'irrigation pour la campagne de 1980 pour une RFU de 0,5 RU

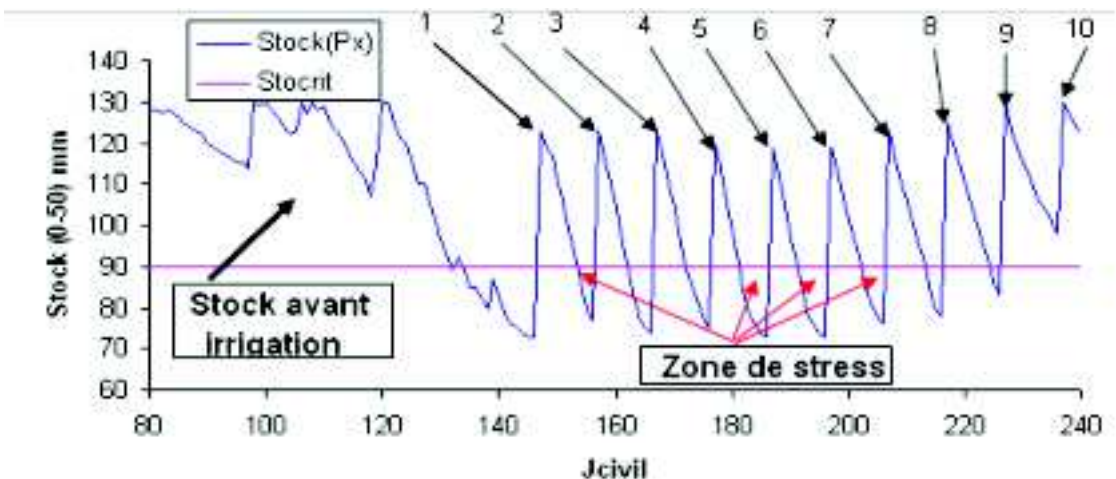


Figure 74: Stratégie d'irrigation pour la campagne de 1980 pour une RFU de 0,6 RU

La plus value que tire l'agriculteur de sa production, s'adapte bien à cette pratique. Techniquement, la solution à ce problème de stress est d'utiliser l'irrigation localisée. Cela permet une utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation et élimine le stress. Cependant, l'agriculteur ne peut concilier l'aspect gain financier minimum qu'il tire de ce type de conduite

de culture de saison avec la notion, d'économie d'eau et du coût élevé de l'investissement en micro irrigation.

6.2. SIMULATION SUR RAIES LONGUES BOUCHEES PAR LE MODELE SIMRAIE

Les modèles peuvent aider, à partir des données recueillies pour leur calage sur les essais en station, à faire des simulations visant à identifier des combinaisons débit - longueur de raies optimales. Notre souci est de trouver une longueur de raie et un débit qui soient gérables par l'irrigant. Cette combinaison longueur - débit devrait permettre d'aboutir à des caractéristiques d'efficience (pertes par percolation, rendement hydraulique, dose nette..) compatibles avec les contraintes agro-environnementales.

Simraie (Mailhol, 2003) la version prédictive de Raieopt (Mailhol, 2003 ; Mailhol et al ; 2005) est un modèle qui permet le dimensionnement et la gestion des systèmes d'irrigation à la raie. Il est basé sur la connaissance des caractéristiques hydrodynamiques du sol contrairement aux modèles utilisant l'infiltration empirique de Kostiakov (1932). L'article de Mailhol, annexe 53 p.338, en explique les principes de base.

Des tests de simulation sur raies bouchées ont été faits. Les paramètres hydrodynamiques que nous avons testés pour identifier un système modernisé et sa gestion des arrosages, sont extraits de valeurs de la littérature pour des sols ayant la même texture que les nôtres. Nous avons ainsi pris en compte les paramètres résultants des essais réalisés sur les sols de La valette (station du Cemagref de Montpellier) (Mailhol et al. 2005).

Le choix de la conduite des arrosages en raies bouchées permet d'éliminer les pertes en colature et d'améliorer très significativement l'efficience. Dans un pays où le déficit en eau est chronique, l'agriculteur conçoit mal l'idée de perdre de l'eau en colature. Des techniques existent pour valoriser les colatures, mais elles exigent d'autres moyens (recyclage en particulier ou réutilisation sur parcelle aval). Ces tests ont permis de trouver une longueur de raie et un débit dont la maîtrise par l'agriculteur est possible.

Il s'agit de raies bouchées de 180 m de long alimentées avec un débit de 0,75 l/s. Les résultats détaillés de la simulation sont présentés en annexe 49, p.331. Les données de base fournies au modèle figurent dans le tableau 49.

Tableau 49: Données de base nécessaires au modèle où λ_c = longueur capillaire, K_S = conductivité hydraulique à saturation, θ_s = teneur en eau volumique à saturation, θ_i = teneur en eau volumique initiale, P_{Sj} = paramètre d'infiltration régissant la vitesse de remplissage de la macroporosité.

Caractéristiques	Valeurs	Caractéristiques hydrodynamiques	Valeurs
Parcelle type Limoneux argileux		λ_C (cm) :	20,0
Longueur des raies (m)	180,0	K_s (cm/h):	1,0
Pente :	0,0025	θ_s :	0,4
Ecartement inter raie (m) :	0,8	Θ_i :	0,2
Q_{in} L/s (débit en tête)	0,75	Raie bouchée	oui
t_{co} (mn) : temps total d'irrigation par raie	190		
D_{min} req : dose minimum requise en bout de raie (mm)	50,0	Technique 2 débits:	non
Maning : coefficient de rugosité des parois de la raie	0,04	q_r ,réduit ...:	0
Psi :	15,0	Effet : macro pore faible	

A partir de ces données, le modèle propose les caractéristiques suivantes :

- Un débit initial en tête de 0,75 l/s
- Un temps d'irrigation total par raie de 190 mn
- Un K_s de 1 cm/h
- Un temps d'arrivée du front d'eau en bout de raie de 186 mn
- Un rendement net de 82%
- Une efficience d'application de 84%
- Des pertes par percolation de 10%
- Une dose en bout de raie de 49 mm
- Une dose au point 7/8^e de la raie de 55 mm

Le temps d'arrivée de l'eau en bout de raie est de 186 mn. Le temps d'entretien est de 4 mn. Il y aura peu de risque de débordement en bout de raie. La dose minimale requise de 50 mm est respectée (49 mm pour le modèle). Le rendement est de 82%, l'efficience d'application de 84%, ce sont des caractéristiques intéressantes ; les pertes par percolation de 10% sont acceptables.

Le débit de 0,75 l/s permet avec les mains d'eau utilisées actuellement par les irrigants (10 l/s), d'irriguer en même temps 13 raies de 180 m.

Ce mode d'irrigation présente tous les avantages que nous recherchons un rendement et une efficience élevés, des pertes par percolation minimales. Nous le retiendrons comme facteur d'amélioration et de modernisation de l'irrigation auquel nous voulons aboutir. Ses exigences seront développées plus tard.

7. CONCLUSION

Le rendement hydraulique pour les raies de 30 m est proche de celui rencontré fréquemment en irrigation à la raie, par contre celui des raies de 60 m est trop élevé pour ce type d'irrigation. On obtient des valeurs d'uniformité des irrigations assez proches entre elles pour les deux longueurs, exception faite de la dernière irrigation. Par contre les pertes en colature et par percolation sont trop élevées, elles oscillent entre 50 et 70%.

Pour les teneurs en eau, sur l'ensemble des profils étudiés (campagne 1998), on remarque qu'à partir du niveau 40 cm, les valeurs de teneurs en eau augmentent jusqu'au

niveau 80 cm. Cet horizon (40 cm) est une zone de flux que nous avons remarqué lors de l'étude sur les potentiels. Il alimente les horizons inférieurs et supérieurs. C'est un horizon où les teneurs en argile sont élevées (minimum de 25%), proche de la semelle de labour. Les horizons supérieurs lorsqu'ils sont proches du Pf, y puisent de l'eau. Durant l'année 2000 il n'a plu que 240 mm. Cela a été une année exceptionnellement sèche. Le niveau des réserves en eau dans le sol après était au plus bas. Les valeurs de l'ETP dépassaient celles de la moyenne annuelle. Les doses apportées ne suffisaient pas à remplir le réservoir sol.

Par ailleurs comme nous l'avons expliqué précédemment, nous avons conduit nos irrigations sur la base d'apport après consommation de 80% de la RFU.

Les suivis des tensions et des teneurs en eau, ont montré la nécessité du suivi des irrigations. Une modernisation des techniques traditionnelles pour réussir doit s'accompagner de moyens nécessaires pour introduire et développer les instruments d'une conduite raisonnée des irrigations.

La conduite tensiométrique pourrait aider nos agriculteurs à mener leurs cultures irriguées soit dans un contexte d'économie d'eau soit dans un contexte d'optimisation des rendements agricoles.

La relation tension teneur en eau est importante pour mieux connaître les phénomènes d'humectation et de dessèchement du sol. Elle montre que les couches du sol réagissent différemment face à ce phénomène.

L'analyse par Bilcemak (Mailhol et al, 1996) de la stratégie d'irrigation menée dans l'exploitation 1 (campagne 2001), montre que, l'agriculteur pour atténuer l'effet du stress doit irriguer plus fréquemment et donc réduire à au moins 6 jours, l'intervalle entre deux irrigations. Le mode d'irrigation traditionnelle qui utilise 1 à 2 ouvriers sur une parcelle de 0,46 ha pour 8 à 9 h ne le permet pas. L'exploitation 1, en plus de la parcelle de poivrons, comprend un verger et 12 serres qui doivent être également irrigués. Cette culture de poivron de saison de plein champ, ne permet pas de mobiliser les moyens de main d'œuvre, d'eau, de temps d'irrigation et d'énergie à leur maximum, vu le prix de revient peu attractif en cette période de pleine production. Les rendements obtenus sont identiques aux rendements moyens nationaux (120 Qx/ha).

Les essais menés en station INA sur raies courtes de 30 et 60 m, au vu des résultats, peuvent aider à une amélioration du mode d'irrigation existant actuellement. Cependant, la modernisation pour être économiquement rentable et permettre la mécanisation ainsi que l'automatisation des différentes opérations en irrigation, passe obligatoirement par l'utilisation des raies longues. Nous pensons que la longueur optimale proposée par le modèle Simraie (Mailhol, 2003), s'applique bien au contexte du parcellaire des exploitations agricoles en Algérie. Il s'agit d'unités agricoles dont plus de 50%, ont des superficies comprises entre 2 et 10 ha. Les raies longues dans un contexte de parcelles planées peuvent dépasser 600 m de long. Dans notre contexte, cela nécessiterait un remembrement du parcellaire déjà bien mal en point, ce qui est irréalisable.

Dans la partie qui suit nous tenterons de faire des propositions d'améliorations et de modernisation des pratiques actuelles d'irrigation.

B/ RECOMMANDATIONS

1. INTRODUCTION

La particularité du mode d'irrigation gravitaire mené par les agriculteurs met en évidence les pertes de terrain engendrées par le réseau des seguias de distribution, la mobilisation d'une partie de la main d'œuvre de l'exploitation, le temps consacré à l'irrigation, les volumes d'eau mobilisés, l'énergie consommée. Cependant, le potentiel de main-d'œuvre mobilisé et le prix du mètre cube d'eau ne constituent pas en l'état actuel, la préoccupation majeure chez l'agriculteur. La charge qu'ils représentent, comparée à la plus value financière tirée des cultures irriguées semble négligeable. Par ailleurs, on ne sait pas quel sera le comportement des futures générations d'agriculteurs, vis-à-vis de ces systèmes traditionnels, notamment en raison de la pénibilité du travail exigé. Il faut donc promouvoir des systèmes efficaces susceptibles de maintenir les jeunes dans le secteur de l'agriculture, car la part de la ressource en eau allouée à l'agriculture va décroître (Mailhol, 2001). Ces systèmes doivent être économiquement supportables par l'agriculteur.

Dans ce contexte, le diagnostic que nous avons établi sur la pratique de l'irrigation par micros - raies à l'échelle de la parcelle, les résultats des essais menés en station à l'INA, ainsi que les simulations qui en ont résultés, pourraient contribuer à l'amélioration du système à court et moyen terme. Ces améliorations techniques doivent nécessairement être liées à un mode de conduite rationnel des irrigations, et tenir compte du contexte socio économique.

2. AMELIORATION DU MODE D'IRRIGATION PAR MICROS - RAIES

Les améliorations proposées doivent prendre en compte les aspects socio économiques et culturels, qui régissent le mode de vie de la population agricole. Il y a 65% des chefs d'exploitation qui sont sans instructions, donc pouvant poser à priori des problèmes d'assimilation de toute forme de bouleversement dans le mode de gestion de l'agriculture irriguée (RGA, 2003). Par essence, l'agriculteur est méfiant envers tout changement dans ses habitudes s'il n'en est pas convaincu. Il faudrait alors avoir une approche prudente, convaincante avec des changements étalés dans le temps.

Il est nécessaire dans une première étape (court terme : 2 à 3 ans), que les premiers changements portent sur une amélioration du système micros - raies actuellement en usage. Les résultats doivent être immédiatement palpables pour l'agriculteur : gain de temps, économie d'eau et d'énergie, moins de pénibilité dans le travail, moins de main d'œuvre mobilisée pour l'irrigation, une amélioration des rendements par l'exploitation de l'ensemble de la superficie de la parcelle.

Dans une deuxième étape (moyen terme : 5 à 6 ans), proposer la modernisation du système. Il faudra introduire la notion et la nécessité du planage des parcelles pour un mode d'irrigation plus performant, une plus grande efficacité, une gestion plus rationnelle des superficies et la possibilité de mécaniser les opérations d'irrigation pour utiliser moins de main d'œuvre et disposer de plus de liberté d'action.

2.1. COURT TERME

En irrigation gravitaire traditionnelle, le réseau d'amenée d'eau par les canaux quaternaires en terre, alimente les seguias de distribution lesquelles ramènent l'eau au niveau de chaque micro - raie. Ce réseau (canaux, seguias) est le siège de pertes en eau par infiltration profonde dont l'importance est fonction de la nature du sol, de la superficie mobilisée et de la densité du réseau de distribution d'eau.

Les actions à entreprendre porteront sur

- La réduction des pertes par infiltration dans les canaux de transport en terre vers la parcelle ;
- L'augmentation des longueurs des micros - raies et la réduction du nombre de seguias de distribution ;

2.1.1. LES CANAUX TRANSPORTEURS EN TERRE

Ces canaux dont la section est de forme généralement trapézoïdale (largeur de section entre 0,6 m et 0,8 m) ramènent l'eau depuis la borne ou le forage, jusqu'à la parcelle à irriguer. Ils sont la première source de pertes en eau par infiltration profonde, sans que cette eau puisse profiter à l'irrigation. Nous n'avons pas de données sur les pertes qu'ils occasionnent. Nous en avons sur les seguias de distribution au sein de la parcelle. Leurs dimensions sont moindres (largeur de 0,5 m à 0,6 m) les pertes par infiltration linéaire y sont égales à 18,5%.

Il est possible d'éliminer ces pertes d'eau dans les canaux transporteurs en les remplaçant par :

- Des conduites en PEBD (polyéthylène basse densité) ;
- Des gaines souples en plastique ;
- Des canaux dont les parois sont recouvertes d'un film plastique noir (géomembrane) ;
- Des canaux en béton ;

L'usage de ces pratiques est courant dans les pays du Maghreb sans être généralisé à l'ensemble des exploitations. Pour le PEBD, nous pouvons citer le cas des exploitations de Fedj Rouissat en Tunisie. C'est une région qui fait partie de la délégation de Chbika dans le gouvernorat de Kairouan. Elle est située à 20 km à l'ouest de la ville. Le climat y est de type semi aride avec une pluviométrie moyenne annuelle de 250 mm (moyenne sur 56 ans). Certains agriculteurs pompent l'eau depuis une retenue collinaire située à 800 m de leurs exploitations (photo 32) et la transportent jusqu'à leurs parcelles avec des tuyaux en PEBD (photo 33).



Photos 32 ; 33 : Pompe refoulant depuis la retenue collinaire (gauche) par l'intermédiaire de conduites en polyéthylène (droite)

Source : Chabaca, 2005

Les canaux recouverts de film plastique ou en béton, sont utilisés au Maroc. Des aménagements ont été fait dans l'objectif d'une modernisation de l'irrigation gravitaire. Les exploitations concernées par ces aménagements sont situées dans le périmètre du Tadla à Souk Tléta. Certains canaux transporteurs sont recouverts d'un film plastique noir de 400

microns d'épaisseur (durée de vie de 4 ans). La présence du film évite le développement des mauvaises herbes dans le canal (photo 34). Dans d'autres cas, le canal en terre a été remplacé par un canal en béton (Photo 35).



Photos 34 ; 35 : Canal recouvert d'un film plastique au Tadla (gauche) ; canal en béton au Tadla (droite)

Source : Legrusse; 2006

Actuellement en Algérie, certains agriculteurs utilisent des gaines souples en plastique (200 microns) pour alimenter leurs parcelles depuis la source d'eau. Ces gaines, suite aux manipulations sur le terrain se détériorent rapidement et sont à leur tour source de fuites d'eau. Depuis 2002 – 2003, on assiste à une introduction progressive de conduites en PEBD.

Dans ces différentes situations, ces aménagements sont intéressants au regard des économies en eau qu'ils permettent de réaliser, d'autant qu'en Tunisie et au Maroc, le prix du mètre cube d'eau d'irrigation est dix fois plus élevé qu'en Algérie.

2.1.2. LES SEGUIAS DE DISTRIBUTION AU SEIN DE LA PARCELLE

Leur nombre dépend de la longueur des micros - raies dans la parcelle. Le schéma d'occupation du sol par le réseau de seguias que l'on rencontre généralement dans le cas d'une parcelle d'un hectare (100 m par 100 m) est représenté par la figure 75.

Dans celle-ci, nous avons un canal en terre (largeur de 0,6 m à 0,8 m) qui alimente 20 seguias de 100 m de long chacune (largeur de 0,5 à 0,6 m). Chaque seguia alimente une série de micros - raies de longueur moyenne de 5 m et dont le nombre est fonction de l'écartement inter raies (0,8 à 1,3 m).

Les seguias, selon leur importance (nombre, longueur, largeur) vont occuper une partie de la parcelle. Dans le cas de figure que nous présentons, ce taux d'occupation varie de 16 à 20%. C'est autant de superficie perdue par la culture (tableau 50).

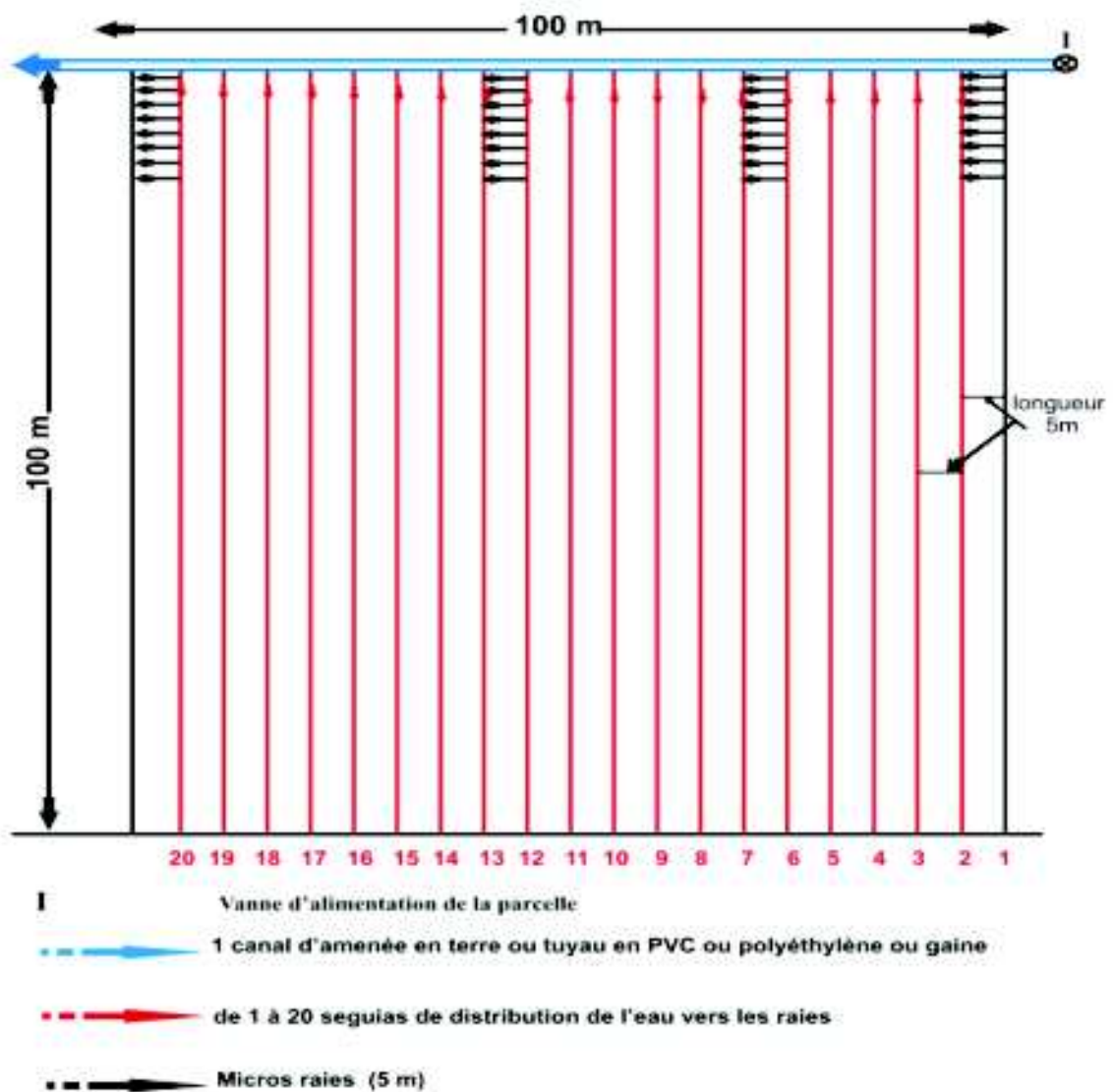


Figure 75 : Canal d'alimentation en eau et réseau de seguia de distribution dans une parcelle de 1 hectare pour des micros raies de 5 m

Le tableau 50 regroupe les différents cas de figure que l'on peut rencontrer pour les différents écartements de micros - raies, la durée d'irrigation, ainsi que l'espace réservé aux seguias selon leur largeur.

Tableau 50 : Taux de couverture d'une parcelle de 1 ha par le réseau de seguia

Largeur des seguias (m)	Nombre de seguias	Longueur totale (m)	Surface (m ²) Longueur x Largeur	Taux d'occupation (%)
0,5	20	2000	1000	10
0,6	20	2000	1200	12

Certains agriculteurs conscients de cette perte d'espace, mettent sur les bords des seguias de distribution pour valoriser leur eau, des cultures secondaires, généralement du maïs grain ou du sorgho, qui font office également de brises vent.

L'écartement des raies varie de 0,8 à 1,3 m. Leur nombre est déterminé par la forme de la parcelle, le type de culture et le type de sol. Cela conditionne le volume brut d'eau que va ramener l'irrigant ainsi que le temps d'irrigation. Nous avons repris les différents cas dans le tableau 51.

Tableau 51 : Durée d'irrigation et volumes d'eau nécessaires selon les différents écartements et nombre de micros raies

Inter raie (m)	Nombre de micros raies desservies par seguia	Nombre de micros raies par ha	Temps moyen d'irrigation par micro raie (mn)*	Durée totale d'irrigation par ha en heures	Volume brut en m ³
0,8	125	2500	0,6	25	758
1	100	2000	0,6	20	606
1,3	77	1540	0,6	16	485

* Cette durée a été mesurée pour des micros - raies de 5 m et un débit de 8,42 l/s

Le temps d'irrigation d'une parcelle de 1 ha en fonction des différents types d'écartements observés, peut varier de 16 h à 25 h. Le volume brut pompé varie quant à lui pour la même superficie de 485 m³ à 758 m³.

Dans le cas que nous avons présenté, la parcelle avait une forme géométrique parfaite où les seguias et les micros raies avaient des longueurs homogènes. Ce n'est pas toujours le cas sur le terrain.

Dans d'autres cas de figures, la géométrie de la parcelle impose des longueurs de seguias et de micros raies qui ne sont pas homogènes. Elles doivent s'adapter à la configuration du terrain et de la géométrie. C'est le cas de la parcelle de poivrons de l'exploitation 1 où les longueurs de seguias varient de 30 m à plus de 100 m et celles des micros - raies de 4 à 10 m. Cette hétérogénéité impose un temps d'irrigation et des volumes d'eau pompés supplémentaires. Avec un écartement inter raies de 0,8 m, la parcelle de poivrons de 0,46 ha était irriguée en 9 h.

2.1.3. AMELIORATION DU MODE MICROS - RAIES

La topographie des parcelles dans les exploitations agricoles est en majorité favorable à l'utilisation de longueurs de micros - raies plus grandes que celles utilisées habituellement (5 à 10 m) sans de gros aménagements.

Nous remarquons que sous serres, l'agriculteur quand il irrigue gravitairement le fait sur des raies de 40 m à 50 m de long. L'aménagement est manuel, à l'aide de bêches et de râtaux (photo 36).

Il est donc possible sans mobiliser des moyens mécaniques lourds, de pouvoir travailler sur des longueurs de micros - raies plus grandes mais qui doivent rester maîtrisables et gérables par les agriculteurs. On peut réduire notablement le taux d'occupation du sol par les seguias de distribution ainsi que le temps d'irrigation et les volumes d'eau, en augmentant simplement la longueur des micros - raies. En ce sens, des essais d'irrigation sur raies de 25 m ont été réalisés à l'INA (annexe 51, p.334).



Photo 36 : Irrigation par raies courtes de 40 m de long, sous serre

Si nous raisonnons sur des longueurs de micros - raies de 25 m qui peuvent s'insérer facilement dans un parcellaire carré comme dans le cas de la figure 74, nous obtenons une répartition homogène et une disposition d'un ensemble, seguias micros raies, facilement exploitable par l'irrigant (figure 76). L'arrivée et la distribution de l'eau au sein de la parcelle est assurée par un ensemble constitué de gaines souples en plastiques, de conduites en PEBD et de vannes. L'ensemble de l'équipement est fixe durant la campagne d'irrigation.

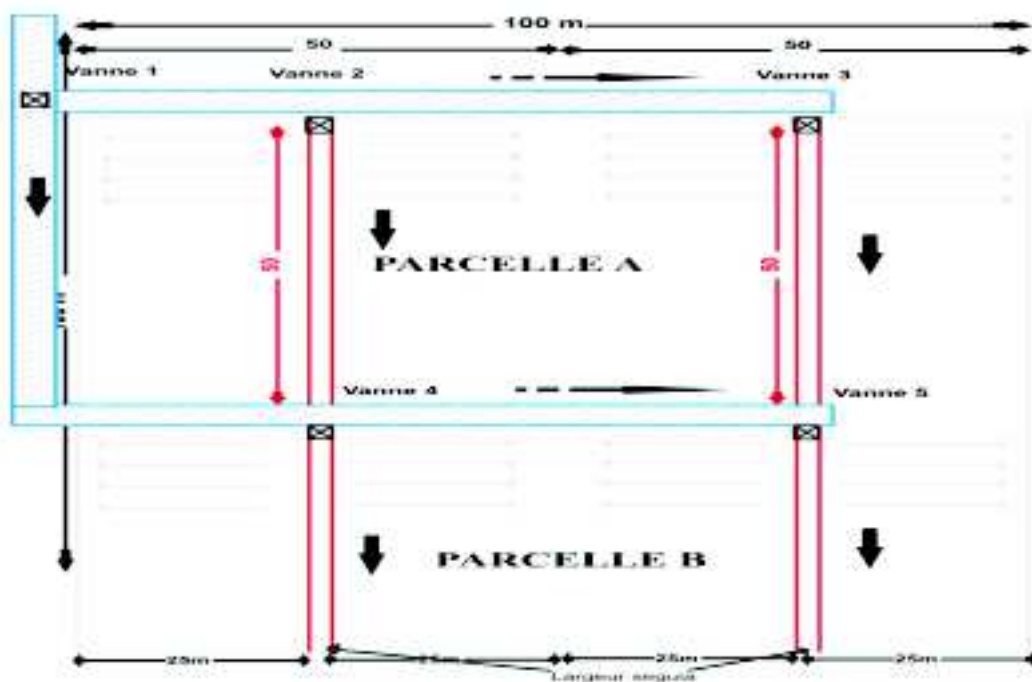


Figure 76 : Dispositif d'amenée et de distribution de l'eau dans les seguias pour des micros raies de 25 m

Bleu : Canal transporteur (conduite en PEBD Ø 90 mm) ; Rouge : Seguia de distribution en terre ; Noire : Micros raies de 25 m ; V_1 à V_5 : Vannes d'alimentation des seguias

La superficie est aménagée en deux sous parcelles A et B de 100 m de large et 50 m de long chacune. Les seguias ont des longueurs de 50 m pour diminuer les pertes par infiltration linéaire. L'alimentation en tête de parcelle depuis la source est assurée par une gaine souple en plastique stabilisé munie à son extrémité aval d'une vanne V_1 .

Dans chaque sous parcelle, le canal en terre est soit recouvert d'un film plastique, soit remplacé par une conduite en PEBD, soit par une gaine souple en plastique stabilisé. Dans le cas du PEBD ou de la gaine souple, deux vannes V_2 et V_3 pour la sous parcelle A ; V_4 et V_5 pour la sous parcelle B, alimentent respectivement les seguias 1, 2, 3 et 4.

L'alimentation de la seguia 1 par la vanne 2 permet de distribuer l'eau successivement dans les micros - raies disposées latéralement par rapport à celle-ci. Quand l'ensemble des micros - raies desservies par la seguia 1 sont alimentées, la vanne V_2 sera fermée et la vanne V_3 ouverte pour alimenter la seguia 2 selon le même processus.

Puis on procède de la même manière pour la sous parcelle B avec les vannes V_4 et V_5 .

La longueur des micros - raies (25 m) permet des durées de remplissage plus longues (tableau 52). Un seul ouvrier peut conduire l'irrigation avec des fréquences d'intervention plus espacées. Il peut également procéder de manière rapide à l'ouverture des vannes. La diminution du nombre de seguias permet à la culture d'occuper la presque totalité de la superficie irriguée.

Dans le tableau 52, sont regroupés les différents scénarios de débit pour un écartement de micros - raies de 0,8 m.

Tableau 52 : Durée de l'irrigation selon l'inter raie et le nombre de micros – raies

Inter raie (m)	0,8
Nombre de micros - raies irriguées sur les deux cotés d'une seguia	126
Nombre total de micros - raies irriguées par les 4 seguias	504
Temps d'irrigation moyen par micro raie (mn) $Q= 4\text{/s}$ $Q= 10\text{/s}$	3 1,5
Durée totale d'irrigation de 1 ha (en heures) $Q= 4\text{/s}$ $Q= 10\text{/s}$	25 13
Volume délivré à la parcelle (m^3) $Q= 4\text{/s}$ $Q= 10\text{/s}$	360 468

Les essais ont été menés sur les parcelles de l'INA. Les débits utilisés sont ceux pratiqués couramment par les agriculteurs dans les exploitations étudiées.

La pratique de l'irrigation avec un débit de 4 l/s nécessite une durée de 25 heures pour un volume brut délivré de 360 m^3 , celle avec un débit de 10 l/s une durée de 13 heures mais un volume brut de 468 m^3 . Le choix doit être fait par l'agriculteur entre une économie de temps ou d'eau. Le comportement actuel des agriculteurs au vu du contexte dans lequel ils évoluent (prix de l'eau, main d'œuvre), pencherait plutôt vers la première solution.

Le taux d'occupation du sol par les seguias de distribution est déterminé à partir de leur nombre, leur longueur totale et la largeur de leur section. Le tableau 53 indique les différents taux d'occupation en fonction de la largeur de la section des seguias.

Tableau 53 : Taux d'occupation du sol par les seguias selon la largeur de leur section

Largeur des seguias (m)	0,5	0,6
Nombre de seguias	4	4
Longueur d'une seguia (m)	50	50
Longueur totale (m)	200	200
Superficie Longueur X Largeur de la section (m^2)	100	120
Taux d'occupation de la parcelle par les seguias (%)	1	1,2

Les aménagements que nous avons proposés font passer le taux d'occupation de la parcelle de 10 à 12% pour des micros - raies de 5 m (tableau 50) à 1 et 1,2% pour des micros - raies de 25 m (tableau 53).

Ainsi, les différentes modifications apportées dans l'agencement du réseau de seguias, montrent les avantages immédiats qui en résultent, laissant le choix à l'agriculteur entre le temps d'irrigation, les volumes d'eau mobilisés, et le taux d'occupation du sol par le réseau de seguias.

Le deuxième aspect que nous abordons concerne les équipements que nous avons proposés dans le dispositif de la figure 76. Ils suppriment les pertes en eau à l'amont de la parcelle, de même que les manipulations physiques nécessaires lorsqu'on utilise les canaux en terre.

Les frais d'équipement de la parcelle selon les 3 scénarios (1 : conduite en PEBD, 2 : gaine souple, 3 : film plastique) sont présentés dans le tableau 54.

	Conduite PEBD* Ø : 90mm	Prix unité (DA)	Prix total (DA)	Nbre de Vanne Ø : 63 mm	Prix unité (DA)	Prix total Vanne	Té en PVC Ø : 90 mm	Prix unité (DA)	Prix total Té	Total Equipement (DA)
1	250 m	357	89250	05	1762	8810	03	619	1857	99 917
2	Gaine plastique Ø : 130 mm	Prix 1 kg (DA)	Prix total (DA)	Nbre de Vanne Ø : 63 mm	Prix unité (DA)	Prix total Vanne	Té EnPVC Ø : 90 mm	Prix unité (DA)	Prix total Té	Total Equipement (DA)
	250 m (19 kg)	1307,7	3289,25	05	1762	8810	03	619	1857	13 936
3	Film plastique stabilisé	Prix unité 1 kg (DA)	Prix total (DA)							Total Equipement (DA)
	240 m ² (38,4kg)	174,36	6 695							6 695

Tableau 54 : Frais d'équipement de distribution de l'eau au sein de la parcelle de 1 ha selon les 3 scénarios (annexe 52, p. 336)

PEBD : polyéthylène basse densité, diamètre 90 mm, épaisseur 7 mm ;

Nous présentons trois versions possibles d'équipements pour la parcelle de 1 ha. L'alimentation en eau de la parcelle qui est la même pour les trois versions, depuis le forage ou la borne, se fait par des gaines souples en plastique stabilisé de 200 microns d'épaisseur (traitées contre les rayons ultra violets). La distance de la parcelle à la source d'eau étant variable, nous donnons à titre indicatif le prix de 100 m de gaine (Ø : 130 mm ; 1307,7 DA).

Version 1 : La parcelle est équipée en tuyaux PEBD et de 5 vannes. Les frais d'équipement sont estimés à 99 917 DA/ha. Le matériel peut être récupéré en fin de campagne d'irrigation. Le réseau à l'échelle de la parcelle peut être enterré, seules les vannes restent accessibles. La durée de vie de cet équipement est de 15 à 20 ans.

Version 2 : La parcelle est équipée en gaine souple plastique stabilisé de 200 microns et de 5 vannes. Les frais d'équipements sont évalués à 13 936 DA /ha. Le matériel peut être récupéré en fin de campagne. La durée de vie en fonction de l'entretien est de 3 à 4 ans.

Version 3 : Le seul équipement consiste à recouvrir les parois du canal transporteur par un film en plastique stabilisé de 200 microns d'épaisseur (durée de vie 3 à 4 ans). Le

transfert de l'eau vers les seguias se fait en installant 1 ou 2 sacs plastiques remplis de terre en travers du canal, qui font office de batardeaux. Les frais d'équipement sont évalués à 6 695 DA/ha. Le plastique étant recouvert de terre sur ses bords durant la campagne d'irrigation, sa durée de vie est de 1 à 2 ans.

2.1.4. CONCLUSION

Les aménagements que nous proposons ne bouleversent pas les habitudes de l'irrigant. Ils restent dans ses repères que sont les petites raies, l'amenée d'eau gravitairement. Les améliorations portent sur deux points :

- On passe de micros - raies de 5 - 10 m à celles de 25 m ;
- Le système de transport et de distribution de l'eau à l'amont et à l'échelle de la parcelle, élimine les pertes en eau par infiltration ;
- L'utilisation des gaines souples, de conduites en PEBD ou de films plastiques, supprime les fuites dues au réseau de canaux transporteurs. La manipulation de la main d'eau par l'irrigant se fait à partir de vannes.
- Les seules manipulations demandant un effort physique soutenus sont celles de la distribution de l'eau depuis la seguia vers les micros - raies.

Les opérations de transfert d'eau de la seguia vers les micros - raies par l'irrigant dont le nombre est de 1 500 /ha pour des longueurs de raie de 5 m, passent à 1000/ha pour des raies de 25 m. L'effort physique est réduit, le temps d'activité consacré à ces opérations, également.

La densité de plantation avec ces aménagements est identique à celle d'une couverture par micro irrigation ou par aspersion.

L'investissement pour l'équipement d'un hectare est minime comparativement à celui de la micro irrigation ou de l'aspersion (tableau 55).

Gravitaire			Micro irrigation [*] Annexe 52 p. 336	Aspersion ^{**} Annexe 52 p 336
Version A	Version B	Version C		
99 917 DA	13 936 DA	6 695DA	160 000 DA à 200 000 DA	145 000 DA à 185 000 DA

Tableau 55 : Frais d'équipement d'un hectare en gravitaire, selon les 3 versions proposées comparativement à l'équipement d'un hectare en aspersion ou en localisé

* Les détails sont fournis en annexe 52 p. 336

** Un kit d'aspersion financé dans le cadre du PNDA, comprend une rampe de 48 éléments de 6 m chacun et 24 asperseurs. L'ensemble peut irriguer d'un seul tenant 0,35 ha. Les détails sont fournis en annexe 52 p. 336

2.2. MOYEN TERME

Le court terme est une transition obligée. Les améliorations obtenues à partir du mode gravitaire traditionnel auquel est habitué l'agriculteur permettent à ce dernier de pouvoir s'ouvrir à d'autres bouleversements. Il sera alors plus facile de pouvoir introduire la notion de modernisation. Cela suppose un changement dans la pratique de l'agriculteur et dans sa conduite de l'irrigation (fréquences, doses). Les éléments clés qui doivent être mis en avant pour convaincre l'agriculteur, sont la possibilité de mécaniser l'irrigation par l'introduction de

siphons, d'où une réduction de la main d'œuvre, la possibilité d'irriguer plus de surface pour la même durée et avec le même volume d'eau.

Pour aboutir à ces résultats, différentes étapes sont nécessaires : le planage des parcelles, la réalisation de canaux transporteurs en terre recouverts d'un film plastique pour empêcher les pertes en eau par infiltration et pouvoir utiliser la technique des siphons.

Le schéma réalisable dans une optique de modernisation, c'est celui de parcelles avec des raies bouchées longues (□ 200 m), alimentées depuis un canal par des siphons. Cette pratique permet d'irriguer plusieurs raies en même temps selon les mains d'eau généralement utilisées (entre 4 et 10 l/s).

C'est une pratique facilement assimilable par l'irrigant. Elle nécessite cependant de la part de ce dernier, une surveillance des siphons pour éviter leur désamorçage.

2.2.1. LE PLANAGE

C'est une étape nécessaire pour pouvoir réaliser des raies longues utilisant de petits débits (0,5 à 1,5 l/s). La pente doit être la plus faible possible (permettre à l'eau de s'écouler par gravité sur de longues distances tout en évitant l'érosion). L'Algérie n'a pas de traditions de travaux de planage pour les terres agricoles (absence d'entreprises spécialisées dans le domaine, pas de demandes de services). Une petite entreprise ne nécessite pas de moyens lourds. Elle peut intervenir dans de petites exploitations où les superficies à planer sont réduites (1 à 2 ha). Plus de 50% des exploitations qui utilisent l'irrigation ont moins de 10 ha (RGA, 2003), les superficies irriguées par gravité en maraîchage ne dépassent pas très souvent les 2 à 3 ha. Le coût de 1 ha nivelé au Maroc actuellement, oscille entre 3 000 et 4 000 DH (300 à 400 Euros), soit 30 000 à 40 000 DA.

Pour une petite exploitation de 10 ha disposant en moyenne de 5 ha d'arboriculture, 1 ha de cultures sous serres et 4 ha de terres nues, le planage peut être réalisé sur la totalité ou partie des terres nues. L'investissement sera de 40 000 DA pour 1 ha à 160 000 DA pour 4 ha dans le cas extrême.

2.2.2. L'IRRIGATION A LA RAIE LONGUE

Le planage permet l'écoulement de l'eau par gravité sur de longues distances. Cet avantage est utilisé dans l'irrigation gravitaire moderne pour confectionner des raies ouvertes ou bouchées, allant de 100 m à 600 m de long.

Aux Etats-Unis, les raies de 500 m à 600 m sont couramment utilisées. L'automatisation de la distribution de l'eau dans ce système est devenu un marché porteur.

En Algérie l'irrigation gravitaire par raies longues est une pratique inconnue de nos agriculteurs.

Dans notre contexte, les raies bouchées semblent être le mode le mieux adapté aux conditions climatiques. Elles assurent une infiltration en profondeur de l'eau, sans pertes en colature.

Le modèle Simraie utilisé sur un sol argilo limoneux, propose des paramètres hydrauliques intéressants avec des raies bouchées de 180 m de long (annexe 49 p. 331).

Cependant ce type de longueur laisse percevoir des risques de drainage en aval des parcelles même dans le cas de sols profonds. Il convient de signaler aussi que les risques de drainage peuvent être intensifiés par la submersion avale que provoque le ruissellement des orages estivaux (Mailhol, 2001). Les simulations effectuées montrent que les risques

de submersion aval peuvent être réduits à condition de respecter les consignes suivantes : parcelles à faible pente ($S_o < 0,3\%$) et de longueur inférieure à 300 m.

La main d'eau généralement utilisée dans les exploitations agricoles à partir des pompages (mode majoritaire) ou de l'eau de bornes, varie de 4 l/s à 10 l/s. Nous pouvons irriguer si nous utilisons un débit de 0,75 l/s par raie, entre 6 et 14 raies en même temps.

Pour que le mode irrigation par raie longue sur parcelle planée, soit rentable il faut un minimum de 10 raies irriguées simultanément. De ce fait les mains d'eau inférieures à 8 l/s sont à écarter.

A partir des caractéristiques longueur, débit, du modèle Simraie, nous proposons le schéma d'irrigation suivant pour une parcelle de 180 m de long et 50 m de large (figure 77).

L'investissement nécessaire pour ce type d'irrigation à l'échelle de cette parcelle comprend :

- La réalisation d'un canal en terre de 50 m pour 1 ha, pour alimenter les raies de 180 m par le biais de siphons en PVC ;
- La pose d'un film plastique de couleur noire de 200 microns d'épaisseur, (durée de vie moyenne 3 à 4 ans), pour recouvrir le canal et éliminer les infiltrations ;
- 13 siphons pour irriguer 13 raies simultanément ;

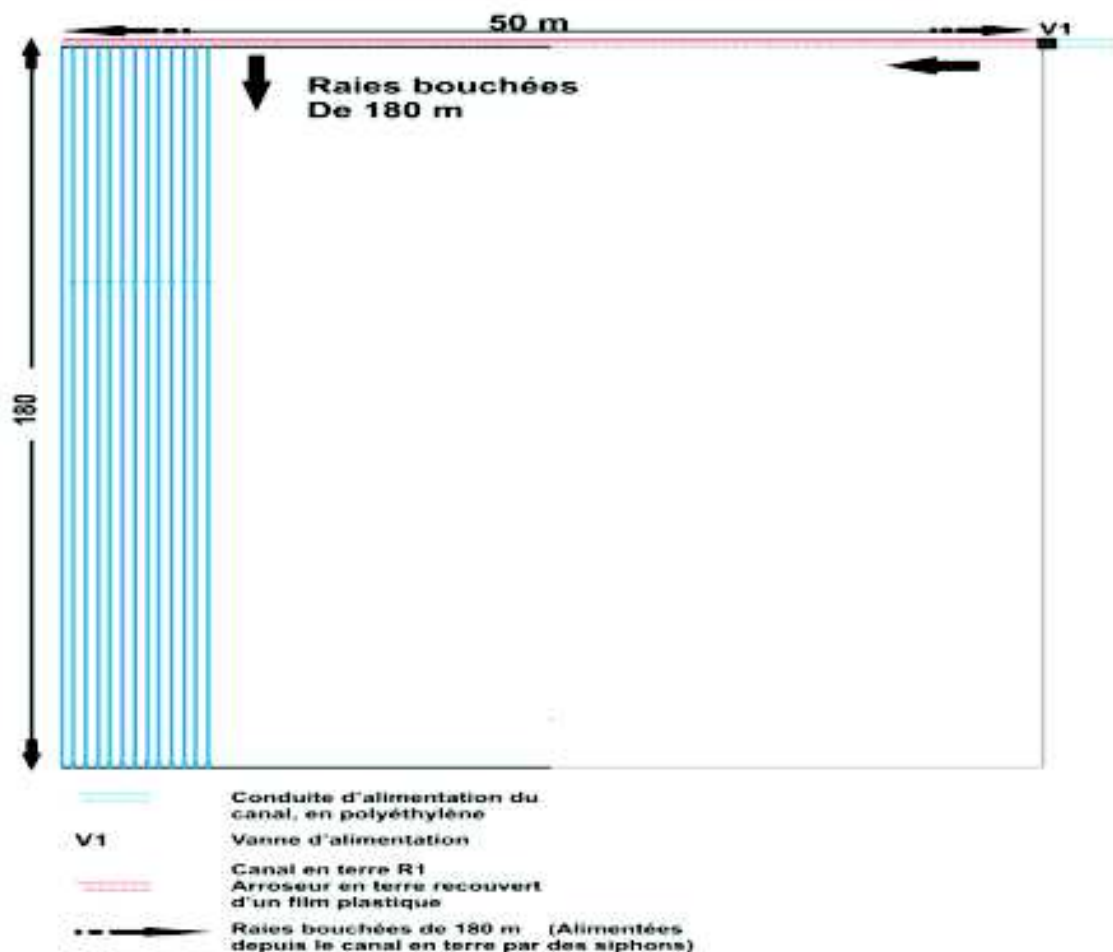


Figure 77 : Dispositif d'irrigation par raies longues bouchées de 180 m et un débit de 0,75 l/s.

Le tableau 56 fait ressortir un coût d'équipement de 42 745 DA pour 0,9 ha.

Tableau 56 : Coût de l'aménagement et de l'équipement de la parcelle de 0,9 ha

	Surface	Prix unitaire	Prix total	Total
Film plastique	1,2 m x 55 m (66 m ²)	1kg (6,5 m ²) 174,36 DA	1770 DA	1770 DA
Siphons PVC Ø : 63 mm	13 siphons (longueur : 1m) ^o	75 DA	975 DA	975 DA
Aménagement de la parcelle (planage)				40 000 DA
Total équipement de la parcelle				42 745 DA

La parcelle de largeur 50 m comprend 63 raies de 180 m. (écartement de 0,8 m) Le débit de 10 l/s permet d'irriguer simultanément 13 raies pour une durée de 3 heures.

La durée d'irrigation de la parcelle est de 15 heures pour les 63 raies.

2.2.3. COMPARAISON ENTRE LE MODE TRADITIONNEL, LE MODE AMELIORE ET LE MODE RAIES LONGUES

Dans les modes, améliorés et raies longues, nous avons procédé à des modifications qui ont nécessitées un coût et permis certains avantages. Dans cette partie, nous allons comparer les coûts et les avantages apportés par chaque cas (tableau 57).

Tableau 57 : Comparaison entre les modes traditionnel, amélioré et raie longue

Mode	Traditionnel	Amélioré	Raie de 180 m
Superficie cultivée par hectare	80 à 84%	98%	100%
Durée de l'irrigation	25 heures	13	15 heures
Volume d'eau nécessaire	758 m ³	468 m ³	510 m ³
Coût de l'eau (DA) Par pompage Eau de barrage	7580 à 9096 1895	4680 à 5616 1170	5100 à 6120 1275
Main d'oeuvre	2 ouvriers	1 ouvriers	1 ouvriers pour contrôler
Investissement réalisé Travaux Equipement		6695 DA à 99 917 DA	42 745 DA

Le mode traditionnel ne nécessite aucun investissement en équipement. La superficie cultivée est réduite, la durée d'irrigation plus élevée. Il nécessite la mobilisation de 2 ouvriers, le volume d'eau brute délivré à la parcelle est élevé. Le rythme et les fréquences d'interventions de l'irrigant pour canaliser l'eau sont élevées (une intervention toutes les 40 secondes).

Dans le deuxième cas, les améliorations proposées permettent de cultiver la totalité de la parcelle. La conduite de l'irrigation nécessite la mobilisation d'un seul ouvrier. Les fréquences d'intervention sont plus espacées.

Dans le cas de l'irrigation à la raie bouchée, la conduite nécessite la présence d'un seul ouvrier. Il procède à l'amorçage des siphons pour l'irrigation des 13 premières raies. Il contrôle par la suite de temps à autre les siphons pour éviter leur désamorçage. L'irrigation

des 13 raies dure 3 heures, ce qui lui permet de pouvoir réaliser durant ce temps, d'autres travaux sur d'autres parcelles, avant de déplacer les siphons vers les raies suivantes.

3. LA TENSIOMETRIE COMME MOYEN D'UNE CONDUITE RATIONNELLE DES IRRIGATIONS

Les agriculteurs dans leur majorité, ne maîtrisent pas les notions de doses, de réserve en eau du sol, de temps d'irrigation, selon les références académiques. Les indicateurs pour fixer le tour d'eau ainsi que la durée d'irrigation sont empiriques, relativement aux indicateurs conventionnels. Ainsi, un agriculteur jugera l'état hydrique de son sol selon l'aspect au toucher, par sondage des vingt à trente premiers centimètres du sol avec un bâton ou l'état des feuilles des plants (bien ouvertes).

Avec l'avènement de la modernisation de l'irrigation gravitaire traditionnelle ou son remplacement par les modes localisés ou par aspersion, il est nécessaire que l'agriculteur soit aidé et orienté lorsqu'il est amené à fixer la date et la durée d'une irrigation ainsi que l'espacement entre deux irrigations.

L'une des méthodes qui puisse le lui permettre est la tensiométrie accompagnée par les avertissements à l'irrigation. En ce sens, les structures départementales du ministère de l'agriculture (instituts de développement, vulgarisation...) peuvent jouer un rôle important.

La tension mesure l'état de l'eau dans le sol, donc la disponibilité de l'eau vis-à-vis de la culture. L'intérêt du tensiomètre est au moins triple en irrigation :

- Savoir si l'eau est suffisamment libre pour que la culture puisse l'absorber sans difficulté ;
- Déceler d'éventuels excès d'eau ; ceci afin d'éviter au maximum les pertes de production liées au facteur eau ;
- Connaître le sens du mouvement de l'eau dans le sol, et par conséquent éviter des pertes importantes par percolation ; le tensiomètre permet donc d'améliorer l'utilisation de l'eau d'irrigation et des ressources hydriques du sol ;
- Détection de phénomènes singuliers ou inattendus.

L'intérêt agronomique du tensiomètre dépasse donc la simple connaissance de l'état hydrique du sol, en apportant des informations complémentaires.

Ces informations doivent déboucher sur une analyse prospective des situations : l'utilisation des tensiomètres peut permettre non seulement de décrire un état hydrique du sol et son évolution récente, mais surtout elle doit servir de base à la prise de décision au niveau pilotage de l'irrigation (Peyremorte, 1980 ; 1983).

Cependant, la pratique fondée sur le pilotage ne présente qu'un intérêt limité dans un contexte climatique (cas de l'Algérie) où irriguer est une nécessité en raison de la faible occurrence des pluies estivales. Toutefois quant l'obtention du rendement maximal n'est pas l'unique objectif recherché, cette façon de décider d'irriguer s'avère intéressante dans le cas du mode micros - raies améliorés ou raie bouchée. Nous avons vu dans le cas de l'exploitation 1, pour l'irrigation de la parcelle de poivrons que l'agriculteur par la conduite de son irrigation, vu la faible plus value qu'il comptait obtenir, imposer des fréquences d'irrigation qui ne satisfaisaient pas nécessairement les besoins en eau de la culture mais lui permettaient d'avoir des rendements optimums.

La conduite des irrigations par la tensiométrie ne signifie pas nécessairement des économies en eau. Il s'agit beaucoup plus de valoriser la ressource eau. Nous avons vu dans la partie relation tension teneur, (dans le sens du dessèchement) que la phase ascensionnelle des tensions pouvait s'accélérer brutalement.

Quelle conduite tenir dans ce cas là ?

Attendre que les valeurs de tensions soient proches de la zone limite que l'on a déterminé et décider alors du déclenchement pour n'apporter l'eau qu'en dernière limite et donc faire l'économie d'une irrigation ? Ou bien déclencher les irrigations dès que la courbe des tensions est en phase ascensionnelle ?

Dans le premier cas, la conduite vise à économiser de l'eau en n'apportant que les doses nécessaires, avec le risque cependant que cet apport arrive en retard.

Dans le second cas on anticipe dès que la zone dangereuse est proche, on irrigue et là, on ne vise plus l'économie en réduisant le nombre d'irrigations, mais l'on intervient pour prévenir toute rupture de stock. Dans ce cas, cela nous conduit à réduire l'intervalle de fréquence des apports et donc augmenter le nombre d'irrigations. Cette conduite préventive ne vise plus en premier lieu l'économie en eau mais la valorisation de celle-ci pour une augmentation des rendements.

3.1. CONDUITE DES IRRIGATIONS DANS LE CAS DE CULTURES MARAICHÈRES

La profondeur de sol colonisée par le système racinaire est généralement de 0,6 m pour les cultures maraichères. Les doses de la première irrigation surtout, et éventuellement celles de la deuxième irrigation doivent être calculées pour l'horizon 0 à 30 cm. Le système racinaire n'est pas encore profond.

Les tensiomètres destinés au suivi doivent être disposés sur au moins deux sites représentatifs de la parcelle, l'agriculteur seul qui connaît bien son sol, sait où les installer. Il faudra placer deux tensiomètres par site, à 30 cm et 50 ou 60 cm. Les mesures de tension peuvent être faites en fin d'après midi (18 h – 19 h), période où le pompage racinaire est négligeable, mais il est recommandé de les réaliser plutôt en début de matinée (8 h) car cela permet d'avoir un rééquilibrage nocturne, mais il faut penser à composer aussi en fonction des heures où se déroule l'irrigation (Tron et al, 2000).

Le tensiomètre placé à 30 cm permettra de déclencher l'irrigation à partir d'une valeur moyenne de 70 kPa (celle-ci peut varier selon le type de sol, il est alors préférable de tracer la courbe et de déterminer la valeur de la pente). La décision d'irriguer sera prise par l'agriculteur selon les objectifs qu'il s'est fixé.

Dès la troisième irrigation si l'enracinement dépasse 30 cm de profondeur, la dose sera calculée en fonction d'un horizon 0 à 60 cm de profondeur. Le suivi tensiométrique se fera alors à partir de deux tensiomètres celui de 30 cm et un autre à 50 ou 60 cm.

Le déclenchement de l'irrigation se fera à condition que la tension à l'horizon 0 - 30 cm atteigne et dépasse 70 kPa et celle à 0 - 50 cm ou 0 - 60 cm atteigne ou dépasse les 40 kPa.

Le deuxième tensiomètre permettra de savoir si la dose apportée a atteint cette profondeur, si l'on fait également un suivi graphique des potentiels, de connaître le sens des flux entre les deux horizons.

4. LES MOYENS A METTRE EN ŒUVRE

4.1. INTRODUCTION

L'expérience en cours menée par le ministère de l'agriculture (PNDA, FNRDA) a montré que l'appui financier seul s'avère insuffisant pour promouvoir une agriculture moderne basée uniquement sur un développement rapide de la micro irrigation sur laquelle compte l'Etat pour économiser les ressources en eau.

L'amélioration n'est pas uniquement l'introduction de la micro irrigation, c'est aussi l'amélioration des techniques existantes. L'objectif doit être de réaliser des économies en eau sur les systèmes existants et ceux à introduire d'autant plus que raisonner uniquement en terme d'économie en eau et non de valorisation de la ressource est à notre sens une erreur.

L'un des principaux facteurs limitants dans l'objectif d'une amélioration des pratiques d'irrigation, parmi ceux que nous avons relevés est l'absence de formation des agriculteurs pour une gestion raisonnée et rigoureuse des moyens mis à leur disposition : équipements d'irrigation, entre autres. Il faudrait intervenir au niveau de l'accompagnement des agriculteurs, pour qu'ils puissent maîtriser et assimiler les techniques mises à leur disposition. Pour cela il est nécessaire d'agir à différents niveaux.

4.2. GESTIONNAIRES DE L'EAU

Il est urgent que la grande hydraulique reprenne en main la gestion de ses périmètres. C'est la seule structure dans le domaine des apports en eau pour l'irrigation, qui dispose du potentiel humain capable d'encadrer et d'aider les agriculteurs en l'état actuel. Dans la petite et moyenne hydraulique, l'absence de structures centralisées de gestion de la ressource eau, l'absence d'associations d'irrigants dynamiques, empêchent les agriculteurs de valoriser au mieux le potentiel sol et eau dont ils disposent.

- Nous avons vu qu'actuellement malgré son potentiel la grande hydraulique, ne représente que 6% des superficies irriguées. L'état des réseaux d'adduction en eau montre la difficulté d'assurer leur maintenance : budget insuffisant, absence de volonté politique pour une bonne gouvernance de la ressource, vérité du prix de l'eau, manque général de responsabilisation des usagers. La mise en place d'outils pour répertorier les problèmes dus à la maintenance permettrait d'assurer des projections qui aideront à trouver des solutions.
- Manque de structures d'encadrement spécialisées opérationnelles. La vulgarisation des techniques modernes d'irrigation et d'amélioration des techniques traditionnelles. Les gestionnaires des périmètres devraient occuper ce créneau qui est un facteur de valorisation de la ressource eau. Les agriculteurs gèrent empiriquement par manque de savoir faire, du matériel performant d'irrigation.
- La grande hydraulique devrait trouver des moyens avec l'aide des agriculteurs pour assurer une exploitation raisonnée et collective des ressources en eau souterraines dont l'exploitation lui échappe.
- L'impossibilité pour le réseau collectif de fournir le volume d'eau prévu du fait de contraintes multiples, a encouragé le maintien et le développement du pompage privé dans des exploitations disposant de réseaux collectifs.

Il est urgent que la petite et moyenne hydraulique qui représente 94% des surfaces irriguées soit mieux encadrée.

La mise en place d'associations plus opérationnelles doit être ressentie comme une nécessité, elle permettrait à la majorité des agriculteurs d'être mieux informés.

La mise en place de coopératives de productions est également un créneau important.

Cette absence de structures diversifiées, fiables, opérationnelles empêche les agriculteurs de disposer de sources d'information pour la maîtrise de méthodes et de moyens capables d'améliorer la gestion de la ressource eau. La vulgarisation agricole, les moyens et systèmes d'informations agricoles (Radio, Télévision, bulletins d'avertissement, internet...) sont autant d'outils nécessaires.

La petite et moyenne hydraulique vu son autonomie d'action, a plus de facilité pour s'organiser. A travers ses associations, elle a la possibilité de recruter des techniciens spécialisés dans différents domaines, entre autres, les techniques d'irrigation. Ils auraient pour rôle d'assurer la circulation de l'information entre l'agriculteur et les structures pouvant l'aider à améliorer son savoir faire. Payés par les associations, ces techniciens ne sont plus de simples fonctionnaires, mais des acteurs impliqués qui ont obligation de résultats localement.

4.3. LES FINANCIERS

Des enquêtes récentes (mars avril, 2006) menées dans les exploitations agricoles de la plaine de la Mitidja, dans le cadre de stages de formation des étudiants de l'Institut National Agronomique et financées par un projet de recherche Européen (SIRMA), on montrées que de nombreux agriculteurs avaient recours pour le financement de leurs campagnes agricoles à des particuliers et non des institutions financières Etatiques ou privées.

L'agriculteur s'associe ainsi à une source financière extérieure qui très souvent n'a aucun lien avec le monde agricole et dont le souci premier est la spéculation et le gain immédiat sans préoccupations d'investissements destinés à améliorer les facteurs de production.

Ce sont les difficultés que rencontrent ces agriculteurs auprès des institutions financières (banques, fonds d'aides à l'agriculture) qui permettent à ce genre de financement de prospérer.

Le statut juridique des terres, l'éclatement des exploitations collectives, sont autant de facteurs qui ne permettent pas aux banques et autres sources de financement légales de l'agriculture d'avoir des garanties de remboursement de leur argent de la part des agriculteurs.

La résolution de ce problème qui relève de décisions politiques, permettrait aux institutions financières de pouvoir s'impliquer pleinement dans le développement de l'agriculture.

4.4. LE MINISTERE DE L'AGRICULTURE

En dehors des actions dans le cadre du PNDA, on assiste à un recul du ministère de l'agriculture par rapport aux agriculteurs. Ceci a commencé avec le remembrement des terres agricoles, qui a entraîné la disparition des anciens domaines agricoles socialistes, l'effacement des fermes pilotes, le morcellement des exploitations. Les agriculteurs en absence de traditions dans le domaine associatif, peinent à s'organiser et donc mènent une gestion individualiste de leur exploitation, sans planification. Le Ministère trouve difficilement des interlocuteurs pour aider à la mise en place d'une agriculture moderne et performante.

Cette mise en place doit s'appuyer sur les structures de ce même Ministère, Instituts de recherche, de développement, de vulgarisation, de suivi, d'aide, dont les missions doivent être revues suite aux bouleversements subis par le monde agricole ces dernières années.

Les Chambres d'Agriculture très souvent ont une activité beaucoup plus administrative que de soutien et d'aide (recensement des agriculteurs, réunions d'associations, dont les recommandations restent sans suite...)

4.5. LES AGRICULTEURS

Les contraintes qui les concernent sont multiples. Le dernier recensement de l'agriculture (2001) indique que plus de 65% des exploitants sont sans niveau d'instruction. Les meilleures terres irriguées se trouvent en majorité dans les EAC et EAI. Celles-ci se débattent dans des problèmes juridiques complexes. La majorité des exploitants étaient de simples ouvriers agricoles dans les ex-DAS. Ils se retrouvent gestionnaires d'unités agricoles sans avoir au préalable acquis le savoir faire et la formation nécessaires pour cette responsabilité. Le dispositif de prêt bancaire est inaccessible à la grande majorité des petits agriculteurs, non titulaires de titres fonciers. La question foncière demeure de loin la première contrainte qui conditionne la relance du processus de développement. Cet ensemble de facteurs induit une situation très confuse. Ainsi, plus de deux millions d'hectares de terres riches, aptes à l'irrigation, sont exploitées en deçà de leur potentiel.

Les EAC juridiquement unies aux yeux de l'Etat sont en réalité, divisées entre ses membres (comportant de 3 à 20 attributaires). Chacun gère la part qui lui revient selon ses moyens et ses ambitions. Certains, louent pour une année ou plus dans la plus totale illégalité, leur part à des particuliers agriculteurs ou non ; d'autres, exploitent directement une partie de ce qui leur revient et louent le reste, certains laissent leur terre en jachère et s'adonnent à des activités commerciales plus lucratives; d'autres par manque de crédits se font financer leur campagne agricole par des particuliers à qui ils garantissent la totalité de leur production ; certains autres vendent leur culture sur pied et se font embaucher comme gardien dans leur propre exploitation. De ce fait, les accès aux administrations (banques, office d'irrigation, subdivision agricole...) leur restent fermés vu qu'il n'en pas de titre de propriété ni pour les locataires, ni pour les attributaires. Il n'existe qu'un seul titre d'attribution délivré au chef de groupe de l'EAC.

Par rapport à cette situation de démembrement, l'accès et le partage de la ressource en eau reste aléatoires pour certains agriculteurs. Cet état de fait, pose le problème de durabilité des exploitations agricoles : peu d'investissements avec une logique de maximisation du profit.

Les chambres d'agriculture doivent s'impliquer dans le créneau de l'information générale à destination des agriculteurs en attendant qu'ils se structurent plus rationnellement. Des dizaines d'associations agricoles (irrigants, arboriculteurs, agrumiculteurs, céréaliers, maraîchers...) existent à travers l'ensemble des wilayate, certaines locales, d'autres régionales ou nationales mais leur activité se limite très souvent à des réunions.

Le constat conduit à la nécessité du renforcement des capacités des associations en Algérie pour être à même de construire leurs propres règles de gestion et ainsi façonner des institutions qui leur conviennent. Ceci ne pourra être atteint que par l'émergence d'une profession agricole responsable.

Une profession agricole organisée et responsable constitue l'une des conditions pour garantir la viabilité de l'agriculture et de l'agriculture irriguée en particulier.

5. CONCLUSION

Nous avons vu dans la partie diagnostic de quelques exploitations de la Mitidja, l'importance et le rôle joué par les seguias dans les pertes en eau lors des irrigations.

Il est possible de les éliminer dans les canaux transporteurs et les seguias, en remplaçant ces derniers par :

- Des conduites en PEBD (polyéthylène basse densité) ;
- Des gaines souples en plastique ;
- Des canaux dont les parois sont recouvertes d'un film plastique noir (géomembrane) ;
- Des canaux en béton ;

La contrainte faible longueur des micros – raies, dans l'objectif d'une amélioration des performances du système, peut être contournée.

Il est possible comme nous l'avons vu précédemment dans cette partie, sans mobiliser de moyens mécaniques lourds, de pouvoir travailler sur des longueurs de micros - raies plus grandes mais qui doivent rester maîtrisables et gérables par les agriculteurs. On peut réduire notablement le taux d'occupation du sol par les seguias de distribution ainsi que le temps d'irrigation et les volumes d'eau, en augmentant simplement la longueur des micros - raies.

Si nous raisonnons sur des longueurs de micros - raies de 25 m qui peuvent s'insérer facilement dans un parcellaire carré, nous obtenons une répartition homogène et une disposition d'un ensemble, seguias micros raies, facilement exploitable par l'irrigant. L'arrivée et la distribution de l'eau au sein de la parcelle est assurée par un ensemble constitué de gaines souples en plastiques, de conduites en PEBD et de vannes. L'ensemble de l'équipement est fixe durant la campagne d'irrigation.

Les aménagements que nous proposons font passer le taux d'occupation de la parcelle par le réseau de seguias, de 10 à 12% pour des micros - raies de 5 m à 1 et 1,2% pour des micros - raies de 25 m.

Le deuxième aspect, concerne les équipements proposés. Ils suppriment les pertes en eau à l'amont de la parcelle, de même que les manipulations physiques nécessaires lorsqu'on utilise les canaux en terre.

Les opérations de transfert d'eau de la seguia vers les micros - raies par l'irrigant dont le nombre est de 1 500 /ha pour des longueurs de raie de 5 m, passent à 1000/ha pour des raies de 25 m. L'effort physique est réduit, le temps d'activité consacré à ces opérations, également. La conduite de l'irrigation nécessite la mobilisation d'un seul ouvrier. Les fréquences d'intervention sont plus espacées.

Ces aménagements du mode traditionnel d'irrigation gravitaire, nécessairement, devraient se poursuivre plus tard par une modernisation du système.

L'Algérie n'a pas de traditions de travaux de planage pour les terres agricoles (absence d'entreprises spécialisées dans le domaine, pas de demandes de services). Une petite entreprise ne nécessite pas de moyens lourds. Elle peut intervenir dans de petites exploitations où les superficies à planer sont réduites (1 à

2 ha). Plus de 50% des exploitations qui utilisent l'irrigation ont moins de 10 ha (RGA, 2003), les superficies irriguées par gravité en maraîchage ne dépassent pas très souvent les 2 à 3 ha. L'Etat peut également, comme il le fait pour l'irrigation localisée ou par aspersion, subventionner partiellement ce type d'aménagement comme au Maroc.

Dans le cas de l'irrigation à la raie bouchée, la conduite nécessite la présence d'un seul ouvrier. Il procède à l'amorçage des siphons pour l'irrigation des raies. Il contrôle par la suite

de temps à autre les siphons pour éviter leur désamorçage. L'irrigation de 13 raies dure 3 heures, ce qui lui permet de pouvoir réaliser durant ce temps, d'autres travaux sur d'autres parcelles, avant de déplacer les siphons vers les raies suivantes.

Le planage et les aménagements proposés, permettraient dans le cas de l'Algérie, de pouvoir utiliser des craies bouchées de 180 m de long.

La modernisation de l'irrigation doit nécessairement s'accompagner d'un mode de conduite des arrosages qui puisse être maîtrisable par les agriculteurs. La tensiométrie peut être un choix judicieux, à condition que les moyens de sa vulgarisation soient mis en place.

La tension mesure l'état de l'eau dans le sol, donc la disponibilité de l'eau vis-à-vis de la culture.

L'intérêt agronomique du tensiomètre dépasse donc la simple connaissance de l'état hydrique du sol, en apportant des informations complémentaires.

CONCLUSION GENERALE

L'un des objectifs majeurs de ce travail, en dehors de son aspect académique, est de pouvoir contribuer à une gestion plus économe en eau dans le domaine de l'irrigation gravitaire à la raie classique en Algérie. Celle-ci est prépondérante du point de vue superficie couverte et volume en eau consommé. Pour ce faire, il fallait d'abord pour pouvoir aller vers des propositions, investir un terrain mal connu du point de vue chiffres. L'agriculture irriguée de manière traditionnelle est, dépendante des facteurs géographiques, climatiques, sociaux et politiques.

Nous avons vu à travers les étapes de notre travail que :

Le gravitaire traditionnel représente plus de 50% des superficies irriguées. Une agriculture moderne ne peut se développer sur cette base. Choisir à maintenir le gravitaire doit se faire avec ses règles pour qu'il soit efficient (planage, modernisation). Il est donc impératif de trouver les moyens nécessaires à son amélioration et sa modernisation. Le frein peut être social. Les agriculteurs sont pour leur grande majorité sans niveau d'instruction. Il faut réfléchir aux moyens à mettre en place pour leur permettre de maîtriser les techniques d'une gestion rationnelle de l'eau et d'une conduite raisonnée des irrigations.

♦ Le passage de la dimension individuelle à celle collective pour la modernisation de la gestion de l'eau doit prendre en compte la diversité des exploitations ; assurer un minimum d'équité ; tenir compte de l'hétérogénéité des dispositifs spatiaux.

♦ Par rapport aux modèles susceptibles d'être utilisés et qui peuvent être des outils d'aide à la décision pour les gestionnaires, il est impératif de prendre en compte le fait que : l'état d'esprit des agriculteurs fait que les modèles et les résultats qu'on peut proposer ne les intéressent pas tel quel, mais leur implication dans la résolution des problèmes et les recommandations qui en découlent si ! L'usage des modèles sert à explorer les impacts des solutions sur certains aspects. Cette exploration suppose de faire des hypothèses sur les acteurs que sont les agriculteurs ? Nous avons à travers le choix des modèles et des solutions proposées, essayé de tenir compte au maximum du contexte actuel (climatique, économique, social..) que traverse l'agriculteur Algérien. Ceci, pour permettre un meilleur impact des solutions proposées.

La modélisation adoptée (Simraie) pour simuler l'irrigation à la raie se limite au calcul d'une dose apportée en un point d'abscisse de la raie, sans présumer de sa répartition dans le profil. Le code numérique Hydrus-2D, analyse l'impact de facteurs dont la variabilité ne peut être prise en compte par le modèle d'irrigation simplifiée. Il permet de vérifier la constance du résultat relatif à l'infiltration cumulée dans les seguias. Des facteurs tel que la forme de la seguia peuvent avoir un impact assez sensible sur l'infiltration cumulée notamment lorsqu'ils discriminent la longueur sur laquelle s'exerce la composante gravitaire de l'infiltration (largeur du fond de la seguia : trapézoïdale ou semi-circulaire). L'outil ainsi développé, offre des possibilités d'analyse de l'efficience des pratiques d'irrigation dans un contexte pédo climatique donné.

Un des premiers outils d'aide à l'agriculture, est la mise en place de systèmes d'informations toujours actualisés pour permettre des prises de décision rapides.

Les transformations profondes non accompagnées produisent des déséquilibres territoriaux et socio économiques.

Une analyse de l'état actuel du mode gravitaire traditionnel, à travers quelques exploitations de la plaine de la Mitidja, a permis de mettre en relief les contraintes suivantes : entre 10 et 15% de la superficie consacrée au réseau de seguias ; une densité de plantation réduite par rapport aux normes et à celles pratiquées pour les autres techniques (aspersion et localisé) ; une mobilisation importante de main d'œuvre (1 à 3 ouvriers/ha) ; des temps d'irrigation importants (20 à 24 heures/ha) ; des doses brutes élevées ; une efficience d'application moyenne à l'échelle de la parcelle (60%) ; une répartition hétérogène de l'eau entre l'amont et l'aval de la parcelle.

Tenant compte de ces impératifs, nous avons proposé la démarche suivante pour contribuer à l'amélioration d'abord puis la modernisation ensuite, de l'agriculture irriguée traditionnelle :

Les changements à introduire pourraient concerner dans une première étape, l'amélioration de l'existant. L'agriculteur continue à irriguer avec le mode micros-raies. Les améliorations proposées nécessitent un équipement de base dont le coût par hectare est minime relativement à un équipement sous pression. Les avantages sont immédiats pour l'agriculteur : gain de superficie plantée, gain de temps, et rythme de travail moins soutenu pour l'irrigant.

Dans une deuxième étape, il est nécessaire que l'Etat s'implique. Des actions de sensibilisation doivent être menées par l'ONID. Le planage qui est une étape nécessaire dans l'objectif d'utiliser des raies longues et de moderniser l'irrigation gravitaire peut être mal perçu par les agriculteurs. Les exploitations en majorité ont moins de 10 ha. Il s'agit d'encourager la création de petites entreprises de planage dont le matériel peut accéder aux parcelles sans difficultés. Dans une première étape il s'agit de repérer des exploitations leaders qui accepteraient ce genre d'aménagements sur leur terre. Le financement peut se faire dans le cadre d'un programme identique au PNDA. Selon l'expérience du Maroc, les petites entreprises peuvent planer en moyenne 600 ha par an. Il faut tenir compte des périodes hivernales où les terrains peuvent être impraticables ainsi que des périodes estivales où se déroulent les irrigations. Ce créneau peut être exploité pour la création de petites entreprises de planage. Les superficies à aménager sont de plusieurs dizaines de milliers d'hectares. Cela nécessite un engagement des activités et du travail sur plusieurs années.

La conduite des irrigations est également une étape nécessaire. Une modernisation des pratiques d'irrigation n'est pas compatible avec une absence d'un mode de conduite de celles-ci. La technique la mieux indiquée nous semble celle de la tensiométrie. Son utilisation est pratiquement inconnue à notre connaissance dans le monde agricole en Algérie. Elle est nécessaire soit pour une intensification de la production agricole en irrigué par l'augmentation des rendements soit pour gérer de manière rationnelle la ressource eau. Il faudrait inventorier là aussi les exploitations agricoles leaders au niveau desquelles pourraient être introduits progressivement tous ces aménagements (amélioration, modernisation, conduite des irrigations). Le contexte social et culturel dans lequel évolue la population agricole impose une approche pragmatique et concrète. Ces exploitations leaders doivent appartenir à des agriculteurs disposant d'un minimum d'infrastructures : source d'eau, de solides liens reconnus avec le voisinage. Ces facteurs garantissent l'impact des résultats qui résulteraient des aménagements proposés. Les chefs d'exploitations pour être intéressés doivent bénéficier de l'encadrement financier, humain

et d'appui d'aide à la formation, de la part de l'ONID ou du ministère de l'agriculture, et accepter que leurs exploitations puissent être le lieu de diffusion de techniques nouvelles.

Un des volets de l'agriculture irriguée Algérienne est celui des exploitations familiales dont l'importance a été mise à jour par le RGA. Il s'agit de connaître les stratégies de ces dernières face aux nouveaux défis de l'irrigation : économie d'eau en consommant moins ou en valorisant mieux ?

Les chambres d'agriculture doivent s'impliquer dans le créneau de l'information générale à destination des agriculteurs en attendant qu'ils se structurent plus rationnellement. Des dizaines d'associations agricoles (irrigants, arboriculteurs, agrumiculteurs, céréaliers, maraîchers..) existent à travers l'ensemble des wilayate, certaines locales, d'autres régionales ou nationales mais leurs activités se limitent très souvent à des réunions.

Ces Chambres pourraient :

Subventionner des regroupements d'agriculteurs qui s'organiseraient eux-mêmes à la base par grande production, pour mener des essais sur différentes cultures et différents sols et qui seraient astreints à des résultats ;

Procéder au recrutement d'ingénieurs et TS dans les différentes spécialités agronomiques et dont le rôle serait à l'échelle de la wilaya d'encadrer, aider, conseiller les agriculteurs tout au long de la campagne agricole ;

Aider à la mise en place de coopératives de service qui faciliteraient l'accès pour les agriculteurs aux moyens techniques, matériel ou de service, nécessaires pour leurs activités.

L'Algérie a consenti de gros investissements dans les aménagements hydro agricoles ayant permis de valoriser les ressources en eau et en sol. Cependant l'agriculture irriguée doit relever plusieurs défis liés notamment à l'accroissement des tensions sur les ressources en eau limitées, aux conséquences de la politique de désengagement de l'Etat et de la mondialisation. Ces contraintes rendent nécessaire l'amélioration de l'efficacité et de l'efficacé de l'utilisation de l'eau d'une part et de l'autre la modernisation des infrastructures et techniques d'irrigation. D'importants investissements surtout publics ont été consentis pour la mobilisation de la ressource hydrique et l'aménagement des superficies irriguées. Ces réalisations ont contribué à la diversification et à la croissance de la production agricole, à l'amélioration des revenus des exploitants et à l'atténuation de l'exode rural. Aujourd'hui les possibilités d'extension des périmètres gérés par l'Etat, sont limitées (investissements et maintenance) et l'accent pour le secteur agricole doit être mis sur l'efficacité des usages de l'eau et le développement de la PMH. C'est d'autant plus difficile dans un contexte de concurrence des autres secteurs économiques demandeurs d'eau et une raréfaction de cette ressource. Par ailleurs la libéralisation de l'économie s'est traduite par une redéfinition du rôle de l'Etat. L'agenda de l'agriculture irriguée doit prendre en considération les adaptations institutionnelles et organisationnelles pour être en phase avec les nouvelles règles du jeu économique. La modernisation au sens large de l'agriculture irriguée doit être repensée dans ce contexte complexe et dynamique. La domanialité de l'eau (appartenance à l'Etat), par rapport à ces bouleversements, peut être un facteur de déstabilisation de l'agriculture irriguée. L'Etat gère l'eau, peut la transférer vers la ville et l'industrie. Dans la mesure où l'eau AEP est une priorité et qu'elle coûte cher, les gestionnaires peuvent donner la priorité à la ville et l'industrie mais en indemnisant les agriculteurs pour respecter la notion d'équité.

Une gestion plus rigoureuse de l'eau d'irrigation, pourrait être possible en explorant toutes les voies techniques et administratives, il faudra penser à :

La mise en place d'outils pour répertorier les problèmes dus à la maintenance dans les réseaux des périmètres irrigués, ce qui permettrait d'assurer des projections, vu l'état des réseaux, les faibles budgets alloués en ce sens et l'absence de volonté dans le suivi des réalisations;

Renforcer la police des eaux pour mettre un terme à l'exploitation anarchique des eaux souterraines et de surface ;

Reprise de la politique de recyclage des eaux usées qui semble marquer le pas depuis plusieurs décennies. Pour le traitement de celles-ci, il faudrait d'abord remettre en l'état, les stations existantes avant d'envisager la réalisation de nouvelles unités ;

Considérer la multiplication anarchique des pompages comme une phase transitoire et dont l'impact sur les ressources en eaux souterraines ne serait que passager ;

Une meilleure valorisation des eaux d'épandage des crues et des eaux pluviales

Réajuster le prix du mètre cube d'eau d'irrigation, ce qui permettrait de réduire le gaspillage et la surconsommation. L'autre possibilité est de vendre l'eau à un taux élevé pour les régions réalisant des spéculations à haute valeur ajoutée, de même que le prix doit tenir compte de la qualité de celle-ci. Si l'eau est salée, le prix doit être bas ;

Le constat sur le manque général de responsabilisation des usagers qu'il faut combattre par la réhabilitation au maximum des agriculteurs ;

Il est important de connaître la stratégie de l'agriculteur par rapport à l'aspect gestion de l'eau d'irrigation ;

La normalisation des notions d'efficience et des critères d'évaluation. Les critères actuels sont propres aux pays développés qui dominent les technologies ;

Trouver des solutions par rapport aux structures foncières contraignantes (petites exploitations de 1 ha, et grandes exploitations supérieures à 100 ha) ; le statut des terres ; le phénomène de location, et de sous location des parcelles dans les EAC.

Par rapport à l'insuffisance des bornes dans les réseaux de distribution d'eau d'irrigation au niveau des périmètres, suite à l'éclatement des EAC, rendre commun des dispositifs de pompage et de stockage ;

L'Etat ne doit pas se retirer et abandonner les périmètres. Il reste pour former, vulgariser, aider. Dans le cas où l'eau coûte cher, il doit la subventionner pour aider les agriculteurs à se maintenir en cas de besoins ;

Il faudrait penser à long terme, en plus des transferts locaux qui se font entre des barrages très proches, au transfert régional des eaux de barrages : alors que ceux de la région Est délestent leur surplus d'eau vers la mer en années pluvieuses, les barrages de la région Ouest sont à 30% de leur capacité de stockage ;

Encourager la petite et moyenne hydraulique, la réussite de ce secteur est due en grande partie à la prise en main des problèmes de gestion et d'exploitation de la ressource par les agriculteurs eux-mêmes à travers leurs associations ;

La solution du dessalement de l'eau de mer doit être bien réfléchie, car celui-ci peut entraîner la pollution des zones côtières concernées. Il semble cependant, une solution intéressante pour prendre en charge le déficit en eau de certaines villes et zones industrielles côtières, car il ne dépend pas de l'aléa climatique. Cette option à l'heure actuelle

est sérieusement envisagée. Selon le MRE (2007) le prix du mètre cube d'eau dessalée destinée à l'alimentation en eau potable revient à moins de 0,5 euros. Les conditions particulières de la mer méditerranée (eau fraîche à 19°C et salinité moyenne) font que les coûts d'exploitation de stations implantées en méditerranée sont plus économiques que dans d'autres régions du globe et les rendements plus élevés. Ce coût pourrait soutenir la comparaison avec celui des stratégies fondées sur la construction de grands barrages ou les transferts d'eau sur de grandes distances. Il y a 10 stations de dessalement opérationnelles actuellement en Algérie dont les capacités totales de production sont de 1,04 millions de m³/jour. Le MRE prévoit 33 autres stations opérationnelles d'ici à 2019 utilisant la technologie de l'osmose inverse (moins consommatrice en énergie et produisant une eau de bonne qualité par rapport aux autres procédés) et dont la capacité totale de production serait de 2,3 millions de m³/jour ;

Une meilleure gestion des ressources eau et sol permettrait de procéder à une intensification agricole à deux niveaux. La mise en production d'une partie de la superficie en jachère, en sélectionnant les terres à haut potentiel, pourrait améliorer sensiblement la production agricole. Malgré l'intérêt de la jachère pour la fertilité et la structure des sols, le faible taux de surface agricole utile irriguée incite à ne pas laisser une grande partie de cette surface en repos ;

Le développement et l'encouragement de méthodes d'irrigation à efficacité élevée (localisé et aspersion), l'amélioration et la modernisation de l'irrigation gravitaire qui est dominante et ne peut être totalement éliminée du fait de certains facteurs limitants pour l'aspersion et la micro irrigation ;

Le choix des techniques de modernisation et d'amélioration des modes d'irrigation, doit prendre en considération certains aspects : La reconversion vers la micro irrigation n'est pas la solution unique (difficulté à mettre en œuvre, problèmes techniques nombreux, efficacité...) ; les offres techniques d'amélioration doivent être encadrées le plus possible par la définition de normes techniques minimales avec l'appui de labos ; faciliter le recours ou l'accès aux subventions pour les petits exploitants (car ce sont les plus pénalisés) ; aller vers des systèmes d'avertissement gérables par les agriculteurs ; privilégier l'expérimentation en conditions réelles de production ;

La décennie 2000 est cruciale pour le développement de l'agriculture irriguée. Les innovations techniques et les dynamiques socio économiques en cours ou pressenties remettent en question les institutions et les organisations de gestion de l'eau, au sein des périmètres irrigués ou sur le territoire aménagé. De nouvelles règles collectives émergent et des changements organisationnels s'opèrent. Quelles formes d'appui et quels supports d'apprentissage sont à même de renforcer les capacités des acteurs à adapter collectivement leurs institutions ? Le désengagement de l'Etat se traduit par des politiques de réformes des offices de gestion, la délégation vers le secteur privé et de plus grandes responsabilités confiées aux organisations d'agriculteurs notamment dans le domaine de l'eau. Des filières agricoles se développent pour de nouveaux besoins intérieurs ou tournés vers l'exportation ; des besoins de nature sociale en milieu rural non pris en charge par l'Etat demeurent. Dans quelles conditions émerge la profession agricole et quels sont ses champs de compétence ? Quelles sont les contraintes auxquelles elle est confrontée ? Une profession agricole organisée et responsable constitue l'une des conditions pour garantir la viabilité de l'agriculture et de l'agriculture irriguée en particulier, face aux défis démographiques et environnementaux auxquels l'Algérie est confrontée. Il apparaît nécessaire de renforcer les capacités des associations pour être à même de construire leurs

propres règles de gestion et ainsi façonner des institutions qui leur conviennent. Ceci ne pourra être atteint que par l'émergence d'une profession agricole responsable.

BIBLIOGRAPHIE

- AGID, 2000; 2001.- Bilans annuels des campagnes d'irrigation des périmètres irrigués. Direction de la Gestion et de l'Exploitation. El Marsa, Alger, septembre, 40 p.
- Allen, R.D., 1994.- Amélioration des systèmes d'irrigation en surface dans le projet d'irrigation du Tadla. Projet Management des Ressources du Tadla. Rapport N° 22, Avril, 1994, 50 p.
- ANRH, 1993.- Carte pluviométrique et de l'ETP. Algérie du Nord. Moyennes 1922-1960 et 1969-1989. Echelle 1/2 000 000. Document technique sur les ressources hydrauliques, 15 p.
- ANRH, 2003.- Plan national de l'eau, Alger.
- ANRH, 2004.- Rapport inventaire des foggaras de la région du Touat (Adrar) 1998-2004. Direction Régionale Sud Ouest. Alger, 50 p.
- ANRH, 2004.- Rapport du suivi de l'évolution de la nappe de la Mitidja. Direction régionale centre Soumaa; Blida, 28 p.
- Ansari, T., 2005.- Le système traditionnel d'exploitation des eaux souterraines (Foggara). Colloque international sur les ressources en eau souterraine dans le Sahara-CIRESS. Ouargla 12-13 décembre 2005, p 26-35.
- Baset, D. L., and Fitzmmons, 1976.- Simulating overland flow in border irrigation. Transactions of the ASAE. 19(4): p 674-680.
- Bautista, E., Wallender, W.W., 1985.- Spatial variability of infiltration in furrows. Trans. of ASAE. 28(6) : 1846-1855.
- Benmouffok, B., 2003.- La prise en charge de l'irrigation en Algérie. La décentralisation et la gestion participative de l'irrigation. Quatrième forum de la gestion de la demande en eau. Caire, Egypte; 2-4 Février.
- Benmouffok, B., 2003.- Efficience de l'irrigation dans les grands périmètres irrigués en Algérie. Gestion de l'irrigation dans des conditions de ressources en eau limitées. Séminaire Franco Algérien. Projet de coopération CMEP. Ghardaïa 1-3 Mars.
- Benyoucef, B., 1988.- Le M'Zab, vie quotidienne dans la vallée des cinq cités jardins. In "L'eau et le Maghreb". Un aperçu sur le présent, l'héritage et l'avenir. PNUD. 165 p.
- Berthomé, P., 1983.- Conception et fonctionnement des systèmes d'irrigation de surface ou d'irrigation gravitaire. Traduction du chapitre XIII de «design and Opération of farm Irrigation Systems» (ASAE, 1983). Cemagref, Division Irrigation, 90 p.
- Berthomé, P., 1985.- Evaluation d'un arrosage et automatisation en irrigation à la raie. Etude réalisée avec le concours financier du Conseil Régional Provence Alpes - Cote d'Azur. Cemagref, groupement d'Aix- en- Provence. Division Irrigation. 50 p.
- Berthomé, P., 1991.- Modélisation de l'infiltration en irrigation à la raie : résolutions numérique et analytique, application à l'étude de la conduite des arrosages. PhD, Inst. Polytec. De TOULOUSE, 196 p.

- Bisson, J.- Le Gourara. Etude de géographie humaine. Mémoire N° 3. Institut de recherche Saharienne. Université d'Alger.
- Brian, P. 1998.-Acquis, limites et perspectives de l'utilisation de la tensiométrie. Mémoire de fin d'études. Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers.
- Calvelli, M., 1935.- Etat de la propriété rurale en Algérie. Ancienne Imprimerie Victor HEINTZ. Alger. 194 p.
- Castany, G., 1982.-Principes et méthodes de l'hydrologie. Dunod Université, Bordas, Paris, 237 p.
- Cemagref, 1990.- Guide pratique irrigation. Cemagref, CEP, RNEDHA. Editions du Cemagref, 319 p.
- Chabaca, M. N., 1983.- Influence des débits et longueurs de rigoles sur le rendement de la pomme de terre et de la tomate et sur la température du sol au niveau des racines. Thèse de magister. INA El-Harrach, Alger, 85 p.
- Chabaca, M. N., 2004.-L'irrigation gravitaire par micro raies en Algérie. Propositions pour une amélioration de la pratique ou une modernisation de la technique. Quelles alternatives ? Actes du séminaire : Modernisation de l'agriculture irriguée. Rabat 19-3 Avril 2004. Projet INCO-WADEMED.
- Christiansen, J. E., 1942.- Irrigation by sprinkling. University of California, College of Agriculture, agric. Exper. Station Bull. 670. 124 p.
- Cote, M., 1988.- L'Algérie ou l'espace retourné, Paris, Flammarion, p.76.
- Demmak, A., Bekkouche, H., 2005.-Problématique des excès d'eau dans les zones urbaines au Sahara. Colloque international sur les ressources en eau souterraines dans le Sahara. CIRESS. Ouargla 12-13 Décembre, p. 82-85.
- Despois, J., 1959.- Le Hodna (Algérie), Paris, PUF, p.159.
- DSASI, 2000.- L'agriculture dans l'économie nationale. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Juillet. Alger.
- DSASI, 2000.- L'agriculture par les chiffres. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Juillet. Alger.
- DSASI, 2001.- Estimation de la main d'œuvre des exploitations agricoles. Ministère de l'agriculture et du développement Rural. Octobre 2001. Alger.
- DSASI, 2002.-Volume de la main d'œuvre au niveau des exploitations agricoles. Campagne 2000-2001. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Juillet. Alger.
- DSASI, 2002.-L'emploi permanent, structure au niveau des institutions et organismes publics agricoles, Année 2001. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Juillet. Alger.
- DSASI, 2003.-Superficies et productions. Revue : Statistiques agricoles, série A 2002 Ministère de l'agriculture et du développement rural. Janvier. Alger.
- DSASI, 2003.-Superficies et productions Revue : Statistiques agricoles, série B 2002 Ministère de l'agriculture et du développement rural. Janvier. Alger.

- Dorembos, J., Kasam, A. H., 1979.- Yeld response to water. Irrig. And Drain. Paper N° 33, FAO, Rome (Italie), 235 p.
- El Amrani, M., Chattou, Z., 1999.-Attitudes et comportements des agriculteurs en matière de gestion des eaux d'irrigation : cas des réserves hydriques souterraines dans la région de Sais. In : Conférence internationales sur les pratiques d'irrigation; considérations micro et macro-économiques. AMAEco, ANAFID; Agadir Maroc; 15-17 Juin 2002 Site web: in web 18.world bank.org.
- Fangmeier, D. D., Ramsey, M. K., 1978.- Intake characteristics of irrigation furrows. Trans. of the ASAE 21(4): 696-700.
- FAO, 1987.- Bilan des activités des établissements hydrauliques. FAO Rome 4/92Cp. Alger, 36 p.
- Feddes, R.A., Kowalik, P.J., and Zaradny, H., 1978.- Simulation of field water use and crop yield, simulation monographs, 188 p. Pudoc, Wageningen. The Netherlands.
- Ferrah, A., Yahiaoui, S., 2004.- Eau et agriculture en Algérie : problématique et enjeux. CREDAAL. 17 p.
- Girousse, J. C., 1987.- Estimation des volumes stockés en surface au cours d'un arrosage à la raie. Mémoire de D.E.A., USTL Montpellier.
- Goblot, H., 1979.- Les quanats, une technique d'acquisition de l'eau. Paris, Mouton, 1979, 236 p.
- Gonzalez Camacho, J. M., 1991.- Modélisation stochastique d'une irrigation à la raie. Thèse de doctorat Univers. Montpellier II. Sciences et Techniques du Languedoc, 272 p.
- Granguillaume, G., 1973.-Régime économique et structure de pouvoir : le Système des foggaras du Touat. ROMM N° 13-14.
- Green, W.G. and Ampt, G., 1911. - Studies of soil physics: 1. The flox of air and water through soils. J. Agric. Sci. 4: 1-24.
- Guemraoui, M., Chabaca, M. N., 2005.- Gestion des grands périmètres d'irrigation (GPI) : L'expérience Algérienne. Actes du séminaire : Instruments économiques et modernisation de l'agriculture irriguée en Méditerranée. Kairouan 21 – 25 novembre 2005. Projet INCO-WADEMED.
- Hartani, T., Zimmer, 2001.-Drainage status and capacity building needs in Algeria. Capacity building for drainage in North Africa. IPTRID. Capacity Building report N° 2- Marsh 2002. Proceeding of a workshop. Cairo Egypt. P.79-91.
- Hansen, V.E., 1960. - New concepts in irrigation efficiency. Trans. Of the ASAE, 3(1): 55-57, 61-64.
- Hassani, I., 1997.- Les méthodes traditionnelles de captage des eaux souterraines dans le Sahara Algérien. Actes du séminaire sur l'utilisation rationnelle des ressources hydriques dans les zones arides. Adrar, 7-9 Avril.
- Haverkamp, R. M., Kutilek, J.Y., Parlange, L., Rendon, and Krejka, M.,1988. - Infiltration under ponded conditions : 2. infiltration equations tested for parameter time-dependence and predictive use. Soil Sci. 145(5): 317-329.

- Haverkamp, R., Parlange, J.Y., Starr, J.L., Schmitz, G. and Fuentes, C., 1990. - Infiltration under ponded conditions: 3. A predictive equation based on physical parameters. *Soil Sci.* 149 (5): 292-300.
- Hernafi, N., 1999.- Essai des techniques d'irrigation gravitaire améliorées. Station Expérimentale de Boughrira. Actes du séminaire : La maîtrise de l'irrigation et du drainage pour une gestion durable des périmètres irrigués. Tome I, Rabat. Maroc, 27-29 Octobre p 537-548.
- Hillel, D., 1980.- Fundamentals of soils physics. Acad. Press, New York.
- Horton, R. E., 1940. - An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. *Soil Sci. Am. J.* 5: 399-417.
- ICID, 1978. " Describing irrigation efficiency and uniformity". *J. of Irrig. And Drain. Div., Proc. ASCE*, 104(IR1) :35-41.
- Imache, A., 2004.- Caractéristiques socio économiques de la gestion de l'eau d'irrigation dans la Mitidja ouest. Thèse de DEA, Montpellier, 61 p.
- IPTIRD, 2004.- Improving water productivity for increased food security in Central Asia; Model of the Egyptian-Dutch Advisor Panel on Water Management Grid, IPTIRD Magazine, 2004; p 9-11.
- Isberie, C., 1996.- Des données hydro – pédo - climatiques à des références opérationnelles. L'apport des mesures in situ. L'exemple de l'irrigation. Colloque ORD-OSRI.
- Isberie, C., 2000.- Contrôle au champ de l'irrigation. Aspects agronomiques de l'irrigation. Eléments de cours. Faculté des Sciences d'Avignon. Licence gestion de l'eau en pays agricoles méditerranéens. Mars.
- Izadi, B., Wallender, W.W., 1985. Furrow hydraulic characteristics and infiltration. *Trans. ASAE* 28(6): 1901-1908.
- Kazemi, G.A., 2004-. Temporal changes in the physical properties and chemical composition of the municipal water supply of Shahrood, north-eastern Iran. *Hydroloecology Journal*. 12.723.734.
- Larson, M., 1999.- Quantifying macropore flow effects on nitrate and pesticide leaching in a structured clay soil. Doctorat thesis, Sweedish Univers. Of Agric. Sci. Uppsala, 100 p.
- Lewis, M.K., Milne, W.E., 1938.- Analysis of border irrigation. *Agric. Eng.*, 19(6), p. 267-272.
- Oliel, J., 1994.- Les Juifs au Sahara; le Touat au Moyen - Age. CNRS- histoire.
- Mailhol, J.C., 1992.- Un modèle pour améliorer la conduite de l'irrigation à la raie. *ICID Bulletin* 1992, Vol. 41, N^o 1.
- Mailhol, J. C., Gonzalez, G., 1993.- Furrow irrigation model for real-time applications on cracking soils. *Journal of irrig. And Drain. Engin. ASCE*, Vol. 119, N°. 5. p. 768-783.
- Mailhol, J.C., Ruelle, P., Revol, P., 1996.- Pilote : un modèle opérationnel pour déceler l'apparition du stress hydrique. *ICID le Caire* Sept. 1996.
- Mailhol, J.C., 2001.-Contribution à l'amélioration des pratiques d'irrigation à la raie par une modélisation simplifiée à l'échelle de la parcelle et de la saison. Thèse de Doctorat Université de Montpellier I, 275 p.

-
- Mailhol, J. C., 2003.- Validation of a predictive form of Horton infiltration for simulation Furrow irrigation. *Journal of irrigation and drainage engineering ASCE*. November-December 203. p 412-421.
- Mailhol, J. C, Ruelle, P., Popova, Z., 2005.- Simulation of furrow irrigation practices (SOFIP) : a field-scale modelling of water management and crop yield for furrow irrigation.
- Merriam, J. L. and Keller, J., 1978.- Farm irrigation system evaluation : A guide for management. Agric. And Irrig. Engrg. Depmt. UTAH State University.
- Messadi, A., 1999. - La maîtrise de l'eau et le développement rural. In : Bulletin Mensuel d'information et de liaison du PNTTA. Transfert de Technologie en Agriculture. N° 58; Rabat; Juillet. Maroc.
- MRE, 2007. -. Allocution d'ouverture du Ministre des ressources en eau. Deuxième colloque International sur l'eau et l'environnement. Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique. 30 et 31 Janvier 2007. Hôtel El Riadh Sidi Fredj Alger.
- Mutin, G., 1977.- La Mitidja, décolonisation et espace géographique. OPU, Alger, 597 p.
- Mualem, Y. 1976.- A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* 12(3), 513-522.
- Nance, L. A., Lambert, J. R., 1970.- A modified inflow-outflow method of measuring infiltration in furrow irrigation. *Trans. Of the ASAE* 13(6): 792-794, 798.
- Newman, S. P., Feddes, R. A., Bresler, E., 1974.- Finite elements simulation of flow in saturated-unsaturated soils considering water uptake by plants, Third Annual.
- Newman, S. P. 1975.- Galerkin approach to saturated-unsaturated flow in porous media, Chapter 10 in *Finite Elements in Fluids, Vol. I Viscous flow and Hydrodynamics*, edited by R. H. Gallagher, J.T. Oden, C. Taylor, and O. C. Zienkiewicz, pp. 201-217, John Wiley and sons, London.
- Nielsen, D.R., Biggar, J.W. and Erh, K.T., 1973.- Spatial variability of field- measured soil water properties. *Hilgardia* 42: 215- 259.
- Parlange, J. Y., 1972.- Theory of water movement in soils :
2. One dimensional infiltration, *soil Sci.*, 111(3) : 170-174.
 3. Two and three dimensional absorption. *Soil Sci.*, 112(5): 313-317.
 4. Two and three dimensional steady infiltration. *Soil Sci.*, 113(2) : 96-101.
- Parlange, J. Y., Lisle, I., and Braddock, R. D., 1982.- The three parameters infiltration equation. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 133(6), 337-341.
- Parlange, J. Y., Haverkamp, R. and Touma, J., 1985.- Infiltration under ponded conditions: 1. optimal analytical solution and comparison with experimental observations. *Soil Sci.* 139(4): 305-311.
- Peck, A. J., 1983.- Field variability of soil physical properties. In *advances in irrigation*, Vol. 2 p 189-221, Acad. Press.
- Perennes, J. J., 1990.- L'eau, les paysans et l'Etat. La question hydraulique dans les pays du Maghreb. Thèse de Doctorat. Université des Sciences Sociales. Grenoble 670 p.
-

- Peyremorte, P., 1980.- Des tensiomètres pour améliorer la conduite de l'irrigation localisée. Eau et Aménagement, N° 26, 3^{ème} trimestre, 1980.
- Peyremorte, P., 1983.- Des tensiomètres pour améliorer la conduite des arrosages. Perspectives Agricoles, N° 67, Février 1983.
- Philip, J. R., 1957.- The theory of infiltration : 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. Soil Sci. 84: 257- 261.
- Philip, J.R. and Knight, J.H., 1974. - On solving the unsaturated flow equation: 3. New quasi analytical technique. Soil Sci. 17(1): 1-13.
- Pinder, G. F., Gray, W., 1977.- Finite element simulation in surface and subsurface hydrology, Academic Press, New York, N.Y.
- Reguieg, L., 2002.- Effet du paillage plastique sur la productivité de la courgette et de la tomate sous abri serre. Congrès international sur la Plastique. Alger, décembre 2002.
- Revol, Ph., 1994.- Caractérisation hydrodynamique des sols par infiltration axisymétrique et modélisation simplifiée de la micro - irrigation. Thèse de doctorat de l'université Joseph Fourier Grenoble I, 224 p.
- RGA, 2003.-Rapport général sur les résultats définitifs du Recensement général de l'agriculture. DSASI, MADR, Juin 2003, Alger, 127 p.
- Richards, L. A., 1931.- Capillary conduction of liquids through porous medium. Physics 1 : 318-333.
- Rieul, L., 1990.- Guide pratique de l'irrigation. Co édité par le Cemagref et CEP France Agricole. RNED-HA.
- Roose, E., 2002.- Diversité des managements traditionnels de gestion des eaux et des sols en Israël. Recherche bibliographique. Bulletin Réseau Erosion 21. #Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen# Centre IRD.Montpellier ; p155-169
- Salem, A., 1988.- Foggara et khattara, un système millénaire de captage des eaux. In "L'eau et le Maghreb". Un aperçu sur le présent, l'héritage et l'avenir. PNUD. 165p.
- Salem, A., 2003.- L'eau en Algérie : quelle politique pour l'avenir ? Communication au Conseil de la Nation, Alger le 26 Mai 2003.
- Schmitz, G. H., 1993.- Transient infiltration from cavities. I: Theory. J. of irrig. And Drain. Eng. ASCE. 119(3) : 443-457.
- Sebhi, S., 1987.- Mutations du monde rural algérien ; le Hodna, Alger, OPU, p129.
- Simmons, C.S., Nielsen, D.R. and Biggar, J.W., 1979.- Scaling of field-measured soil-water properties. 1. Methodology II. Hydraulic conductivity and flux. Hilgardia 47(4): 77-173.
- Simunek, J., Sejne, M. and Van Genuchten, M.Th., 1996.- HYDRUS-2D, IGWMC, USDA/ARS Riverside, Californienuchten, nia.
- Specty, R., Isberie, C., 1995.- L'avertissement à l'irrigation à l'épreuve de la pratique agricole. ICID/FAO workshop. Irrigation scheduling : from theory to practice 12-13 September Rome (Italy).

- Sterlkoff, T., Katapodes, N. D. ,1977.- Border irrigation hydraulics with zero inertia. J. Irrig Drain. Div. Proc. ASCE., 103 (IR) : 325-342.
- Thriot, C. et Valiantzas, J., 1978.- Simulation numérique de l'influence des hétérogénéités sur les propriétés hydrauliques d'un aquifère. Actes du Symposium International "Fluid Mechanics and scale effect on the phenomena in porous media. AIRH, THESSALONIK, 29 Août, - 1^{er} septembre. Grèce.
- Tron, G., Peyremorte, P., Berthomé, P., 1987. - Développement des moyens pour améliorer la conduite des irrigations de surface : Conduite des arrosages en systèmes gravitaire modernisés. Rapport RNED-HA, Cemagref-SCP, 30 p.
- Tron, G., Isberie, C., Chol, P., Denys, F., .2000.- La tensiométrie pour piloter les irrigations: une gestion raisonnée de la ressource en eau. SCPARP AIX-En-Provence, Cemagref Aix-En-Provence OAIAX, CFPPA Carpentras Serres. Educagri éditions, Dijon. 247 p.
- Trout, T., 1992. - Flow velocity and wetted perimeter effect on furrow infiltration. Trans. ASAE, 35(3): 855-863.
- URBAT, 2000.- Centre d'étude et de réalisation en urbanisme Tlemcen.
- Yacouby, S., Moumen, M., Bekraoui, A., Khiat, D., Najih, A., 1999.- Economie de l'eau d'irrigation. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel de liaison du PNTTA; IAV Hassan II; Rabat; juillet; N° 58. Maroc.
- Zairi, A., Slatni, A., Mailhol, J. C., El Amami, H., Boubaker, R., Ben, Ayed, M. et Rebai, M., 2000. – Analyse - diagnostic de l'irrigation dans les PPI de la basse vallée de la Medjerda. Actes du séminaire : Economie de l'eau en irrigation ; Numéro spéciale des annales de l'Institut National de Recherche en Génie Rural, Eaux et Forêts. Hammamet, Tunis, 14-16 Novembre. p 10-26.
- Zienkiewicz, O. c., 1977.- The finite element method, 3rd ed., McGraw-Hill, London, United Kingdom.
- Van Guenuchten, M. Th., 1980.- A close-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Socv. Am. J, Vol. 44 : 892-898.
- Vauclin, M., 1983.- Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols. Les colloques de l'INRA, N° 15, INRA PARIS, pp 9-43.
- Vodicka, A., 2000.- Amélioration de l'irrigation gravitaire au Moyen Sebou (Maroc). Diagnostic des pratiques en vigueur et propositions d'amélioration. Mémoire de fin d'études. ISAE. 43 p.
- Warrick, A.W., 1977.- Scaling field-measured soil hydraulic properties using similar media concept. Water Resour. Res. 13(2): 355-362.

WEBOGRAPHIE

[www.El-oued](http://www.El-oued.Souf.com) Souf.com

www.Fao.org/countryprofils

www.google Earth 2005

www.iav.ac.ma/pntta/58.pdf

www.mzab.free.fr

www.topo2000.fr

ANNEXES

ANNEXE 1

GUIDE D'ENTRETIEN DSA

IINSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

EL-HARRACH ALGER

TEL : 021 52 19 87 à 89

FAX : 021 82 27 29

Campagne agricole 2000

ENQUETE SUR L'IRRIGATION AU NIVEAU DES DIRECTIONS DES SERVICES AGRICOLES DE WILAYA (DSA)

Expéditeur : Chabaca M H	Département du Génie.Rural Labo. Irrigation	Tel : 021 52 19 87 89 Fax : 021 82 27 29	Destinataire : Directeur des Services Agricoles
------------------------------------	---	---	--

ENQUETE SUR L'IRRIGATION :

Superficie de la wilaya (km ² ou ha)	ha		
SAU	ha	Aspersion	ha
Surf. Irrigable	ha	rampes mobiles	ha
Surf. Irriguée	ha	canon	ha
Gravitaire	ha	pivot	ha
Micros - raies	ha	Micro irrigation	ha
planches	ha	Autres	ha
submersion	ha		

* la décision d'irriguer des agriculteurs se fait-elle : individuellement ? oui
non

* Est-elle liée à un service d'avertissement à l'irrigation ?
- à l'échelle de la wilaya de la région centrale

* Dans quel domaine la chambre d'agriculture active- t'elle le plus, au niveau :
administratif, technique ou de la vulgarisation ?

*Existe- t'il dans votre wilaya des agriculteurs qui utilisent des instruments de mesure
sur terrain pour la conduite des irrigations (tensiomètres, tarière)

*Si oui pourrions-nous avoir leurs coordonnées pour les contacter ?

*Quel est le pourcentage d'exploitants agricoles (privé, EAC, EAI) ayant une
formation agricole ?

*Volume d'eau destiné à l'irrigation dans la quote part de la wilaya ? m³

Source d'approvisionnement :

Puits	%
Barrages	%
Forages	%
Pompages d'oueds	%

ANNEXE 2

GUIDE D'ENTRETIEN OPI

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE

EL-HARRACH ALGER

TEL : 021 52 19 87 à 89

FAX : 021 82 27 29

Campagne agricole 2000

ENQUETE SUR L'IRRIGATION AUPRES DES OFFICES DES PERIMETRES IRRIGUES (OPIs)

Expéditeur : Chabaca M H	Département du G.R Labo . Irrigation	Tel : 021 52 19 87 89 Fax : 021 82 27 29	Destinataire : Directeur de l'Office du Périmètre irrigué de
------------------------------------	--	---	--

1) Dénomination du Périmètre :

2) Source d'eau :

- * Retenues : %
- * Forages : %
- * Pompages d'oued : %
- * Retenues collinaires..... %

3) Retenues (nombre) :

4) Capacités :

5) Quota réservé à l'irrigation :

6) Sites des retenues (dans quelle wilaya ?)

7) Superficies concernées par la mise en valeur :

- * Superficie équipée :
- * Superficie irrigable :
- * Superficie irriguée :

8) Répartition par wilaya :

9) Systèmes d'irrigation prévus ou pratiqués dans le périmètre :

- a- Aspersion :
 - * Rampes mobiles
 - * Canon
 - * Pivot
- b- Micro irrigation :
- c- Gravitaire
 - * Micros - raies
 - * Planche
 - * Submersion

10) Types d'exploitations agricoles dans le périmètre :

Types d'exploitations	Nombre	Superficie (ha)
EAC		
EAI		
Privé		
Ferme pilote		
Pépinières		
Total		

ANNEXE 4

Nature des cultures	Exploitations pratiquant		Exploitations irriguant et SAU irriguée			Part de chaque culture dans la SAU irriguée (%)	SAU irriguée dans chaque culture (%)
	Nombre d'Exploit.	Ha	Nombre d'Exploit.	%	Ha		
Céréales	588 621	3 997 429	45 742	11	120 396	19,4	3
Légumes secs	52 872	68 883					
Fourrages	84 565	201 434	20 424	4,9	39 268	6,3	19,5
Total Grandes cultures	726 058	4 267 746	66 166	16	159 664	25,7	3,7
Maraîchage de plein champ	160 934	233 194	105 087	26	179 166	28,9	76,8
Maraîchage sous serre	9 249	4 210	9 249	2,2	4 210	0,7	100
Maraîchage sous abri	620	505	620	0,2	505	0,1	100
Jardins potagers	8 115	1 202	2 179	0,5	385	0,1	32
Cultures industrielles	17 646	34 834	12 865	3,1	20 483	3,3	58,8
Cultures spécifiques	309	237	151	0	116	0	48,9
S/Total Cultures maraîchères et industrielles	196 873	274 182	130 151	32	204 865	33	74,7
Agrumes	16 806	46 401	14 848	3,6	44 089	7,1	95
Arbo N&P	92 482	118 550	58 573	14	81 156	13,1	68,5
Arbo rustique	23 477	23 752					
Figuiers	75 299	35 949	11 387	2,8	4 820	0,8	13,4
Oliviers	129 089	146 937	13 256	3,2	19 923	3,2	13,6
Pal miers Dattiers	125 680	103 129	112 381	27	98 516	15,9	95,5
Vigne de table	23 638	35 278	4 268	1	4 789	0,8	13,6
Vigne de cuve	6 366	24 564					
Pépinières	1 961	5 794	1 859	0,5	2 864	0,5	49,4
S/Total arbo-viti	494 798	540 354	216 572	53	256 157	41,3	47,4
Jachère	540 156	3 350 290					
Prairies naturelles	14 770	26 108					
TOTAL	1 023 798	8 458 680	287 456		620 687		
SAU Irrigué/SAU totale					7,3		
SAU irrigué/SAU cultures irrigables		4 965 083			12,5		

Répartition des exploitations et des superficies selon les cultures et l'irrigation

Source : RGA ; 2003

ANNEXE 5

Identification et répartition de la population agricole.

	MASCULIN	FEMININ	TOTAL
EXPLOITANTS ET CO-EXPLOITANTS	1 346 937	113 270	1 460 207
%	92,2	7,8	100
Exploitants et Co-Exploitants Permanents	1 048 125	71 478	1 119 603
Exploitants et Co-Exploitants Saisonniers	298 812	41 792	340 604
OUVRIERS SALARIES	1 043 466	28 445	1 071 911
%	97,3	2,7	100
Salariés Permanents	103 598	4 958	108 556
Salariés Saisonniers	939 868	23 487	963 355
MAIN D'ŒUVRE FAMILIALE	1 233 526	655 714	1 889 240
%	65,3	34,7	100
Main d'œuvre Familiale plus de 15 ans Permanents	602 843	281 715	884 558
Main d'œuvre Familiale plus de 15 ans Saisonniers	630 683	373 999	1 004 682
MEMBRES DES MENAGES EN AGE DE TRAVAILLER SANS EMPLOI ET DEMANDEURS D'EMPLOI S	1 013 307	672 706	1 686 013
%	60,1	39,9	100
MEMBRES DES MENAGES EN AGE DE TRAVAILLER ET TRAVAILLANT HORS EXPLOITATION	574 980	225 234	800 214
%	71,9	28,1	100
MEMBRES DES MENAGES TRAVAILLANT SUR L'EXPLOITATION (Permanents et Saisonniers)	2 580 463	768 984	3 349 447
%	77,0	23,0	100
MAIN D'ŒUVRE TRAVAILLANT SUR L'EXPLOITATION (Ménages et Hors Ménages Permanents et Saisonniers)	3 623 929	797 429	4 421 358
%	82,0	18,0	100
MAIN D'ŒUVRE (MENAGES ET HORS MENAGES) VIVANT DU REVENU DE L'EXPLOITATION (y compris les demandeurs d'emplois)	4 637 236	1 470 135	6 107 371
%	75,9	24,1	100
MAIN D'ŒUVRE AGRICOLE OCCUPEE EN PERMANENCE SUR L'EXPLOITATION (Exploitants et co-exploitants permanents, Ouvriers permanents et Main d'œuvre familiale de plus de 15 ans permanente	1 754 566	358 151	2 112 717
%	83,0	17,0	100
MAIN D'ŒUVRE AGRICOLE SAISONNIERE (Exploitants et co-exploitants saisonniers, Ouvriers saisonniers et Main d'œuvre familiale de plus de 15 ans saisonnière	1 869 363	439 278	2 308 641
%	81,0	19,0	100
MAIN D'ŒUVRE TOTALE VIVANT SUR L'EXPLOITATION	5 212 216	1 695 369	6 907 585
%	75,5	24,5	100

Source : RGA ; 2003

ANNEXE 6

Niveau de formation agricole		Classe d'âge									TOTAL	%	%
		*N.D	17-19	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 -64	65 -69	70 et plus			
Non déclaré	Masculin	6 135	66	701	1 690	2 413	2 313	1 080	941	2 249	17 588	1,7	
	Féminin	261	3	13	45	84	84	67	58	164	779	0,1	
	S/total	6 396	69	714	1 735	2 497	2 397	1 147	999	2 413	18 367	1,8	
Ingénieur	Masculin	34	0	180	517	1 190	559	112	73	134	2 799	0,3	10,3
	Féminin	4	0	19	38	32	13	7	11	19	143	0	0,5
	S/total	38	0	199	555	1 222	572	119	84	153	2 942	0,3	10,8
Technicien supérieur	Masculin	15	9	147	623	722	379	146	112	183	2 336	0,2	8,6
	Féminin	2	0	2	14	10	10	9	7	7	61	0	0,2
	S/total	17	9	149	637	732	389	155	119	190	2 397	0,2	8,8
Technicien	Masculin	26	8	178	1 513	1 504	426	83	44	38	3 820	0,4	14,1
	Féminin	0	1	16	51	2	7	1	0	3	81	0	0,3
	S/total	26	9	194	1 564	1 506	433	84	44	41	3 901	0,4	14,4
Agent technique spécialisée	Masculin	9	0	44	231	454	319	69	27	32	1 185	0,1	4,4
	Féminin	0	0	4	2	1	2	1	2	3	15	0	0,1
	S/total	9	0	48	233	455	321	70	29	35	1 200	0,1	4,4
Agent technique	Masculin	8	1	88	459	557	469	110	57	76	1 825	0,2	6,7
	Féminin	0	0	0	3	1	3	1	1	3	12	0	0
	S/total	8	1	88	462	558	472	111	58	79	1 837	0,2	6,8
Perfectionnement	Masculin	55	24	595	1 740	4 081	4 158	1 623	1 106	1 009	14 391	1,4	53
	Féminin	1	2	7	15	12	13	3	5	10	68	0	0,3
	S/total	56	26	602	1 755	4 093	4 171	1 626	1 111	1 019	14 459	1,4	53,2
vétérinaire	Masculin	7	0	54	130	95	53	18	20	24	401	0	1,5
	Féminin	0	0	3	9	5	1	1	2	0	21	0	0,1
	S/total	7	0	57	139	100	54	19	22	24	422	0	1,6
Total des formés en agriculture	Masculin	154	42	1 286	5 213	8 603	6 363	2 161	1 439	1 496	26 757	2,6	98,5
	Féminin	7	3	51	132	63	49	23	28	45	401	0	1,5
	S/total	161	45	1 337	5 345	8 666	6 412	2 184	1 467	1 541	27 158	2,7	100
Aucun niveau	Masculin	8 931	3 905	47 702	125 559	201 961	202 962	103 696	92 040	150 905	937 661	91,6	
	Féminin	678	72	743	2 806	6 507	8 811	5 709	5 220	10 067	40 613	4	
	S/total	9 609	3 977	48 445	128 365	208 468	211 773	109 405	97 260	160 972	978 274	95,6	
TOTAL		16 166	4 091	50 496	135 445	219 631	220 582	112 736	99 726	164 926	1 023 799	100	

Niveau de formation agricole des chefs d'exploitations

N.D : non déterminé

Source : RGA ; 2003

ANNEXE 7

Répartition des principales cultures et surfaces irriguées par wilaya.

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

Wilaya	SAUT	SAU.I	CH	CE	CF	CM	CI	V	CSS	D
Adrar	33312	29477	0	7750	18354	1047	703	0	41,7	1623
Chlef	239091	16240	13	3485	6761	5608	287	86	253,2	16240
Laghouat	124643	13412	0	6946	3106	3143	42	175	0	0
Oum El Bouaghi	379519	9875	0	3193	550	3700	1081	1	0	1350
Batna	372377	27792	0	4490	9097	5080	616	94	0,75	8415
Bejaia	83869	5124	0	0	2296	2629	196	0	62,13	3
Biskra	156485	57768	0	11985	27312	13606	1535	30	1505,92	2300
Bechar	9675	10059	0	2776	5775	1250	10	38	0	210
Blida	59407	23550	0	0	19736	3408	45	47	47,23	314
Bouira	190151	6196	0	970	2447	2110	0	607	0	62
Tamanrasset	8505	5458	76	1120	2938	1220	0	70	0,3	34
Tébessa	414241	7583	0	1400	4348	1350	0	5	0	480
Tlemcen	354700	16320	0	200	4820	10700	90	370	228,45	140
Tiaret	741540	9729	0	0	3911	5763	20	35	0	0
Tizi-Ouzou	105460	5400	0	0	1541	3080	0	9	9,08	770
Alger	34744	13790	0	0	520	7756	292	332	256,01	120
Djelfa	449462	13073	0	1822	5325	4043	0	26	3,5	1857
Jijel	38559	6140	0	0	2113	3145	864	0	555	18
Sétif	357651	11391	0	880	2210	6601	65	9	43,42	26
Saida	267527	5060	0	620	1470	2933	0	37	0	0
Skikda	125869	9937	0	0	1366	478	3735	48	81,52	0
Sidi.Bel.Abbès	319810	4022	14	15	1121	2096	160	269	3,02	347
Annaba	42247	2164	0	0	647	835	647	9	0	26
Guelma	162225	12347	0	393	188	7766	2286	18	0	0
Constantine	124237	2240	0	300	912	990	0	0	1,72	38
Médéa	350420	6414	0	400	3182	2812	0	20	0	0
Mostaganem	105158	25293	0	0	3464	19085	434	2310	401	0
M'Sila	372041	36355	0	15341	9032	11850	37	95	0	0
Mascara	276626	25250	0	2350	9461	11890	45	1349	1,48	155
Ouargla	32268	18137	0	807	163484	148	0	8	57,68	790
Oran	86967	3063	0	0	120	1196	0	320	6,22	27
El-Bayadh	67485	3030	0	0	1840	1165	0	5	0	20
Illizi	2105	1170	0	60	902	140	0	14	0	54
Bordj.Bou.Arreridj	196827	3523	0	521	1505	924	0	15	0	558
Boumerdès	67986	9000	0	200	2560	5000	200	1000	290	40
El-Tarf	62450	8250	0	0	2175	2110	3898	13	8,36	54
Tindouf	366	370	0	0	290	30	0	20	2,54	30
Tissemsilt	145474								0	
El-Oued	56132	39995	5	2287	28958	6366	1883	190	54,58	306
Khenchela	252515	14847	300	7070	5133	2302	0	42	1	0
Souk-Ahras	249370	2458	0	0	250	2208	0	0	0	0
Tipaza	55801	12510	0	0	4334	7174	382	574	968	46
Mila	235466	7444	0	760	808	3172	41	3	18,16	2660
Ain-Défla	179948	32430	0	9531	7523	14898	198	0	114,65	280
Naama	16204	3083	42	163	1019	898	0	123	0	838
Ain. Témouchent	157261	2924	0	0	465	1249	0	890	20	320
Ghardaïa	12889	11221	0	595	7695	2350	507	74	3,5	0
Relizane	281645	14216	0	0	5500	8716	0	0	0	0
Total	8458681	610170	450	88430	249330	210330	20890	9380	5040	26320

SAU.T : Surface Agricole Utile Totale ; **SAU.I** : Surface Agricole Utile Irriguée;
CH : Céréales d'Hivers ; **CE** : Céréales d'Eté ; **CF** : Cultures Fruitières ; **CM** : Cultures
Maraîchères ; **CI** : Cultures Industrielles ; **V** : Vignes ;
CSS : Cultures Sous Serres ; **D** : Divers.

ANNEXE 8

Caractéristiques climatiques des régions d'Adrar, El Oued, Abadla, Hodna, Néméncha, Ghardaïa (1974- 1994)

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

Adrar						
Mois	T (°C)	H (%)	P (mm)	ET0	Ins (h/j)	Rad (mj/m ²)
J	12,8	45,89	3,1	3,84	8,59	5,22
F	15,6	31,43	1,04	5,86	8,7	6,75
M	19,35	27,52	2,04	7,79	9,01	9,29
A	23,95	21,78	6,85	9,89	9,8	11,31
M	28,29	18,8	0,62	11,66	11	12,79
J	34,12	14,97	0,48	13,41	10,69	12,56
J	36,36	13,08	0	14,97	10,74	12,15
A	35,88	18,59	0,2	13,99	10,34	11,97
S	31,61	23,49	0,98	11,27	9,06	10
O	25,42	29,3	0,23	8,3	9,14	7,95
N	18,13	40,74	0,75	5,27	8,69	5,79
D	13,26	45,76	1,1	3,86	8,49	4,63
El Oued						
Mois	T (°C)	H (%)	P (mm)	ET0	Ins (h/j)	Rad (mj/m ²)
J	10,72	64,65	12,3	1,89	7,6	3,9
F	13,3	57,69	3,65	2,87	7,69	5,94
M	16,36	49,88	11,47	4,25	8,45	8,93
A	20,14	44,16	8,33	6,06	9,17	11,6
M	24,82	40,02	6,46	7,86	10,38	13,79
J	30,69	35,56	11,1	9,88	10,51	14,5
J	32,77	32,85	0,27	9,87	11,75	15,04
A	32,82	35,37	1,33	9,21	10,9	13,59
S	28,84	45,12	2,44	6,39	9,29	10,83
O	22,65	53,2	5,99	4,14	8,04	7,46
N	15,89	62,8	9,57	2,43	7,81	4,75
D	11,76	66,42	4,29	1,72	7,54	3,38
Abadla						
Mois	T (°C)	H (%)	P (mm)	ET0	Ins (h/j)	Rad (mj/m ²)
J	10,05	45,8	13,9	2,35	8,2	4,01
F	12,95	39,7	4,2	3,5	8,7	6,11
M	16	29,2	3,1	5,19	9,5	8,88
A	19,7	29,1	11,6	6,98	10	11,5
M	23,45	26,1	6,4	8,82	10,9	13,22
J	29,8	19	1,3	10,41	10,51	12,96
J	33,15	14,2	0,3	11,18	11,2	12,55
A	32,6	16,5	0,3	10,13	10,3	11,32
S	27,9	25,9	6,4	7,29	9,2	9,64
O	21,35	33,2	7,8	4,61	9,3	7,23
N	14,85	42,9	5,3	2,95	8,6	4,6
D	11,1	40,8	3,7	2,42	8,2	3,24

ANNEXE 9



Barrages en crues à hauteur des différentes Oasis de la Vallée du M'Zab



Eaux stagnantes dans les palmeraies après le passage de la crue dans la allée du M'Zab



Eaux stagnantes dans les palmeraies après le passage de la crue dans la allée du M'Zab

Source : www.mzab.free.fr

ANNEXE10

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

Taille des exploitations par classe dans les wilayate de Boumerdès, Alger, lida et Tipaza (ha)

			Alger	Boumerdès	Blida	Tipaza	Total	Alger	Boumerdès	Blida
Terres nues irriguées			7127	4614	3206	5634	20581			
Plantations irriguées			7598	4233	19367	5675	36873			
Total irrigué			14728	8847	22573	11309	37459			
Total sec			20018	59138	36834	44492	160482			
Total SAU			49471	76832	81980	67110	275393			
	5-10 ha	Nombre	1003	2516	1392	2042	6953	49,14	67,36	43,45
		Surface	6848	16096	9462	13665	46071	12,05	40,92	18,42
Taille des exploitations selon la SAU	10-20 ha	Nombre	645	884	1050	750	3329	31,6	23,66	32,78
		Surface	8746	11424	14302	9922	443994	15,38	29,05	27,85
	20-50 ha	Nombre	314	293	643	361	1611	15,38	7,84	20,07
		Surface	8957	8150	18321	10539	45967	15,79	20,72	35,68
	50-100 ha	Nombre	47	35	104	65	251	2,3	0,93	3,24
		Surface	3226	2272	6405	4141	16044	5,67	5,77	12,47
	100-200 ha	Nombre	1	5	8	21	35	0,05	0,13	0,25
		Surface	119	655	1249	2834	4857	0,21	1,66	2,43
	200 et plus	Nombre	1	2	6	6	15	0,05	0,05	0,19
		Surface	448	730	1604	1508	4290	0,79	1,85	3,12
	0,1-0,5 ha	Nombre	83	207	324	265	879	9,44	5,52	8,62
		Surface	26	56	77	68	227	0,17	0,63	0,34
	0,5-1 ha	Nombre	187	360	194	659	1400	5,89	9,6	5,16
		Surface	122	204	116	310	752	0,82	2,3	0,51
Répartition des superficies irriguées par classe de SAU	1-2 ha	Nombre	508	660	393	1151	2712	16,01	17,61	10,46
		Surface	600	639	418	779	2436	4,07	7,22	1,85
	2-5 ha	Nombre	1013	1460	882	1504	4859	31,92	38,96	23,48
		Surface	2506	2556	2281	2028	11877	17,01	28,88	10,11
	5-10 ha	Nombre	688	634	763	799	2884	21,68	16,92	20,31
		Surface	3504	2061	3980	2579	12124	23,79	23,29	17,63
	10-20 ha	Nombre	444	286	688	402	2264	13,19	7,63	18,32
		Surface	4047	1733	6424	2529	14733	27,48	19,58	28,46
	20-50 ha	Nombre	221	123	437	215	996	6,96	3,28	11,63
		Surface	3153	1190	7261	2096	13700	21,41	13,44	32,16
	50-100 ha	Nombre	28	12	67	31	178	0,88	0,32	1,78
		Surface	715	161	1547	301	2724	4,85	1,81	6,85
	100-200 ha	Nombre	0	31	5	13	49	0	0,08	0,13
		Surface	0	186	394	502	1082	0	2,1	1,74
	200 et plus	Nombre	1	2	2	5	10	0,03	0,05	0,05
		Surface	53	62	73	118	306	0,35	0,7	0,32
Total			3173	3747	3755	5044	16231			

ANNEXE 11

Données météorologiques (température, humidité, pluviométrie) de quelques stations dans la plaine de la Mitidja

Données météo station de Dar El Beida Alger (1974-1994)			
Mois	Températures (°C)	Pluviométrie (mm)	HR (%)
Janvier	10,79	73,2	77,82
Février	12,71	70,9	77,73
Mars	13,11	61,66	77,05
Avril	14,51	55,96	75,92
Mai	17,64	39,08	75,45
Juin	21,58	10,42	71,09
Juillet	24,87	9,34	69,48
Août	25,64	5,5	70,13
Septembre	23,4	30,85	71,74
Octobre	20,3	64,82	73,57
Novembre	15,06	90,88	76,87
Décembre	12,32	91,85	75,71
Données météo Station de Chiffa (Blida) (1974-1987)			
Mois	Températures (°C)	Pluviométrie (mm)	HR (%)
Janvier	10,8	84,76	76,2
Février	11,2	68,25	76,2
Mars	12,3	82	72,9
Avril	14,4	73,07	70,9
Mai	17,3	35,87	70,3
Juin	21,4	12,72	66,6
Juillet	24,4	3,01	63
Aout	24,5	6,61	70,2
Septembre	22,5	26,5	68,6
Octobre	17,1	55,11	70
Novembre	14,2	80,86	73,2
Décembre	11,5	85,42	79,4

ANNEXE 12

Caractéristiques granulométriques des sols des parcelles de suivi dans les 3 exploitations agricoles de la plaine de la Mitidja

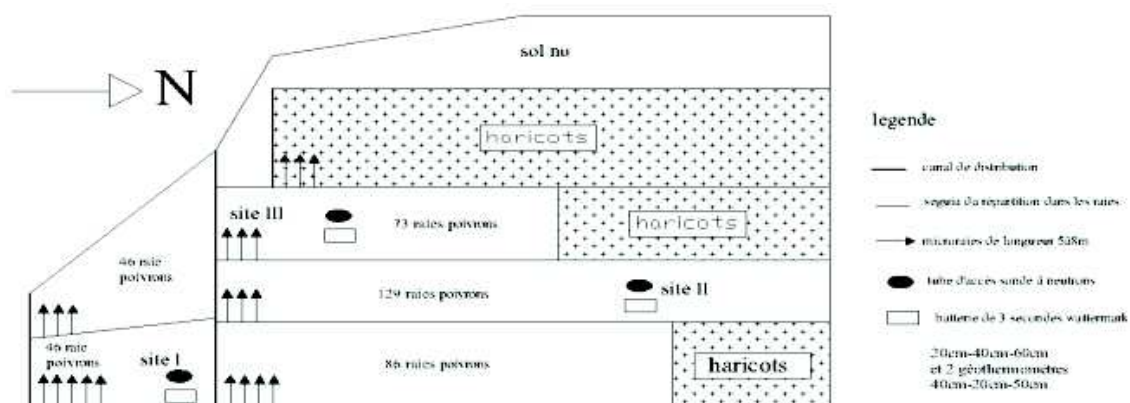
Profondeur d'échantillonnage (cm)	Texture (%)			Densité	Type de sol
	Argile.	Limon	Sable.		
0-15	22	40,4	37,6	1.45	Limoneux
15-30	25,5	38,9	35,6	1.44	Limoneux
30-50	25,5	38,9	35,6	1.44	Limo-arg
50-70	21	45,32	33,5	1.45	Limoneux
70-90	21	45,32	33,5	1.45	Limoneux

Exploitation 1, campagne 2001

Exploitation 3, campagne 2002

Horizons	Argiles (%)	Limons fins (%)	Limons grossiers (%)	Sables fins (%)	Sables grossiers (%)	Type de sol
0-30 cm	15	2,5	68,95	6,80	6,75	Limoneux
30-60 cm	22,5	15,5	51,90	4,65	5,45	Limono argileux
60-90 cm	17,5	17,5	35,95	6,80	22,25	Limono sablo argileux
90-120 cm	12,5	2,5	63,70	8,65	12,65	Limoneux

ANNEXE 13



Plan et dispositif de suivi dans la parcelle de l'exploitation 1 campagne 2001

ANNEXE 14

$Q=10^{(2.504457*\text{LOG}_{10}(h*\cos(30^\circ))-2.12251)}$

avec : Q= débit en l/s et h = hauteur mesurée en cm

h	Q	h	Q	h	Q	h	Q
0.10	0.00	5.10	0.31	10.10	1.72	15.10	4.72
0.20	0.00	5.20	0.33	10.20	1.77	15.20	4.80
0.30	0.00	5.30	0.34	10.30	1.81	15.30	4.88
0.40	0.00	5.40	0.36	10.40	1.85	15.40	4.96
0.50	0.00	5.50	0.38	10.50	1.90	15.50	5.04
0.60	0.00	5.60	0.39	10.60	1.94	15.60	5.12
0.70	0.00	5.70	0.41	10.70	1.99	15.70	5.20
0.80	0.00	5.80	0.43	10.80	2.04	15.80	5.28
0.90	0.00	5.90	0.45	10.90	2.09	15.90	5.37
1.00	0.01	6.00	0.47	11.00	2.13	16.00	5.45
1.10	0.01	6.10	0.49	11.10	2.18	16.10	5.54
1.20	0.01	6.20	0.51	11.20	2.23	16.20	5.63
1.30	0.01	6.30	0.53	11.30	2.28	16.30	5.71
1.40	0.01	6.40	0.55	11.40	2.33	16.40	5.80
1.50	0.01	6.50	0.57	11.50	2.39	16.50	5.89
1.60	0.02	6.60	0.59	11.60	2.44	16.60	5.98
1.70	0.02	6.70	0.62	11.70	2.49	16.70	6.07
1.80	0.02	6.80	0.64	11.80	2.54	16.80	6.16
1.90	0.03	6.90	0.66	11.90	2.60	16.90	6.26
2.00	0.03	7.00	0.69	12.00	2.65	17.00	6.35
2.10	0.03	7.10	0.71	12.10	2.71	17.10	6.44
2.20	0.04	7.20	0.74	12.20	2.77	17.20	6.54
2.30	0.04	7.30	0.76	12.30	2.82	17.30	6.63
2.40	0.05	7.40	0.79	12.40	2.88	17.40	6.73
2.50	0.05	7.50	0.82	12.50	2.94	17.50	6.83
2.60	0.06	7.60	0.85	12.60	3.00	17.60	6.92
2.70	0.06	7.70	0.87	12.70	3.06	17.70	7.02
2.80	0.07	7.80	0.90	12.80	3.12	17.80	7.12
2.90	0.08	7.90	0.93	12.90	3.18	17.90	7.22
3.00	0.08	8.00	0.96	13.00	3.24	18.00	7.33
3.10	0.09	8.10	0.99	13.10	3.31	18.10	7.43
3.20	0.10	8.20	1.02	13.20	3.37	18.20	7.53
3.30	0.10	8.30	1.05	13.30	3.43	18.30	7.63
3.40	0.11	8.40	1.09	13.40	3.50	18.40	7.74
3.50	0.12	8.50	1.12	13.50	3.56	18.50	7.85
3.60	0.13	8.60	1.15	13.60	3.63	18.60	7.95
3.70	0.14	8.70	1.19	13.70	3.70	18.70	8.06
3.80	0.15	8.80	1.22	13.80	3.77	18.80	8.17
3.90	0.16	8.90	1.26	13.90	3.83	18.90	8.28
4.00	0.17	9.00	1.29	14.00	3.90	19.00	8.39
4.10	0.18	9.10	1.33	14.10	3.97	19.10	8.50
4.20	0.19	9.20	1.36	14.20	4.04	19.20	8.61
4.30	0.20	9.30	1.40	14.30	4.12	19.30	8.72
4.40	0.22	9.40	1.44	14.40	4.19	19.40	8.84
4.50	0.23	9.50	1.48	14.50	4.26	19.50	8.95
4.60	0.24	9.60	1.52	14.60	4.34	19.60	9.07
4.70	0.25	9.70	1.56	14.70	4.41	19.70	9.18
4.80	0.27	9.80	1.60	14.80	4.49	19.80	9.30
4.90	0.28	9.90	1.64	14.90	4.56	19.90	9.42
5.00	0.30	10.00	1.68	15.00	4.64	20.00	9.54

Abaque pour la détermination des débits mesurés avec des Flum (Vodicka., 2000)

ANNEXE 15

PROTOCOLE DE MESURES D'INFILTRATION MENEES SUR UN TRONCON DE SEGUIA (exploitation 1, campagne 2000)

Introduction

Les mesures ont été réalisées sur un tronçon de seguia de 1,5 m de long, 70 cm de large et une profondeur moyenne de 16 cm avec un tirant d'eau $h_0 = 5,8$ cm

(déterminé avec le logiciel Calrayh)

Le dispositif est constitué par deux plaques de plexiglas disposées perpendiculairement à l'axe de la seguia et espacées de 1.5 m et juste derrière chacune d'elle deux autres

plaques distantes de 15 cm. Le fond de la seguia est recouvert de plastique avant que celle – ci ne soit remplie d'eau à une hauteur $h = h_0 + 2$ cm. Un pointeau nous permet de repérer les niveaux h et h_0 (photos 1).



Photo 1 : Tronçon de seguia recouvert de plastique avec un pointeau au milieu et dispositif en fonctionnement

I – Caractéristiques du sol

Une heure avant le démarrage de l'essai nous avons procédé à des prélèvements d'échantillons de sol pour en déterminer la teneur en eau initiale au moment de l'expérimentation (tableau 1).

Profondeur d'échantillonnage (cm)	Teneur en eau à la capacité au champ C.C (%)	Pf (%) à 4,2	Da	Teneur en eau (%) 1 heure avant mesures	Type de sol	Texture (%)		
						Arg.	Lim	Sab.
0-15	18,5	9,1	1,46	11,4	Limonex	22	40,4	37,6
15-30	23,8	13,1	1,44	14,	Limonex	25,5	38,9	35,6
30-50	23,8	13,1	1,44	13,9	Limo-arg	25,5	38,9	35,6
50-70	26,7	14,7	1,46	18,4	Limonex	21	46,32	33,5
70-90	26,7	14,7	1,46	25,2	Limonex	21	46,32	33,5

.Tableau 1 : Caractéristiques pédologiques du sol de la seguia

II – Mesures

II-1 Géométrie de la section de seguia

Trois mesures de section ont été réalisées à l'amont, à l'aval et à l'extrémité du tronçon de seguia, ce qui nous a permis d'avoir une valeur moyenne de la section mesurée de 232,86 cm² et estimée par Calrayh, de 218,25 cm².

Sections séguia							
coupe de séguia amont		coupe de séguia milieu		coupe de séguia aval		coupe de séguia moyenne	
largeur (cm)	prof.(cm)	largeur (cm)	prof.(cm)	largeur (cm)	prof.(cm)	largeur (cm)	prof.(cm)
0	0	0	0	0	0	0	0
5	-5	5	-4	5	-5	5	-4,66
10	-9	10	-9	10	-9	10	-9
15	-13	15	-13	15	-12	15	-12,66
20	-14	20	-15,5	20	-14,5	20	-14,66
25	-14,5	25	-16	25	-15	25	-15,16
30	-15	30	-16,5	30	-15,5	30	-15,66
35	-15	35	-16,5	35	-16	35	-15,83
40	-15	40	-16,5	40	-16,5	40	-16
45	-14	45	-16	45	-16	45	-15,3
50	-13	50	-16,5	50	-15,5	50	-15
55	-7	55	-13	55	-15	55	-11,66
60	-4	60	-10	60	-8	60	-7,33
65	0	65	-6,5	65	-6	65	-4,16
		70	0	70	-4	70	0
				75	0		

Tableau 2 : Caractéristiques géométriques du tronçon de séguia

La section moyenne est représentée par la figure 1 ci-dessous, elle est de forme trapézoïdale.

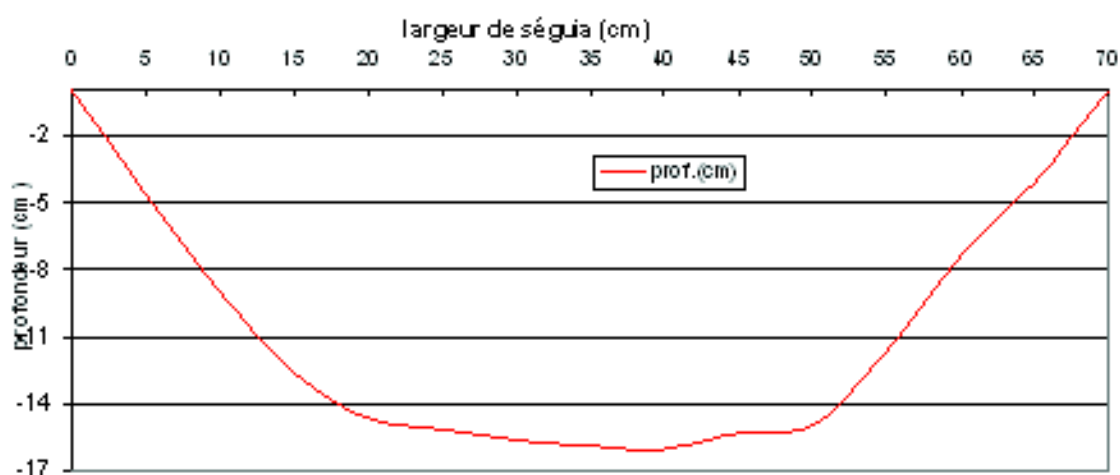


Figure 1 : Représentation géométrique de la section moyenne de séguia

II – 2- Mesures des volumes infiltrés

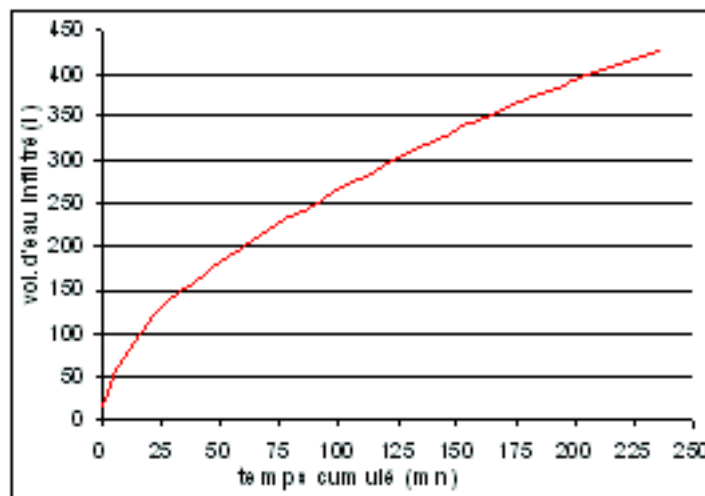
La géométrie de la section nous permet de déterminer le volume d'eau stocké dans le tronçon de séguia correspondant au tirant d'eau de 5,8 cm pour un débit de 10,43 l/s, il est de 39 litres. Une charge supplémentaire de 2 cm correspond à 14, 25 l en plus. Il nous fallait donc pour maintenir une charge constante de 5,8 cm correspondant au tirant d'eau rajouter 14,25 l à chaque fois que le niveau d'eau atteignait le repère inférieur du pointeau. Le tableau 3, représente l'ensemble des mesures réalisées.

Tableau 3 : Relevé des temps et volumes infiltrés

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

N° mesures	T (s)	Δt (s)	14,25/Δt s	T (mn)	Δt (mn)	14,25 l/ΔT mn	V inf, (l)
1	5	5	2,85	0,08	0,08	2,85	14,25
2	175	170	0,0838	2,91	2,83	5,03	28,5
3	270	95	0,15	4,5	1,58	9,01	42,75
4	360	90	0,158	6	1,5	9,5	57
5	580	220	0,0647	9,66	3,66	3,89	71,25
6	765	185	0,077	12,75	3,08	4,62	85,5
7	990	225	0,0633	16,5	3,75	3,8	99,75
8	1240	250	0,057	20,66	4,16	3,42	114
9	1465	225	0,0633	24,41	3,75	3,8	128,25
10	1820	355	0,0401	30,33	5,91	2,41	142,5
11	2265	445	0,032	37,75	7,41	1,92	156,75
12	2695	430	0,0331	44,91	7,16	1,99	171
13	3060	365	0,039	51	6,08	2,34	185,25
14	3555	495	0,0287	59,25	8,25	1,727	199,5
15	4070	515	0,0276	67,83	8,58	1,66	213,75
16	4530	460	0,03	75,5	7,66	1,86	228
17	5205	675	0,0211	86,75	11,25	1,26	242,25
18	5650	445	0,032	94,1	7,41	1,92	256,5
19	6115	465	0,0306	101,91	7,75	1,83	270,7
20	6825	710	0,02	113,75	11,83	1,2	285
21	7410	585	0,024	123,5	9,75	1,46	299,25
22	7985	575	0,0247	133,08	9,58	1,48	313,5
23	8730	745	0,0191	145,5	12,41	1,14	327,75
24	9255	525	0,027	154,25	8,75	1,62	342
25	10060	805	0,0177	167,66	13,41	1,06	356,25
26	10850	790	0,018	180,83	13,16	1,08	370,5
27	11690	840	0,0183	194,83	14	1,01	384,75
28	12365	775	0,0183	206,08	12,91	1,1	399
29	13268	803	0,0177	221,13	13,38	1,06	413,25
30	14135	867	0,0164	235,58	14,45	0,98	427,5

Infiltration cumulée dans un tronçon de seguia

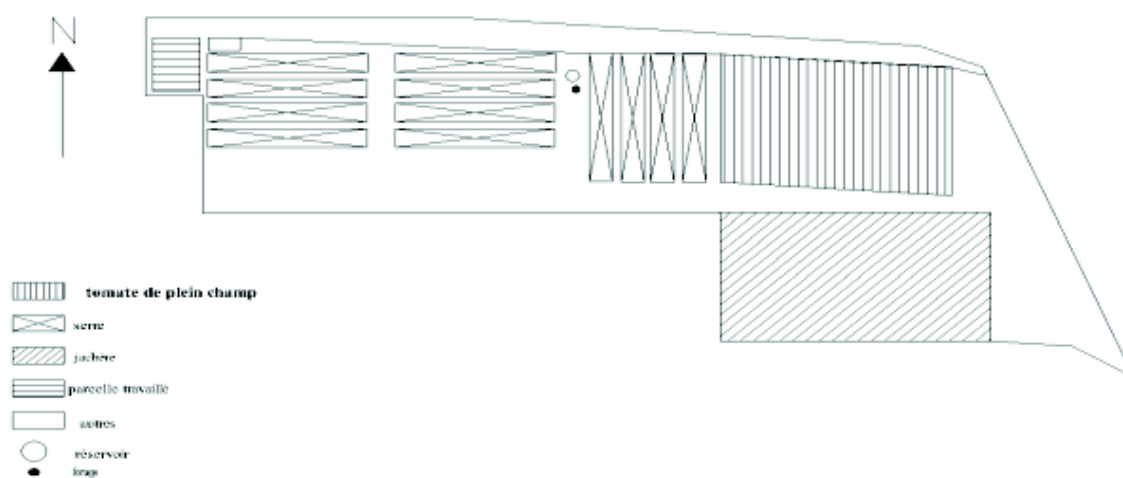


Evolution des tensions en eau durant les mesures

Evolution des tensions en eau durant les mesures

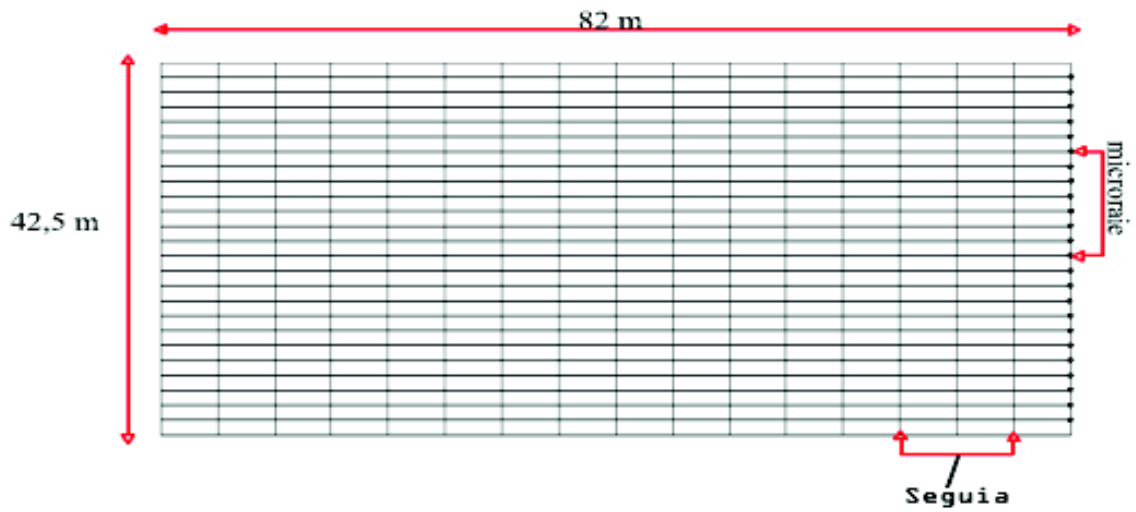
Prof, (cm)	Temps mn	Tension Cb	Prof, (cm)	Temps mn	Tension Cb	Prof, (cm)	Temps mn	Tension Cb
	0	52		0	62			
	42	50		49	58		0	6
	43	48		50	50	80cm	55	2
	45	28		50,5	48		59	0
30 cm	46	18		51	44			
	47	10		51,25	40			
	47,5	8	50cm	52,1	30			
	47,75	0		52,5	24			
				53	20			
				53,3	14			
				54	10			
				55	6			
				56	2			

ANNEXE 16



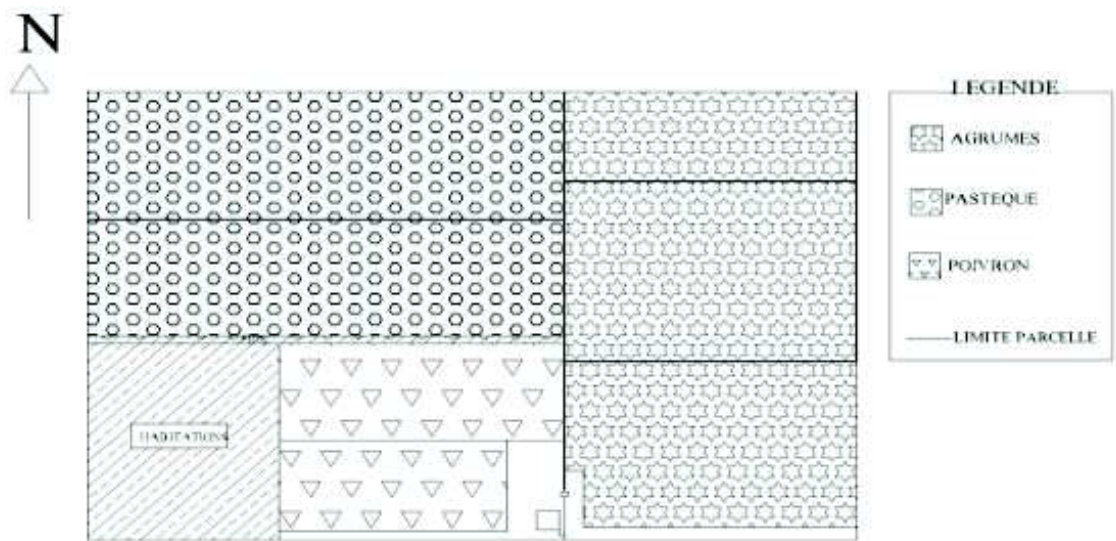
Plan général de l'exploitation 2

ANNEXE 17



Parcelle de suivi dans l'exploitation 2, campagne 2002

ANNEXE 18



Plan de l'exploitation 3

ANNEXE 19

Relevé des valeurs de teneurs en eau (%) des sites I, II ; III et moyenneau **niveau de l'exploitation 1, campagne 2001**

Teneur en eau site I Teneur en eau site II

dates	20cm	40cm	60cm	dates	20cm	40cm	60cm
21avr	25,08	33,32	34,04	21avr	31,99	30,62	31,69
23-avr	31,80	32,30	35,72	23-avr	31,42	31,00	31,57
25-avr	25,42	32,60	34,20	25-avr	29,94	31,42	32,26
27-avr	24,54	32,90	34,69	27-avr	28,61	31,04	32,26
29-avr	24,96	33,51	33,59	29-avr	22,99	30,59	29,48
04-mai	26,94	33,59	34,08	04-mai	24,47	31,88	30,40
06-mai	27,05	32,79	34,39	06-mai	24,09	31,76	30,62
08-mai	25,99	34,12	34,69	08-mai	22,53	30,85	30,89
10-mai	25,49	32,83	34,77	10-mai	22,15	30,89	30,74
12-mai	26,37	33,78	35,49	12-mai	35,75	25,30	31,27
14-mai	25,80	33,02	34,35	14-mai	23,63	31,73	31,19
20-mai	12,26	18,23	21,74	20-mai	13,96	22,37	15,28
22-mai	14,93	23,41	24,30	22-mai	18,76	24,23	20,53
24-mai	16,72	19,70	23,93	24-mai	15,90	23,06	17,40
26-mai	13,41	18,23	21,74	26-mai	15,27	13,67	17,90
28-mai	15,46	18,88	20,16	28-mai	12,14	13,68	13,29
30-mai	15,24	20,42	22,62	30-mai	14,75	19,42	16,15
01-juin	21,44	24,90	21,10	01-juin	13,29	19,99	19,03
03-juin	16,68	20,42	22,62	03-juin	16,15	18,54	19,22
05-juin	23,46	24,90	21,10	05-juin	27,88	18,08	24,27
08-juin	22,08	24,94	25,23	08-juin	22,65	22,33	23,64
09-juin	22,65	25,78	23,31	09-juin	21,51	22,67	22,85
11-juin	17,34	21,38	22,63	11-juin	19,73	23,33	21,84
13-juin	14,70	20,57	25,06	13-juin	15,60	23,96	17,84
15-juin	23,98	17,32	19,13	15-juin	15,54	16,23	19,91
16-juin	35,83	32,17	33,83	16-juin	34,27	17,87	32,50
18-juin	26,37	25,78	22,94	18-juin	21,20	36,16	23,16
20-juin	17,68	22,36	23,66	20-juin	17,88	21,74	21,50
24-juin	16,62	16,96	16,70	24-juin	16,91	18,53	16,53
26-juin	22,13	26,34	29,72	26-juin	18,43	17,34	22,13
28-juin	32,25	27,54	29,01	28-juin	27,67	21,73	26,43
30-juin	24,70	27,47	30,25	30-juin	21,64	20,57	22,98
02-juil	24,09	31,77	27,97	02-juil	21,33	22,59	25,73
04-juil	37,92	37,00	39,30	04-juil	31,23	23,24	26,23
06-juil	24,29	33,74	30,75	06-juil	20,44	28,68	23,48
08-juil	19,87	22,78	26,11	08-juil	17,24	22,23	21,93
10-juil	33,07	26,80	33,04	10-juil	27,89	20,43	22,40
12-juil	20,71	21,43	22,08	12-juil	10,95	23,72	17,10
14-juil	26,16	23,68	29,31	14-juil	16,97	17,64	20,29
16-juil	23,00	20,72	24,60	16-juil	11,85	22,54	18,84
18-juil	19,45	17,53	28,17	18-juil	12,73	17,95	20,21
20-juil	33,49	34,14	29,00	20-juil	20,90	13,70	30,31
22-juil	22,00	15,75	30,14	22-juil	12,48	13,00	23,53

ANNEXE 20 Suite 1

Teneur en eau site III Teneur en eau moyenne des 3 sites à 20 ; 40 t 60 cm

dates	20cm	40cm	60cm	dates	Moy (20 cm)	Moy (40 cm)	Moy (60 cm)
21avr	25,08	33,32	34,04	21avr	27,38	32,42	33,26
23-avr	22,91	31,12	30,81	23-avr	28,71	31,47	32,70
25-avr	25,61	31,27	32,07	25-avr	26,99	31,76	32,84
27-avr	26,41	30,66	32,14	27-avr	26,52	31,54	33,03
29-avr	25,38	31,31	32,03	29-avr	24,44	31,80	31,70
04-mai	27,66	31,69	31,84	04-mai	26,36	32,38	32,11
06-mai	27,28	31,04	31,23	06-mai	26,14	31,87	32,08
08-mai	26,71	31,54	31,80	08-mai	25,08	32,17	32,46
10-mai	25,19	31,23	31,38	10-mai	24,28	31,65	32,30
12-mai	29,03	32,07	33,17	12-mai	30,38	30,38	33,31
14-mai	26,37	30,24	33,13	14-mai	25,27	31,66	32,89
20-mai	19,82	22,87	22,79	20-mai	15,35	21,16	19,94
22-mai	25,49	26,81	23,89	22-mai	19,73	24,82	22,91
24-mai	21,37	25,60	25,16	24-mai	18,00	22,79	22,16
26-mai	14,83	17,95	20,58	26-mai	14,50	16,62	20,07
28-mai	25,12	27,46	25,22	28-mai	17,57	20,01	19,56
30-mai	24,48	30,97	29,58	30-mai	18,16	23,61	22,78
01-juin	17,67	21,80	23,11	01-juin	17,47	22,23	21,08
03-juin	16,36	20,48	20,20	03-juin	16,39	19,81	20,68
05-juin	29,28	24,46	24,40	05-juin	26,87	22,48	23,26
08-juin	23,11	23,01	19,36	08-juin	22,62	23,43	22,74
09-juin	24,61	24,31	27,04	09-juin	22,92	24,25	24,40
11-juin	21,23	23,64	22,03	11-juin	19,43	22,79	22,17
13-juin	16,98	18,21	20,08	13-juin	15,76	20,91	20,99
15-juin	16,39	17,33	20,82	15-juin	18,64	16,96	19,95
16-juin	28,63	29,99	27,80	16-juin	32,91	26,68	31,37
18-juin	23,13	24,06	23,74	18-juin	23,57	28,67	23,28
20-juin	22,89	22,65	24,63	20-juin	19,48	22,25	23,27
24-juin	15,58	21,27	21,45	24-juin	16,37	18,92	18,22
26-juin	18,30	19,90	21,20	26-juin	19,62	21,19	24,35
28-juin	28,46	26,60	32,48	28-juin	29,46	25,29	29,31

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

Stocks d'eau au niveau des 3 sites (I ; II ; III) exploitation 1 campagne 2001 durant 5 irrigations du 03/06/01 au 08/07/01

profondeur (cm)	apport (mm)					consommation(mm)		
	avant 1 ^{ère} irrigation(03/06)		après 1 ^{ère} irrigation (05/06)		ΔS(mm)	après 1 ^{ère} irrigation (05/06)	avant 2 ^{ème} irrigation (15/06)	ΔS(mm)
	θ _v (%)	stock d'eau (mm)	θ _v (%)	stock d'eau (mm)				
0-20	18,7	33,4	23,3	47	13,6	47	38,26	15,4
20-40	20,41	49,83	26	60	9,18	50	34,6	15,4
40-60	22,62	45,24	21,1	42,2	-3,04	42,2	48	3,96
stock total(mm)		119,46		139,2	19,74	139,2	72,86	18,34
	avant 2 ^{ème} irrigation(05/06)		après 2 ^{ème} irrigation (16/06)		ΔS(mm)	après 2 ^{ème} irrigation (16/06)	avant 3 ^{ème} irrigation (26/06)	ΔS(mm)
	θ _v (%)	stock d'eau (mm)	θ _v (%)	stock d'eau (mm)				
0-20	18,19	58,29	35,82	71,64	23,64	71,64	44,2	27,44
20-40	17,32	34,64	32,2	64,4	26,78	64,4	52,6	11,8
40-60	24	48	33,82	37,64	29,36	37,64	56,4	8,24
stock total(mm)		72,9		203,68	82,78	203,68	156,2	47,48
	avant 3 ^{ème} irrigation(26/06)		après 3 ^{ème} irrigation (28/06)		ΔS(mm)	après 3 ^{ème} irrigation (28/06)	avant 4 ^{ème} irrigation (02/07)	ΔS(mm)
	θ _v (%)	stock d'eau (mm)	θ _v (%)	stock d'eau (mm)				
0-20	22,13	44,26	32,28	64,5	20,34	64,5	48,2	16,3
20-40	26,34	52,68	27,59	55,08	2,38	55,08	63,6	-6,54
40-60	29,71	59,42	29,01	46,02	-1,4	46,02	56,9	2,12
stock total(mm)		156,36		177,58	21,22	177,58	167,7	9,98
	avant 4 ^{ème} irrigation(02/07)		après 4 ^{ème} irrigation (04/07)		ΔS(mm)	après 4 ^{ème} irrigation (04/07)	avant 5 ^{ème} irrigation (08/07)	ΔS(mm)
	θ _v (%)	stock d'eau (mm)	θ _v (%)	stock d'eau (mm)				
0-20	24,1	48,2	37,92	76,84	27,64	76,84	39,8	36,04
20-40	31,8	63,6	37	74	10,4	74	46,6	28,4
40-60	27,97	55,94	39,0	78,6	22,66	78,6	52,2	26,4
stock total(mm)		167,74		328,44	60,7	328,44	137,8	90,64
	avant 5 ^{ème} irrigation(08/07)		après 5 ^{ème} irrigation (10/07)		ΔS(mm)	après 5 ^{ème} irrigation (10/07)	avant 6 ^{ème} irrigation (16/07)	ΔS(mm)
	θ _v (%)	stock d'eau (mm)	θ _v (%)	stock d'eau (mm)				
0-20	19,9	39,8	33,1	66,2	26,4	66,2	46	20,2
20-40	22,6	45,2	26,8	53,6	8	53,6	41,4	12,2
40-60	36,11	52,22	33,03	66,06	13,84	66,06	49,2	16,96
stock total(mm)		137,62		185,86	48,24	185,86	136,6	48,26

Site I

profondeur (cm)	apport (mm)				B S (mm)	après 1 ^{ère} irrigation (06/06)	consommation (mm)	
	avant 1 ^{ère} irrigation (03/06)	cbok d'eau (mm)	après 1 ^{ère} irrigation (06/06)	cbok d'eau (mm)			avant 2 ^{ème} irrigation (16/06)	B S (mm)
0-20	16,4	32,8	27,87	55,74	22,94	55,74	31	24,74
20-40	18,53	37,06	18,07	36,14	-0,82	36,14	32,4	3,74
40-60	19,21	38,42	24,27	48,54	10,12	48,54	39,8	8,74
cbok total (mm)		108,28		140,42	32,14		103,2	37,22
	avant 2 ^{ème} irrigation (06/06)	cbok d'eau (mm)	après 2 ^{ème} irrigation (18/06)	cbok d'eau (mm)	B S (mm)	après 2 ^{ème} irrigation (18/06)	avant 3 ^{ème} irrigation (26/06)	B S (mm)
0-20	15,54	31,08	34,27	68,54	37,46	74,92	37,4	37,52
20-40	16,22	32,44	17,86	35,72	3,28	6,56	34,6	-28,04
40-60	19,9	39,8	32,49	64,98	25,18	80,36	44,2	6,16
cbok total (mm)		103,32		169,24	65,92		116,2	15,64
	avant 3 ^{ème} irrigation (26/06)	cbok d'eau (mm)	après 3 ^{ème} irrigation (28/06)	cbok d'eau (mm)	B S (mm)	après 3 ^{ème} irrigation (28/06)	avant 4 ^{ème} irrigation (02/07)	B S (mm)
0-20	18,43	36,86	27,67	55,34	18,48	55,34	42,6	12,74
20-40	17,34	34,68	21,73	43,46	8,78	43,46	45,1	-1,64
40-60	22,13	44,26	26,43	52,86	8,6	52,86	51,4	1,46
cbok total (mm)		115,8		151,66	35,86		139,1	12,96
	avant 4 ^{ème} irrigation (02/07)	cbok d'eau (mm)	après 4 ^{ème} irrigation (04/07)	cbok d'eau (mm)	B S (mm)	après 4 ^{ème} irrigation (04/07)	avant 5 ^{ème} irrigation (08/07)	B S (mm)
0-20	21,33	42,66	31,23	62,46	19,8	62,46	34,4	28,06
20-40	22,59	45,18	23,24	46,48	1,3	46,48	44,4	2,08
40-60	25,73	51,46	26,23	52,46	1	52,46	43,8	8,66
cbok total (mm)		139,3		161,4	22,1		122,6	38,8
	avant 5 ^{ème} irrigation (08/07)	cbok d'eau (mm)	après 5 ^{ème} irrigation (10/07)	cbok d'eau (mm)	B S (mm)	après 5 ^{ème} irrigation (10/07)	avant 6 ^{ème} irrigation (16/07)	B S (mm)
0-20	17,24	34,48	27,89	62,46	27,98	62,46	23,7	38,76
20-40	22,23	44,46	20,43	46,48	2,02	46,48	45	1,48
40-60	21,93	43,86	22,4	52,46	8,6	52,46	37,6	14,86
cbok total (mm)		122,8		161,4	38,6		106,3	55,1

profondeur (cm)	apport (mm)				B S (mm)	après 1 ^{ère} irrigation (05/06)	consommation (mm)	
	avant 1 ^{ère} irrigation (03/06)	cbok d'eau (mm)	après 1 ^{ère} irrigation (06/06)	cbok d'eau (mm)			avant 2 ^{ème} irrigation (15/06)	B S (mm)
0-20	16,35	32,7	29,27	58,54	25,84	58,54	32,78	25,76
20-40	20,47	40,94	24,46	48,92	7,98	48,92	34,6	14,32
40-60	20,19	40,38	24,4	48,8	8,42	48,8	41,6	7,2
cbok total (mm)		114,02		156,26	42,24		108,98	47,28
	avant 2 ^{ème} irrigation (06/06)	cbok d'eau (mm)	après 2 ^{ème} irrigation (18/06)	cbok d'eau (mm)	B S (mm)	après 2 ^{ème} irrigation (18/06)	avant 3 ^{ème} irrigation (26/06)	B S (mm)
0-20	16,39	32,78	28,63	57,26	24,48	57,26	36,6	20,66
20-40	17,33	34,66	29,99	59,98	25,32	59,98	39,8	20,18
40-60	20,82	41,64	27,8	55,6	13,96	55,6	42,4	13,2
cbok total (mm)		109,08		172,84	63,76		118,8	54,04
	avant 3 ^{ème} irrigation (26/06)	cbok d'eau (mm)	après 3 ^{ème} irrigation (28/06)	cbok d'eau (mm)	B S (mm)	après 3 ^{ème} irrigation (28/06)	avant 4 ^{ème} irrigation (02/07)	B S (mm)
0-20	18,3	36,6	28,46	56,92	20,32	56,92	48,58	8,34
20-40	19,9	39,8	26,6	53,2	13,4	53,2	47,32	5,88
40-60	21,2	42,4	32,48	64,96	22,56	64,96	51,6	13,36
cbok total (mm)		118,8		175,08	56,28		147,5	27,58
	avant 4 ^{ème} irrigation (02/07)	cbok d'eau (mm)	après 4 ^{ème} irrigation (04/07)	cbok d'eau (mm)	B S (mm)	après 4 ^{ème} irrigation (04/07)	avant 5 ^{ème} irrigation (08/07)	B S (mm)
0-20	24,29	48,58	25,06	50,12	1,54	50,12	41,11	9,01
20-40	23,66	47,32	23,28	46,56	-0,76	46,56	46,2	0,36
40-60	25,84	51,68	28,57	57,14	5,46	57,14	43,7	13,44
cbok total (mm)		147,58		153,82	6,24		131,01	22,81

SITE II

ANNEXE 22

Relevé des valeurs de tension (Kpa) des sites I, II ; III et moyenne au niveau de l'exploitation 1, campagne 2001

Tension en eau site I Tension en eau site II

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

dates	20cm	40cm	60cm	dates	20cm	40cm	60cm
14-avr	3	0	10	14-avr	3	0	10
16-avr	10	5	7	16-avr	10	5	7
18-mai	12	7	5	18-avr	10	14	0
21-avr	12	9	7	21-avr	3	13	3
23-avr	11	10	6	23-avr	10	12	3
25-avr	11	11	5	25-avr	11	12	2
27-avr	12	11	5	27-avr	12	11	1
29-avr	13	11	5	29-avr	12	11	1
02-mai	10	11	6	02-mai	2	6	3
04-mai	9	11	7	04-mai	4	11	4
06-mai	6	13	4	06-mai	6	13	9
08-mai	11	11	7	08-mai	9	11	9
10-mai	12	12	7	10-mai	11	11	3
12-mai	9	10	5	12-mai	0	7	0
14-mai	5	11	10	14-mai	6	13	0
16-mai	11	11	5	16-mai	11	7	0
18-mai	13	12	5	18-mai	11	7	0
20-mai	5	12	5	20-mai	13	19	0
22-mai	11	11	5	22-mai	2	5	0
24-mai	12	11	4	24-mai	12	6	0
28-mai	19	12	5	28-mai	13	7	0
30-mai	27	12	5	30-mai	16	8	0
01-juin	35	13	5	01-juin	23	10	0
03-juin	40	13	6	03-juin	32	11	0
05-juin	35	14	6	05-juin	0	9	0
08-juin	31	14	7	08-juin	11	7	0
09-juin	31	14	6	09-juin	12	8	0
11-juin	35	14	9	11-juin	18	8	0
13-juin	43	15	7	13-juin	31	10	0
15-juin	48	18	10	15-juin	53	11	0
16-juin	28	3	9	16-juin	0	6	0
18-juin	28	12	10	18-juin	12	7	0
20-juin	35	18	11	20-juin	20	9	0
22-juin	25	5	9	22-juin	3	6	0
24-juin	21	14	10	24-juin	13	6	2
26-juin	26	19	11	26-juin	34	8	0
28-juin	7	3	11	28-juin	1	3	0
30-juin	10	10	11	30-juin	12	4	0
02-juil	13	11	10	02-juil	16	10	0
04-juil	0	3	6	04-juil	0	6	2
06-juil	9	8	6	06-juil	9	8	0
08-juil	11	11	6	08-juil	17	10	0
10-juil	2	4	5	10-juil	0	10	0
12-juil	6	9	5	12-juil	10	10	1
14-juil	12	11	9	14-juil	17	11	11
16-juil	21	13	7	16-juil	41	13	4
18-juil	5	5	11	18-juil	53	5	7
20-juil	13	12	10	20-juil	35	14	9
22-juil	35	16	12	22-juil	59	20	11

ANNEXE 23

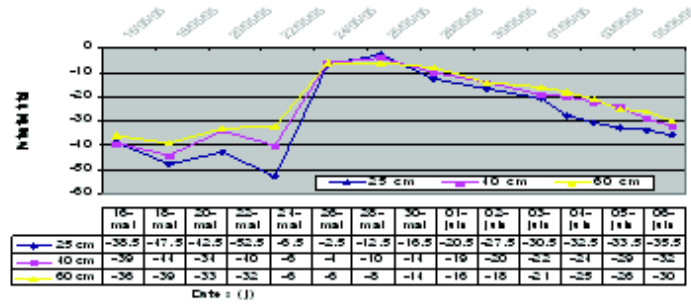
Tension en eau site III Tension en eau moyenne des 3 sites à 20 ; 40 et 60 cm

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

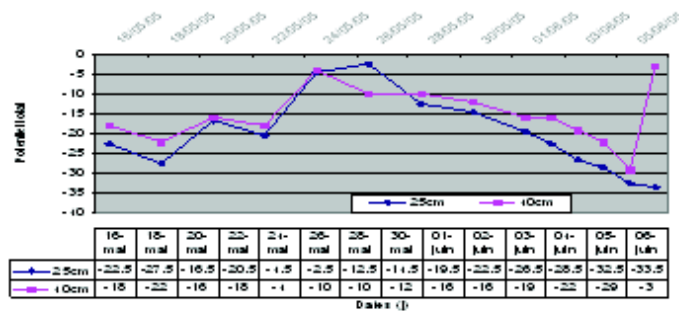
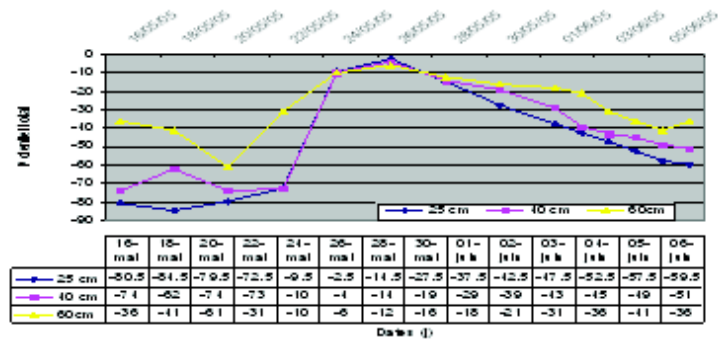
dates	20cm	40cm	60cm	dates	Moy (20cm)	Moy (40cm)	Moy (60cm)
14-avr	3	0	10	14-avr	3	0	10
16-avr	10	5	7	16-avr	10	5	7
18-avr	3	4	2	18-mai	8	8	2
21-avr	4	1	5	21-avr	6	8	5
23-avr	6	3	3	23-avr	9	8	4
25-avr	10	4	3	25-avr	11	9	3
27-avr	11	5	3	27-avr	12	9	3
29-avr	11	6	3	29-avr	12	9	3
02-mai	4	9	4	02-mai	5	9	4
04-mai	4	10	4	04-mai	6	11	5
06-mai	6	10	4	06-mai	6	12	6
08-mai	4	9	9	08-mai	8	10	8
10-mai	11	7	3	10-mai	11	10	4
12-mai	5	8	3	12-mai	5	8	3
14-mai	5	8	3	14-mai	5	11	4
16-mai	9	7	3	16-mai	10	16	3
18-mai	11	5	3	18-mai	12	8	3
20-mai	12	6	3	20-mai	10	12	3
22-mai	6	2	7	22-mai	6	6	4
24-mai	12	9	3	24-mai	12	9	2
28-mai	6	11	3	28-mai	13	10	3
30-mai	11	10	3	30-mai	18	10	3
01-juin	12	5	3	01-juin	23	9	3
03-juin	16	7	4	03-juin	29	10	3
05-juin	11	6	4	05-juin	15	10	3
08-juin	11	7	0	08-juin	18	9	2
09-juin	15	11	4	09-juin	19	11	3
11-juin	18	8	0	11-juin	24	10	3
13-juin	27	10	4	13-juin	34	12	4
15-juin	47	12	3	15-juin	49	14	4
16-juin	8	0	4	16-juin	12	3	4
18-juin	12	7	0	18-juin	17	9	3
20-juin	17	3	5	20-juin	24	10	5
22-juin	11	7	4	22-juin	13	6	4
24-juin	16	4	4	24-juin	17	8	5
26-juin	30	13	5	26-juin	30	13	5
28-juin	11	0	3	28-juin	6	2	5
30-juin	14	2	3	30-juin	12	5	5
02-juil	34	14	3	02-juil	21	12	4
04-juil	12	0	3	04-juil	4	3	4
06-juil	12	1	3	06-juil	10	6	3
08-juil	15	2	3	08-juil	14	8	3
10-juil	11	1	3	10-juil	4	5	3
12-juil	12	1	3	12-juil	9	7	3
14-juil	15	2	3	14-juil	15	8	8
16-juil	27	5	3	16-juil	30	10	5
18-juil	11	1	4	18-juil	23	4	7
20-juil	13	6	5	20-juil	20	11	8
22-juil	11	3	6	22-juil	35	13	10

ANNEXE 24

Site I



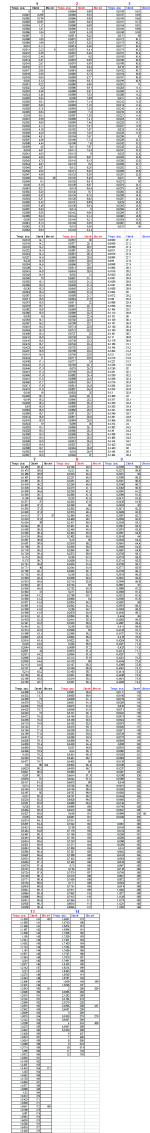
Site II



Site III

Potentiel total (Kpa) au niveau des 3 sites de l'exploitation 1

ANNEXE 25



Simulation de l'infiltration sur une durée de 8 heures (code numérique HYDRUS-2D)

ANNEXE 26

Débit réel distribué dans les micros – raies ; exploitation 2 ; campagne 2002

N° des raies	Vol (l), /micro raie	N° des raies	Débit réel (l/s)
1	660	1	11
2	724,68	2	10,98
3	1411,26	3	10,94
4	1012,84	4	10,88
5	644,4	5	10,74
6	502,16	6	10,73
7	705,96	7	10,62
8	922,2	8	10,6
9	833,91	9	10,45
10	986,88	10	10,28
11	1210,8	11	10,09
12	1482,2	12	9,88
13	1521	13	9,75
14	1186,84	14	9,51
15	582,75	15	9,25
16	758,86	16	8,97
17	691,86	17	8,67
18	571,14	18	8,35
19	1010,52	19	8,02
20	460,2	20	7,67
21	1335,69	21	7,65
22	875,55	22	7,26
23	1060,38	23	6,85
24	720,32	24	6,42

ANNEXE 27

Temps nécessaire au remplissage des micros - raies ; exploitation 2 ; ampagne 2002

N°micro raie	Temps (min)	Longueur moy (m)	largeur moy (m)
1	1	5,5	0,4
2	1,01	5,5	0,4
3	2,15	5,5	0,4
4	1,55	5,5	0,4
5	1	5,5	0,4
6	0,78	5,5	0,4
7	1,11	5,5	0,4
8	1,45	5,5	0,4
9	1,33	5,5	0,4
10	1,65	5,5	0,4
11	2	5,5	0,4
12	2,5	5,5	0,4
13	2,16	5,5	0,4
14	2,08	5,5	0,4
15	1,05	5,5	0,4
16	1,41	5,5	0,4
17	1,33	5,5	0,4
18	1.14	5,5	0,4
19	2.1	5,5	0,4
20	1.02	5,5	0,4
21	2.91	5,5	0,4
22	2.01	5,5	0,4
23	2.58	5,5	0,4
24	1.87	5,5	0,4

ANNEXE 28

Relevé des tensions (Kpa) et teneurs en eau (%) au niveau de l'exploitation 3, campagne 2002

Teneurs en eau

	Prof	16-mai	18-mai	20-mai	22-mai	24-mai	26-mai	28-mai	30-mai	01-juin	02-juin	03-juin
Site I	25 cm	13	12,5	13	12,5	33	36	33	30	25	23	22
	40 cm	13	12	14	13	35	38	36	25	22	21	18
	60 cm	14	12	11	11	42	44	40	35	30	28	25
Site II	25 cm	11	10	10	9	28	30	25	24	22	20	9
	40 cm	12	13	10	10	25	30	21	20	20	17	18
	60 cm	13	12	12	13	30	42	40	30	28	25	23
Site III	25 cm	16	15	17	15	39	41	29	25	20	20	20
	40 cm	18	16	17	18	45	46	44	35	30	27	25

Tensions en eau

	Prof	16-mai	18-mai	20-mai	22-mai	24-mai	26-mai	28-mai	30-mai	01-juin	02-juin	03-juin	04-juin
Site I	25 cm	36	45	40	50	4	0	10	14	18	25	28	30
	40 cm	35	40	30	36	2	0	6	10	15	16	18	20
	60 cm	30	33	27	26	0	0	2	8	10	12	15	18
Site II	25 cm	78	82	77	70	7	0	12	25	35	40	45	50
	40 cm	70	58	70	69	6	0	10	15	25	35	39	44
	60cm	30	35	56	25	4	0	6	10	12	15	25	30
Site III	25cm	20	25	14	18	2	0	10	12	17	20	24	28
	40cm	14	18	12	14	0	0	6	8	12	12	15	18

ANNEXE 29

Distribution de l'eau dans les micros raies, exploitation 3, campagne 2002

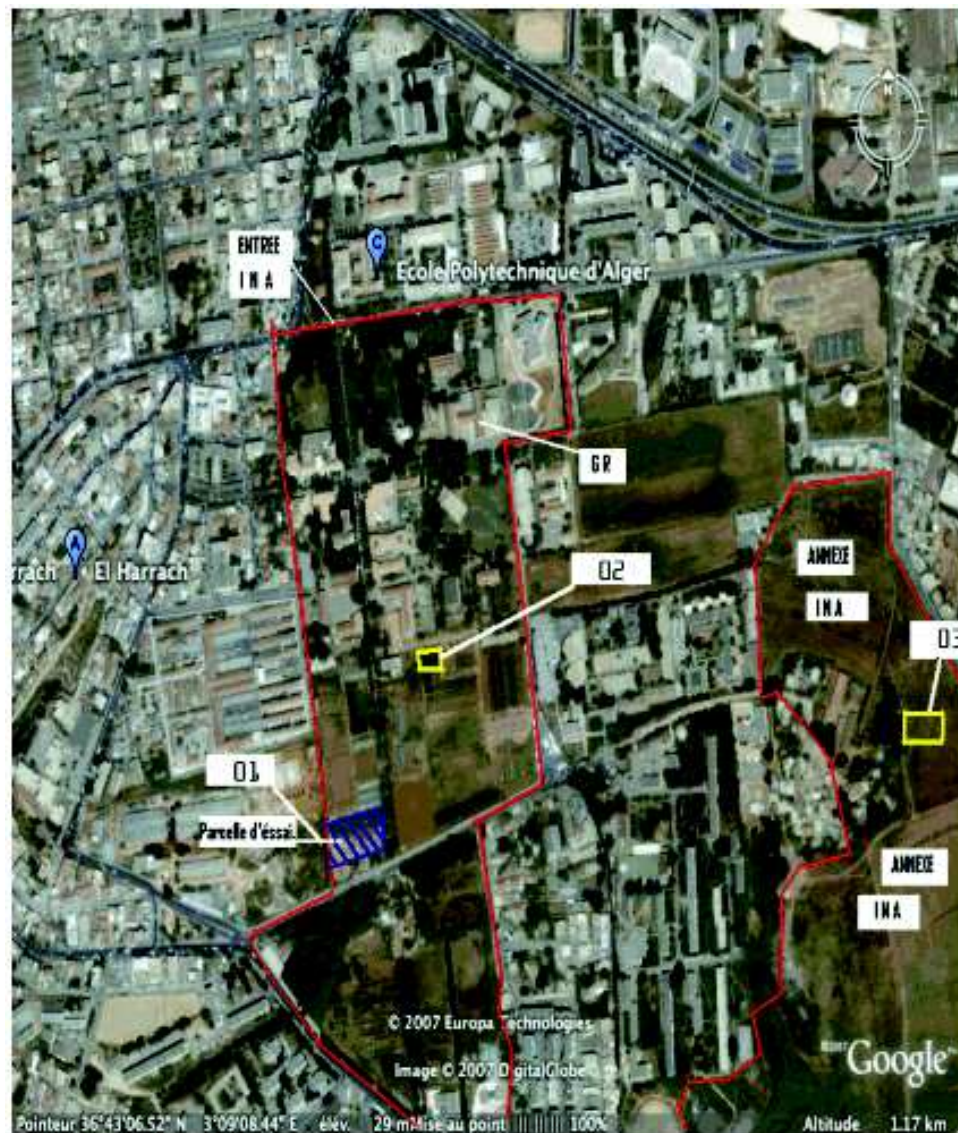
a) Mesures avec un débit de 4 l/s dans la segua de distribution

Q = 4 l/s	Q = 240 l/mn		Infilt, linéaire: 0,98 l/m/mn ; 0,016 l/m/s	
N° des raies	Dist.,(m)	Temps (s)	Débit réel /micro raie (l/s)	Vol, /micro raie
1	2,4	38	3,96	150,48 l
2	4,5	44	3,89	171,16 l
3	6,6	48	3,78	181,44 l
4	8,7	44	3,64	160,16 l
5	10,8	19	3,47	65,93 l
6	12,9	42	3,26	136,92 l
7	15	46	3,02	138 l
8	17,1	38	2,75	104,5 l

Q = 3 l/s	Q = 180 l/mn		Infilt, linéaire: 0,98 l/m/mn ; 0,016 l /m/s	
N° des raies	Dist.,(m)	Temps (s)	Débit réel /micro raie (l/s)	Vol, /micro raie
1	2,4	31	2,96	91,76 l
2	4,5	29	2,89	83,81 l
3	6,6	26	2,79	72,54 l
4	8,7	15	2,66	39,9 l
5	10,8	40	2,49	99,6 l
6	12,9	37	2,29	84,73 l
7	15	32	2,05	65,6 l
8	17,1	25	1,78	44,5 l

b) Mesures avec un débit de 3 l/s dans la segua de distribution

ANNEXE 30



Plan de situation de la parcelle expérimentale dans l'enceinte de l'INA

Source: www.google.com Earth

LEGENDE:

01: Parcelle d'essai campagne 1998/99 et 1999/2000 sur raies de 30 m et 60 m

02 : Parcelle d'essai sur raie de 25 m station INA

03 : Parcelle d'essai sur de 25 m Ferme centrale

ANNEXE 31

Position sur la raie	Rigole 17
	Profondeur (cm)
1/8	32
	26
	43
	35
Milieu	28.5
	27.5
	39
	42
7/8	34.5
	31.5
Moyenne des profondeurs	33.9

*Profondeurs des fentes de retraits sur raies de
30 m de long, essai de 1997/1998, station INA*

ANNEXE 32

Relevés pluviométriques mensuels de 1971 à 2004 dans la Mitidja ; Station de Dar El Beïda

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

Pluie (mm)														
<i>Années</i>	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
janvier	84,9	139,1	161,1	6,3	33,4	108	58,2	105	60,8	87,2	40,3	149	3,7	118
février	26,9	58,9	346,1	172,5	89,5	196	36,7	34,3	130	23,3	60,3	116	81,1	81,3
mars	113,9	101,3	99,6	181	86,8	19,2	43,1	61,5	103	67,5	39,9	33,5	36,9	60,5
avril	59,7	101,5	49,1	91,6	27,8	37,5	76,1	195	40,6	146	54,5	24,1	11,2	33
mai	2,9	90,5	1,3	0	86,1	60,9	44,8	83,1	11	30,6	44,5	50,7	8,5	124
juin	4,8	23,4	71,3	9,9	25	8,2	6,1	2,1	8,6	2,2	4,6	20,1	0,5	12,9
juillet	1,8	0	10,6	0	0	42,3	1,1	1,3	0	0	0,3	0,1	14,5	0
août	0,6	36,9	2,5	0,4	28,3	14,6	12,7	0	5,7	3,4	23,2	2,4	6,4	0
septembre	64,3	81,2	158	19	24,7	23,5	2,3	5,8	79,6	2,7	8,7	50,9	0	23,9
octobre	24,8	155,2	33,6	110,5	28,4	103	7,5	124	135	50,9	56,5	95	20,3	253
novembre	191,7	32,1	29,3	154,8	219	75,7	197,9	54,9	166	77,7	10	205	49,9	40,7
décembre	181	211,2	206,7	27,7	62,1	73,5	9,9	50,5	58,5	238	91,4	127	99,8	137
Pluie totale	757,3	1031	1169	773,7	711	762	496,4	718	798	730	434	873	333	884
<i>Années</i>	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
janvier	102,9	68,1	3,7	117,8	103	68,1	53,8	155	17,8	81,3	171	94,5	38,1	28,4
février	34	54,3	81,1	81,3	34	54,3	99,9	41	85,7	41,5	39,8	222	23,6	51,5
mars	219,9	151,3	36,9	60,5	220	151	47,3	101	36,2	0,5	106	57	9,4	36,6
avril	9,1	20,3	11,2	33	9,1	20,3	27	80,7	68,6	54,8	28,4	161	94,7	76,1
mai	111,2	1,5	8,5	124,2	111	1,5	18,5	60,9	37,9	4,5	0,2	35,7	22,3	152
juin	0	15,4	0,5	12,9	0	15,4	7,1	19,2	1,2	0	23,9	31,6	10,4	1,4
juillet	0	20,3	14,5	0	0	20,3	0	4,3	2,1	0	0,2	6,7	9	0
août	0	3,4	6,4	0	0	3,4	1,9	0	2,5	0	48,8	4,2	33,3	7,9
septembre	32,7	112,5	0	23,9	32,7	113	21,6	15,3	30,5	80,6	17,8	38,6	36,5	21,8
octobre	29,3	28,6	20,3	253,2	29,3	28,6	91,2	68,4	23,4	66,3	17,2	88,7	45,1	49,4
novembre	89,8	96,8	49,9	40,7	89,8	96,8	51,2	140	104	38,9	58,3	27,1	129	103
décembre	77,9	124,6	99,8	136,9	77,9	174	11,6	70,6	80,1	88,4	40	34,1	94,9	81,8
Pluie totale	706,8	697,1	332,8	884,4	707	746	431,1	756	490	457	552	802	547	609
<i>Années</i>	1999	2000	2001	2002	2003	2004	moyenne							
janvier	140	15,5	137,5	39,4	199	89,6	84,66							
février	146,2	6	88	14,2	133	89,6	84,51							
mars	111,6	19,4	13,5	34,8	21,8	46,3	74,37							
avril	31,4	16,9	21,3	38,5	86,8	79,1	56,36							
mai	2,9	53,4	31,2	13,7	19,9	56,4	44,31							
juin	3,4	0,3	5,8	0,1	0,2	1,1	10,28							
juillet	0	1,2	0	0	0,2	1,5	4,48							
août	3,4	1	1,5	33,6	27,6	0,8	9,32							
septembre	40,2	4	45,2	11,5	39,2	11,9	37,46							
octobre	18,6	46,9	38,6	42,9	37,8	44,4	66,63							
novembre	155	73,7	49,2	145,1	57,1	116	94,56							
décembre	158,6	42,6	56,8	101,6	110	109	98,39							
Pluie totale	811,3	280,9	488,6	475,4	732	646	665,34							

Relevés températures mensuelles de 1971 à 2005 dans la Mitidja ; Station de Dar El Beïda

Température (°C)														
Années	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984
janvier	10,61	10,81	10,6	9,81	10,5	8,85	11,63	9,77	13,2	10,3	9,13	11,8	8,63	10,7
février	9,77	12,8	9,56	10,77	10,7	10,9	12,46	13,5	12,6	11,9	10,3	11	9,66	10,2
mars	10,58	12,92	10,13	12,22	11,7	11,4	12,58	12,4	12,4	13	14,2	12,5	12,6	11
avril	14,98	13,07	13,34	13,13	13,8	13,9	14,33	13,7	13,2	12,9	14,8	14,5	15,3	15,2
mai	17,83	15,83	17,92	18,16	16,1	17,3	16,81	16,5	17,2	16,9	17,5	17,6	17,6	16
juin	20,21	19,89	21,08	21,33	20	21,1	20,33	20,1	21,9	21,2	21	23	21,7	20,2
juillet	24,05	22,75	23,85	23,35	24,9	23,9	22,89	23,3	24,1	22,8	22,5	26,7	26,1	25,2
août	27,4	22,77	24,62	24,15	25,4	25	22,68	24,2	24,6	25	23,6	25	24,6	23,6
septembre	22,84	20,54	23	23,11	25,6	22,9	21,04	21,8	21,2	23	22,9	22,5	23,5	22,6
octobre	18,96	18,26	17,8	16,1	17,7	17,6	20,76	16,4	18,8	17,6	20,2	17,9	19,9	17,7
novembre	13,01	15,89	13,9	13,39	13,5	12,3	15,11	12,5	12,2	15,2	14,2	14,4	17	16,1
décembre	11,39	10,73	10,84	9,9	11,6	12,8	13,06	13,9	11	9,63	14,1	10,6	11,7	11,6
Années	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
janvier	9,41	10,58	8,63	10,69	9,41	10,6	9,94	9,34	8,92	10,9	10,7	14,3	13,4	12,1
février	13,54	11,78	9,66	10,21	13,5	11,8	10,21	10	10,1	12,1	12,6	11,3	12	12,4
mars	11,5	12,3	12,56	11,02	11,5	12,3	13,97	12,2	12,1	13,8	12,7	13,4	11,8	12,8
avril	15,3	13,97	15,28	15,17	15,3	14	13,37	14,3	14,9	14,4	13,8	15,2	15,6	15,4
mai	17,4	18,93	17,61	15,98	17,4	18,9	15,5	18,2	18,9	19,9	19,5	17,4	19,7	17,9
juin	22,6	21,67	21,7	20,2	22,6	21,7	21,66	20,4	22,3	22,3	22	21,1	23	21,7
juillet	28,08	24,27	26,13	25,22	25,1	24,3	25,37	24	24,4	26,6	25	24,5	23,9	24,8
août	24,85	26,64	24,58	23,64	24,9	26,6	26,74	25,6	25,7	28,5	25,7	25,7	25,7	25,7
septembre	22,82	23,89	23,54	22,64	22,8	23,9	24,87	23,6	22,5	23,7	22	21,6	24,3	24,7
octobre	19,82	20,24	19,89	17,67	19,8	20,2	19	18,4	19,1	20	20,1	17,2	21,2	18
novembre	16,22	14,71	17,01	16,13	16,2	14,7	13,61	14,5	14,4	15,7	16,5	15,4	16,3	15
décembre	12,37	11,75	17,72	11,64	12,4	11	10	12,7	11,7	17,7	14,4	13,6	13,3	11,2
Années	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Moy.							
janvier	11,84	8,43	11,59	11,29	10,9	11,5	10,61							
février	10,15	11,18	10,58	11,08	10,5	11,6	11,25							
mars	13,82	13,54	16,35	14,11	13,7	12,4	12,57							
avril	16,04	16,2	15,02	15,24	15,6	13,1	14,51							
mai	20,48	20,03	18,08	18,74	18,5	14,9	17,73							
juin	22,99	22,34	24,02	22,92	25,4	22,2	21,70							
juillet	25,62	25,61	25,51	24,64	27,8	24,8	24,77							
août	27,49	26,3	26,48	25,18	28,5	27,3	25,43							
septembre	24,69	23,29	23,29	23,13	24,1	24,8	23,14							
octobre	22,61	18,46	22,26	20,06	20,7	22,3	19,20							
novembre	14,41	15,42	14,02	16,07	16,3	13,8	14,86							
décembre	11,93	13,05	9,68	14	12	12,6	12,28							

ANNEXE 34

ETP Décadaire (mm)

ETP 1998, 2000 et 2001 (Station de Dar El Beida)			
Mois	1998	2000	2001
Janvier	9,2	4,4	10,1
	15,9	7,8	9,8
	14,1	9,8	16,3
Février	11,9	13,4	19,7
	14,2	18,5	11,6
	14,2	15,8	11,1
Mars	24,2	22,5	31,8
	22,4	25,7	27,4
	28,7	32,9	43,4
Avril	35,8	38,7	35,9
	38,3	45,8	33,1
	34,73	48	41,2
Mai	37,7	45,7	38
	37,8	45,6	43,3
	49	47,9	58,7
Juin	55,5	60,7	62,3
	52,7	59,4	68,8
	54,3	62,6	80,5
Juillet	64,8	70,1	65,5
	61,5	59,8	68,6
	70,1	74,3	72,1
Aout	56,3	61	61,8
	55,9	66,3	52,8
	59,1	70,5	63,9
Septembre	55,1	42,3	51,2
	47	46,6	43,3
	36	35,1	38,7
Octobre	31,1	31,4	37,6
	25,5	29	27,4
	22,9	23,4	25,7
Novembre	16,6	20,3	16,7
	14,7	19,6	17,4
	12,1	13,5	8,8
Décembre	9,5	9	4,9
	6,8	7,9	8,1
	9,8	31	6,3

ANNEXE 35

ETP 1998, 2000, 2001 et moyenne sur 20 ans (1974-1994) Station de Dar El Beïda (Penman)

Mois	1998	2000	2001	Moyenne	Mois	1998	2000	2001	Moyenne
Janvier	39,2	22	36,2	46,2	Juillet	196	204	206	175
Février	40,3	47,7	42,4	50,1	Août	171	198	179	163
Mars	75,3	81,1	103	73,5	Septembre	138	124	133	121
Avril	109	133	110	90	Octobre	79,5	83,8	90,7	87,7
Mai	125	139	140	118	Novembre	43,4	53,4	42,9	51
Juin	163	183	212	132	Décembre	26,1	47,9	19,3	44,3

ANNEXE 36

Protocole de mesures et résultats sur les essais d'irrigation des campagnes 1997/1998 et 1999/2000

ANALYSE DES FACTEURS DE RENDEMENT HYDRAULIQUE, COLATURE, PERCOLATIONS, EFFICIENCE

ESSAI D'IRRIGATION SUR RAIE COURTE DE 30 M

CAMPAGNE 1997-1998

Protocole de mesure :

Mesure du débit en tête et en fin de raie par deux seuils jaugeurs type PARSHALL. Le débit en tête de raie est théoriquement constant. Le débit en fin de raie est variable au cours du temps d'irrigation car il dépend de l'infiltration.

Mesure de l'avancement de l'eau dans les raies en notant le temps de passage du front au niveau de différents jalons espacés de 5 m. Les jalons ont été placés avant les arrosages aux abscisses suivantes : $X_0 = 0$; $X_1 = 5$ m ; $X_2 = 10$ m. $X_3 = 15$ m ; $X_4 = 20$ m ; $X_5 = 25$ m ; $X_6 = 30$ m.

Mesure du tirant d'eau dans les sections situées au niveau des jalons une fois au cours de l'irrigation.

Mesure des teneurs en eau et des tensions avant et après irrigation.

Irrigation du 28 / 07/1998

Caractéristiques de l'irrigation :

Irrigation N° 2

Suivi des irrigations sur les Raie 5-11 et 17

Longueur des raies= 30 m

$Q_e = 1$ l/s (théorique) ; mesuré $Q_e = 0,96$ l/s.

Pente = 0,003 m/m

Temps total d'irrigation = 27 mn

Détermination des principaux facteurs

Avancement, colature, percolation rendement hydraulique, infiltration linéaire...

Tableau : Mesure de l'avancement (t_n (mn))

Tableau : Mesure du tirant d'eau (cm)

X _n (m)	0	5	10	15	20	25	30
R5 t _n (mn)	0	0,7	2,05	4,16	5,95	8,13	11,08
R11 t _n (mn)	0	0,65	2,15	3,91	5,75	7,16	10,08
R17 t _n (mn)	0	0,63	2,21	3,41	6	7,83	10,83
t _n (mn) moyen	0	0,66	2,13	3,82	5,9	7,70	10,66

Tableau : Mesure du tirant d'eau (cm)

X _n (m)	0	5	10	15	20	25	30
R5 Tirant (cm)	6	5,6	6,2	5,9	4,8	4,3	3,6
R11 Tirant (cm)	4,2	5,2	4,9	5,4	5,6	3,9	2,9
R17 Tirant (cm)	3,5	4	2	7	3	8	6,5

Mesure du ruissellement en colature

Les mesures ont été faites à partir de la relation suivante (Berthomé, 1985) :

$$V_c(t) = V_c(t_{i-1}) + \left[\frac{Q_c(t_{i-1}) + Q_c(t_i)}{2} \right] (t_i - t_{i-1})$$

V_c : volumes ruisselés cumulés (l)

Q_c : Débits de ruissellement en colature mesurés (l/s)

T_i : temps de mesures (mn)

R5	T (mn)	11	12	14	16	18	21	22	27
	Q _c (l/s)	0	0,27	0,38	0,38	0,49	0,49	0,38	0,38
	V _c (l)	8,1	47,1	92,7	144,9	233,1	258,3	372,3	
R11	T (mn)	11	12	14	17	19	21	24	27
	Q _c (l/s)	0	0,08	0,27	0,38	0,38	0,49	0,49	0,38
	V _c (l)	0	2,4	23,4	81,9	127,5	179,1	267,3	344,7
R17	T (mn)	11	12	15	18	20	23	25	27
	Q _c (l/s)	0	0,08	0,27	0,27	0,27	0,49	0,49	0,63
	V _c (l)	0	2,4	33	81,6	114	182,4	241,3	308,5
	V_c moy	0	2,4	33	81,6	114	182,4	241,3	308,5

Tableau : Mesure des colatures

Calcul des volumes stockés en surface

Nous les avons déterminés avec la relation du SCS (ASAE, 1983, Berthomé, 1985)

$$V_s(x) = \frac{x}{0.305} \left[(2.947) \left(\frac{Q_0 n}{S_0^{12}} \right)^{0.753} - 0.0217 \right]$$

$V_s(x)$: Volumes stockés en surface à l'abscisse x

Q_0 : Débit en tête de raie

S_0 : Pente de la raie (m/m)

n: coefficient de rugosité de 0.02 pour une raie déjà irriguée et à surface lisse, 0.04 pour un sol fraîchement labouré et 0.015 lorsqu'une végétation dense freine le mouvement de l'eau (Walker et Skogerboe, 1984)

R5	T (mn)	11	12	14	16	18	21	22	27
	Qc (l/s)	0	0,27	0,38	0,38	0,49	0,49	0,38	0,38
	Vc (l)	8,1	47,1	92,7	144,9	233,1	258,3	372,3	
R11	T (mn)	11	12	14	17	19	21	24	27
	Qc (l/s)	0	0,08	0,27	0,38	0,38	0,49	0,49	0,38
	Vc (l)	0	2,4	23,4	81,9	127,5	179,1	267,3	344,7
R17	T (mn)	11	12	15	18	20	23	25	27
	Qc (l/s)	0	0,08	0,27	0,27	0,27	0,49	0,49	0,63
	Vc (l)	0	2,4	33	81,5	114	182,4	241,3	308,5
	Vc moy	0	2,4	33	81,5	114	182,4	241,3	308,5

Tableau : volumes d'eau stockés en surface (l)

Estimation des volumes infiltrés

Les volumes cumulés infiltrés se déduisent des mesures de volumes cumulés écoulés en colature et des volumes stockés en surface. On utilise l'équation du bilan en volume au temps t.

$$V_e(t) = V(t) + V_c(t) + V_s(t)$$

V_e représente le volume entré : $V_e = Q_e \cdot t_{mn} \cdot 60$

V le volume infiltré

V_c le volume écoulé en colature

V_s le volume stocké en surface

$$V(t) = 60 \cdot Q_e \cdot t - V_c(t) - V_s(t)$$

V, V_c et V_s sont exprimés en l, Q_e en l/s et t en mn

Le tableau suivant récapitule les données nécessaires au calcul des volumes infiltrés

Tableau : détermination des volumes infiltrés (l)

*N°	t (mn)	Ve (l)	Vc (l)	Ve - Vc	Vs (l)	V (l)
0	0	0	0	0	0	0
1	0,7	40,32	0	40,32	36,38	3,94
2	2,05	118,08	0	118,08	72,78	45,3
3	4,16-	239,61	0	239,61	109,73	129,88
4	5,95	342,72	0	342,72	145	197,72
5	8,13	468,28	0	468,28	181,96	286,32
6	11,08	638,21	0	638,21	218,36	419,85
7	12	691,2	8,1	683,1	218,36	464,74
8	14	806,4	47,1	759,3	218,36	540,94
9	16	921,6	92,7	828,9	218,36	610,54
10	18	1036,8	144,9	891,9	218,36	673,54
11	21	1209,6	233,1	976,5	218,36	758,14
12	22	1267,2	258,1	1009,1	218,36	790,74
13	27	1555,2	372,3	1182,9	218,36	964,54

* N° : nombre de mesures réalisées sur la durée de l'irrigation dans la raie (27 mn)

Estimation sommaire de la qualité de l'arrosage

$$R = V / Ve \quad 964,54 / 1552,2 \quad R = 62\%$$

Dose moyenne infiltrée par mètre linéaire D1

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} = 964,54 / 30 \quad D1 = 32,15 \text{ l}$$

Où

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} \times \text{espace inter raie} = 963,05 / 30 \times 1,2$$

$$D1 = 28,65 \text{ mm}$$

$$\text{Colatures \%} : Vc / Ve \quad 386,74 / 1571,4 = 23,9\%$$

(10,6 mm)

Percolations

$$P = R_1 + D - C - ETM - R_2 \quad (R_1 \text{ et } R_2 \text{ stocks en eau avant et après irrigation})$$

$$P = 28,44\% \text{ et } 14,7 \text{ mm}$$

Efficacité d'application

$$E_a = (D - C - P) / D = 41\%$$

Irrigation du 13 /08/1998

Caractéristiques de l'irrigation :

Irrigation N° 3

Suivi des irrigations sur les raies 5-11 et 17

Longueur des raies = 30 m

Qe = 1 l/s (théorique) ; mesuré Qe = 0,97 l/s.

Pente = 0,003 m/m

Temps total d'irrigation = 27 mn

Détermination des principaux facteurs

Avancement, colature, percolation rendement hydraulique, infiltration linéaire...

Tableau : Mesure de l'avancement (t_n (mn))

X_n (m)	0	5	10	15	20	25	30
R5 t_n (mn)	0	0,53	1,96	3,96	6	8,43	11,61
R11 t_n (mn)	0	0,58	2,33	3,83	5,63	7	15,85
R17 t_n (mn)	0	0,71	2,13	3,76	6,16	8	11,66
t_n (mn) moyen	0	0,61	2,14	3,85	5,93	6,84	13,04

Tableau : Mesure du tirant d'eau (cm)

X_n (m)	0	5	10	15	20	25	30
R5 Tirant (cm)	2,9	4,1	6,5	5,9	7,1	4	4,3
R11 Tirant (cm)	3,2	2,56	4,24	6,2	4,8	4	3,3
R17 Tirant (cm)	4	5	6,5	4	3,5	2,5	2

Mesure du ruissellement en colature

Tableau : Mesure des colatures

R5	T (mn)	12	13	14	15	16	17	18	19	23	27
	Qc (l/s)	0	0,27	0,27	0,38	0,38	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
	Vc (l)	0	8,1	24	43,8	66,6	92,7	122,14	151,54	269,14	386,74
R11	T (mn)	0	17	18	19	20	21	22	23	25	27
	Qc (l/s)	0	0,27	0,27	0,38	0,38	0,49	0,43	0,38	0,38	0,38
	Vc (l)	0	8,1	24,3	43,8	66,6	92,7	120,3	144,6	190,2	235,8
R17	T (mn)	0	13	14	15	16	17	18	19	23	27
	Qc (l/s)	0	0,08	0,27	0,38	0,49	0,49	0,63	0,49	0,38	0,38
	Vc (l)	0	2,4	12,9	32,4	58,4	87,8	121,4	155	259,4	350,6
	Vc moy	0	6,2	20,5	40	63,86	91,1	121,28	150,38	239,58	324,38

Calcul des volumes stockés en surface

Tableau : Volumes stockés en surface (l)

		0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	
R5	t_{mn}	0	0,53	1,96	3,96	6	8,43	11,61	12-27
	Vs (l)	0	37,2	74,42	111,64	148,85	186,06	223,28	223,28
R11	t_{mn}	0	0,58	2,33	3,83	5,63	7	15,85	16-27
	Vs (l)	0	37,2	74,42	111,64	148,85	186,06	223,28	223,28
R17	t_{mn}	0	0,71	2,13	3,76	6,16	8	11,66	12-27
	Vs (l)	0	37,2	74,42	111,64	148,85	186,06	223,28	223,28

Estimation des volumes infiltrés

Le tableau suivant récapitule les données nécessaires au calcul des volumes infiltrés

Tableau : détermination des volumes infiltrés

°	t (mn)	Ve (l)	Vc (l)	Ve – Vc	Vs (l)	V (l)
0	0	0	0	0	0	0
1	0,7	40,89	0	30,85	36,92	3,97
2	2,13	123,96	0	114,1	73,86	50,13
3	3,76	218,83	0	230,47	110,8	108,03
4	6,16	358,51	0	345,6	147,73	210,78
5	8	465,6	0	490,63	184,67	280,93
6	12	698,4	0	698,4	221,61	476,79
7	13	756,6	8,1	748,5	221,61	526,89
8	14	814,8	24,3	790,5	221,61	568,89
9	15	873	43,8	829,2	221,61	607,59
10	16	931,2	66,6	864,6	221,61	642,92
11	17	989,4	92,7	896,7	221,61	675,09
12	18	1047,6	122,14	925,46	221,61	703,85
13	19	1105,8	151,54	954,26	221,61	733,05
14	23	1338,6	269,14	1069,46	221,61	847,85
15	27	1571,4	386,74	1184,66	221,61	963,05

Estimation sommaire de la qualité de l'arrosage

$$R = V / Ve = 963,05 / 1571,4 \text{ soit } R = 61\%$$

Dose moyenne infiltrée D1

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} = 963,05 / 30 \text{ D1} = 32,10 \text{ l}$$

Où

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} \times \text{espace inter raie} = 963,05 / 30 \times 1,2$$

$$D1 = 26,75 \text{ mm}$$

$$\text{Colatures \%} : Vc / Ve = 386,74 / 1571,4 = 24,6\% \text{ soit } 12,73 \text{ mm}$$

Percolations

$$P = 16,56\% \text{ soit } 8,57 \text{ mm}$$

$$E_a = 58,84\%$$

ESSAI D'IRRIGATION SUR RAIE COURTE DE 60 M

CAMPAGNE 1999-2000

Protocole de mesure :

Mesure du débit en tête et en fin de raie par deux seuils jaugeurs type PARSHALL. Le débit en tête de raie est théoriquement constant. Le débit en fin de raie est variable au cours du temps d'irrigation car il dépend de l'infiltration.

Mesure de l'avancement de l'eau dans les raies en notant le temps de passage du front au niveau de différents jalons espacés de 5 m. Les jalons ont été placés avant les arrosages aux abscisses suivantes : $X_0 = 0$; $X_1 = 5 \text{ m}$; $X_2 = 10 \text{ m}$. $X_3 = 15 \text{ m}$; $X_4 = 20 \text{ m}$; $X_5 = 25 \text{ m}$; $X_6 = 30 \text{ m}$, $X_7 = 35$; $X_8 = 40 \text{ m}$; $X_9 = 45 \text{ m}$. $X_{10} = 50 \text{ m}$; $X_{11} = 55 \text{ m}$; $X_{12} = 60 \text{ m}$

Mesure des teneurs en eau et des tensions avant et après irrigation**Irrigation du 3 / 07/2000****Caractéristiques de l'irrigation :**

Irrigation N° 2

Suivi des irrigations sur la Raie 4

Longueur des raies= 60 m

Qe = 1,25 l/s

Pente = 0,003 m/m

Temps total d'irrigation = 56 mn

Détermination des principaux facteurs

Avancement, colature, percolation rendement hydraulique, infiltration linéaire...

Tableau : Mesure de l'avancement (t_n (mn))

X_n (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R4 t_n (mn)	0	1	3	5	6,5	7,5	9,5	11,5	13,7	16,7	18,7	28,7	43

Mesure du ruissellement par colature**Tableau : Mesure des colatures (l)**

R4	T (mn)	43	45	50	55	56
	Qc (l/s)	0	0,1	0,2	0,4	0,5
	Vc (l)	0	3	9	99	261

Calcul des volumes stockés en surface**Tableau : volumes stockés en surface (l)**

	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m
t_{mn}	0	1	3	5	6,5	7,5	9,5	11,5	13,7	16,7	18,7	28,7
Vs	0	44,57	89	133,7	178,29	222,87	267,44	312,01	356,59	401,16	445,73	490,31

Estimation des volumes infiltrés

Le tableau suivant récapitule les données nécessaires au calcul des volumes infiltrés

Tableau : détermination des volumes infiltrés

N°	t (mn)	Ve (l)	Vc (l)	Ve - Vc	Vs (l)	V (l)
0	0	0	0	0	0	0
1	1	75	0	75	44,57	30,43
2	3	225	0	225	89	136
3	5	375	0	375	133,72	241,28
4	6,5	487,5	0	487,5	178,29	309,21
5	7,5	562,5	0	562,5	222,87	339,63
6	9,5	712,5	0	712,5	267,44	445,06
7	11,5	862,5	0	862,5	312,01	550,49
8	13,7	1027,5	0	1027,5	356,59	670,93
9	16,7	1252,5	0	1252,5	401,16	851,34
10	18,7	1402,5	0	1402,5	445,73	956,77
11	28,7	2152,5	0	2152,5	490,31	1662,19
12	43	3225	0	3225	534,88	2690,12
13	44	3300	3	3297	534,88	2762,12
14	45	3375	9	3364	534,88	2741,12
15	50	3750	99	3649	534,88	3116,12
16	56	4200	261	3939	534,88	3404,88

Estimation sommaire de la qualité de l'arrosage

$R = V / Ve = 3404,12 / 4200 \Rightarrow R = 81\%$

Dose moyenne infiltrée D1

$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} = 3404,12 / 60 \Rightarrow D1 = 56,73 \text{ l}$

Où

$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} \times \text{espace inter raie} = 3404,12 / 60 \times 1,2$

$D1 = 47,27 \text{ mm}$

Colatures %: $V_c = 261/4200 = 6,2\% ; 0,036 \text{ mm}$

Irrigation du 22/ 07/2000

Caractéristiques de l'irrigation :

Irrigation N° 3

Suivi des irrigations sur la Raie 1

Longueur des raies= 60 m

$Q_e = 1,5 \text{ l/s}$

Pente = 0,003 m/m

Temps total d'irrigation = 47mn

Détermination des principaux facteurs

Avancement, colature, percolation rendement hydraulique, infiltration linéaire...

Tableau : Mesure de l'avancement (t_n (mn))

X_n (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R1 t_n (mn)	0	0,7	1,25	2,1	3,1	4,1	7,1	9,1	12,1	15,6	21,6	31,6	36

Mesure du ruissellement en colature

Tableau : Mesure des colatures (l)

R1	T (mn)	36	37	38	40	45	46	47
	Qc (l/s)	0	0,08	0,10	0,18	0,11	0,06	0,05
	Vc (l)	0	2,4	7,8	24,6	68,1	73,2	78,5

Calcul des volumes stockés en surface

Tableau : volumes stockés en surface

m	0	5	10	15 m	20 m	25 m	30 m	35	40	45	50	55	60	
t _{mn}	0	0,7	1,25	2,08	3,08	4,08	7,08	9,08	12,08	15,58	21,58	31,58	36	36 à 47
Vs (l)	0	51,3	102,3	153,9	205,24	256,55	307,86	359,18	410,54	461,80	513,11	564,42	615,7	

Estimation des volumes infiltrés

Le tableau suivant récapitule les données nécessaires au calcul des volumes infiltrés

Tableau : Détermination des volumes infiltrés (l)

N°	t (mn)	Ve (l)	Vc (l)	Ve – Vc	Vs (l)	V (l)
0	0	0	0	0	0	0
1	0,7	63	0	63	51,3	11,7
2	1,25	112,5	0	112,5	102,26	10,24
3	2,08	187,5	0	187,5	153,93	33,57
4	3,08	277,2	0	277,2	205,24	71,96
5	4,08	367,2	0	367,2	256,55	110,66
6	7,08	637,2	0	637,2	307,86	329,34
7	9,08	817,2	0	817,2	359,18	458,02
8	12,08	1087,2	0	1087,2	410,49	676,71
9	15,58	1402,2	0	1402,2	461,80	940,4
10	21,58	1942,2	0	1942,2	513,11	1429,09
11	31,58	2842,2	0	2842,2	564,42	2277,78
12	36	3240	0	3240	615,73	2624,27
13	37	3330	2,4	3327,6	615,73	2714,27
14	38	3420	7,8	3412,2	615,73	2804,27
15	40	3600	24,6	3575,4	615,73	2984,27
16	45	4050	68,1	3976,8	615,73	3434,27
17	46	4140	73,2	4066,8	615,73	3524,27
18	47	4230	78,5	4151,5	615,73	3614,27

Estimation sommaire de la qualité de l'arrosage

$$R = V / Ve = 3614,27 / 4230 \quad R = 85\%$$

Dose moyenne infiltrée D1

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} = 3614,27 / 60 \quad D1 = 60,2 \text{ l}$$

Où

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} \times \text{espace inter raie} = 3614,27 / 60 \times 1,2$$

D1 = 50,19mm

Colatures %: 1,85%. 0,83 mm

Percolations 25% ; 14,52 mm

Pertes Totales ≈ 27%

$E_a = 73,6\%$

Irrigation du 06/ 08/2000

Caractéristiques de l'irrigation :

Irrigation N° 4

Suivi des irrigations sur la Raie 1

Longueur des raies= 60 m

$Q_e = 1$ l/s

Pente = 0,003 m/m

Temps total d'irrigation = 70mn

Détermination des principaux facteurs

Avancement, colature, percolation rendement hydraulique, infiltration linéaire...

Tableau : Mesure de l'avancement (t_n (mn))

X_n (m)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R1 t_n (mn)	0	1	2,66	4,16	5,66	6,66	7,66	9,2	10,9	14,9	18,9	22,9	31

Mesure du ruissellement par colature

Tableau : Mesure des colatures (l)

R4	T (mn)	31	38	45	50	55	60	65	70
	Qc (l/s)	0	0,15	0,24	0,27	0,27	0,30	0,30	0,30
	Vc (l)	0	31,5	113,4	189,9	270,9	356,4	446,4	536,4

Calcul des volumes stockés en surface

Tableau : volumes stockés en surface (l)

m	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T_{mn}	0	1	2,66	4,16'	5,66	6,66	7,66	9,16	11	15	19	23	31
Vs	0	37,59	75,21	112,82	150,42	188,03	225,63	263,24	300,85	338,45	376,06	413,67	451,28

Estimation des volumes infiltrés

Le tableau suivant récapitule les données nécessaires au calcul des volumes infiltrés

Tableau : Détermination des volumes infiltrés (l)

N°	t (mn)	Ve (l)	Vc (l)	Ve - Vc	Vs (l)	V (l)
0	0	0	0	0	0	0
1	1	60	0	60	37,59	22,41
2	2,66	159,6	0	159,6	75,21	84,39
3	4,16	249,6	0	249,6	112,82	136,78
4	5,66	339,6	0	339,6	150,82	189,18
5	6,66	399,6	0	399,6	188,03	211,57
6	7,66	459,6	0	459,6	225,63	196,36
7	9,16	549,6	0	549,6	300,85	286,36
8	11	660	0	660	338,45	359,15
9	15	900	0	900	376,06	561,55
10	19	1140	0	1140	413,67	763,94
11	23	1380	0	1380	451,28	966,33
12	31	1860	0	1860	451,28	1408,72
13	38	2280	31,5	2248,5	451,28	1797,22
14	45	2700	113,4	2586,6	451,28	2135,32
15	50	3000	189,9	2810,1	451,28	2358,82
16	55	3300	270,9	3029,1	451,28	2577,82
17	60	3600	356,4	3243,6	451,28	2792,32
18	65	3900	446,4	3453,6	451,28	3002,32
19	70	4200	536,4	3663,6	451,28	3212,32

Estimation sommaire de la qualité de l'arrosage

$$R = V / Ve \quad 3212,32 / 4200 \quad R = 76\%$$

Dose moyenne infiltrée D1

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} = 3212,32 / 60 \quad D1 = 53,54 \text{ l}$$

Où

$$D1 = \text{volume infiltré} / \text{longueur de raie} \times \text{espace inter raie} = 3212,32 / 60 \times 1,2$$

$$D1 = 44,61 \text{ mm}$$

Colatures %: 12,77% ; 7,44 mm

Percolations 2,32% ; 1,35 mm

Pertes Totales \approx 15%

$$E_a = 84,92\%$$

ANNEXE 37

SITE AMONT POTENTIEL TOTAL (kPa)			SITE AVAL POTENTIEL TOTAL (kPa)				
1/8 DE RAIE			7/8 DE RAIE				
dates	Prof, 45 cm	Prof, 60cm	dates	prof. 15 cm	prof. 30 cm	prof. 45 cm	prof. 60 cm
10-août	-4,5	-6	10-août	-1,5	-3	-4,5	-6
11-août	-30,5	-6	11-août	-43,5	-30	-27,5	-24
12-août	-49,5	-6	12-août	-55,5	-45	-50,5	-29
13-août	-57,5	-6	13-août	-64,5	-53	-58,5	-35
14-août	-18,5	-6	14-août	-4,5	-7	-12,5	-8
15-août	-12,5	-6	15-août	-7,5	-9	-11,5	-10
16-août	-14,5	-6	16-août	-8,5	-11	-13,5	-10
17-août	-15,5	-6	17-août	-11,5	-14	-13,5	-10
18-août	-17,5	-10	18-août	-12,5	-14	-18,5	-12
19-août	-21,5	-10	19-août	-20,5	-16	-16,5	-13
20-août	-25,5	-9	20-août	-25,5	-18	-19,5	-13
22-août	-32,5	-6	22-août	-34,5	-23	-28,5	-13
23-août	-37,5	-6	23-août	-46,5	-27	-40,5	-15
24-août	-42,5	-6	24-août	-52,5	-31	-52,5	-20
25-août	-7,5	-6	25-août	-6,5	-7	-7,5	-6
26-août	-12,5	-6	26-août	-9,5	-9	-10,5	-6
27-août	-17,5	-8	27-août	-12,5	-11	-12,5	-10
29-août	-23,5	-8	29-août	-21,5	-16	-23,5	-14
30-août	-26,5	-9	30-août	-26,5	-26	-24,5	-15
31-août	-24,5	-9	31-août	-28,5	-16	-21,5	-12
01-sept	-34,5	-6	01-sept	-35,5	-18	-32,5	-14
02-sept	-38,5	-10	02-sept	-44,5	-23	-52,5	-24
03-sept	-46,5	-9	03-sept	-56,5	-29	-61,5	-19
04-sept	-44,5	-10	04-sept	-61,5	-35	-72,5	-34
06-sept	-50,5	-10	06-sept	-65,5	-37	-74,5	-30

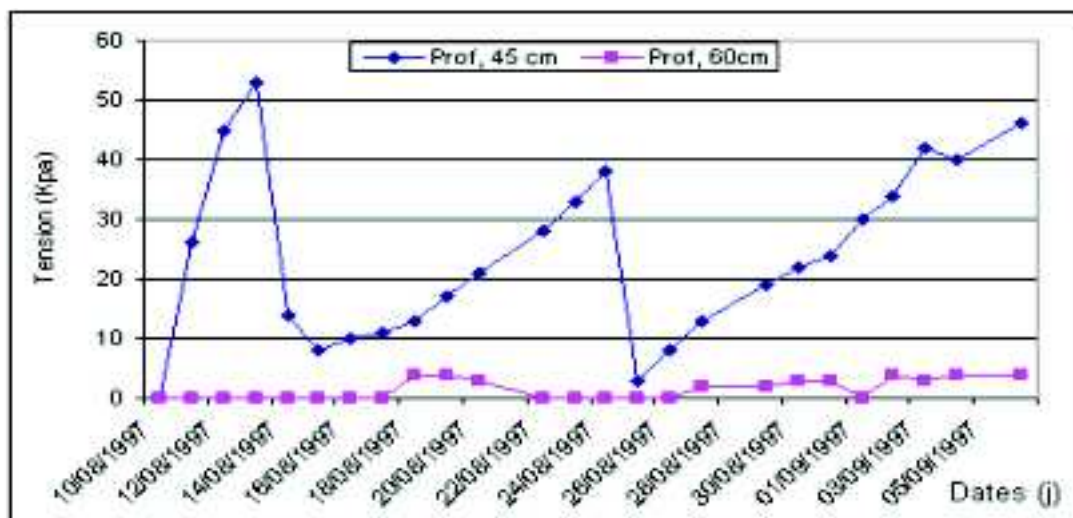
Evolution du potentiel total tensiométrique de la raie 17 (campagne 1997/1998)

ANNEXE 38

SITE AMONT TENSION (kPa)			SITE AVAL TENSION (kPa)				
dates	Prof, 45 cm	Prof, 60cm	dates	prof. 15 cm	prof. 30 cm	prof. 45 cm	prof. 60 cm
10-août	0	0	10-août	0	0	0	0
11-août	26	0	11-août	42	27	23	18
12-août	45	0	12-août	54	42	45	23
13-août	53	0	13-août	63	50	54	29
14-août	14	0	14-août	3	4	8	2
15-août	8	0	15-août	6	6	7	4
16-août	10	0	16-août	7	8	9	4
17-août	11	0	17-août	10	11	9	4
18-août	13	4	18-août	11	11	14	6
19-août	17	4	19-août	19	13	12	7
20-août	21	3	20-août	24	15	15	7
22-août	28	0	22-août	33	20	24	7
23-août	33	0	23-août	45	24	36	9
24-août	38	0	24-août	51	28	48	14
25-août	3	0	25-août	5	4	3	0
26-août	8	0	26-août	8	6	6	0
27-août	13	2	27-août	11	8	8	4
29-août	19	2	29-août	20	13	19	8
30-août	22	3	30-août	25	23	20	9
31-août	24	3	31-août	27	13	17	6
01-sept	30	0	01-sept	34	15	28	8
02-sept	34	4	02-sept	43	20	48	18
03-sept	42	3	03-sept	55	26	57	13
04-sept	40	4	04-sept	60	32	68	28
06-sept	46	4	06-sept	64	34	70	24

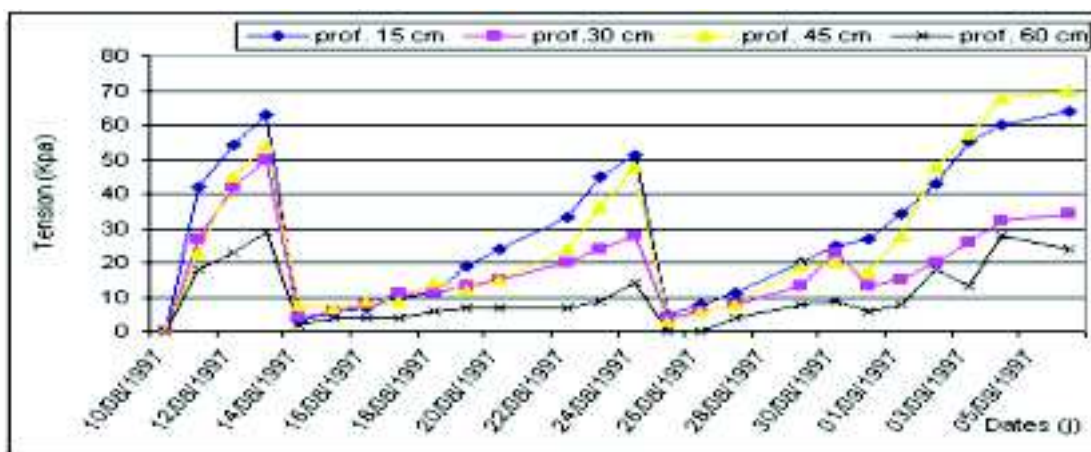
Relevés tensiométriques de la raie 17 (campagne 1997/1998)

ANNEXE 39



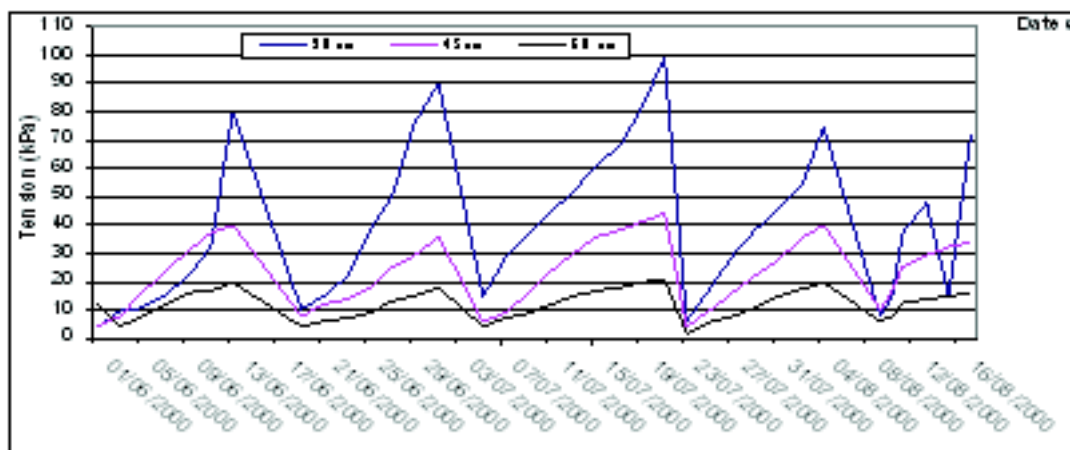
Evolution des tensions sur raie 17 site amont (1/8) campagne 1997/1998

ANNEXE 40



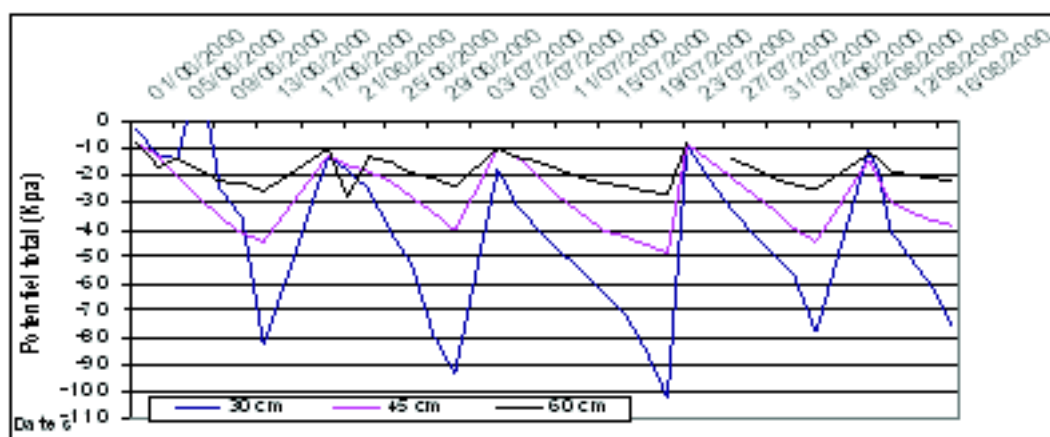
Evolution des tensions sur raie 17 site aval (7/8) campagne 1997/1998

ANNEXE 41



Evolution des tensions sur raie (60 m) site amont (1/8). Campagne 1999/2000

ANNEXE 42



Evolution des tensions sur raie (60 m) site aval (7/8). Campagne 1999/2000

ANNEXE 43

Relevés des teneurs en eau en milieu de raie, campagne 1997/1998 ; site INA

a. Evolution des teneurs en eau (%) en milieu de raie 48 h avant (25/07/98) et 24 h après (30/07/98) irrigation (29/07/98)

Profondeur	Teneur Pf	24 h ap ir	48 h av ir	Teneur CC
-20	12,89	14,94	22,77	30,2
-40	14,48	16,27	25,68	32,48
-60	15,8	17,18	26,65	36,16
-80	15,8	18,68	29,51	36,16

b. Evolution des teneurs en eau (%) en milieu de raie 24 h avant (12/08/98), 6 h après et 24 h après (13/08/98) irrigation (13/08/98)

Profondeur	Teneur Pf	24 h Av Ir	6 h Ap Ir	48 h Ap Ir	Teneur CC
-20	12,89	13,05	26,06	21,57	30,2
-40	14,48	14,95	30,69	25,18	32,48
-60	15,8	15,26	33,41	27,83	36,16
-80	15,8	16,01	39,77	29,87	36,16

c. Evolution des teneurs en eau (%) en milieu de raie 24 h avant (23/08/98), 24 h après (25/08/98) irrigation (24/08/98)

Profondeur	Teneur Pf	24 h Av Ir	24 h Ap Ir	Teneur CC
-20	12,89	13,57	20,9	30,2
-40	14,48	14,33	24,78	32,48
-60	15,8	18,31	26	36,16
-80	15,8	19,43	33,87	36,16

d. Teneur en eau (%) 24 h avant l'irrigation du 23/08/98 et évolution des teneurs en eau (%) en milieu de raie après irrigation durant 24 h.

Prof (cm)	Pf	24 h Av Ir	1/2 h Ap Ir	2 h Ap Ir	4 h Ap Ir	8 h Ap Ir	24 h Ap Ir	CC
-20	14,62	13,57	26,15	26,05	25,13	25,22	20,9	27,56
-40	14,62	14,33	28,81	28,22	27,6	27,08	24,78	27,56
-60	14,62	18,31	35,41	36,41	36,28	36,36	26	27,56
-80	14,62	19,43	39,73	40,37	40,97	41,99	33,87	27,56

ANNEXE 44

Suivi des teneurs en eau du sol après irrigation. Campagne 1999/2000

a. Suivi des teneurs en eau après la 3^{ème} irrigation (22/07/2000) Site amont

	R1			R4			R6		
	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm
23/07/2000	16,6	21,4	20,8	15,2	17,8	19,3	16	18,4	21,6
25/07/2000	18	22,3	20,5	1,3	16,8	19,9	16,8	17,6	20,8
27/07/2000	18,3	21,2	20,7	14,7	17,2	20,1	15,5	16,8	21
29/07/2000	17,8	21,5	20,9	14,3	17,1	19,5	15,2	16,3	19,8
31/07/2000	17,2	21,5	20	14	17,1	19	14,3	16,1	19,8
02/08/2000	15,9	20,8	20,2	13,8	16,3	18,9	14,1	16,2	20,2
04/07/2000	15,7	21,8	19,9	13,7	15,9	19,4	13,6	15,4	19,3

Site milieu

	R1			R4			R6		
	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm
23/07/2000	20,6	22,8	24,9	19,3	19	23,4	19,7	19	21,9
25/07/2000	18,7	23,2	23,4	19,4	19,1	20,7	17,6	19,1	21
27/07/2000	19,7	22,3	23,8	17,6	17,9	19,7	17,6	17,6	20,6
29/07/2000	19,1	22,1	23,5	16,8	18,5	20	16	17,6	20,2
31/07/2000	18	22,3	23,6	14,9	17,3	20,3	15	16,3	18,9
02/08/2000	17,2	22,2	22,6	14,2	17,1	20,3	13,6	16,6	18,1
04/07/2000	16,6	21,6	23	14	16,8	19,3	13,3	15,4	17,8

Site aval

	R1			R4			R6		
	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm
23/07/2000	14,1	16,8	17,3	12,9	12,3	13,7	13,9	13,8	15,1
25/07/2000	14	16,1	17	12	12,4	13,6	13,1	13	13,9
27/07/2000	13,7	16	16,2	12,3	12,9	13,8	13	13,7	14,7
29/07/2000	14,3	16,3	17,1	12,7	12	13,3	12,9	13	14,3
31/07/2000	13,5	16,1	16	12,5	12	13,3	12,4	12,9	14,2
02/08/2000	13,6	16,2	15,9	12,1	12,5	13,3	12,6	13,1	14,4
04/07/2000	13,4	15,1	15,7	12,1	12,5	12,9	12,2	13	13,7

b. Suivi des teneurs en eau (%) après la 4^{ème} irrigation (06/08/2000) Site amont

	R1			R4			R6		
	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm	30cm	60cm	80cm
09/08/2000	18,5	22	20,4	15,9	16,9	19,8	18,1	19	22
10/08/2000	18,6	21,4	21,2	15,9	16,8	19,4	17,5	19,1	22,7
11/08/2000	17,6	21,4	20,9	16,6	17	19,7	16,8	18,4	22,3
13/08/2000	16,8	21,9	20,3	15,5	16,9	19,6	16,1	18,4	22
15/08/2000	15,9	21,5	20,4	15	16,8	18,5	14,8	17,9	21,6
17/08/2000	15,5	20,8	20,3	14,4	14,8	18,9	14,8	17,9	21,7

Site milieu

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

	30cm	R1		30cm	R4		30cm	R6	
		60cm	80cm		60cm	80cm		60cm	80cm
09/08/2000	20,4	23,4	24	19,4	19,1	20,4	19,4	19,2	21,5
10/08/2000	20	23,5	24,1	19,4	18,7	20,4	18,8	18,8	21,2
11/08/2000	19,4	22,8	23,8	17,9	17,9	20,1	18,4	19,1	20,9
13/08/2000	18,2	23	24,4	16,6	17,9	19,7	17,4	17,8	20,3
15/08/2000	17,5	21,7	24,6	15,2	17,2	19,3	15,9	17,7	19,4
17/08/2000	16,8	21,6	23,1	14,3	16,4	22,1	14,8	17	18,8

Site aval

	30cm	R1		30cm	R4		30cm	R6	
		60cm	80cm		60cm	80cm		60cm	80cm
09/08/2000	15,3	15,6	16,3	14,3	15,3	16,6	12,5	13,1	13,8
10/08/2000	14,9	16,1	15,9	14,7	15,9	17	12,9	12,8	14
11/08/2000	15,6	16,2	15,8	14,3	14,7	16,6	12,9	12,9	14,1
13/08/2000	14,4	16,3	15,3	13,5	15,3	16,8	12,5	12,9	14,3
15/08/2000	14,5	16,1	15,7	13,8	14,7	15,7	13	13	14,3
17/08/2000	14,9	15,5	15,5	13	14	16	12,4	12,5	13,8

ANNEXE 45

Bilan besoin en eau du poivron sur 34 ans (1971-2004) Bilcemak (Mailhol)

Années	besoins
1971	645,6
1972	433,8
1973	489,1
1974	598,5
1975	507,6
1976	492,9
1977	525,5
1978	516,2
1980	601,4
1981	558,2
1982	542,5
1983	574,1
1983	631,4
1984	487,4
1985	533,1
1986	634,9
1987	631,2
1988	488,1
1989	532,6
1990	632,6
1991	617,9
1992	516,6
1993	577,8
1994	709,7
1995	601,7
1996	491,7
1997	558,6
1998	477,4
1999	514,2
2000	648,8
2001	676,6
2002	592,5
2003	632,4
2004	515

ANNEXE 46

Stratégie d'irrigation pour 2001 par rapport aux stocks résultants des irrigations de l'agriculteur. Résultats de la simulation avec Bilcemak

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

An	Jcivil	Simulé	Mesuré	Stocrit	Niveau(Rfu)	Etp	ETR	ETM	P+Irrig	Drain
2001	1	154		116	37,5	0,4	0,1	0,1	0	0
2001	2	154		116	37,1	1,4	0,4	0,4	0	0
2001	3	154		116	36,8	1	0,3	0,3	0	0
2001	4	153		116	36,5	1,1	0,3	0,3	0	0
2001	5	153		116	36,2	0,7	0,2	0,2	0	0
2001	6	153		116	35,5	2,4	0,7	0,7	0	0
2001	7	156		116	39,6	1	1	1	6	1
2001	8	156		116	39,6	1,3	1,3	1,3	6	5
2001	9	155		116	39	0,6	0,6	0,6	0	0
2001	10	155		116	38,8	0,6	0,2	0,2	0	0
2001	11	155		116	38,3	1,9	0,6	0,6	0	0
2001	12	155		116	37,8	1,4	0,4	0,4	0	0
2001	13	156		116	39,6	0,6	0,6	0,6	8	5
2001	14	156		116	39,6	0,7	0,7	0,7	41	41
2001	15	156		116	39,6	0,6	0,6	0,6	15	14
2001	16	156		116	39,6	0,8	0,8	0,8	2	1
2001	17	156		116	39,4	0,8	0,2	0,2	0	0
2001	18	156		116	39,2	0,6	0,2	0,2	0	0
2001	19	156		116	39,6	1,3	1,3	1,3	17	16
2001	20	156		116	39,6	1,3	1,3	1,3	2	0
2001	21	156		116	39,6	0,8	0,8	0,8	2	1
2001	22	155		116	39	0,6	0,6	0,6	0	0
2001	23	155		116	38,6	1,4	0,4	0,4	0	0
2001	24	155		116	38	1,8	0,5	0,5	0	0
2001	25	155		116	37,7	1,1	0,3	0,3	0	0
2001	26	156		116	39,1	2,2	0,7	0,7	2	0
2001	27	156		116	39,6	2,7	0,8	0,8	2	0
2001	28	156		116	39,6	2,4	2,4	2,4	6	4
2001	29	156		116	39,6	1,3	1,3	1,3	22	20
2001	30	156		116	39,6	1,2	1,2	1,2	8	7
2001	31	154		116	37,8	1,8	1,8	1,8	0	0
2001	32	154		116	37,4	1,5	0,5	0,5	0	0
2001	33	154		116	37,1	0,8	0,2	0,2	0	0
2001	34	154		116	36,8	0,9	0,3	0,3	0	0
2001	35	153		116	36,6	0,9	0,3	0,3	0	0
2001	36	153		116	36,1	1,5	0,5	0,5	0	0
2001	37	153		116	35,6	1,6	0,5	0,5	0	0
2001	38	152		116	34	5,6	1,7	1,7	0	0
2001	39	151		116	33	3,3	1	1	0	0
2001	40	156		116	37,8	2,2	2,2	2,2	7	0
2001	41	154		116	36,2	1,6	1,6	1,6	0	0
2001	42	154		116	35,8	1,2	0,4	0,4	0	0
2001	43	154		116	35,5	1,1	0,3	0,3	0	0
2001	44	153		116	35,1	1,3	0,4	0,4	0	0
2001	45	153		116	35,1	0,9	0,9	0,9	1	0
2001	46	156		116	39,6	0,9	0,9	0,9	13	7
2001	47	156		116	39,6	1,1	1,1	1,1	2	1
2001	48	156		116	39,6	0,9	0,9	0,9	8	7
2001	49	156		116	39,6	1,5	1,5	1,5	21	20
2001	50	155		116	38,2	1,4	1,4	1,4	0	0
2001	51	154		116	37,8	1,3	0,4	0,4	0	0
2001	52	154		116	37,4	1,4	0,4	0,4	0	0
2001	53	154		116	36,9	1,7	0,5	0,5	0	0
2001	54	153		116	36,3	1,9	0,6	0,6	0	0
2001	55	154		116	36,4	1,5	0,5	0,5	1	0
2001	56	156		116	39,6	1,7	1,7	1,7	9	4

Stratégie d'irrigation pour 1980 (Pour une RFU/RU = 0,5 RU). Résultats de la simulation avec Bilcemak

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

An	Jcivil	Stock (Px)	Stocrit	Niveau (Rfu)	Etp	ETR	ETM	P+Irrig	Drain
1980	1	128	100	28,1	1,8	0,4	0,4	0	0
1980	2	128	100	27,7	2	0,4	0,4	0	0
1980	3	128	100	27,6	0,5	0,1	0,1	0	0
1980	4	128	100	27,5	0,5	0,1	0,1	0	0
1980	5	129	100	28,8	0,9	0,9	0,9	2	0
1980	6	128	100	28	0,8	0,8	0,8	0	0
1980	7	128	100	27,9	0,6	0,1	0,1	0	0
1980	8	128	100	27,8	0,7	0,1	0,1	0	0
1980	9	128	100	28	0,7	0,7	0,7	1	0
1980	10	130	100	30	1,4	1,4	1,4	17	14
1980	11	130	100	30	1,2	1,2	1,2	21	20
1980	12	130	100	30	0,6	0,6	0,6	6	5
1980	13	129	100	29,3	1,3	1,3	1,3	1	0
1980	14	130	100	30	0,8	0,8	0,8	2	0
1980	15	130	100	30	2,1	2,1	2,1	8	6
1980	16	129	100	28,6	1,4	1,4	1,4	0	0
1980	17	130	100	30	2,2	2,2	2,2	17	13
1980	18	130	100	30	1,1	1,1	1,1	5	4
1980	19	130	100	30	1	1	1	6	5
1980	20	130	100	30	1,2	1,2	1,2	1	0
1980	21	130	100	29,7	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	22	130	100	29,6	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	23	129	100	29,3	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	24	129	100	29,1	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	25	129	100	28,9	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	26	129	100	28,8	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	27	129	100	28,6	0,8	0,2	0,2	0	0
1980	28	128	100	28,3	1,4	0,3	0,3	0	0
1980	29	128	100	28	1,7	0,3	0,3	0	0
1980	30	128	100	27,8	1	0,2	0,2	0	0
1980	31	128	100	27,5	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	32	127	100	27,1	1,9	0,4	0,4	0	0
1980	33	127	100	26,9	1,2	0,2	0,2	0	0
1980	34	127	100	26,7	1,2	0,2	0,2	0	0
1980	35	126	100	26,4	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	36	126	100	26,1	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	37	126	100	25,9	1,4	0,3	0,3	0	0
1980	38	126	100	25,6	1,2	0,2	0,2	0	0
1980	39	125	100	25,4	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	40	125	100	25,2	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	41	130	100	30	1,2	1,2	1,2	10	4
1980	42	130	100	30	1,6	1,6	1,6	6	5
1980	43	129	100	28,6	1,4	1,4	1,4	0	0
1980	44	128	100	28,3	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	45	128	100	28,1	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	46	128	100	27,8	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	47	128	100	28	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	48	128	100	27,7	1,6	0,3	0,3	0	0
1980	49	127	100	27,4	1,6	0,3	0,3	0	0
1980	50	127	100	26,8	3,2	0,6	0,6	0	0
1980	51	126	100	25,8	5	1	1	0	0
1980	52	126	100	26,4	1,9	0,4	0,4	1	0
1980	53	126	100	26,1	1,5	0,3	0,3	0	0
1980	54	126	100	25,5	2,7	0,5	0,5	0	0
1980	55	127	100	27	1,7	1,7	1,7	3	0
1980	56	128	100	27,8	1,3	1,3	1,3	2	0

Stratégie d'irrigation pour 1980 (Pour un RFU/RU = 0,6 RU). Résultats de la simulation avec Bilcemak

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

An	Jcivil	Stock (Px)	Stocrit	Niveau (Rfu)	Etp	ETR	ETM	P+Irrig	Drain
1980	1	128	90	37,3	1,8	0,4	0,4	0	0
1980	2	127	90	36,9	2	0,4	0,4	0	0
1980	3	127	90	36,8	0,5	0,1	0,1	0	0
1980	4	127	90	36,7	0,5	0,1	0,1	0	0
1980	5	128	90	38	0,9	0,9	0,9	2	0
1980	6	128	90	37,2	0,8	0,8	0,8	0	0
1980	7	127	90	37	0,6	0,1	0,1	0	0
1980	8	127	90	36,9	0,7	0,1	0,1	0	0
1980	9	128	90	37,1	0,7	0,7	0,7	1	0
1980	10	130	90	39,6	1,4	1,4	1,4	17	13
1980	11	130	90	39,6	1,2	1,2	1,2	21	20
1980	12	130	90	39,6	0,6	0,6	0,6	6	5
1980	13	129	90	38,9	1,3	1,3	1,3	1	0
1980	14	130	90	39,6	0,8	0,8	0,8	2	0
1980	15	130	90	39,6	2,1	2,1	2,1	8	6
1980	16	129	90	38,2	1,4	1,4	1,4	0	0
1980	17	130	90	39,6	2,2	2,2	2,2	17	13
1980	18	130	90	39,6	1,1	1,1	1,1	5	4
1980	19	130	90	39,6	1	1	1	6	5
1980	20	130	90	39,6	1,2	1,2	1,2	1	0
1980	21	130	90	39,3	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	22	130	90	39,2	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	23	129	90	38,9	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	24	129	90	38,7	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	25	129	90	38,5	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	26	129	90	38,4	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	27	129	90	38,2	0,8	0,2	0,2	0	0
1980	28	128	90	37,9	1,4	0,3	0,3	0	0
1980	29	128	90	37,6	1,7	0,3	0,3	0	0
1980	30	128	90	37,4	1	0,2	0,2	0	0
1980	31	128	90	37,1	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	32	127	90	36,7	1,9	0,4	0,4	0	0
1980	33	127	90	36,5	1,2	0,2	0,2	0	0
1980	34	127	90	36,3	1,2	0,2	0,2	0	0
1980	35	126	90	36	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	36	126	90	35,7	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	37	126	90	35,5	1,4	0,3	0,3	0	0
1980	38	126	90	35,2	1,2	0,2	0,2	0	0
1980	39	125	90	35	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	40	125	90	34,8	1,1	0,2	0,2	0	0
1980	41	130	90	39,6	1,2	1,2	1,2	10	4
1980	42	130	90	39,6	1,6	1,6	1,6	6	5
1980	43	129	90	38,2	1,4	1,4	1,4	0	0
1980	44	128	90	37,9	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	45	128	90	37,7	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	46	128	90	37,4	1,3	0,3	0,3	0	0
1980	47	128	90	37,6	0,9	0,2	0,2	0	0
1980	48	128	90	37,3	1,6	0,3	0,3	0	0
1980	49	127	90	37	1,6	0,3	0,3	0	0
1980	50	127	90	36,4	3,2	0,6	0,6	0	0
1980	51	126	90	35,4	5	1	1	0	0
1980	52	126	90	36	1,9	0,4	0,4	1	0
1980	53	126	90	35,7	1,5	0,3	0,3	0	0
1980	54	126	90	35,1	2,7	0,5	0,5	0	0
1980	55	127	90	36,6	1,7	1,7	1,7	3	0
1980	56	128	90	37,4	1,3	1,3	1,3	2	0

ANNEXE 49

Résultats de la simulation sur raies bouchées de 180 m de long avec le modèle Simraie (Mailhol, 2003 ; Mailhol et al, 2005)

dc=20.0 cm Ks=1.00 cm/h

téta. s= .40 téta. i= .20

Conduite en raies bouchées

*****Modèle type MP3

ro= .0587 mn-1

QIN = .75 TIRIG= 190. mn

Erreur Bilan (%): .9%

TL (mn) Rn (%) Ea (%) ppf (%) Dmin (mm) D (L) mm D7/8 (mm)

186. 82. 84. 10. 49. 68. 55.

Coeft. de Stockage Minimum: 98. %

Analyse des paramètres d'efficience de l'irrigation gravitaire traditionnelle en Algérie

x t(x) Z(x) mm Z(x) m3/m	x t(x) Z(x) mm Z(x) m3/m
.0 .0 66.3 .0530	116.3 98.0 53.6 .0429
12.0 2.0 66.3 .0530	118.0 100.0 53.3 .0426
18.9 4.0 66.2 .0530	119.6 102.0 53.0 .0424
23.3 6.0 66.0 .0528	121.3 104.0 52.7 .0422
26.6 8.0 65.8 .0527	122.9 106.0 52.4 .0419
29.3 10.0 65.6 .0525	124.6 108.0 52.1 .0417
31.8 12.0 65.3 .0523	126.2 110.0 51.8 .0415
34.2 14.0 65.1 .0521	127.8 112.0 51.5 .0412
36.4 16.0 64.8 .0519	129.4 114.0 51.2 .0410
38.7 18.0 64.6 .0517	131.0 116.0 50.9 .0407
40.9 20.0 64.3 .0515	132.5 118.0 50.6 .0405
43.1 22.0 64.1 .0513	134.1 120.0 50.3 .0402
45.3 24.0 63.8 .0511	135.7 122.0 50.0 .0400
47.5 26.0 63.6 .0508	137.2 124.0 49.7 .0398
49.6 28.0 63.3 .0506	138.7 126.0 49.4 .0395
51.8 30.0 63.0 .0504	140.3 128.0 49.1 .0393
53.9 32.0 62.8 .0502	141.8 130.0 49.0 .0392
56.0 34.0 62.5 .0500	143.3 132.0 49.0 .0392
58.1 36.0 62.2 .0498	144.8 134.0 49.1 .0393
60.2 38.0 62.0 .0496	146.2 136.0 49.3 .0395
62.2 40.0 61.7 .0494	147.7 138.0 49.7 .0397
64.3 42.0 61.4 .0491	149.2 140.0 50.1 .0401
66.3 44.0 61.2 .0489	150.6 142.0 50.6 .0405
68.3 46.0 60.9 .0487	152.1 144.0 51.2 .0409
70.3 48.0 60.6 .0485	153.5 146.0 51.8 .0414
72.3 50.0 60.3 .0483	154.9 148.0 52.5 .0420
74.3 52.0 60.1 .0481	156.3 150.0 53.2 .0425
76.3 54.0 59.8 .0478	157.7 152.0 53.9 .0431
78.2 56.0 59.5 .0476	159.1 154.0 54.7 .0437
80.2 58.0 59.2 .0474	160.5 156.0 55.5 .0444
82.1 60.0 59.0 .0472	161.9 158.0 56.3 .0450
84.0 62.0 58.7 .0469	163.2 160.0 57.1 .0457
85.9 64.0 58.4 .0467	164.6 162.0 58.0 .0464
87.8 66.0 58.1 .0465	165.9 164.0 58.8 .0471
89.7 68.0 57.8 .0463	167.3 166.0 59.7 .0478
91.5 70.0 57.6 .0461	168.6 168.0 60.6 .0485
93.4 72.0 57.3 .0458	169.9 170.0 61.5 .0492
95.2 74.0 57.0 .0456	171.2 172.0 62.3 .0499
97.0 76.0 56.7 .0454	172.5 174.0 63.2 .0505
98.9 78.0 56.4 .0452	173.8 176.0 64.0 .0512
100.7 80.0 56.2 .0449	175.1 178.0 64.8 .0519
102.4 82.0 55.9 .0447	176.4 180.0 65.6 .0525
104.2 84.0 55.6 .0445	177.6 182.0 66.4 .0531
106.0 86.0 55.3 .0442	178.9 184.0 67.1 .0537
107.7 88.0 55.0 .0440	180.0 186.0 67.7 .0542
109.5 90.0 54.7 .0438	
111.2 92.0 54.4 .0436	
112.9 94.0 54.2 .0433	
114.6 96.0 53.9 .0431	

284

Dates	Distance en (m) sur la raie N° des rigoles	0	5	10	15	20	25	30
14/07	R5	2.9	4.1	6.5	5.9	7.1	4.00	4.30
	R11	3.2	2.56	4.24	6.20	4.8	4.00	3.3
	R17	4.00	5.00	6.5	4.00	3.5	2.5	2.00
28/07	R5	6.00	5.6	6.2	5.9	4.8	4.3	3.6
	R11	4.2	5.2	4.9	5.4	5.6	3.9	2.9
	R17	4.00	5.00	6.5	4.00	3.5	2.5	2.00
28/07	R5	6.00	5.6	6.2	5.9	4.8	4.3	3.6
	R11	4.2	5.2	4.9	5.4	5.6	3.9	2.9
	R17	3.5	4.00	2.00	7.00	3.00	8.00	6.5
13/08	R5	5.5	7.5	7.00	5.5	6.5	4.5	4.00
	R11	4.2	5.2	4.9	5.4	5.6	3.9	2.9
	R17	3.00	4.00	2.5	3.00	5.00	3.5	4.00
24/08	R5	6.00	5.00	5.5	4.5	6.00	4.00	6.00
	R11	5.5	4.5	3.5	5.5	4.00	3.00	2.5
	R17	5.00	3.5	2.5	3.00	5.00	3.5	4.00

Mesure du tirant d'eau (cm) pendant la campagne d'irrigation 1997/1998

ANNEXE 51

Protocole mesures du temps d'avancement de l'eau dans des raies courtes de 25 m. Station INA et Ferme Centrale INA

L'essai a été mené sur les parcelles de la station expérimentale de l'INA. Deux débits (4l/s et 10 l/s) ont été testés sur raies bouchées de 25 m.

Essai sur raie de 25 m avec débit de 4l/s

La parcelle de 300 m² est située dans la station expérimentale ; le sol est de type limono argileux. L'alimentation en eau est assurée par une conduite en PVC depuis la pompe (photo gauche) , des jalons espacés de 5 m sont disposés sur la cinquième raie à partir du bas (photo droite).



Deux mesures de temps d'avancement ont été réalisées, lors de la première et de la deuxième irrigation sur sol nu.

Les résultats sont présentés dans les tableaux qui suivent :

Première irrigation

N° des raies	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m
1		0,25 mn	0,55 mn	0,75 mn	1,33 mn	
2		0,33 mn	0,75 mn	1,5 mn	2,52 mn	4,51 mn
3						2,12 mn
4		0,3 mn	0,83 mn	1,35 mn	2,42 mn	4,09 mn

Deuxième irrigation

N° des raies	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m
1		0,32 mn	0,83 mn	1,27 mn	1,55 mn	3,16 mn
2		0,2 mn	0,5 mn	1 mn	1,35 mn	3,18 mn
3		0,15 mn	0,42 mn	0,97 mn	1,17 mn	2,06 mn
4		0,17 mn	0,42 mn	0,95 mn	1,32 mn	2,8 mn
5						4,27 mn

Le temps moyen de remplissage d'une raie lors de la première irrigation est de 3,57 mn.

Lors de la deuxième irrigation, il est de 3,05mn.

Essai sur raies de 25 m avec débit de 10 l/s

La parcelle de 300 m² est située dans la station de la ferme centrale ; le sol est de type argilo limoneux. L'alimentation en eau est assurée par une conduite de rampes d'aspersion, depuis la pompe (Photo gauche) , des jalons espacés de 5 m sont disposés sur la sixième raie à partir de la gauche (photo droite).



Deux mesures de temps d'avancement ont été réalisées, lors de la première et de la deuxième irrigation sur sol nu.

Les résultats sont présentés dans les tableaux qui suivent :

Première irrigation

N° des raies	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m
1		0,41 mn	0,94 mn	2,2 mn	4,46 mn	6,15 mn
2		0,13 mn	0,42 mn	0,74 mn	1,08 mn	1,55 mn
3		0,27 mn	0,77 mn	1,14 mn	2,09 mn	3,08 mn
4		0,23 mn	0,42 mn	0,58 mn	0,98 mn	1,24 mn
5		0,3 mn	0,77 mn	1,39 mn	2,24 mn	2,58 mn
6		0,2 mn	0,56 mn	0,84 mn	1,19 mn	1,45 mn
7		0,2 mn	0,58 mn	1,18 mn	3 mn	3,28 mn
8		0,18 mn	0,37 mn	0,6 mn	1,06 mn	1,23 mn
9		0,19 mn	0,55 mn	1,09 mn	1,44 mn	2,1 mn
10		0,18 mn	0,77 mn	1,45 mn	2,41 mn	3,28 mn

Deuxième irrigation

N° des raies	0 m	5 m	10 m	15 m	20 m	25 m
1		0,22 mn	0,45 mn	0,73 mn	1 mn	1,27 mn
2		0,27 mn	0,57 mn	0,7 mn	1,37 mn	2 mn
3		0,67 mn				1,08 mn
4		0,17 mn	0,38 mn	0,68 mn	1,02 mn	1,23 mn
5		0,25 mn				1,24 mn
		0,33 mn				2,05 mn

Le temps moyen de remplissage d'une raie lors de la première irrigation est de 2,19 mn.
Lors de la deuxième irrigation, il est de 1,5 mn.

ANNEXE 52

Références prix et normes matériel d'irrigation

1. Normes et prix des films et gaines plastiques simples et stabilisé

ENPC (Entreprise Nationale de Plastique et Caoutchouc)

Zone industrielle de Rouïba Alger

SOCOPLAST Unité Mohammedia Alger

Film plastique stabilisé, 2 saisons (Durée de vie 4-5 ans) épaisseur 180 microns :

1 kg 174,36 DA TTC

Film neutre (blanc) épaisseur 180 microns : 155,64 DA TTC le kg

Film noir épaisseur 180 microns : 158,86 DA TTC le kg

Gaine stabilisée (jaune) : 174,36 DA TTC le kg

Gaine neutre (blanche) : 155,64 DA TTC le kg

Gaine noire non traitée : 158,86 DA TTC le kg

Pour le film plastique 1 kg est équivalent à une surface de 6,5 m² .

Pour les gaines pour un poids de 1 kg, la longueur est fonction du diamètre de la gaine.

Ainsi un élément de gaine de 1kg, en fonction du diamètre demandé est équivalent à une longueur de :

Ø de 80 mm : correspond une longueur de 10 m, blanc, épaisseur de 400 microns

Ø de 130 mm correspond une longueur de 23 m, blanc, épaisseur de 180 microns

Ø de 130 mm correspond une longueur de 14 m, non stabilisé, épaisseur de 180 microns

Ø de 130 mm correspond une longueur de 11 m, jaune, stabilisé, épaisseur de 180 microns

Les conduites en polyéthylène basse densité (PEBD), ainsi que les vannes et autres accessoires (Té, coudes...) sont disponibles au niveau de plusieurs unités spécialisées.

Vanne ; Venturi ; filtration ; bac pour dosage d'engrais : 60 000 DA

Vanne ; pompe doseuse ; filtration ; bac dosage d'engrais : 85 000 à 95 000 DA

Equipement en conduites, rampes et gaines : 100 000 DA/ha

ANNEXE 53

Simraie : Principes de base du fonctionnement du logiciel.

Mailhol J.C. 2003. A predictive form of Horton's equation for simulating furrow irrigation. J. of irrig. And drain ASCE, Vol 129 (6): 412-421.

Annex 1	1
Annex 2	2
Annex 3	3
Annex 4	4
Annex 5	5
Annex 6	6
Annex 7	7
Annex 8	8
Annex 9	9
Annex 10	10
Annex 11	11
Annex 12	12
Annex 13	13
Annex 14	14
Annex 15	15
Annex 16	16
Annex 17	17
Annex 18	18
Annex 19	19
Annex 20	20
Annex 21	21
Annex 22	22
Annex 23	23
Annex 24	24
Annex 25	25
Annex 26	26
Annex 27	27
Annex 28	28
Annex 29	29
Annex 30	30
Annex 31	31
Annex 32	32
Annex 33	33
Annex 34	34
Annex 35	35
Annex 36	36
Annex 37	37
Annex 38	38
Annex 39	39
Annex 40	40
Annex 41	41
Annex 42	42
Annex 43	43
Annex 44	44
Annex 45	45
Annex 46	46
Annex 47	47
Annex 48	48
Annex 49	49
Annex 50	50
Annex 51	51
Annex 52	52
Annex 53	53
Annex 54	54
Annex 55	55
Annex 56	56
Annex 57	57
Annex 58	58
Annex 59	59
Annex 60	60
Annex 61	61
Annex 62	62
Annex 63	63
Annex 64	64
Annex 65	65
Annex 66	66
Annex 67	67
Annex 68	68
Annex 69	69
Annex 70	70
Annex 71	71
Annex 72	72
Annex 73	73
Annex 74	74
Annex 75	75
Annex 76	76
Annex 77	77
Annex 78	78
Annex 79	79
Annex 80	80
Annex 81	81
Annex 82	82
Annex 83	83
Annex 84	84
Annex 85	85
Annex 86	86
Annex 87	87
Annex 88	88
Annex 89	89
Annex 90	90
Annex 91	91
Annex 92	92
Annex 93	93
Annex 94	94
Annex 95	95
Annex 96	96
Annex 97	97
Annex 98	98
Annex 99	99
Annex 100	100