

Institut National Agronomique- El-Harrach, Alger
Thèse En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences agronomiques
Spécialité : Hydraulique Agricole

***Contribution à une utilisation rationnelle
des précipitations en agriculture pluviale
dans la vallée de la Soummam***

Présentée par :

Melle : OUYAHIA Nadia.

Directeur de thèse : M. MOUHOUCHE B. Co-directeur de thèse : M. BOULASSEL
A.

Année universitaire : 2006-2007

Devant le jury : Président : M. AIDAOUI A. Examineur : M. HARTANI T.

Table des matières

..	1
Remerciement . .	3
Résumé .	5
Summary . .	7
صغلملا .	9
Liste des abréviations .	11
Introduction générale . .	13
Première partie : Etude bibliographique .	17
I- Chapitre I : Etude du milieu et de l'environnement .	17
I.1. Situation géographique . .	17
I.2. Etude climatique .	24
I.3. Le bilan hydrique dans un bassin ou sur un site .	31
II-Chapitre II : Ressources hydriques .	35
II.1. Introduction . .	35
II.2. Réserves souterraines . .	35
II.3. Les eaux superficielles .	38
II.4. Ecoulement des eaux de surface .	40
III- Chapitre III : Systèmes de collecte ou de récupération des eaux pluviales . .	46
III.1. Introduction .	46
III.2. La valorisation de l'eau in situ .	47
III.3. Irrigation par épandage des eaux de crue . .	48
III.4. Stockage pour l'irrigation d'appoint .	48
III.5. Arêtes de découpe . .	49
III.6. Systèmes de culture en bande . .	50
III.7. Les découpes et les arêtes circulaires et demi-lune .	51
III.8.Terrasses . .	51

III.9. Les murettes . . .	52
IV-Chapitre IV : l'olivier . . .	53
IV.1. Introduction . . .	53
IV.2. Historique . . .	53
IV.3. La classification systématique . . .	53
IV.4. Distribution géographique de l'olivier . . .	53
IV.5. Morphologie et description des principales parties de l'arbre . . .	54
IV.6. Biologie et physiologie du cycle de végétation . . .	55
IV .7. Exigences agro climatiques de l'olivier . . .	56
IV.8. Besoins en eau de l'olivier . . .	57
Deuxième partie : Matériels et méthodes . . .	59
I. Aperçu général sur le site expérimental . . .	59
I.1. Climat . . .	59
II. Protocole expérimental . . .	61
II.1. Description de la parcelle d'essai . . .	61
II.2. Dispositif expérimental . . .	61
III. L'essai . . .	61
III.1. Arboriculture . . .	62
II.2. Conduite de l'expérimentation . . .	62
II.3. Matériel et Méthodes utilisés . . .	63
II.4. Caractérisation de l'état hydrique du sol . . .	63
III.5. Matériel expérimental . . .	63
Troisième partie : Résultats et discussions . . .	67
I. Caractéristiques pédologiques et hydrodynamiques . . .	67
I.1. Etude sur le terrain . . .	67
I.2. Caractéristiques analytiques . . .	68
II. Caractérisation de l'état hydrique du sol . . .	71
II.1. Introduction . . .	72
II.2. Teneurs en eau & profils hydriques . . .	72

II.3. Gradient hydrique . .	80
III. Stock d'eau . .	83
III.1. Variation du stock d'eau . .	87
III.2. Variation du stock d'eau entre les extrémités et le centre de la digue de l'impluvium . .	90
Conclusion générale .	95
Références bibliographiques .	99
Annexes . .	103
Annexe 1 . .	103
Annexe 2 . .	107
Annexe 3 . .	108
Annexe 4 . .	112
Annexe 5 . .	113
Annexe 6 . .	115
Annexe 7 . .	118

Dédicaces *A ma mère qui m'a donné l'amour, la tendresse et le courage pour arriver à ce niveau, A mon père qui m'a soutenue toujours, afin que je puisse accomplir ce travail. A mes frères, A mes sœurs, A ma grande sœur Saida qui m'a encouragé toujours, a son mari Tarek, et mes neveux, Yasmine et Mohammed, A ma sœur Samia, son mari Aziz et mes neveux, Massil et Liza, A mon mari Zahir qui m'a soutenue toujours et a ma belle mère, A toutes mes copines.*
NADIA

Remerciement

Je remercie le bon Dieu de m'avoir donné la force, la santé et la patience afin que je puisse accomplir ce travail.

Je remercie vivement M. MOUHOUCHE, pour ses conseils judicieux qui m'ont beaucoup servi et pour sa disponibilité.

Je remercie aussi M. BOULASSEL pour son aide et sa présence afin de finaliser ce travail.

J'exprime mon grand respect à M. AIDAOUI qui m'a fait l'honneur de présider le jury.

Mes remerciements vont également à M. HARTANI d'avoir accepté de juger mon travail.

Je tiens à remercier beaucoup mon mari qui m'a donné la volonté et le courage durant toutes ces années afin de terminer ce travail.

Je remercie le directeur de l'INRAA de OUED GHIR d'avoir accepté de réaliser mon expérimentation dans la station.

Je remercie l'ingénieur d'application M. TARIKTS M. pour l'aide à la réalisation des profils hydriques.

Je remercie aussi M MAHDEB M. chercheur à l'INRAA pour la description du profil pédologique.

Je remercie les responsables de la station de l'ONM de Bejaia surtout M^r ATMANI.

Je remercie profondément ma sœur Anissa pour son aide, ainsi que ces copines.

*Je remercie, mon frère Youcef et ses collègues de travail, HOCINE M^d et SADI Karim
NADIA*

Résumé

Afin de quantifier les effets bénéfiques de la collecte des eaux pluviales en zone de montagne sur le développement et la croissance des plantes et sur les quantités d'eau emmagasinées au niveau des ouvrages de collecte, nous avons réalisé deux années d'expérimentation sur la collecte des eaux pluviales par la méthode dite des demi-lunes, qui consiste à installer une sorte de petite terrasse en terre en forme de croissant juste en bas de chaque tronc d'arbre qui permet de recueillir les eaux de ruissellement de la partie amont de chaque arbre appelée, dans ce cas surface réceptrice ou impluvium.

Afin de comparer l'effet des différentes surfaces d'impluvium, nous avons renforcé chaque demi-lune par des impluviums de surfaces différentes 0 m², 0 m² avec irrigation de complément, 32 m², 64 m², et 96 m², soit cinq traitements.

Les résultats obtenus montrent un effet positif sur la croissance et le développement des jeunes oliviers, tant en hauteur et en envergure de la frondaison que sur le développement du diamètre des troncs au niveau du collet. Ce développement est d'autant plus important que la surface réceptrice de l'impluvium est plus grande, ce qui permet un emmagasinement plus important d'eau.

En effet, le bilan hydrique au niveau des demi-lunes montre un emmagasinement d'eau plus important dans les plus grands impluviums (64 et 96 m²).

De plus la quantité d'eau stockée au centre de la demi-lune est 2 fois plus importante que sur ses deux extrémités.

Mots clés : Collecte des eaux pluviales, impluvium, demi-lune, Olivier, emmagasinement d'eau.

Summary

In order to quantify effects beneficial of water harvest in mountain zone on development and growth of plants and on quantities of water stored with level of works of water harvest, we have realized two years of experimentation on water harvest by method known as of half-moons, which consists in installing a small soil terrace in the shape of crescent right in bottom of each tree trunk which makes it possible to collect surface waters of the upstream part of each tree called, in its case receiving surface or impluvium.

In order to compare the effect of various area of impluvium, we reinforced each half-moon by impluviums of different surfaces 0 m², 0 m² with irrigation additional, 32 m², 64 m², and 96 m², as five treatments.

The results obtained show a positive effect on the growth and development of the young olive-trees, as well in height and width of the frondaison and the development of the diameter of the trunks on the soil. This development is all more significant when receiving area of impluvium is larger, which allows more significant water storage.

Indeed, the hydrous assessment on the half-moons shows more significant water storage in the largest impluviums (64 and 96 m²).

Moreover the quantity of water stored in the medium of the half-moon is much more significant (200%) compared to the 2 tops of the half-moon.

Key words : Water harvest, impluvium, half-moon, olive-trees, water storage in the soil.

ص خ ل م ا

حصلت نتائج إيجابية استعملت تقانات حصاد المياه في المناطق الجبلية على نصر أشجار الزيتون و. على كمية المياه المخزنة بالقرب من الأشجار، عند تجرية لمدى سنتين بتطبيق وسيلة من وسائل حصاد المياه اسمها "ب" لتصرف دائرة الهلالية" و التي هي بمثابة سطح تراسي صغير على شكل نصف دائرة يتواجد في أسفل جذع الشجرة و الذي يسمح بتخزين مياه السيلان المنسحق التي من فتحة الأرض المتواجده فوق الشجرة المنسحق الساحة المستقبلة أو الحوض التدففي.

حصلت مقارنة مدى أهمية لمساحات لمختلفة للأحواض التدففية عندا بتخصير 5 أنواع من الأحواض التدففية الشبكية في 0 م²، 0 م²، 32 م²، 64 م² و 96 م².

بين النتائج المحصل عليها مدى أهمية تطبيق تقانات حصاد المياه على نصر الأشجار، من حيث النسبة للأخصان أو قطر الجذر على مستوى التربة. كما يتماشى هذا النوع حسب الحوض التدففي، حيث أن الحوض الكبير يسمح بتخزين كميات كبيرة من المياه لتدفعه على مستوى الشجرة.

كما بين هذه النتائج أن كمية المياه المخزنة في وسط الدائرة النصف هلالية تفوق بضعف الكمية المخزنة في أعلى جانبيها.

كلمات المفتاح: الحصاد لمائي، الحوض التدففي، لدائرة النصف هلالية، الزيتون، تخزين المياه في التربة.

Liste des abréviations

ONM : Office national météorologique.

F.A.O : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.

ETM : Evapotranspiration maximal.

ETP: Evapotranspiration potentiel.

USDA-SCS : United States Department of Agriculture- Soil Conservation Service.

PNE : Plan national de l'eau.

AEP : Adduction de l'eau potable.

EG : Extrémité gauche.

CEG : Centre de l'extrémité gauche.

C : Centre.

CED : Centre de l'extrémité droite.

ED : Extrémité droite.

Introduction générale

Les pénuries d'eau sont des phénomènes locaux, régionaux et même mondiaux. Leurs effets néfastes sont tenaces et dramatiques, surtout dans les régions arides et semi-arides où le captage et la conservation de l'eau sont des préoccupations sempiternelles impossibles à ignorer (environ le sixième de la population mondiale habite dans les bassins hydrographiques des régions arides et semi-arides, cela représente presque les trois quarts des populations les plus pauvres de la planète) (BROOKS, 2002).

Certes, les pénuries d'eau ne sont pas nouvelles dans l'histoire de l'humanité. La Bible, le Coran et d'autres textes sacrés font abondamment mention de l'eau, et des conflits qui y sont liés. Mais, les pénuries actuelles et futures sont et seront plus importantes pour un plus grand nombre d'entre nous.

La croissance démographique, l'industrialisation et l'urbanisation épuisent et polluent irréversiblement les lacs, les rivières et les aquifères. Les nouvelles technologies nous donnent le pouvoir de capter l'eau plus rapidement qu'elle ne peut réalimenter les nappes souterraines. Ce sont là des réalités inéluctables. Comme le rapportait le Fonds des Nations Unies pour la population (FNUAP) en 2001, la population mondiale a triplé en 70 ans tandis que l'utilisation de l'eau a sextuplé.

Aujourd'hui, l'accès à l'eau potable fait défaut à plus d'un milliard de personnes. Au cours des 25 prochaines années, le tiers de la population mondiale fera face à une grave pénurie d'eau. Sans eau, il n'est pas possible de produire des aliments. Plus de 90 % des eaux résiduaires des pays en développement sont rejetées sans épuration dans le sol et les eaux de surface. Pour plusieurs millions de personnes, la pénurie d'eau douce est

d'avantage une question d'instabilité que d'insuffisance.

Ces chiffres, bien qu'ils soient alarmants, sont encore en deçà de la vérité. L'agriculture est de loin, le premier consommateur d'eau, puisqu'elle utilise près de 70% de l'eau prélevée sur la planète. Le potentiel d'amélioration des rendements et toutefois étroitement lié à la configuration et la répartition spatiale des précipitations. (BROOKS, 2002).

Dans les environnements plus secs, la pluie est généralement insuffisante pour satisfaire les besoins de base de production végétale.

En Algérie, les ressources en eau deviennent de plus en plus limitées et difficiles à exploiter. Leurs répartitions sur le territoire sont inégales. Elles sont relativement abondantes dans la frange nord-est du pays et limitées dans les hauts plateaux où elles sont confinées dans quelques grandes nappes. Toutes ces ressources sont conditionnées par des précipitations à caractère irrégulier dans le temps et dans l'espace. Cette eau dans la plupart du temps est perdue par évaporation et écoulement de surface, laissant des périodes sèches fréquentes pendant la saison de croissance. (DECHEMI et al., 2000).

L'écoulement peut se produire même dans les régions relativement plates où les conditions de la surface du sol empêchent l'infiltration. Ici, la plupart de la pluie se rassemble avant de couler dans les ruisseaux et les marais. Seulement, une partie joint les eaux souterraines, sur son chemin, elle peut causer l'érosion. Bien que des facteurs sociaux et culturels puissent être impliqués, la perte de l'eau sans avantage pour l'usage agricole ou domestique et la mauvaise gestion de la terre, sont des facteurs significatifs en cours de désertification et de pauvreté des régions sèches.

Dans beaucoup de régions montagneuses, on observe actuellement une aggravation des dégâts provoqués par le ruissellement des eaux pluviales. Cependant deux types de conséquence doivent être distinguées selon la nature, fréquente ou exceptionnelle, de l'environnement pluvieux :

- Dans le premier cas, l'érosion des sols se produit de façon insidieuse et la pollution des eaux superficielles est difficilement perceptible.
- Dans le deuxième cas, les dégâts sont beaucoup plus spectaculaires (inondation, eaux boueuses, accumulation de la terre dans les parties basses, destruction des chaussées et des murs de soutènement, réseaux d'eau pluviales, etc...). (GALEA et RAMEZ, 1995).

La maîtrise de l'ensemble des phénomènes dus aux ruissellements nécessite donc des aménagements adaptés à tous les types d'événements pluvieux. En particulier, il est indispensable de prévoir des ouvrages permettant d'évacuer sans dommage les écoulements concentrés de fréquence plus ou moins exceptionnelle, en complément des mesures agronomiques, défaillantes en de telles circonstances.

Des décennies de recherches ont révélé que les gens ont le plus vigoureusement réagi à la rareté de l'eau dans les ménages, dans les champs des paysans, dans les villages et dans les quartiers municipaux. Il s'avère souvent que des pratiques

traditionnelles montrent comment gérer localement, et plus efficacement, surtout lorsqu'elles sont renforcées par des innovations technologiques. (BROOKS, 2002) Donc, pour que l'agriculture ait une chance de succès, l'eau de pluie doit être correctement contrôlée, la collecte ou la récupération de l'eau est la solution envisagée pour une meilleure utilisation de l'eau de pluie à des fins agricoles.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente recherche expérimentale qui consiste à quantifier les effets bénéfiques de la collecte des eaux pluviales sur l'amélioration du rendement dans un premier temps. Il s'agit d'améliorer le développement des jeunes plants de l'olivier, ce qui va se traduire, dès la rentrée en production de l'olivieraie, par une amélioration de la production. Deuxièmement, il s'agit d'évaluer le stock d'eau avant et après chaque précipitation et enfin déterminer le gradient hydrique du centre vers les extrémités des impluviums.

Première partie : Etude bibliographique

I- Chapitre I : Etude du milieu et de l'environnement

I.1. Situation géographique

La situation géographique, les caractéristiques topographiques et l'orientation d'un bassin versant jouent un rôle dans son comportement hydrologique et il convient de les préciser, dès le début de toute étude.

Le bassin de la Soummam est situé à l'Est de l'Algérie. Il est limité au Nord par les chaînes montagneuses du Djurdjura auxquelles font suite les reliefs de l'Akfadou et qui se prolongent à l'Est par la chaîne de Gouraya-Aghbalou, au Sud les contreforts du mont du Hodna, à l'Est par les chaînes de Babors et le plateau de Sétif, et à l'Ouest, par le plateau de Bouira.

Le bassin de la Soummam couvre une superficie de 9125km^2 , soit 19% de la superficie totale du bassin Algérois-Hodna-Soummam. (DJAMED, 2003).

I.1.1. Présentation de la zone d'étude

La wilaya de Béjaïa répartie sur une superficie de 326 126 ha. Elle est limitée à l'Est par la wilaya de Jijel, à l'Ouest par Tizi Ouzou et Bouira, au Sud par les wilayates de Sétif et Bordj Bou Arreridj et au Nord par la mer méditerranéenne sur une longueur de 95Km.

La wilaya de Béjaïa est caractérisée par la prédominance de zones montagneuses. Elle se présente comme une masse montagneuse compacte et bosselée, traversée par le couloir formé par la vallée de la Soummam. (fig.1)

On peut distinguer :

- Une zone côtière
- La vallée de la Soummam
- La zone de plaines et piémonts
- La zone de montagne

Le secteur agricole de la wilaya de Béjaïa se caractérise par deux zones potentielles bien distinctes. La première est la zone de montagne avec environ 130.000 ha et la seconde est la zone de plaines et piémonts évaluées à 32600 ha environ.

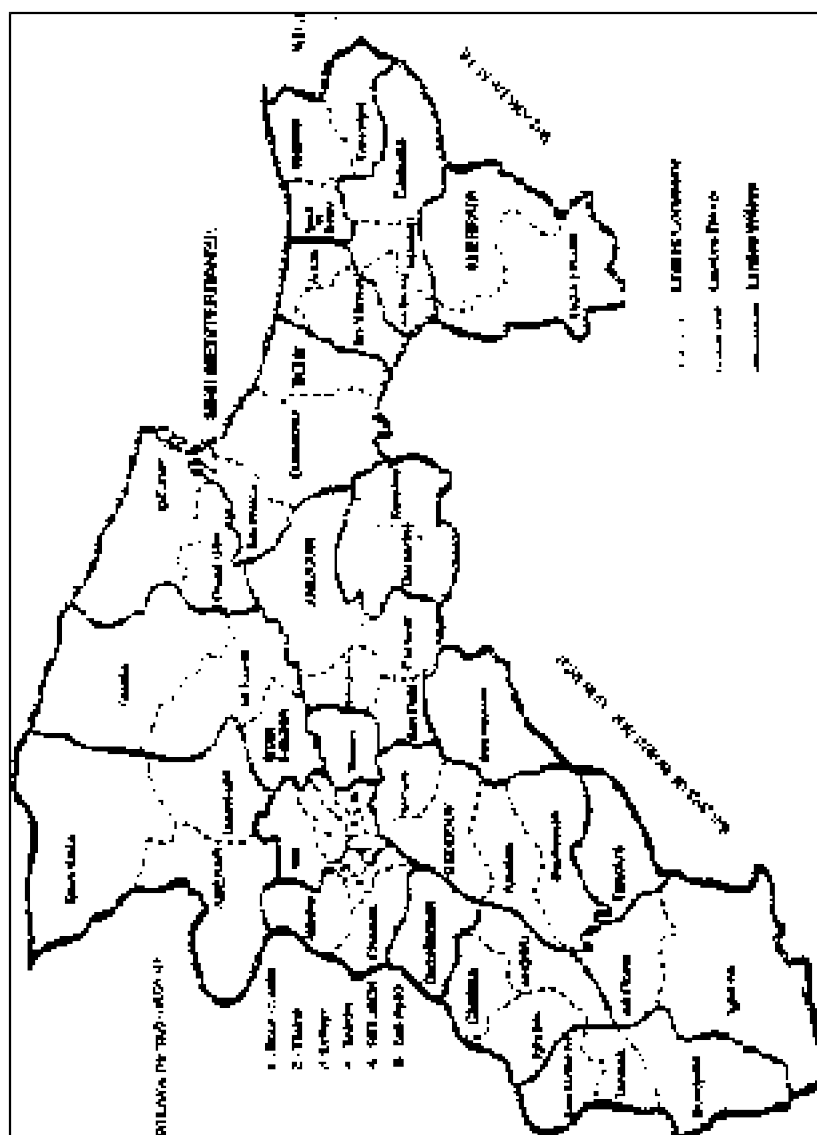


Fig.1 : Carte géographique de Béjaïa (chambre d'agriculture de Bejaia)

a. La zone de montagne

Dans cette zone, les spéculations les plus dominantes sont l'arboriculture rustique et l'élevage à caractère familial. L'oléiculture avec ses 49123 ha, qui représente 68% du parc arboricole de la wilaya, est la plus importante dans cette zone. Le figuier y occupe 14 564 ha environ. On y trouve aussi du caroubier et d'autres espèces d'arbres fruitiers rustiques généralement à noyaux.

b. La zone de plaines et piémonts

Dans les plaines côtières et la basse Soummam se pratique le maraîchage, l'agrumiculture avec respectivement 3200 ha et 1548 ha environ et l'élevage bovin intensif.

Dans la moyenne et la haute Soummam on y trouve principalement l'arboriculture en sec, les cultures maraîchères, les fourrages, avec 7000 ha dans les régions de Kherrata et d'Akbou, associées généralement à l'élevage ovin. On y trouve aussi des fourrages

secs.

I.1.2. Potentialités agricoles (statistiques agricoles série A et B 2000)

1. Surface agricole totale (SAT)

La wilaya de Bejaia possède une surface agricole totale de 162.609 ha

2. Surface agricole utile (SAU)

La surface agricole utile est de l'ordre de 129.169 ha soit 79,4% de la surface agricole totale. Elle se répartit entre les 19 daïra de la wilaya, la plus grande surface est enregistrée au niveau de Seddouk ; 15 801 ha alors que la daïra de Béjaia ne compte que 2.146 ha. (Anonyme, 1980).

Tableau 1 : Répartition de la SAU entre les différentes daïra de la wilaya de Béjaia

Bejaia	2146
Tichy	3398
Akbou	11459
Amizour	16 376
Adekar	2248
Seddouk	15801
Kherrata	9478
Timzrit	2890
Sidi Aich	5981
Chemini	4865
Souk El Tenine	3165
El Kseur	11451
Barbacha	5426
Darguina	5426
Beni Maouche	5310
Aokas	2888
Ouzellaguen	3465
Tazmalt	9932
Ighil Ali	9564
Total Wilaya	129169

*Diminution * Augmentation

Source : www.tavlast.net

3. Surface irriguée

Les surfaces irriguées de la wilaya sont estimées à 11.976 ha.

4 Répartition des surfaces utilisées par l'agriculture

La wilaya de Béjaia est une zone à haute potentialité agricole vue que ses terres sont aptes à conduire beaucoup de cultures. Nous avons la répartition suivante :

- Les cultures non irriguées
- Cultures herbacées

Elles occupent une superficie totale de 23.958 ha répartie comme suit :

- Céréales d'hiver : 11.563 ha (blé dur : 4.850 ha ; blé tendre : 650 ha ; orge : 3.440 ha ; avoine : 40 ha).
- Céréale d'été : 0 ha
- Légumes secs : 1.730 ha (fève féverole : 1.550 ha ; pois secs : 25 ha ; lentilles : 60 ha ; pois chiches : 75 ha ; haricots secs : 20 ha)
- Fourrages : 4,483 ha (vesce avoine : 1.55 ha, maïs, sorgho : 50 ha ; orge avoine et seigle en vert : 403 ha ; trèfle et Luzerne : 5 ha ; divers : 2.733 ha)
- Terres au repos ou jachères

Elles occupent 33.072 ha, réparties comme suit :

- Jachères fauchées : 7.020 ha
- Jachères pâturées : 23.372 ha
- Jachères travaillées au printemps : 2.680 ha.

Elles couvrent 1.279 ha de la SAT.

- Prairies naturelles
- Les cultures irriguées

Elles couvrent 70.295 ha, réparties comme suit :

- Oliviers : 49.215 ha
- Figuiers : 13.743 ha
- Agrumes : 1.553 ha ; espèces à noyaux et à pépins : 5.784 ha
- Cultures industrielles
- Plantations d'arbres

265 ha (tomate : 180 ha ; tabac : 85 ha).

- Cultures maraîchères

5.680 ha (pomme de terre : 1.029ha ; tomate : 359ha ; oignon : 841 ha ; melon pastèque : 408 ha, carottes : 39 ha ; piment : 190 ha ; poivrons : 270 ha ; concombre : 87 ha ; courgettes : 238 ha ; aubergine : 27 ha ; artichauts : 9 ha ; choux vert : 50 ha ; choux-fleurs : 90 ha ; navets : 230 ha ; fèves vertes : 411 ha ; haricots verts : 309 ha ; petits pois : 292 ha ; autres légumes : 489 ha.

- Vigne de table

La viticulture occupe une superficie de 565 ha.

- Autres cultures

Elles occupent une superficie de 29.850 ha.

- Passages et parcours

Ils occupent une superficie de 29.850 ha

- Terres improductives

Elles s'étendent sur 3.590 ha

I.1.3. Potentialités hydrauliques

La wilaya de Bejaia faisant partie d'une région assez arrosée dont le réseau hydrographique du bassin de la Soummam compte 09 principaux Oueds totalisant une longueur de 726km qui varie de 23 à 226km. (fig.2).

- Les oueds en nombre de 09 (Soummam, Azerou, Ataissa, O'Kriss, Eddous, Bousselem , El Main, Bouktou et Ziane) ;
- Un seul barrage, celui d'Ighil Emda (Kherrata) utilisé pour la production d'énergie électrique ;
- Retenues collinaires : 31 dont 14 fonctionnelles ;
- Forages : 94 exploités dont 26 situés sur les aires d'irrigation ; (plaines côtières et vallée de la Soummam) parmi lesquels on compte 12 opérationnels seulement ;
- Les puits : 2873 ;
- Des sources utilisées à des fins d'irrigation.

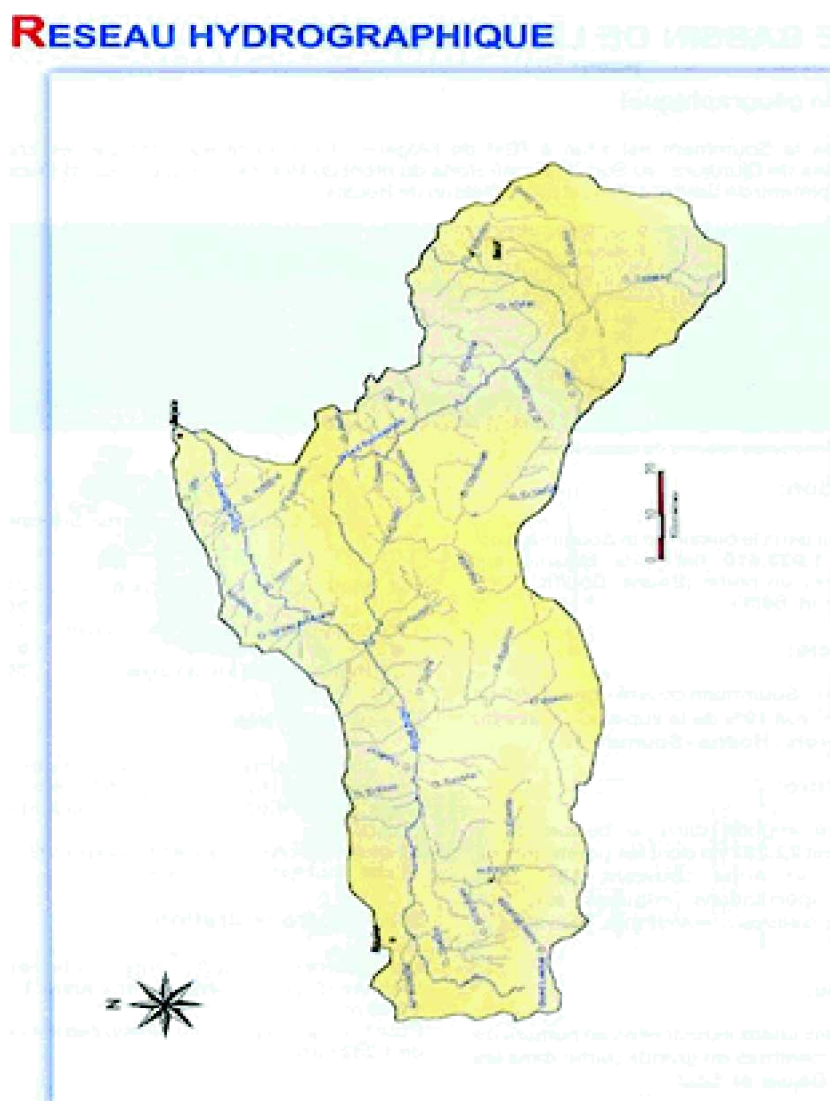


Fig. 2 : Réseau hydrographique de la wilaya de Bejaia (Source : Agence de bassin Algérois - Hodna – Soummam)

La mobilisation des eaux d'irrigation

Les potentialités en eau d'irrigation de la wilaya proviennent essentiellement de la nappe alluvionnaire de la Soummam d'un volume annuel de 65 millions de m^3 et des oueds Agrioun, Djemaa et Zitoun qui totalisent 15 millions de m^3 par an. Les besoins en eau d'irrigation s'élèvent à 35 millions de m^3 /an alors que le volume total mobilisé s'élève à 10.539 730 m^3 dont eaux souterraines 657 042 m^3 pour une superficie de 4666,2 ha, les forages situés sur les aires d'irrigations : 2.227 800 m^3 pour 953,10 ha soit alors 10.5399730 m^3 pour une superficie irriguée de 6851,80 ha.

La mobilisation des ressources hydriques superficielles est jugée très faible par rapport à la pluviométrie annuelle de la wilaya. Cela est du essentiellement au manque énorme en matière de barrage, de retenues collinaires et d'équipements nécessaires à la mobilisation des eaux au profit de l'agriculture.

I.1.4. Etude démographique

La population dans le bassin de la Soummam est estimée à 1.933.610 habitants répartis sur quatre wilayas en partie (Béjaia, Bouira, Bordj Bou Arreridj et Sétif).

La population totale de la wilaya est estimée à la fin de l'année 1999 à plus de 915.000 personnes contre 905.000 en 1998 soit une augmentation absolue d'environ 11.200 et un taux d'accroissement de l'ordre de 1.24%.

I.2. Etude climatique

Les conditions climatiques ne sont pas uniformes, elles varient suivant la continentalité et conditionnent la production et déterminent les besoins en irrigation.

Le climat algérien, qui est du type méditerranéen est bien caractérisé par :

- La concentration des pluies à l'époque froide de l'année ;
- La coïncidence de la sécheresse avec les mois chauds.
- La wilaya de Béjaia est caractérisée par deux saisons distinctes :
- Une saison chaude allant du mois de mai à octobre
- Une saison relativement douce et humide allant du mois d'octobre à avril

Dans le climagramme d'emberger, la région se situe dans l'étage sub-humide à hiver doux, avec une pluviométrie annuelle de 727,2mm.

I.2.1. Pluviométrie

La pluviométrie moyenne pour l'ensemble du bassin est de 511mm, oscillant entre 300 et 1.000mm en augmentant d'Ouest à l'Est La wilaya de Béjaia reçoit en moyenne 670 à 1000mm de pluie par an.

La pluviométrie moyenne mensuelle relevée sur dix ans de 1994 à 2003 est donnée par le graphique suivant :

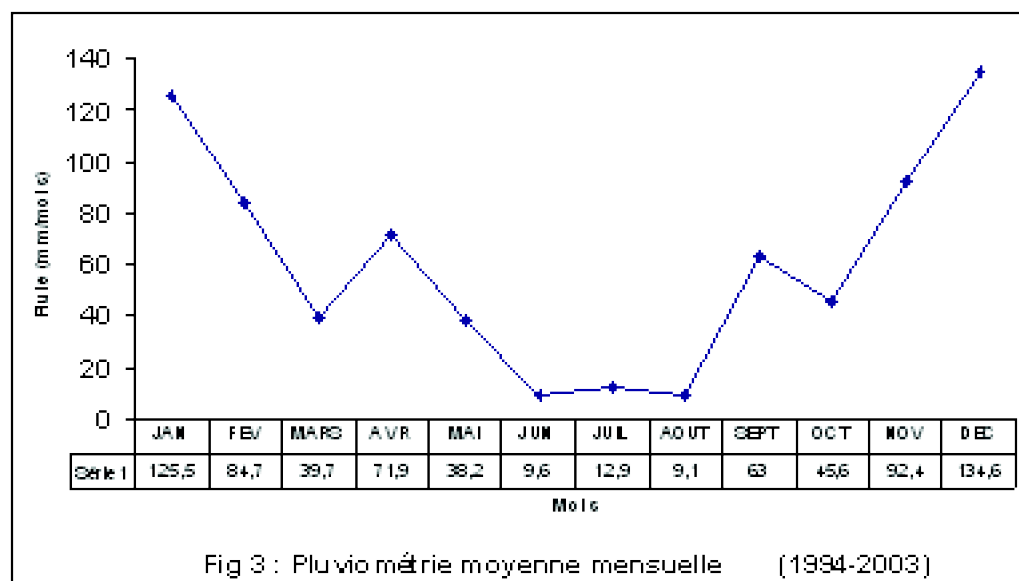


Fig.3 : Pluviométrie mensuelle (1994-2003)

Source: (Bathily, 2003)

Là, les mesures sont faibles sur une dizaine d'années nous montrent une alternance des précipitations au cours de l'année. Les périodes les plus arrosées sont entre celles de novembre, décembre, janvier et février avec des précipitations supérieures à 80 mm par mois. Cependant, nous remarquons que les mois déficitaires en pluies sont juin, juillet et août avec de très faibles pluies (moins de 15 mm par mois).

I.2.2. Caractéristiques thermiques

L'étude hydrologique d'un bassin devrait comporter l'analyse de son bilan thermique, dans lequel interviendrait non seulement la chaleur apportée par le rayonnement, mais aussi les échanges de chaleur entre le sol, l'atmosphère, les nappes d'eau, les masses glacières, etc.

Importance de la température

La température, second facteur consécutif du climat, influe sur le développement de la végétation et le fonctionnement du système racinaire et elle affecte les relations physiologiques entre les organes souterrains et les organes aériens, d'après (GRECO, 1966).

Les températures moyennes mensuelles relevées sur dix ans de 1994 à 2003 sont représentées par le graphique suivant :

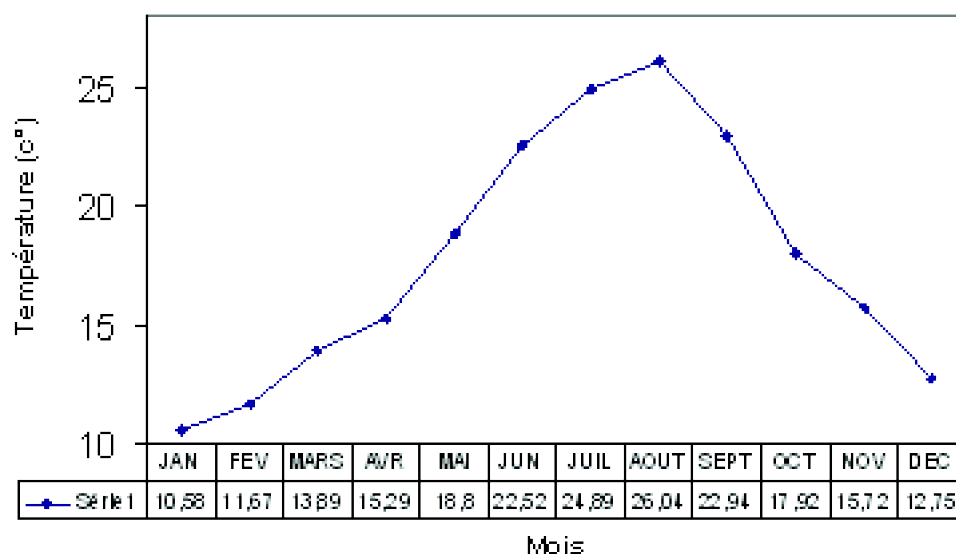


Fig.4 : Température mensuelle moyenne du vent (1994-2003)

Source : (BATHILY, 2003)

Nous remarquons qu'au cours de l'année, les variations de températures suivent presque une loi gaussienne avec un pic enregistré au mois d'août (26.4°C) alors que la plus faible température est enregistrée au mois de janvier (10.58°C).

L'analyse des températures enregistrées durant la dernière décennie (94-03) montre que la température mensuelle la plus élevée est enregistrée durant le mois d'août 1994 (28,1°c) alors que la plus basse est enregistrée en janvier 2000 (9°).

1.2.3. Les vents

Dans la vallée de la Soummam, les vents dominants sont les vents du Nord-Ouest (vents marins qui s'engouffrent facilement dans la vallée de la Soummam). En hiver, ils apportent les nuages, la pluie. En été, ce sont les vents Sud-est qui sont beaucoup moins importants et surtout le vent Sud, le sirocco, vent sec d'intensité variable ayant une action funeste sur la végétation.

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen sur dix ans sont données par le graphique :

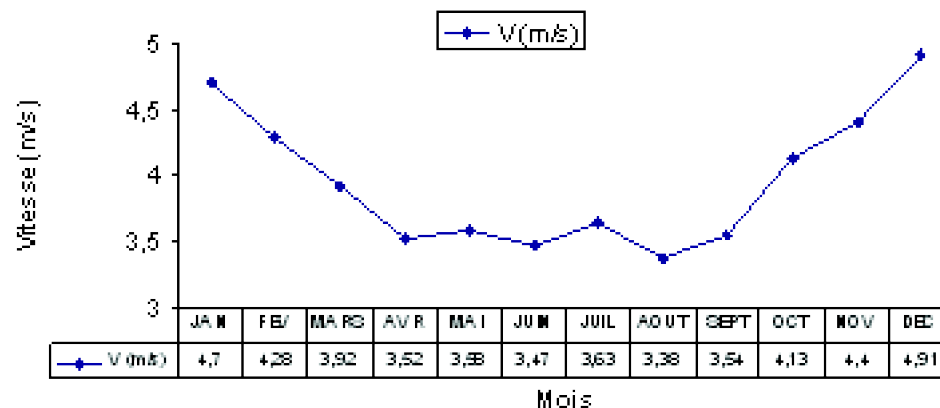


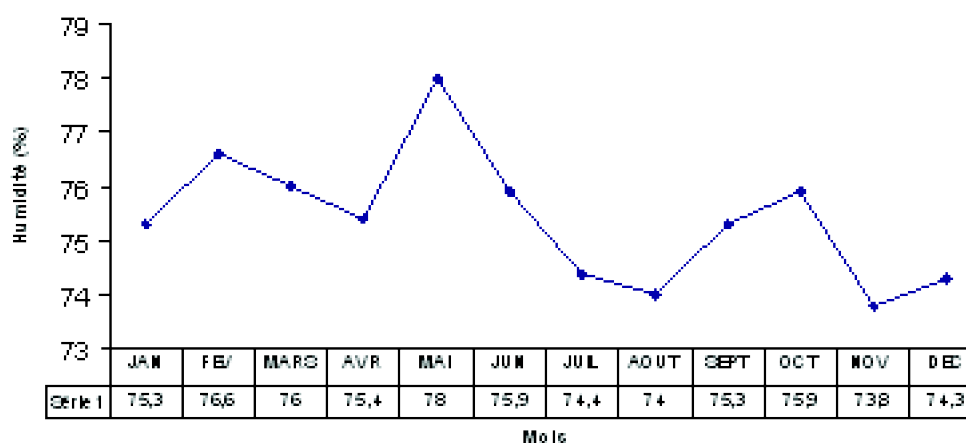
Fig.5 : Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003)

Source : (BATHILY, 2003)

La vitesse du vent la plus faible a été enregistrée le mois d'août de l'ordre de 3.38m/s contrairement à la période hivernale où les vents sont froids et violents surtout dans le mois de décembre et janvier dont la vitesse du vent varie entre 4,91 et 4,7 m/s.

I.2.4. L'humidité relative

Les moyennes mensuelles d'humidité relative en pourcentage sur une période de dix ans allant de 1994 à 2003 sont représentées par le graphe suivant :

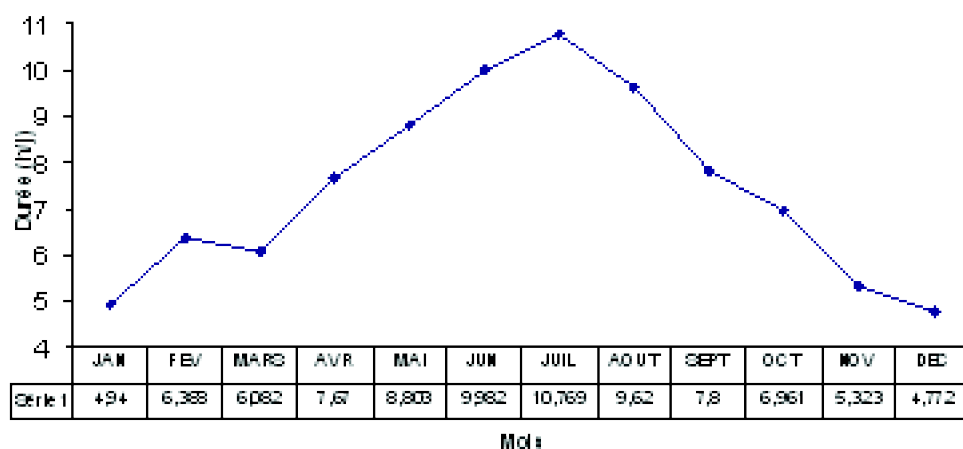
**Fig.6 : Humidité mensuelle moyenne (1994-2003)**

Source : (BATHILY, 2003)

L'humidité de l'air oscille autour de 76 %, cela est dû à l'influence de la mer et à l'importance du couvert végétal (évapotranspiration).

II.2.5. Durée d'insolation

Les moyennes pentadaires des insolation totales sont comme suit sur une période de dix ans :

**Fig.7 : Durée d'ensoleillement moyenne (1994-2003)**

Source : (BATHILY, 2003)

La durée d'insolation la plus importante est enregistrée en juillet (10,77 h/j) et celle la plus faible en décembre (4,77 h/j)

I.2.6. Diagrammes ombrothermiques

Gausson a proposé de considérer comme mois sec celui où le chiffre des précipitations moyennes (P) exprimées en millimètres était inférieur à celui des températures moyennes (t) multiplié par deux (2) : $P < 2 \times t$

C'est ainsi que des diagrammes dits "ombrothermiques" ont été tracés pour les principales régions du monde en dessinant les précipitations et les températures à partir de deux échelles différentes (P en mm = 2 x t en °C).

Quand la ligne des précipitations est en dessous de celle des températures, le mois est sec. Ces diagrammes permettent de calculer très facilement le nombre de mois secs, les saisons sèches, et de comparer d'une manière élégante les régions à climat semblable (HUFTY, 2001).

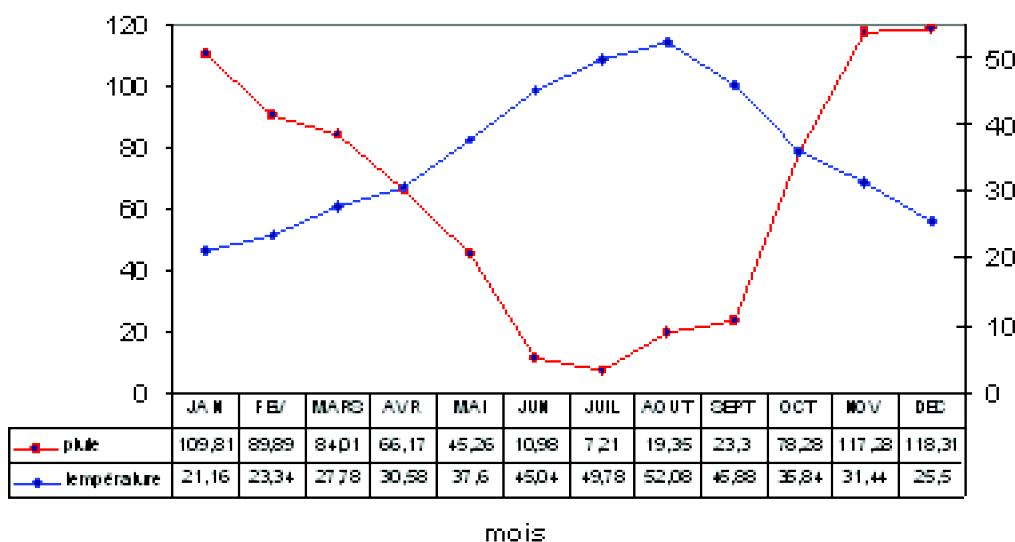


Fig.8 : Courbe ombrothermique (1994-2003)

D'après nos résultats, notre période sèche débute en mai et se poursuit jusqu'en fin août.

Cependant, en tenant compte de notre hypothèse de départ (celle de Gausson), seuls les mois de mai, juin, juillet et août représentent la période sèche de la zone d'étude, représentée dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Détermination de la période sèche par la méthode de Gausson

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Pluie (mm)	125.5	84.7	39.7	71.9	38.2	9.6	12.9	9.1	63	45.6	92	134.6	727.2
Peff (mm)	100,4	67,7	31,7	57,5	30,5	7,7	10,3	7,3	50,4	36,5	73,6	107,7	581,8
T (°C)	10,58	11,67	13,89	15,29	18,8	22,52	24,89	26,04	22,94	17,92	15,72	12,75	
2*T (°C)	21,16	23,34	27,78	30,58	37,6	45,04	49,78	52,08	45,88	35,84	31,44	25,5	
P<2*T	N	N	N	N	O	O	O	O	N	N	N	N	

I.2.7. L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle annuelle calculée d'après l'ANRH varie entre 1.214 et 1.569 mm.

Pour la majeure partie du bassin, elle est de l'ordre de 1382 mm (agence de bassin, Algerois-Hodna-Soummam, 2003).

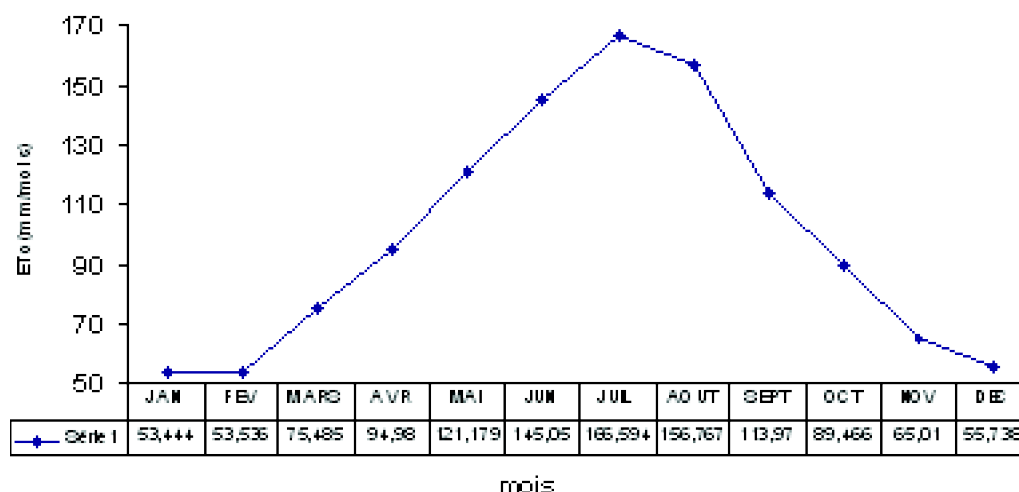


Fig.9 : ET_0 mensuelle moyenne (1994-2003)

Source : (Bathily, 2003)

Ce graphique montre que le mois le plus chaud n'est pas forcément celui qui présente la plus grande demande climatique. Le mois de juillet enregistre la demande climatique la plus élevée (166,594 mm par mois), ce phénomène pourrait s'expliquer par l'influence des autres facteurs climatiques entre le vent et l'humidité. Un vent fort et humide favorise une évapotranspiration intense contrairement à un vent doux et sec.

I.2.8. Autres phénomènes climatiques

Un récapitulatif des moyennes mensuelles des différentes observations de quelques phénomènes climatiques sont représentées dans le tableau 7(annexe 1).

A titre d'exemple, on observe des orages 28,1 fois par an ; les gelées 0,2 fois par an. Ces informations sont d'une grande utilité pour l'agriculteur, pour une bonne conduite de

ses cultures, lui permettant ainsi de se préparer contre les accidents météorologiques.

I.2.9. Détermination des besoins en eau des cultures

On sait que pour déterminer les besoins en eau des cultures, il faut tenir compte de tous les éléments ci-après : climat (t° , H%, vent, pluie, etc.) et des informations régionales sur l'agriculture.

Les besoins en eau des cultures sont directement reliés à un paramètre climatique qui est l'évapotranspiration de référence ET_0 (SMITH, 1992), et vu la complexité de la mise en œuvre d'un dispositif de mesure de l'ETP, il est presque toujours préférable de recourir à des méthodes suffisamment variées, et adaptées à différents climats. De plus, une bonne estimation vaut mieux qu'une mauvaise mesure. Pour le calcul de ce paramètre nous citons quelques méthodes :

- La formule de Blaney-Criddle ;
- La formule de Penman ;
- La formule de Turc ;
- La méthode du Bac d'évaporation ;
- La méthode informatique qui est une programmation de la formule de Penman-Monteith.

Cependant, la méthode de Penman-Monteith a été recommandée comme étant la plus appropriée pour déterminer l'évapotranspiration lorsqu'on dispose des données climatiques sur :

- La température
- L'humidité
- L'insolation
- La vitesse du vent

Elle est donnée par la relation suivante (DOORENBOS et PRUITT, 1986) :

$$ET_0 = C^X [W.R_n + (1-W) \times f(\mu) (e_a - e_d)]$$

Où :

ET_0 : Evapotranspiration de la culture de référence (mm/jour) ;

W : facteur de pondération lié à la température ;

R_n : Rayonnement net en évaporation équivalente (mm/jour) ;

$f(\mu)$: fonction liée au vent ;

$(e_a - e_d)$: différence entre la tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air et la tension de vapeur réelle moyenne de l'air (millibars) ;

C : facteur de correction pour compenser les conditions météorologiques diurne et nocturne.

Mais la formule de Penman est l'une de celles que donnent universellement les meilleures approximations de l'ETP, elle est aussi celle qui reproduit le plus fidèlement les variations saisonnières de cette donnée. En fin, nous notons que les résultats obtenus sont d'autant plus précis que le pas de temps choisi est court.

La méthodologie générale adoptée dans cette étude repose sur l'utilisation de logiciel CROPWAT 4 Windows version 4.3, à partir des données relatives au climat, aux cultures et au sol. Ces programmes sont réalisés par la F.A.O. et fonctionnent sur PC.

Pour le calcul de l' ET_0 , les données climatiques doivent être collectées à la station météorologique la plus proche et la plus représentative. Les données climatiques ont été fournies par les services météorologiques (ONM de Béjaia).

1. Information de base sur la station climatique

Il s'agit d'une brève description de la zone d'étude.

Les informations demandées sont :

Pays : Algérie

Station : Béjaia Soummam

Altitude : 1,8 m (relevée au port)

Latitude : 36,72° Nord

Longitude : 5,07° Est

2. Données climatiques mensuelles

Pour chaque mois, on introduit les températures moyennes maximales et minimales (°C), l'humidité relative (%), la vitesse du vent (m/s) et l'insolation journalière (heures).

3. Résultats

Les résultats des calculs de ET_0 sont présentés avec les données climatiques dans un tableau récapitulatif de toutes les données climatiques saisies

Donc pour procéder au calcul des besoins en eau des cultures, on procède comme suit :

L'entrée et le traitement des données mensuelles concernant l'évapotranspiration et la précipitation ;

L'entrée des données concernant la culture et la date de plantation ;

Fixation du pourcentage de sol occupé par la ou les cultures ;

Description du type de sol avec ses différents paramètres ;

Le choix de la méthode de calcul ;

Le calcul des besoins en eau des cultures.

I.3. Le bilan hydrique dans un bassin ou sur un site

Les pluies et le bilan hydrique régional sont parmi les paramètres du climat les plus

difficiles à reconstituer dans le passé. Leur étude est cependant primordiale puisque ce sont ces paramètres qui conditionneront en priorité l'évolution de la biosphère lors d'un changement climatique.

I.3.1. Connaissance des éléments du bilan hydrique et rôle des différents termes

Le suivi du bilan hydrique des sols est une opération complexe, car il n'existe pas actuellement d'appareil simple pour mesurer en routine le volume d'eau du sol. Il y a bien la sonde à neutrons, appareil précis mais d'une manipulation délicate. En étude de routine, on préfère calculer la réserve d'eau du sol à partir des données élémentaires fournies par les stations météorologiques : pluviométrie, température et humidité de l'atmosphère, la vitesse du vent et insolation

Pour établir un bilan hydrique qui consiste à déterminer, au niveau d'une parcelle ou d'un périmètre :

- D'une part la quantité totale d'eau reçue ;
- Et d'autre part la quantité totale d'eau perdue.
- Les quantités reçues proviennent :
- De la pluie
- De l'irrigation
- De la contribution du sol à l'alimentation hydrique.

Les pertes en eau sont dues :

- A l'action des processus énergétiques au niveau de la plante et du sol (ETP, ETM).
- Au ruissellement ;
- Au drainage ; percolation, infiltration profonde.

Donc le bilan hydrique s'exprime par la formule suivante :

$$\Delta S = P + I - E - D$$

Dans laquelle :

ΔS est la variation du stock d'eau du sol sur la profondeur d'action du système racinaire :

P est la pluie efficace (stockée dans le sol et réutilisable par la plante) ;

I est l'irrigation ;

E est l'évapotranspiration de la plante liée à l'évapotranspiration potentielle "ETP" (donnée climatique) par un coefficient en fonction de la référence ETP, de la plante et de son stade phénologique, de l'objectif de production ;

D est appelé drainage mais c'est une notion plus large que celle du drainage correspondant à une évacuation de l'eau excédentaire ; lorsque la valeur est positive, la zone d'action du système racinaire perd de l'eau vers la profondeur (écoulement en saturé

ou non saturé ; lorsque la valeur est négative, les horizons profonds participent à l'alimentation en eau des plantes ;

R est le ruissellement. Une valeur positive correspondant à une perte d'eau évacuée de la parcelle et une valeur négative à un apport extérieur. Généralement, en situation topographique de très faible pente ce terme est négligé. (LUC, 1988).

I.3.1.1. Pluie efficace

La pluie efficace c'est la quantité d'eau qui pénètre dans le sol et qui constitue la réserve utile ; une partie descend vers la nappe quand la capacité maximale de la réserve utile est dépassée ou d'un autre sens c'est uniquement des deux points qu'il s'agit (l'eau perdue par excès est en effet calculée directement par le bilan hydrique pas à pas). (DASTANE, 1977)

L'importance de l'eau perdue par ruissellement est variable selon :

L'intensité des pluies ;

La pente du terrain

La perméabilité du terrain

Il est très difficile d'apprécier de façon correcte l'efficacité des pluies qui est liée aux conditions locales le plus souvent, les formules d'estimation proposées sont des relations linéaires dont les coefficients varient avec les hauteurs d'eau.

En pratique, on pourra utiliser par exemple le modèle suivant proposé par le service agricole de l'IRAT.

Si $P < 20 \text{ mm}$ \square Ruiss = 0

$P \text{ eff.} = P$

Si $P > 20 \text{ mm}$ \square Ruiss = $0,15 (P-20)$

$P \text{ eff.} = P - \text{Ruiss}$

$$\text{Avec } \begin{cases} P = \text{pluie journalière en mm ;} \\ \text{Ruiss} = \text{Ruissellement en mm ;} \end{cases}$$

$P \text{ eff.} = \text{Pluie efficace en mm}$

Sur des sols bien aménagés, on peut prendre une formule plus simple :

$\text{Ruiss} = 0,1 P$;

$P \text{ eff.} = 0,9 P$

En fait, il est toujours bon de pouvoir procéder à des mesures sur le terrain.

Pour tenir compte des pertes dues au ruissellement de surface et à la percolation profonde, le programme utilise les précipitations efficaces. Elles représentent la quantité d'eau réellement exploitable et nous sommes basés sur la méthode USDA-SCS (United

States Department of Agriculture- Soil Conservation Service) ou les précipitations efficaces peuvent être calculées par des formules recommandées par le USDA-SCS. Nous avons les relations suivantes :

$$\text{Effective R} = (125 - 0,2 \times \text{total R}) \times \text{Total R} / 125 \text{ if } (\text{total R} < 250 \text{ mm/month}).$$

$$\text{Effective R} = 0,1 \times \text{total R} - 125 \text{ if } (\text{total} > 250 \text{ mm/month})$$

Où effective R = pluie efficace

Total R = pluie totale (DERECK, 1998).

Cependant, d'autres formules existent pour la détermination de la pluie efficace comme:

Les formules pour les précipitations de projet, basée sur une analyse réalisée pour différents climats, aride et sub-humide ou à partir des paramètres pouvant être déterminés à partir d'une analyse des données climatiques locales ;

La formule la plus simple donnée par la relation suivante :

$$P \text{ eff.} = a \times P \text{ tot}$$

Dans laquelle "a" est une fraction donnée par l'utilisateur pour tenir compte des pertes par ruissellement et percolation profonde. En général, les pertes avoisinent 10 à 30% auquel cas $a = 0,7$ à $0,9$ (SMITH, 1992).

Ainsi donc, nous avons directement après introduction des pluies, les pluies efficaces correspondantes calculées selon la méthode choisie par l'utilisateur.

Les valeurs mensuelles de ET_0 , P_{tot} et P_{eff} sont présentées dans un tableau complété par des informations sur la méthode utilisée par le calcul des précipitations efficaces.

I.3.1.2. Variation de stock

L'étude de la variation des stocks pourrait se conduire indirectement à partir de l'humidité en fonction de la profondeur.

Pour évaluer la variation du stock, les déterminations sont généralement effectuées à l'aide de la sonde à neutrons.

On détermine des profils hydriques de référence, en effectuant des séries de mesures à des époques où le terrain a des chances d'être proche de la capacité au champs.

Donc à partir de ces valeurs d'humidité, on détermine le stock d'eau dans chacune des tranches choisies et ce stock est défini comme l'intégrale $\int_x^z \theta dz$, il représente la quantité d'eau par unité de surface contenue dans une tranche de sol

I.3.2. Profil hydrique

Le profil hydrique permet de tracer la variation de l'humidité volumétrique entre deux

temps et dans le même endroit à une profondeur voulue.

Les profils hydriques d'un couvert végétal sont conditionnés par les ressources hydriques du sol, le stade de développement de l'appareil végétatif et surtout du système racinaire des plants.

Suite à une pluie ou irrigation, le profil hydrique peut être influencé par l'évaporation quand elle est intense, elle réduit la redistribution en profondeur et le drainage interne qui déplace l'eau vers le bas à cause des gradients gravitationnels au sein des couches les plus profondes du sol (HILLEL, 1984).

I.3.3. Utilisation des profils hydriques dans la résolution du bilan hydrique

Les variations de stock d'eau (ΔS) sur la profondeur 0-Zi, mesurées à l'aide de la sonde à neutrons sont traduites par des courbes Cv en fonction de la profondeur et du temps. Ces courbes sont appelées 'profils hydriques'.

Ces variations de stock nous renseignent sur l'évolution de la réserve d'eau, dans une couche de sol déterminée.

I.3.4. Méthodes d'établissement du bilan hydrique

De nos jours, il existe plusieurs méthodes d'évaluation du bilan hydrique, à savoir :

Cases lysimétrique ;

Bassins versants

Erosion et ruissellement

Etude par variation de stock

Méthodes basées sur la détermination de la zone de flux nul.

II-Chapitre II : Ressources hydriques

II.1. Introduction

La connaissance des conditions climatiques joue un rôle très important dans les études de planification économique, elle permet de mieux maîtriser les apports non contrôlés qui engendrent le bon fonctionnement du système de prévision et de gestion des ressources hydriques à court terme et à long terme, et ainsi d'assurer les meilleures conditions d'optimisation de la construction des ouvrages hydrauliques.

II.2. Réserves souterraines

II.2.1. L'origine

Les eaux souterraines dont l'origine est liée au cycle de l'eau, proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Elle s'accumule, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi réservoir d'eau souterrain appelé aquifère. Les nappes souterraines fournissent ainsi presque le tiers de débit total de tous les cours d'eau de la planète, soit environ 12000 kilomètre cube d'eau par an. (MUSY, 2004)

Les eaux souterraines cheminent à des vitesses très différentes qui dépendent de la nature des sols ; plus la taille des porosités du sol est grande ; plus la vitesse est rapide.

Les eaux souterraines forment alors de véritables lacs et rivières souterrains, les lacs pouvant avoir jusqu'à 100 mètres de long et les rivières parcourir jusqu'à 10 kilomètres en souterrain.

Dans les régions constituées de calcaire ou de granite peu fissuré, de craie, de sable ou d'alluvions, leur infiltration est lente. Donc les eaux souterraines ont un rôle de régulation extrêmement important. Ce sont elles qui alimentent ce que l'on appelle le « débit de base » des cours d'eau ou débit d'étiage et les nappes captives pour la régularisation du débit d'eau.

II.2.2. L'écoulement souterrain

L'eau séjourne dans l'aquifère et s'écoule à travers les roches qui le constituent. Cet écoulement est ralenti par les difficultés qu'éprouve l'eau à se frayer un passage à travers les milieux poreux. C'est ce qui fait que l'eau s'accumule dans l'aquifère pendant les périodes pluvieuses ou le phénomène d'évaporation est faible, l'humidité des sols favorise l'infiltration, et les plantes qui vivent ou ralentissent, consomment beaucoup d'eau (BLAVOUX et LETOLLE, 1995).

Les eaux souterraines reconstituent donc leurs réserves pendant les périodes de sécheresse. Au contraire, en l'absence d'un apport, l'eau accumulée s'écoule et le niveau de la nappe qui a été remontée, baisse lentement ; l'aquifère a un rôle régulateur. Mais elles continuent à alimenter les cours d'eau sauf lorsque l'hiver a été trop sec, de même, dans les pays tropicaux secs, les nappes reconstituent leurs réserves durant la saison sèche qui dure longtemps et les cours d'eau finissent le plus souvent par tarir. Ces techniques sont bien maîtrisées dans le monde arabe, particulièrement en Jordanie, Syrie et le Yémen ((Mouhouche, 2005).

II.2.2.1. Les phénomènes d'écoulement de l'eau souterraine

Dans un sol saturé, l'eau est fortement influencée par les gradients de succion et son mouvement. Par contre, l'eau souterraine est toujours sous une pression positive et sature le sol ; par conséquent, il n'existe ni gradient de succion ni variation de teneur en eau ou de conductivité en dessous de la nappe phréatique et la conductivité hydraulique est maximale et relativement constante dans le temps.

L'eau souterraine est souvent maintenue et sa position déterminée par le régime de percolation de la pluie ou de l'eau d'irrigation à travers la zone non saturée.

Un des problèmes soulevés quand on essaye de distinguer entre les zones saturées et non saturées. Les circonstances diverses ou les conditions aux limites sous lesquelles se réalise l'écoulement de l'eau souterraine ont été élucidées par (CHILDS et HOPMANS ,1993).

Si la profondeur de la nappe phréatique est constante, cela signifie que le débit d'eau qui entre dans la nappe est égal au débit qui en sort.

Une montée ou une descente de la nappe signifie respectivement recharge ou évacuation de l'eau souterraine, ces déplacements verticaux de la nappe peuvent se produire périodiquement, comme par exemple à la suite d'un régime de fluctuation saisonnière de la précipitation ou de l'irrigation.

Dans certains cas, des eaux souterraines de densité différentes (dues aux différences de salinité ou de température) peuvent entrer en contact, ou interface entre les deux masses d'eau, des phénomènes de déplacements avec mélange peuvent être observés.

II.2.2.2. La gestion des eaux souterraines

Les problèmes invisibles retiennent rarement l'attention exclusive des décideurs jusqu'à ce qu'il soit presque, si non déjà trop tard. C'est particulièrement dangereux quand il s'agit de gérer des eaux souterraines et des aquifères, en raison de deux vérités insidieuses.

Premièrement, les risques de mauvaise gestion (à cause de sur pompage ou de pollution).

Deuxièmement, les problèmes eux-mêmes (tarissement, contamination) ne deviennent jamais incontestablement évidents avant d'être difficiles sinon impossibles à régler.

Deux projets réalisés en Inde, l'un d'eux a été mené auprès d'environ 10 000 familles tribales, très pauvres, dans trois villages de l'intérieur du plateau du Deccan. L'autre a été réalisé dans le milieu plus humide de North Bihâr avec des agriculteurs qui étaient moins pauvres et moins dispersés.

Deux groupes différents dans deux situations différentes, mais des résultats remarquablement similaires. La production agricole a augmenté tout comme la disponibilité d'eau salubre. La conservation du sol et de l'eau s'est aussi améliorée grâce à des systèmes d'irrigation d'entreposage et de distribution plus efficaces. Il est important de signaler que des résultats semblables ont été enregistrés dans une recherche sur l'utilisation combinée des eaux souterraines et de l'eau de surface, bien que l'expérience ait été plus étroitement contrôlée.

Enfin, la gestion des eaux souterraines demande autant une connaissance approfondie des collectivités et de leurs besoins que de la technologie du forage, de puits profonds. La recherche sur les eaux souterraines a d'abord porté sur les problèmes techniques de la quantité et de la qualité de l'eau. Lorsque les pompes mécaniques sont apparues, les hommes se sont soudain mis à participer d'avantage à la gestion de l'eau, en particulier à l'irrigation. (BROOKS et al., 1991).

Les ressources hydriques au niveau du bassin versant de la Soummam sont mobilisées de la façon suivante :

Potentialités en eau

a. Les eaux souterraines

Les unités hydrogéologiques du bassin se répartissent comme suit :

- Nappes de la haute et moyenne Soummam ;
- Nappe de la basse Soummam ;
- Nappe d'EL Asnam ;
- Nappe des hautes plaines Sétifiennes.

L'estimation de la ressource en eau souterraine dans le bassin de la Soummam faite sur la base des résultats du Plan National de l'Eau, basée sur la méthode d'approche pluie infiltration a abouti aux résultats donnés dans le tableau suivant :

Tableau 4 : Ressources en eau souterraines dans le bassin de la Soummam

Source de l'étude	Méthode utilisée	Potentialité (Hm3)
PNE	Pluie- infiltration	153

Source : Agence de bassin Algérois - Hodna – Soummam Avril 2003

Aperçu hydrogéologique de la wilaya de Béjaia

a. Aquifères de la wilaya

Il existe trois aquifères potentiellement exploitables :

- Nappe alluviale alimentée par les oueds, Soummam, Bousselam et Sahel ;
- Nappe côtière Est ;
- Nappe aquifère karstique (Kherrata, Ouzellaguen, et Akfadou).

Les réserves exploitables de la nappe alluviale Sahel et Soummam sont estimées à :

- 48Hm³ pour la haute Soummam (entre Chorfa et Sidi-Aich),
- 24Hm³ pour la basse Soummam (Sidi-Aich à Oued Ghir),

Les réserves exploitables de la pluie côtière sont estimées à 16 Hm3. Les réserves des autres nappes aquifères n'ont pas été évaluées.

II.3. Les eaux superficielles

II.3.1. Bassin hydrographique de la wilaya de Béjaia

Il existe 11 bassins hydrographiques dont le plus important est le bassin de la Soummam :

1. Soummam : c'est le bassin le plus important, drainé par l'oued Soummam, divisé en plusieurs sous bassins :

*Amizour (oued Amizour)

*Amassine (oued Amassine)

*Bousselam (oued Bousselam)

*El ksour (oued El ksour)

1. Ouzellaguen (Ighzer Amokrane)

2. Agrioun= drainé par l'oued Agrioun

3. Djemaa= drainé par l'oued Djemaa

4. Zitouna= drainé par l'oued Zitouna

5. Djebira= drainé par l'oued Djebira

6. Icherfaen= drainé par l'oued Icherfaen

7. Saket= drainé par l'oued Saket

8. M'raid= drainé par l'oued M'raid

9. Dass= drainé par l'oued Dass

10. Taida= drainé par l'oued Taida

11. Kerrou= drainé par l'oued Kerrou

Le bassin de la Soummam compte :

* Deux barrages en cours de construction d'une capacité de 247 Hm^3 .

* Deux barrages en exploitation d'une capacité totale de 155 Hm^3 ;

* 73 retenues collinaires d'une capacité totale de 13 Hm^3

Ces données sont illustrées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Barrages

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Barrages	Oued	Surface BV du barrage (km)	Capacité (Hm)	Volume régularisé (Hm ³ /an)	Destination	An en
Ain Zada	Bousselam	2080	125	50	Sétif, BBA, et El Eulma	19
Lakhel	Lakhel	189	30	17	Ain Bessam, Sour El Ghozlane et El Hachimia	19
Sous total			155	67		
Tichy Haf	Bousselam	1520	80	150	AEP et AEL de Bouira et villes limitrophes	En
Tilesdit	Edous	843	167	73	AEP et AEL du couloir Akbou	En
Sous total			247		223	
total			402	290		

Source : Agence de bassin Algérois –Hodna- Soummam

II.4. Ecoulement des eaux de surface

II.4.1. Introduction

Dans la quasi-totalité des pays où il pleut, le sol renferme en temps normal de l'eau un profil habituel de la qualité d'eau contenue en fonction de la porosité et de la perméabilité du sol. En dessous d'une certaine cote, la teneur en eau n'augmente plus avec la profondeur, le sol est dit saturé ; tous les vides du sol contiennent de l'eau, cette eau est dite appartenir à la nappe phréatique. Au-dessus de cette cote le sol est dit non saturé, les vides du sol contiennent simultanément de l'eau et de l'air.

II.4.2. Ruissellement

Le ruissellement de surface constitue la part de la pluie qui n'est pas absorbée par le sol et ne s'accumule pas à la surface mais s'écoule dans le sens de la pente et se concentre en rigole et torrents. Le ruissellement se déclenche lorsque l'intensité de l'apport est supérieure à la capacité d'infiltration du sol. La vitesse d'infiltration de l'eau est fonction de la texture et de l'état structural de la surface du sol. Elle dépend fortement de la teneur en eau et décroît à mesure que l'humidité du sol augmente. (ZWAHLEN et al , 2002).

Le ruissellement constitue un risque, même sur pente faible, lorsque le sol est saturé d'eau ou qu'il est au contraire très sec, son importance est lié à l'état de surface du sol, à la pente, à l'occupation des sols aux pratiques culturales (DUVOUX et GRIL, 1991). Cet écoulement est le moteur de l'érosion linéaire ou en nappe. Il provoque le transfert rapide des éléments solubles (comme les nitrates ou les produits phytosanitaires) vers les eaux superficielles.

Dans certains sols présentant à faible profondeur un horizon peu perméable, on peut observer pour les fortes humidités, un écoulement préférentielle de l'eau dans la couche de surface. La topographie renforce l'intensité de ces écoulements, dits de surface ou hypodermique, qui constituent un mode de transfert rapide, et différé des éléments solubles vers le réseau hydrographique ou les nappes peu profondes.

II.4.3. Circulation de l'eau dans le sol

II.4.3.1. Généralités

Les processus de circulation de l'eau dans le sol sont en général très compliqués et difficiles à décrire quantitativement à cause de la variabilité spatiale de l'état et de la teneur en eau du sol pendant l'écoulement (HILLEL, 1984). Durant ces dernières années, la circulation de l'eau en milieu poreux non saturé est devenue l'un des sujets les plus importants. Dans ce contexte, on peut dire que le transfert de l'eau entre deux points du sol est dû à une différence de potentiel de l'eau ou plus généralement à un gradient de potentiel. L'eau va s'écouler dans le sens des potentiels décroissants, son état est plus stable quand son énergie potentielle est faible.

a. Le potentiel de l'eau dans le sol

Le mouvement de l'eau dans le sol peut être divisé en trois parties :

- Un mouvement ascendant
- Un mouvement descendant
- Un mouvement latéral

Tout mouvement de l'eau s'effectue sur un gradient de potentiel total. On appelle de l'eau du sol l'énergie nécessaire de fournir à l'unité de masse d'eau pure pour la faire passer au cours d'une transformation réversible, de l'état de l'eau libre à la pression atmosphérique, à l'état qu'elle a dans le système considéré.

L'équilibre dans un sol est atteint quand l'énergie de potentiel total est la même partout. Cette énergie totale est considérée comme étant la somme de trois principaux potentiels, à savoir :

- Potentiel gravitationnel Ψ_g
- Potentiel de pression Ψ_p
- Potentiel osmotique Ψ_0

II.4.3.2. Equation de mouvement de l'eau dans le sol

La description des transferts d'eau dans le sol repose sur l'association d'une loi de comportement dynamique et d'une loi de continuité.

La loi dynamique exprime la relation entre les forces auxquelles est soumise une particule de fluide et ses caractéristiques cinématiques, à savoir vitesse et accélération.

La loi de continuité ou principe de conservation de la masse est nécessaire à une description complète du phénomène en régime transitoire, soit lorsque l'intensité des termes de la loi dynamique est variable.

Equation de l'écoulement en milieu saturé

a. L'expérience de Darcy

L'écoulement de l'eau à travers les formations perméables a été étudié par DARCY en 1956. L'expérience qui est à l'origine de la loi de Darcy est la suivante :

Considérons un cylindre de section A, rempli de sable, avec une circulation d'eau et deux manomètres, l'eau est introduite dans le cylindre saturé avant de s'écouler à l'autre extrémité. (MERMOUD, 2001).

En prenant un niveau de référence $Z=0$, on attribue Z_1 et Z_2 aux niveaux des ouvertures des manomètres et H_1 et H_2 (m) aux hauteurs du fluide. Le débit total traversant le cylindre est noté Q (m³/s) on définira alors q, comme le débit spécifique à travers le cylindre :

On observe que q (m/s) est directement proportionnel à H_1 et H_2 si la distance L entre les manomètres 1 et 2 est constante est inversement proportionnelle à L, si H_1 et H_2 est constant. Si on définit ΔH comme $H_1 - H_2$, alors la loi de Darcy s'écrit :

$$Q = -k \cdot \frac{dh}{dL} = -k \cdot \Delta H$$

H : la charge hydraulique

$\frac{dh}{dL}$: Le gradient hydraulique

K : une constante de proportionnalité qui est en fonction, de la nature du sable dans le cylindre, donc on appelle k la conductivité hydraulique ou le coefficient de perméabilité, de même unité que la vitesse.

Donc on peut exprimer Darcy sur la base du débit :

$$Q = -k \cdot A \cdot \Delta H \dots \dots \dots 1$$

C'est la loi de Darcy en milieu saturé.

Le signe négatif indique que la direction de l'écoulement, donc celle de flux, correspond à la direction du potentiel total décroissant.

II.4.4. La gestion de l'eau de surface

Les recherches sur l'eau de surface ont surtout été centrées, cela se comprend, sur les régions arides et semi-arides où la pénurie d'eau freine le développement et où les gains, sur le plan des revenus comme de la qualité de vie, dépendent de l'efficacité des systèmes d'irrigation.

Dans plusieurs de ses régions, l'eau sert à de multiples usages toutes pour répondre aux besoins de l'agriculture qu'à ceux des ménages. Aussi les projets portent-ils

généralement à la fois sur l'eau et sur la gestion des sols, dans une perspective microéconomique, comme les familles faisaient face aux incessantes pénuries d'eau.

Les chercheurs ont introduit un système informatique intégrant les données sur les sciences de la vie, un inventaire des ressources, des statistiques sur la production de biomasse et les incidences environnementales afin de déterminer les meilleures pratiques de gestion.

Transferts d'eau

Deux transferts d'eau sont envisagés vers le bassin de la Soummam, il s'agit des transferts Ighil Amda- Mahouane et Koudiat Acerdoun- hauts plateaux. Un volume d'eau de $7 \text{ Hm}^3/\text{an}$ est affecté pour la ville de Bordj Bou Arréridj à partir du barrage de Ain Zada, un volume supplémentaire de $7.5 \text{ Hm}^3/\text{an}$ est prévu à partir du barrage des portes de fer. Les volumes prévus par ces transferts, ainsi que leurs affectations sont résumées dans le tableau ci- dessous :

Transfert	Nom du barrage	Nom de l'oued	Nom du bassin	Capacité totale (Hm^3)	Volume régulé (Hm^3)	Affectation
Sébil-Hodna Ighil Amda- Mahouane	Mahouane	Agrimou	La Soummam	487,00	422	AEP de la ville de Sébil ($400 \text{ Hm}^3/\text{an}$) et irrigation de 13.000 ha de cultures platesaux Sébilena ($22 \text{ Hm}^3/\text{an}$)
Koudiat Acerdoun- Hauts plateaux	Koudiat Acerdoun	Isacr	Isacr	640,00	478	AEP de la ville de Bouma ($19,49 \text{ Hm}^3/\text{an}$)
Ain Zada- BBA	Ain Zada	Boussellam	Soummam	124,00	60	AEP de BBA ($7 \text{ Hm}^3/\text{an}$)
Portes de fer BBA	Portes de fer	Doukton	Soummam	40,00	39 ⁵¹	ALP de BBA ($1,51 \text{ Hm}^3/\text{an}$)

Tableau 6 : Les volumes d'eau transférés et leurs affectations

Source : Agence de bassin Algérois - Hodna – Soummam Avril 2003

II.4.5. Régime de l'eau au champ

La dynamique de l'eau dans le sol, est directement impliquée dans l'analyse du processus d'infiltration, tout comme dans celle du processus de redistribution qui lui succède lorsque l'apport d'eau cesse.

II.4.5.1. Infiltration

L'infiltration est le processus de pénétration de l'eau dans le sol ce processus est d'une grande importance dans la pratique car son régime détermine souvent le ruissellement qui se forme à la surface du sol pendant les orages. La connaissance du processus d'infiltration tant que du point de vue des propriétés du sol est indispensable pour permettre une gestion efficace du sol et de l'eau. Le régime d'infiltration est le flux traversant la surface et s'écoulant dans le profil.

Plusieurs modèles d'infiltration peuvent être utilisés pour décrire la pénétration de l'eau et la distribution en irrigation de surface (PEREIRA, 1996a). Les équations d'infiltration habituellement utilisées pour prendre en compte de la hauteur d'eau et de l'humidité du sol, et de la variation du périmètre mouillé.

La variabilité de l'infiltration est non seulement influencée par les caractéristiques du sol, mais également par la variabilité de l'écoulement de surface.

Dans une publication récente, (CHILDS et HOPMANS, 1993) ont montré que la variabilité des caractéristiques du sol peut jouer un rôle plus important dans la variabilité de la quantité d'eau infiltrée que les paramètres qui gouvernent la durée d'infiltration (T).

II.4.5.2. Equation de l'infiltration

L'équation la plus courante est l'équation empirique de Kostiakov dans sa forme simple :

$$I = a k T^{a-1}$$

et dans sa forme modifiée :

$$I = a k T^{a-1} + f_0$$

Avec : I = débit d'infiltration par unité de longueur ;

a et k= paramètres empiriques ;

f_0 = débit empirique d'infiltration stabilisé ;

T= temps écoulé depuis le début de l'infiltration.

a. Infiltration horizontale

Le cas le plus simple d'infiltration est celui dans lequel l'influence de la pesanteur est nulle ou négligeable, et où l'eau entraînée dans le sol par les forces de succion matricielle.

b. Infiltration verticale

L'infiltration vers le bas dans un sol initialement non saturé est due en général à l'influence combinée des gradients de succion et de gravité. Au fur et à mesure que l'eau pénètre plus profondément, le gradient moyen de succion diminue puisque la différence globale de la charge de pression se répartit sur une distance toujours constante. Du fait que le gradient de charge gravitationnelle a une valeur unitaire, le flux tend à la limite vers la valeur de la conductivité hydraulique.

L'équation de Darcy pour un élément vertical s'écrit :

$$q = -k \frac{dh}{dz} = -k \frac{d}{dz} (h_p - Z)$$

q= le flux ;

H= la charge hydraulique totale ;

H_p = la charge de pression ;

Z= la distance verticale à partir de la surface du sol ; en terme de charge de succion

$$q = -k \frac{d\psi}{dz} + k \quad 1$$

La combinaison entre (1) et l'équation de continuité, donnera :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial \theta}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \frac{\partial k}{\partial z}$$

II.4.5.3. Taux d'infiltration

Le taux d'infiltration, est important dans choix des méthodes et conceptions à appliquer en matière de réseaux d'irrigation et de techniques d'aménagement.

La vitesse maximale à laquelle l'eau entre dans le sol ; ou capacité d'infiltration (Richards) est une propriété dynamique variant avec la saison et l'aménagement. Les principaux facteurs dont elle dépend sont :

- La perméabilité du profil
- L'état du sol superficiel et
- la teneur en eau du sol.

En général, plus la teneur en eau est forte, plus le taux d'infiltration est faible. La méthode employée pour mesurer l'infiltration à l'aide d'un infiltromètre à double cylindres a été exposée par USDA/ ARS et le SCS, il peut être utile de faire des tests à différents états hydriques, sans bien sûr saturer le sol. Il est intéressant de connaître deux valeurs ; la vitesse initiale d'infiltration et la vitesse d'infiltration d'équilibre ou stabilisée, quand l'infiltration devient constante au bout de plusieurs heures. La vitesse d'infiltration peut se mesurer en observant la chute de l'eau dans deux cylindres concentriques enfoncés dans la surface du sol. Les mesures étant faites uniquement dans l'anneau interne minimisent les risques d'erreurs liées à la divergence de l'écoulement dans des directions autres que la verticale.

On peut obtenir du graphique les valeurs correspondantes à la vitesse maximum d'infiltration stabilisées. On peut ensuite comparer la vitesse d'infiltration de divers sols ; le diagramme de la répartition de l'humidité est utile pour expliquer les différences entre eux.

II.4.5.4. L'infiltration au cours d'une précipitation

Lorsque l'intensité de la pluie dépasse la capacité d'infiltration du sol, le processus d'infiltration est le même que dans le cas d'un sol légèrement inondé.

Si l'intensité de la précipitation est inférieure à l'infiltrabilité initiale du sol mais supérieure à sa vitesse finale, alors le sol absorbera d'abord l'eau à un régime inférieur à son infiltrabilité potentielle et l'écoulement dans le sol sera non saturé.

D'autre part, si l'intensité de la pluie est, à tout moment, inférieure à l'infiltrabilité du sol, le sol continuera à absorber l'eau aussi rapidement qu'elle est fournie sans jamais atteindre la saturation. Le processus d'infiltration sous précipitation n'a pas encore été

étudié à cause des complications dues à l'individualité des gouttes de pluie ainsi que la nature très variable de l'intensité des précipitations, de l'énergie des gouttes et de la forte stabilité des sols. D'autres complications se présentent dans le cas d'emprisonnement d'air et de l'hétérogénéité en profondeur ou en surface des sols.

III- Chapitre III : Systèmes de collecte ou de récupération des eaux pluviales

III.1. Introduction

Dans les zones sèches, la récupération des eaux de pluies permet à la fois, de réduire les risques et d'augmenter les rendements. Il existe, comme le montre le diagramme ci-dessous plusieurs formes de récupération de l'eau :

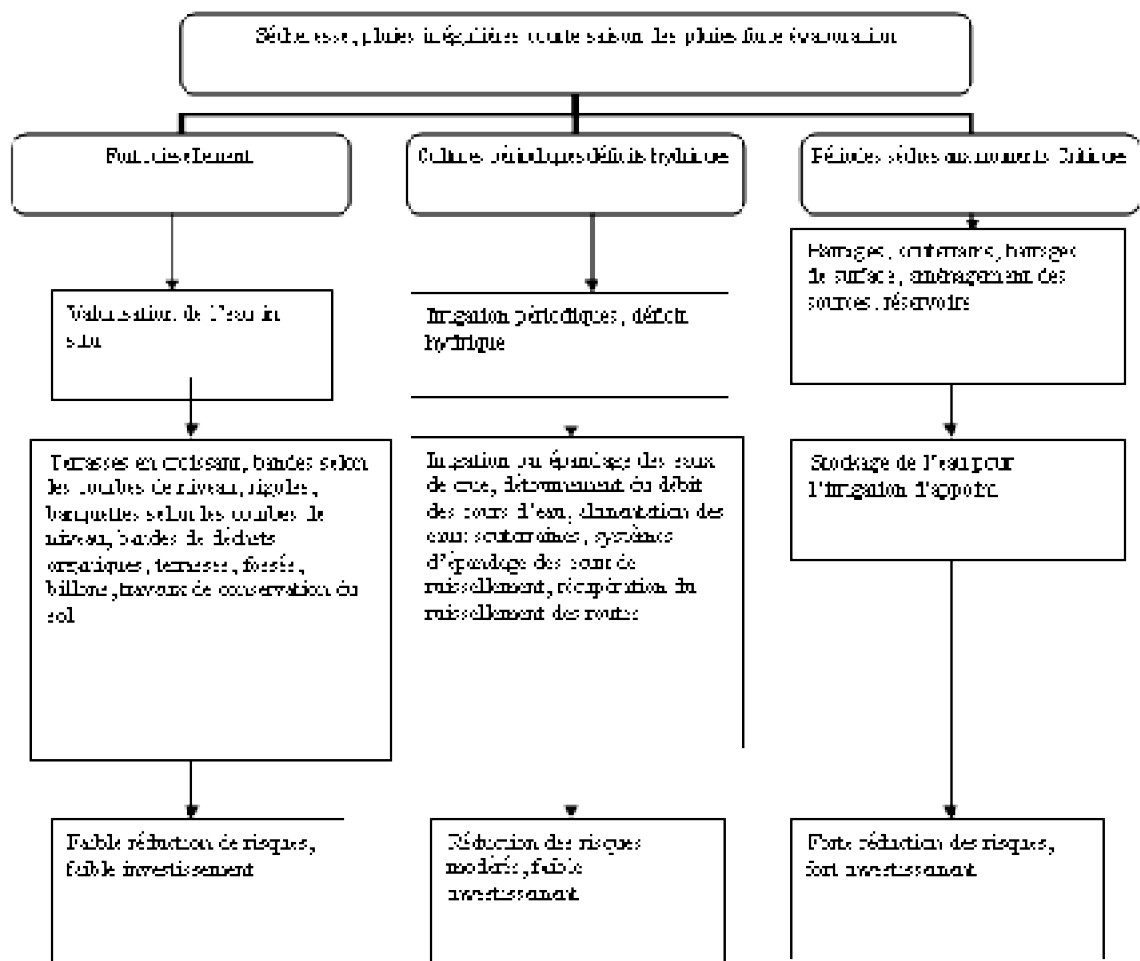


Tableau 7 : Mesures de lutte contre les conditions arides

Source : (FAO, 2002)

Les travaux menés au Burkina Faso, au Kenya, au Niger, au Soudan et en Tanzanie indiquent que la collecte des eaux de pluies peut multiplier les rendements par deux ou trois rapports à la culture sèche traditionnelle. En outre, les bénéfices de la récupération de l'eau peuvent eux aussi être doubles ou triples : non seulement elle garantit davantage d'eau aux cultures, mais elle participe à l'alimentation des nappes d'eaux souterraines et contribue à diminuer l'érosion du sol.

III.2. La valorisation de l'eau in situ

Une mauvaise gestion des terres dans les régions sèches peut considérablement réduire les rendements agricoles, jusqu'à moins d'une tonne par hectare. L'une des causes principales d'une telle réduction est l'état de la surface des sols, ainsi que d'autres

phénomènes, qui empêchent l'infiltration des eaux de pluie. L'eau des précipitations s'écoule simplement en surface des terres, forme des torrents chargés de limon et entraîne de graves problèmes de ravinement. Les cultures bénéficient très peu de cet apport d'eau.

Ces phénomènes sont essentiellement provoqués par le retournement trop fréquent du sol, cette opération laisse le sol fragilisé et exposé à l'érosion par le vent et l'eau.

Les techniques de travail du sol

- Retourner le sol seulement le long des lignes de végétaux
- Labourer en profondeur pour briser les encoûtements
- Faire pousser les végétaux dans des fosses et construire des terrasses en demi-lune autour des arbres et arbustes.

Exemple :

Les essais effectués en Tanzanie indiquent par exemple que la fragmentation de la semelle de labour a augmenté les rendements de maïs de 1,8 à 4,8 tonnes par hectare et par an, avec de bonnes précipitations et, application de fumier comme engrais.(FAO, 2002).

Au Damergou (Niger), 310 hectares ont été équipés en moins d'un mois de petits bassins et de sillons suivant les courbes de niveau grâce à des charrues spéciales. Ces aménagements n'ont coûté que 90\$EU/hectare. Les rendements moyens se sont élevés à 2 tonnes/hectare de sorgho avec des précipitations annuelles de 360 mm seulement. (FAO, 2002).

III.3. Irrigation par épandage des eaux de crue

Les effets des périodes de sécheresses se produisant chaque année dans les régions arides et semi-arides méritent d'être davantage combattus. La meilleure manière de résoudre ce problème consiste à :

- Détourner les eaux de ruissellement sur les bassins versants environnants pour les diriger vers les sols cultivés ;
- Dériver de cours d'eau ;
- Utiliser des eaux de crue des oueds
- Construire de murets pour diriger l'écoulement et même la dérivation vers les champs des eaux ruisselantes sur les routes et chemins.

III.4. Stockage pour l'irrigation d'appoint

Il existe des méthodes de stockage du ruissellement des périodes pluvieuses qui permettent ultérieurement d'utiliser ces eaux pendant les périodes de sécheresses : ce sont les réservoirs, étangs, citernes et barrages en terre utilisés pour l'irrigation d'appoint,

en Chine, en Inde, en Afrique subsaharienne et dans bien d'autres régions. (FAO, 2002).

Elles sont plus coûteuses que les précédentes et nécessitent un grand savoir-faire de la part des agriculteurs qui les appliquent, mais elles présentent l'avantage de réduire considérablement le risque de faibles récoltes ou même leur absence totale, que fait peser la sécheresse.

III.5. Arêtes de découpe

Ce sont les bandes ou les arêtes construites le long de la découpe étant, habituellement espacées entre 5 et 20 m de distance. Le 1-2 premier mètre au-dessus de l'arête est pour la culture, tandis que le reste est pour la captation. La taille de chaque arête change selon le gradient et la profondeur prévue de la pente de l'eau d'écoulement maintenue derrière elle. Et pour la culture, les arêtes peuvent être formées manuellement, avec les instruments appropriés. Elles peuvent être construites sur un éventail de pente, de 1% à 50%.

La clef de la réussite de ces systèmes, est de localiser l'arête avec autant de précision le long de la découpe; Autrement, l'eau coulera le long de l'arête, s'accumulera au bas point, traversera la suite et détruira le système entier de downslope.

La méthode la plus simple est un tube transparent et flexible 10-20 m long, fixé sur deux poteaux mesurés. Le tube est rempli avec de l'eau de sorte que les deux niveaux d'eau soient clairs sur l'échelle. Deux personnes peuvent tracer la découpe en ajustant la position d'un des poteaux de sorte que leurs niveaux d'eau soient identiques. Les arêtes de découpe sont une des techniques les plus importantes pour soutenir les régénérations et les nouvelles plantations du forage, des herbes et des arbres robustes. Dans les tropiques semi-arides, elles sont employées pour les récoltes arables telles que le sorgho, et les haricots, le millet, les doliques de Chine.

Un formulaire spécial d'arête de découpe peut être construit pour l'usage avec les bandes en pierres sur les pentes douces. Les bandes en pierres sont des structures perméables travaillant pour ralentir seulement l'écoulement et pour favoriser l'infiltration. Dans les tropiques semi-arides, ce système ou le système d'attacher arête. Ceux-ci les systèmes en pierres de bandes peuvent être employés seulement si les grandes pierres appropriées sont disponibles à proximité.



Planche 1 : Arêtes de découpe (ICARDA recherche dans Hadya, Nord de Syrie, 2001)

III.6. Systèmes de culture en bande

Les systèmes de culture en bande, peuvent être la meilleure technique à appliquer sur les terres plates. Les levés en coupe triangulaire sont construite le long de la pente, quand les récoltes de haute valeur telles que les arbres fruitiers et les légumes sont impliquées, les bandes peuvent être rendus compacts ou probablement couverts de feuilles en plastique ou être traités avec les matériaux répulsifs de l'eau pour induire plus d'écoulement. Les bandes, avec une taille s'étendant de 40 à 100 centimètres, son établi aux distances de 2-10m.

L 'écoulement coulant en base de la pente est rassemblé entre les arêtes et dirigé vers un réservoir à l'extrémité du canal d'alimentation ou vers une récolte cultivée entre les arêtes. Le bassin de captation doit être sarclé et rendu compact de façon régulière pour maintenir le rendement élevé d'écoulement (planche 2).



Planche 2 : Systèmes de culture en bande non cultivée (ICARDA, station de recherche, Tel Hadya, Syrie, 2001)



Planche 3 : Système de culture en bande cultivée (Syrie, 2001)

III.7. Les découpes et les arêtes circulaires et demi-lune

L'utilisation des découpes, les arêtes circulaires et demi-lune sont des techniques liées aux arbres ou aux buissons dans les secteurs où l'eau d'irrigation est seulement disponible en quantité très petite ou pas du tout. Les arêtes sont employées pour arrêter l'eau d'écoulement et pour réduire l'érosion, aussi bien que pour assurer un approvisionnement en eau aux arbres. Des découpes traditionnelles sont faites d'arêtes de terre ou de roche et suivent une perpendiculaire de conception à la pente. Cependant, la majeure partie du temps, elles n'adaptent pas les lignes normales de découpe. Récemment, le service de sylviculture lance un programme qui vise à protéger la terre dans des secteurs arides, semi-arides et marginaux contre l'érosion et la désertification. Le programme nécessite la plantation des arbres le long des découpes striées, après les lignes de découpes du secteur. Cependant, la gestion du bassin de captation dans ce système n'a pas reçu la considération suffisante. Des arêtes circulaires et demi-lune sont construites autour d'un arbre simple, la conception et la taille du système changent entre les régions du pays. Ces systèmes doivent être bien conçus et maintenus. (HACHUM et al., 2001).



Planche 4 : Demi-lune (ICARDA recherche dan badia Syrien, 2001)

III.8. Terrasses

La culture en terrasse est le plus ancien procédé de culture en montagne. On en trouve partout des traces en Algérie datant de l'époque romaine ou plus récentes. (Greco ,1966).

L'établissement de terrasse est le processus de remodeler la terre en pente dans une série d'étapes presque de niveau des dimensions appropriées, qui changent selon leur but et les conditions d'emplacement.

Un système de terrasse s'assure que l'eau de précipitations est captée et stockée par le sol. La commande et la réduction d'érosion sont un autre but principal des terrasses.

Dans la chaîne de montagne d'Anti-Atlas, ce système représente le niveau le plus élevé du développement en terme de technologie agricole.

Elles sont construites sur des pentes très raides pour combiner le sol et les techniques de captage des eaux. Des terrasses d'emblavage sont habituellement

Construites de niveau et soutenues par les murs en pierres pour ralentir l'écoulement de l'eau et pour commander l'érosion. Elles sont fournies avec de l'eau additionnelle, écoulement à partir des secteurs plus raides et non cultivés entre les terrasses. Elles sont fréquemment employées pour accroître des arbres et des buissons, mais rarement employées en plein champ dans la région de Wana. Les terrasses de banc au Yémen sont un bon exemple de ce système. Puisqu'elles sont constituées sur les montagnes raides, la majeure partie du travail est effectuée manuellement. L'inconvénient de ce système est que les coûts de construction et d'entretien sont onéreux.

Les sections en terrasse concentrent l'eau de la manière suivante :

- la pluie qui tombe réellement sur les terrasses est presque tout directement absorbée dans la terrasse, qui a habituellement un sol bien vidangé.
- Les eaux de surface peuvent se produire sur la terrasse la plus élevée en raison d'un déséquilibre entre l'apport de l'eau en pente moissonnant le secteur et le potentiel de percolation de la terrasse.
- L'écoulement de drainage peut se développer quand la capacité de charge de l'eau d'une terrasse est excédée. Quand ceci se produit, l'eau s'infiltré par des joints et des fissures dans la terrasse ou les filtres par la base de la terrasse et du sol de la prochaine terrasse vers le bas.

III.9. Les murettes

Une murette, on dit également un muret en pierres sèches, construite suivant les courbes de niveau, constitue à la fois un obstacle qui diminue la vitesse d'écoulement de l'eau sur la pente, et un filtre qui retient les matériaux entraînés dans la zone comprise entre deux ouvrages et pour diriger l'écoulement (un système employé avec grand succès par les anciens habitants du désert du Néguev) et les murettes peuvent être construites sur des pentes fortes, pierreuses ou rocheuses. Leurs efficacités sont excellentes dans les travaux d'amélioration de parcours en montagnes.

IV-Chapitre IV : l'olivier

IV.1. Introduction

L'agriculture est essentiellement pluviale. La wilaya de Béjaia est caractérisée par une diversité de spéculations avec une dominance de l'arboriculture fruitière (56% de la SAU), en particulier l'olivier et le figuier.

La zone d'étude est occupée surtout par l'oléiculture, c'est de cette dernière dont je parlerai.

IV.2. Historique

Les vertus et les bienfaits de l'huile d'olive font de l'olivier un arbre généreux qui mérite toute notre attention et notre respect. L'origine de l'olivier en tant que variété sauvage, remonte à l'aire tertiaire, avant l'apparition de l'homme, et se situe, en Asie Mineure. Son premier foyer devait s'étendre de la Syrie à la Grèce, les Grecs ont introduit l'arbre, et ce sont les Romains qui forts de leur puissance, ont développé la culture et ont encouragé la consommation de l'huile d'olive.

IV.3. La classification systématique

L'olivier est classé dans la famille des oléacées, n'est pas un arbre ordinaire. Du latin oléa, son fruit était Oliva et le jus que l'on tirait oléum est devenu l'huile après bien des transformations et oil en anglais. Il comporte 30 espèces différentes réparties sur la surface du globe. L'espèce cultivée en Méditerranée est oléa europaea, dans laquelle on rencontre l'oléastre ou olivier sauvage, et l'olivier cultivé oléa europaea sativa. C'est de ce dernier dont je parlerai. (I.T.A.F, 1999).

IV.4. Distribution géographique de l'olivier

L'olivier cultivé est propre au climat tempéré et chaud qui caractérise le bassin de la Méditerranée, dont il est une espèce autochtone et où il se trouve prioritairement de nos jours. Dans l'hémisphère Nord, sa zone de distribution se trouve située entre les altitudes 30° et 45°. Dans l'hémisphère sud, la plupart des plantations se retrouvent à des latitudes semblables.

L'Espagne et l'Italie, premiers producteurs mondiaux d'huile d'olive, l'Algérie se classe bien derrière la Tunisie et le Maroc, non seulement en matière de production, mais aussi en nombre d'arbres plantés. L'Algérie est classée 9^{ème} avec quelque 15 818 000 oliviers, un vieux verger souvent hérité des ancêtres laissé à l'abandon.

Quant à la production nationale, elle se situe autour des 450 000 quintaux d'olives, soit près de 23 millions de litres/an, cette production est loin de couvrir les besoins de la consommation locale (2001). En particulier la wilaya de Béjaia est caractérisée par une diversité de spéculation avec une dominance de l'olivier, du figuier et de l'arboriculture fruitière (56% de la SAU). Le reste de la SAU est occupée par des cultures herbacées (19%), les prairies naturelles (1%). les jachères représentent (24% SAU).

IV.5. Morphologie et description des principales parties de l'arbre

IV.5.1. Caractères généraux

L'olivier se distingue des autres espèces fruitières par sa très grande longévité, pouvant donner des arbres plusieurs fois centenaires. Les rejets se développant à sa base assureront sa pérennité et redonneront un nouvel arbre. Célèbre pour sa rusticité, il supporte les sols pauvres, et de se développer et de fructifier sous des conditions climatiques sub-arides. Dans ce cas, il ne faut pas espérer une grande production.

Il peut être très lent à produire de 10 à 15 ans s'il est cultivé en sec, mais 4 à 5 ans seulement dans des conditions favorables (irrigation, fumure, taille, soins phytosanitaires). C'est enfin un arbre qui se multiplie très facilement, soit en boutures de rameaux, soit à partir d'excroissance (souchets) qui apparaissent à la base du tronc.

V.5.2. Le système racinaire

L'olivier adaptera son système racinaire à la profondeur du sol, suivant sa texture et sa structure. (Brousse et Loussert, 1978).

IV.5.2.1. Développement en profondeur

Si l'olivier est greffé en place, à partir d'un semis sans qu'il ait eu de transplantation, le système racinaire du jeune plant sera à tendance pivotante. Ce dernier va se modifier rapidement sous l'effet des transplantations successives, en racine épointée. Cette mutilation favorisera l'émission d'un système racinaire secondaire sur lequel se développera le chevelu racinaire. Les jeunes plants produits en pépinière à partir de boutures herbacées, pressentent un système racinaire très développé ou dominant trois à quatre racines avec un important chevelu.

IV.5.2.2. Développement latéral

Lors de la mise en place de l'arbre un grand nombre de racines latérales se développent sur les racines secondaires.

A la base du tronc, des excroissances constituent des protubérants (souquets ou souchets ou ouverles) aux propriétés organogénèses, remarquables, elles donnent un nouveau réseau racinaire superficiel, qui doublera le système racinaire préexistant. Dans les terrains cultivés à texture franche, système racinaire fasciculé peut se situer entre les 10-15 cm et les 150 cm, avec une concentration importante située aux environs 80

cm.

IV.5.3. Les organes aériens

Les parties aériennes de l'arbre comprennent :

- *le tronc
- * les charpentiers
- * la frondaison
- * les rameaux ramifiés

IV.6. Biologie et physiologie du cycle de végétation

L'olivier comme les autres espèces fruitières ligneuses répond aux mêmes phénomènes biologiques de développement.

IV.6.1. Cycle de développement

Au cours de la vie d'un arbre, on peut distinguer quatre grandes périodes :

- *La période de jeunesse ;
- *La période d'entrée en production ;
- *La période adulte ;
- *La période de sénescence.

IV.6.2. Cycle végétatif annuel

D'après les travaux de P. Colbrant et P. Fabre sur la détermination des stades repérés chez l'olivier, la description suivante de chacun de ces stades peut être donnée :

Stade A : stade hivernal, le bourgeon terminal et les yeux axillaires sont en repos végétatif.

Stade B : réveil végétatif, le bourgeon terminal et les yeux axillaires amorcent un début d'allongement.

Stade C : formation des grappes florales, en s'allongeant la grappe fait apparaître les différents étages de boutons.

Stade D : gonflement des boutons floraux, les boutons s'arrondissent en gonflant, ils sont portés par un pédicelle court.

Stade E : différenciation des corolles, les pédicelles s'allongent, écartant les boutons floraux de l'axe de la grappe.

Stade F : début de floraison, les premières fleurs s'épanouissent après que leurs corolles soient passées du vert au blanc.

Stade G: chute de pétales.

Stade H : nouaison, les jeunes fruits apparaissent mais dépassent peu la cupule formée par le calice (premier stade).

Stade I : grossissement des fruits pour atteindre la taille d'un grain de blé.

Stade I1 : les fruits se développent, atteignent 8 à 10 mm de long et début de lignification des noyaux.

IV .7. Exigences agro climatiques de l'olivier

IV .7.1. Température

La résistance de l'olivier au froid varie selon le stade végétatif. En hiver, décembre et janvier si le refroidissement est progressif, il peut supporter des températures de l'ordre de 8°C. Au printemps, février, mars, avril, des gelées à 0°C ou 1°C peuvent provoquer la destruction des bourgeons et compromettre la floraison. L'arbre n'est pas sensible aux températures élevées (+40°C) lorsque son alimentation en eau est assurée. Sa culture est possible en altitude jusqu'à 900 m environ, mais la neige par son poids, peut provoquer la rupture des charpentiers.

IV .7. 2. Pluviométrie

Une des caractéristiques du climat méditerranéen est l'irrégularité des précipitations annuelles et la mauvaise répartition des pluies.

En zone de culture de l'olivier, ces variations sont importantes :

*En Kabylie, Algérie (zone de culture de la Chemlal), P=800mm/an.

*A Sfax, Tunisie (zone de culture de la Chemlal), P=200mm/an

(avec un écart de 80 mm à 350 mm/an).

Les précipitations hivernales permettent au sol d'emmagasiner des réserves en eau, qui seront cédées à l'arbre en fonction de ses besoins végétatifs. Sous les conditions de régime irrégulier des pluies en climat sub-aride, la production d'olive sera toujours aléatoire et souvent marginale.

IV .7. 2. 3. Insolation

L'olivier est un arbre avide de lumière, aussi donnera-t-il les meilleurs résultats sur les coteaux bien exposés au soleil.

IV .7. 2. 4. Altitude

L'altitude de culture d'olivier dépend bien entendu de l'altitude du lieu. En Algérie l'olivier croit en grande Kabylie jusqu'à 800m, voire 1000m (suivant l'exposition). On ne devra en principe dépasser les altitudes de 800m en exposition sud et 600m en exposition Nord.

IV .7. 2. 5. Humidité atmosphérique

Elle peut être utile dans la mesure où elle n'est pas excessive (+60°) ni constante. Les zones de littorales, sous l'influence des vents marins chargés d'humidité et d'embruns, sont à déconseiller.

IV .7. 2. 6. Le sol

Le sol est le facteur déterminant de la réussite des cultures pluviales. Les sols fortement argileux, compacts, humides ou se ressuyant mal, sont à écarter des plantations. Les sols calcaires jusqu'à pH 8 peuvent lui convenir, par contre les sols acides pH 5,5 sont à proscrire.

IV.8. Besoins en eau de l'olivier

Le rôle bénéfique des apports d'eau complémentaires n'est contesté dans aucun pays oléicole. La majeure partie des précipitations annuelles sont localisées en période automnale et hivernale (novembre à mars). Or, durant cette période, bien que l'arbre soit en phase de semi repos, dès l'élévation des températures printanières (mars, avril), l'activité racinaire va reprendre, de jeunes pousses feuillées vont se développer, la floraison aura lieu (mai, juin), un apport d'eau complémentaire favorisera la croissance des pousses printanières, l'irrigation printanière permet de limiter l'alternance de production.

Pendant la période estivale, l'arbre se trouve dans des conditions difficiles. Il réagit en fermant ses stomates pour diminuer ses déperditions en eau. Naturellement, les besoins en eau de l'olivier varieront en fonction des paramètres suivants :

Conditions climatiques : Précipitations annuelles moyennes et répartitions dans le temps (on cultive l'olivier sous des régimes hydriques allant de 100 à 800 mm/an)
Conditions agrolologiques : Au nature du sol et du sous-sol et sa profondeur d'exploitation par les racines.

Condition de cultures : Densité de plantation, âge des arbres, intensification des techniques culturales (taille, travail du sol,.....etc.).

Deuxième partie : Matériels et méthodes

I. Aperçu général sur le site expérimental

Notre expérimentation a été réalisée à l'institut national de la recherche agronomique de Béjaia, dont les coordonnées géographiques relevées par le GPS in situ sont :

Altitude : 8,5 m ;

Latitude : 36°42'35 Nord;

Longitude : 04°57'29

I.1. Climat

Le site expérimental bénéficie d'un climat de type méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes:

- Une saison relativement douce et humide allant du mois d'octobre à avril, et,
- Une saison chaude coïncidant avec la saison sèche allant de mai à octobre. Ce type de climat est qualifié de xéothermique.

Dans le climagramme d'emberger, la région se situe dans l'étage sub-humide à hiver

doux.

I.1.1. Le régime thermique

Pour le régime thermique durant ces trois dernières décennies (1970-1999), les températures minimales moyennes varient entre 7.3 °C en janvier et 20.3 °C en août. Par contre, les maxima varient entre 16.2 °C en janvier et 27.9 °C en juillet et septembre (annexe 2). La moyenne mensuelle est de 16.7 °C.

Durant les campagnes de mesure, les températures moyennes mensuelles varient entre 11°C et 26°C respectivement pour les mois de janvier et d'août pour l'année 2004. Elles varient de 8°C à 25°C de janvier à juillet pour l'année 2005 (tableau 8, annexe1).

I.1.2. Le régime pluviométrique

Les trois dernières décennies sont caractérisées par une moyenne pluviométrique de 791.3 mm. La répartition de ces précipitations est caractérisée par une irrégularité inter saisonnière et interannuelle. La répartition relative est de 28.94 % de septembre à novembre, 39.96 % de décembre à février, 27.30 % de mars à mai et 3.80 % de juin à août. Nous constatons que la quasi-totalité des précipitations est concentrée sur une période courte n'excédant pas les 5 mois (de novembre à mars), car, les 2/3 du total pluviométrique tombe durant cette période. La faiblesse des pluies durant la période printanière plaide pour une collecte et une réutilisation judicieuse des eaux de ruissellement.

Le déficit climatique commence à s'installer à partir du mois d'avril. Ceci est dû essentiellement à l'augmentation de la demande climatique suite à la hausse de la température. Ce manque coïncide chez plusieurs espèces fruitières à la phase d'élaboration des organes fructifères, c'est à dire, où les besoins en eau sont les plus élevés (tableau 8, annexe1). Le recours à l'irrigation pour augmenter les rendements s'avère indispensable. Ceci nécessite la mobilisation de la ressource hydrique ou de piéger les eaux de ruissellement pour une utilisation efficace et efficace là où l'irrigation fait défaut et dans les zones marginales.

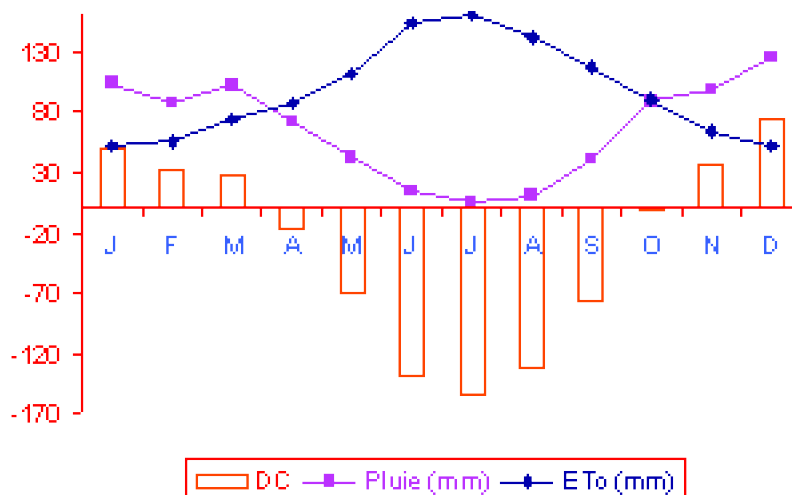


Fig.10 : Evolution des pluies, de l'évapotranspiration et du déficit climatique

Durant les deux campagnes de mesure, la répartition des pluies est irrégulière. La hauteur pluviométrique varie de 0 à 178 mm respectivement pour les mois de juillet et de novembre 2004. Elle varie de 0 à 168 mm de juin juillet à février 2005. Le déficit climatique durant la première campagne de mesure commence à s'installer à partir du mois de mai, pour atteindre un pic de 158 mm le mois de juillet. Il commence à s'installer tôt durant la deuxième campagne de mesure. Il apparaît le mois de Mars, malgré les chutes importantes de neige. Le pic est atteint le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 162 mm. (Tableau 8, annexe1).

Les vents dominants viennent généralement du Nord Ouest (Vents Marins) et s'engouffrent facilement dans la vallée de la Soummam. La vitesse moyenne mensuelle des vents varie entre 3 et 4 m/s durant toute l'année.

II. Protocole expérimental

II.1. Description de la parcelle d'essai

L'essai a été déroulé sur une parcelle de jeunes plants d'oliviers (âgés de 2 ans après transplantation) dont le terrain est en pente de 20 %. La superficie de la parcelle d'expérimentation est de l'ordre de 1200 m².

II.2. Dispositif expérimental

L'objectif de l'expérimentation est de quantifier les effets bénéfiques de la collecte des eaux pluviales sur l'amélioration du rendement pour les cultures pérennes.

Le dispositif expérimental est en bloc aléatoire, avec quatre répétitions, et cinq traitements (fig. 11).

T1 un impluvium naturel sous forme d'un croissant dont les extrémités sont orientées vers la plus grande pente. Il se situe au dessus des arbres (voir photo)

- T2 un impluvium 32 m²
- T3 un impluvium 64 m²
- T4 un impluvium 96m²
- T5 en appont (un seul apport 120 mm fin juillet 2004)

III. L'essai

III.1. Arboriculture

Le but recherché est de mesurer certains phénomènes de développement et de croissance des arbres durant l'année, particulièrement :

- a. La hauteur de l'arbre dans le prolongement du tronc ;
- b. L'envergure de la frondaison sur les quatre points cardinaux à un mètre du sol ;
- c. Epaisseur du tronc au collet ou en bas des charpentiers ;

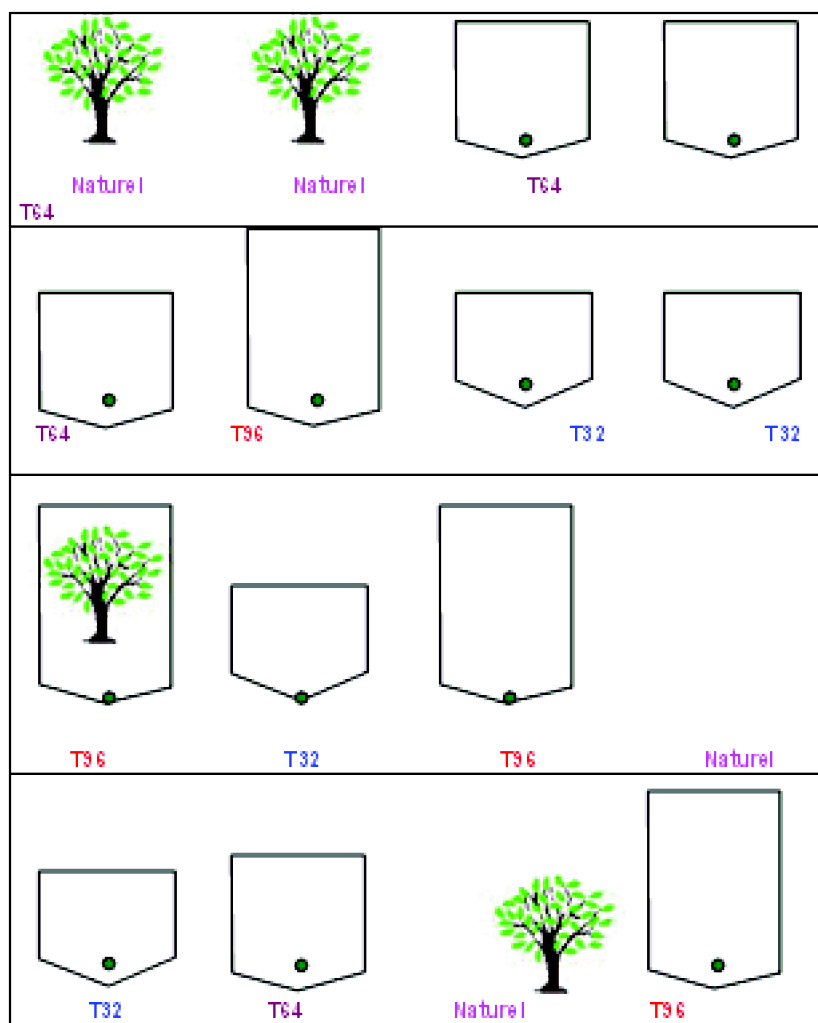


Fig.11 : Dispositif Expérimental

● : Arbre

▭ : Impluvium

II.2. Conduite de l'expérimentation

L'expérimentation s'est déroulée dans des conditions agro météorologiques naturelles, de ce fait, la parcelle d'essai est soumise au seul apport d'eau naturel qui est la pluie.

Les mesures sont effectuées à des intervalles de temps bien déterminés, une mesure chaque saison pour l'arboriculture « olivier ».

II.3. Matériel et Méthodes utilisés

II.4. Caractérisation de l'état hydrique du sol

Pour la caractérisation de l'état hydrique du sol, nous avons utilisé la méthode gravimétrique. Le pas de mesure est de 20 cm sur une profondeur de 80 cm. Les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'une tarière agronomique.

Pour la mise en évidence de l'existence ou non d'un gradient hydrique des extrémités de l'impluvium au centre de celui-ci, nous avons effectué des contrôles de la teneur en eau tout au long de l'impluvium comme suit :

- Prélèvement des échantillons à l'extrémité droite de l'impluvium ;
- Prélèvement des échantillons au milieu de l'extrémité droite ;
- Prélèvement des échantillons au centre de l'impluvium ;
- Prélèvement des échantillons à l'extrémité gauche de l'impluvium ;
- Prélèvement des échantillons au milieu de l'extrémité gauche.

Les échantillons ont subi une double pesée et passage à l'étuve à 105° pour la détermination de l'humidité pondérale du sol.

L'humidité volumétrique est obtenue en multipliant l'humidité pondérale par la densité apparente

$$H_v (\%) = H_p (\%) \cdot D_a$$

H_v : humidité volumétrique (%)

H_p : humidité pondérale (%)

D_a : densité apparente

III.5. Matériel expérimental

Le matériel utilisé pour effectuer l'essai est :

Le décamètre : pour mesurer l'envergure de la frondaison sur les quatre points cardinaux à un mètre du sol ;

Pied à coulisse: pour mesurer l'épaisseur de chaque tronc d'arbre au-dessous des branches ;

Planche graduée : pour mesurer la hauteur de l'arbre dans le prolongement du

tronc ;

La tarière : pour prélever des échantillons du sol afin de déterminer l'humidité pondérale du sol.

1-Matériel végétal

2- Méthodes

Le choix a été porté sur la culture de l'olivier, cette dernière a été cultivée avant la réalisation de l'essai. L'âge de chaque arbre est entre deux et trois ans.

L'objectif global de l'étude est de tester l'adaptabilité d'une méthode de collecte des eaux pluviales en zones de montagnes subhumides, et leur influence sur la croissance des cultures pérennes. Pour atteindre l'objectif fixé, le choix s'est porté sur les impluviums.

3- Description de l'impluvium

On a préconisé l'ouverture à l'amont et à l'aval de chaque arbre, des sillons en forme de croissant dont ils sont prolongées sur différentes distances selon la surface réceptrice afin d'obtenir des impluviums sauf pour le traitement naturel (fig.14). La terre extraite servant à former des bandes de terres pour réaliser le semis sur elles mêmes, et l'espace obtenu entre l'arbre et la bande de terre sert à capter suffisamment d'eau de ruissellement. En principe, on s'efforce de :

- creuser les impluviums loin du tronc ;
- chercher à les étendre le plus largement possible et le moins profondément possible (ne jamais dépasser 80cm de profondeur) ;
- bien placer la terre de déblai en dessous et sur les côtés de l'impluvium afin de retenir le plus d'eau possible.

Les impluviums ont été réalisés en décembre 2003, par contre, Nous avons commencé les mesures le 8 février 2004.



Planche 5 : Vue générale d'un impluvium de 4 m de diamètre



Planche 6 : Vue générale d'un impluvium de 8 m de diamètre

Troisième partie : Résultats et discussions

I. Caractéristiques pédologiques et hydrodynamiques

I.1. Etude sur le terrain

Description du profil

L'étude sur le terrain débute par l'établissement d'une tranchée (profil) permettant de mettre à jour les différentes parties d'un sol, c'est au niveau de ces diverses parties encore appelées horizons que se feront les observations, les mesures et les prélèvements d'échantillons qui seront destinés à l'analyse au laboratoire. (Guy, 1978)

Un profil pédologique a été réalisé au niveau de la parcelle expérimentale le 18 juillet 2003 sur une profondeur de 110cm, décrit morphologiquement selon une fiche de description du sol INRA de Montpellier. Des échantillons du sol ont été prélevés puis analysés au laboratoire. L'examen de ce profil a mis en évidence trois horizons principaux :

- Premier horizon de 0 à 30cm, de couleur marron, une structure fragmentaire, nette et de type anguleuse avec une taille moyenne. La transition est transdiffuse et ondulée avec une humidité naturelle sèche. Les éléments calcimagnésiques sont constitués des cailloux et de graviers de 15 à 30%. Il n'existe pas de revêtement. L'activité biologique est très faible, il y a quelques racines fines horizontales et quelques galeries, alors que la porosité est caractérisée par un nombre de pores, avec une forme tubulaire et une largeur moyenne de 2 à 5 mm. En ce qui concerne les propriétés mécaniques, le sol est compact et non plastique.
- Deuxième horizon de 30 à 70cm, de couleur marron, une structure fragmentaire, nette, de type anguleuse et une taille moyenne. La transition est irrégulière avec une humidité naturelle sèche. Les éléments calcimagnésiques constitués des cailloux un peu abondants de 2 à 15%, nous remarquons que l'activité biologique est très faible, avec quelques racines fines horizontales. La porosité est caractérisée par de nombreux pores d'une forme tubulaire et une largeur moyenne de 2 à 5mm. Pour les propriétés mécaniques, le sol est compact et non plastique. (DJILI, 1994).
- Troisième horizon est supérieur à 70cm, il est caractérisé par une couleur marron, et une structure fragmentaire nette, de type anguleuse, avec une taille moyenne. La transition est transdiffuse et ondulée avec une humidité naturelle sèche. Les éléments calcimagnésiques constitués des cailloux de 15 à 30%, il n'existe pas revêtement. L'activité biologique est très faible. Il existe des taches importantes. Il n'y a pas d'humidité naturelle.



Planche 7 : Profil pédologique réalisé au niveau de la parcelle

I.2. Caractéristiques analytiques

Les caractéristiques analytiques ont été déterminées au laboratoire. Ainsi, la texture (granulométrie) a été effectuée sur une prise de terre fine (éléments < 2mm) dont le but est de déterminer le pourcentage des différentes fractions de particules minérales constituant les agrégats. Elle est déterminée par la méthode internationale, Bonflis,

modifiée par l'emploi de la pipette de Robinson, le carbone organique par la méthode Anne, le calcaire total par la méthode du calcimètre de Bernard, l'azote total par la méthode Kjeldhal, la conductivité électrique (CE) par conductimètre à partir de la pâte saturée, le pH mesuré au pH-mètre, le phosphore par la méthode Olsen et les capacités de rétention ont été déterminées par la marmite de Richards. Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire du sol de l'INRAA de Mehdi Boualem (Alger). Les résultats des caractéristiques analytiques sont regroupés dans le tableau 9.

Les sols de la station renferment un taux élevé de calcaire total en profondeur estimé à 18,25 %. Mais cela ne représente pas un risque majeur pour l'olivier. Le pH est basique et varie de 8,26 à 8,50. La salinité estimée à partir de la conductivité électrique sur pâte saturée est moyenne à faible, n'excédant pas 0,27 mmhos/cm² à 25 °C pour l'horizon superficiel.

Le sol est riche en P₂O₅. Le taux varie de 51,8 à 105 ppm. Le niveau de fertilité en azote total est insatisfaisant et les teneurs sont généralement faibles. La teneur en matière organique est moyenne à faible et diminue en profondeur. Le rapport C/N diminue en fonction de la profondeur. (Baize, 2000).

Echantillon		H ₁	H ₂	H ₃	
Profondeur (m)		0- 30	30- 70	> 70	
Calcaire (CaCO ₃) total		9,06	10,50	18,25	
CE (mmhos/cm)		0,27	0,19	0,20	
pH _{eau}		8,26	8,40	8,50	
Caractères biochimiques	%	C	2,00	1,30	0,88
	%	MO	3,44	2,24	1,51
	%	N	0,15	0,25	0,12
	PPM	P ₂ O ₅	51,8	105,0	62,58
		C/N	13,33	5,2	7,33
granulométrie	%	A	27,10	27,75	25,33
		LF	18,49	18,82	15,78
		LG	9,49	7,58	8,98
		EF	24,91	27,03	30,74
		SG	18,12	16,95	17,40

Tableau9. Analyse granulométrique du sol

Source:INRAA (Alger, 2003)

LF : limon fin

LG : limon grossier

SF : sable fin

SG : sable grossier

A : argile

D'après les résultats obtenus de l'analyse, nous avons constaté que la texture du sol est argilo sableuse dont le taux d'argile est très élevé surtout au niveau de l'horizon 2 qui est de l'ordre (27,75%), par contre la quantité du sable est très importante dans l'horizon 3, (30,74%).

1.1.3. Densité apparente

La densité apparente a été déterminée par la méthode du cylindresur des échantillons de sol non remaniés, prélevés à des profondeurs (0-30cm), (30-70cm) et (70-110 cm) correspondant aux trois horizons cités plus haut.

Pour calculer la densité apparente nous avons utilisé cette formule, après une double pesée et passage à l'étuve à 105c :

D_a = masse du sol sec/ volume total du sol en place

D_a : densité apparente de l'échantillon du sol considéré g/cm³.

Tableau10 : Evaluation de la densité apparente en fonction de la profondeur

Profondeur (cm)	Hcr (%)	Da
0-30	49,46%	1,59
30-70	47,11%	1,67
>70	48,55 %	1,73

Source: INRAA (Alger, 2003)

1.1.4. La courbe caractéristique de l'humidité du sol

Nous avons établi cette courbe, pour un sol donné au laboratoire, cette méthode est assez contraignante mais d'un grand intérêt :

* Elle permet de mieux caractériser certaines propriétés hydriques d'un horizon pédologique.

* Il s'agit d'établir la courbe d'humidité pondérale qui est égale à la fonction de la valeur du potentiel matriciel (qu'il est commodé d'exprimer sous la forme de $pF = \text{Log}$ décimal du potentiel matriciel de l'eau). (Dominique, 1987)

Les humidités pondérales déterminées à un certains nombres de valeurs de pF, permettent de tracer des courbes dont l'aspect est très instructif. Pour des raisons techniques, nous avons prélevé les échantillons à des humidités proches de la capacité au champ, puis nous avons opéré par dessiccation successive. Les différents pF sont atteints en faisant agir différentes pressions « contraintes ». Des délais sont nécessaires pour que les échantillons atteignent un état d'équilibre dans leur totalité. A chaque valeur de pF on peut faire correspondre des valeurs de force de rétention de l'eau.

Tableau11 : Valeurs de pF en fonction de l'humidité pondérale

pF	horizon 1	horizon 2	horizon 3
pF 0	49.46%	47.11%	48.55%
pF 2	30.73%	32.83%	33.60%
pF 2, 5	29.74%	31.72%	32.54%
pF 3	25.57%	27.81%	27.91%
pF 4, 2	24.26%	26.78%	27.84%

Source: INA laboratoire de pédologie (Alger, 2003)

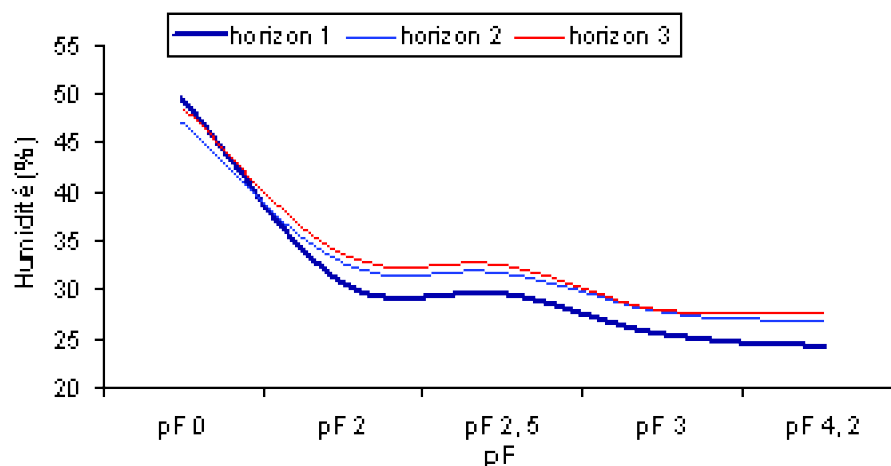


Fig.12 : Courbe caractéristique de l'humidité du sol rétention

La figure 11, présente la relation de l'humidité pondérale en fonction de différentes pressions exercées sur l'échantillon du sol pour trois horizons d'un profil pédologique.

Pour $pF < 2$, le taux de l'humidité est de l'ordre de 47%, 48%, et 49% respectivement pour H1, H2, et H3. Cette augmentation est traduite par la saturation du sol.

Pour $pF > 2$ et inférieur à 3, le taux de l'humidité diminue dans les trois horizons pour atteindre les valeurs de 32,54%, 31,72% et 29,74% respectivement pour les horizons H1, H2 et H3. Cette diminution est expliquée par l'augmentation progressive de la succion qui amènera le drainage des pores de plus en plus petits, seuls les pores très fins retiennent de l'eau.

Pour les $pF > 3$, les valeurs de l'humidité diminuent rapidement pour atteindre 26,78%, 27,84% et 24,26% respectivement pour H2, H3 et H1, cette augmentation est due à l'augmentation de la succion et le vidange de tous les pores fins.

Nous concluons que la quantité d'eau demeurant dans le sol à l'équilibre est fonction des dimensions et des volumes des pores remplis d'eau, de ce fait, elle est fonction de la succion matricielle.

II. Caractérisation de l'état hydrique du sol

II.1. Introduction

Pour caractériser l'état hydrique du sol, nous disposons des données de l'humidité effectuées sur deux campagnes de mesure. Les mesures ont été réalisées en fonction des précipitations.

La période la plus importante pour nous, est celle qui précède les dernières précipitations, c'est à dire, celle qui précède la période sèche afin de tester l'efficacité des impluvium comme alternative à prendre en charge dans les régions à accès difficile à l'irrigation ou dans les zones marginales présentant des reliefs accidentés.

- Les mesures sont prises à l'aide d'une tarière agronomique à une profondeur allant jusqu'à 80 cm. Le pas de mesure est de 20 cm.

Les données brutes ont subi un traitement statistique qui a permis d'obtenir les grandeurs de mesures suivantes :

- Les teneurs en eau pondérales pour le profil 0-80 cm (exprimées en % du volume apparent),
- Les stocks d'eau pour chaque horizon (en mm),
- Les stocks d'eau cumulés entre la surface et l'horizon considéré (en mm),
- Les variations de stocks d'eau entre deux dates consécutives de mesure (en mm),
- Les variations de stocks d'eau entre deux dates séparant le profil en réhumectation jusqu'au dessèchement (en mm),
- Les variations de stocks d'eau cumulés entre deux dates consécutives de mesure (en mm).

Nous avons procédé à un suivi de l'humidité tout au long de la digue (le bourrelet) de l'impluvium. Le but recherché est la mise en évidence de l'existence ou non d'un gradient hydrique des extrémités vers le centre de la digue de l'impluvium. Les mesures ont été effectuées sur la digue de l'impluvium dont la surface réceptrice est de l'ordre de 96 m². Pour chaque mesure effectuée, cinq profils ont été réalisés tout au long de l'arc et concernent :

- les deux extrémités de la digue de l'impluvium,
- Le centre de la digue de l'impluvium,
- A mi-distance entre les extrémités et le centre de la digue.

II.2. Teneurs en eau & profils hydriques

Le profil hydrique est défini comme étant la fonction de répartition de la teneur en eau suivant une verticale en fonction de la profondeur (AIDAOU, 1985).

L'étude des profils hydriques est d'une importance capitale pour comprendre les

phénomènes de dessèchement et de réhumectation du sol. Dans notre cas, nous avons choisi quelques dates représentatives de la période d'essai qui correspondent à des profils en réhumectation et des profils en dessèchement. Ainsi, cinq dates ont été choisies pour la première année et deux dates pour la deuxième année. Les deux dates choisies pour la deuxième année correspondent à un profil en dessèchement « parfait » suite à une absence totale de pluie durant 40 jours. Si durant la première année, nous avons tenté de comprendre comment évoluent les profils hydriques, la deuxième année, nous avons insisté sur l'efficacité ou non du dispositif mis en place. Une teneur en eau qui a tendance à se stabiliser aux horizons inférieurs indique une efficacité relativement bonne du dispositif mis en place. Dans le cas où l'écart est important, il est clair d'apporter des ajustements à ce dispositif.

Pour la première année, les dates choisies correspondent à un profil résultant d'une pluie cumulée durant les mois d'hiver (décembre, janvier et février) d'une hauteur de 409 mm, puis un profil en dessèchement d'une dizaine de jours.

La troisième date correspond à un profil en réhumectation suite à une pluie de 18 mm enregistrée le 31 mars 2004, suivi d'un profil en dessèchement de 17 jours. Le dernier profil, le plus important à notre sens, a été prélevé le 13 juin 2004 après une pluie de 11 mm et un dessèchement du profil de 28 jours.

Pour la deuxième année, nous n'avons illustré que la période sèche, afin de confirmer les résultats de la première année sous différents angles :

- Le traitement où l'amplitude des variations est la plus remarquable,
- Le traitement recommandé,
- L'existence ou non du gradient hydrique des extrémités au centre des digues des impluviums.

II.2.1. Evolution des profils hydriques

L'allure générale des profils hydriques semble montrer des comportements presque identiques en cas de réhumectation du sol et un dessèchement pour les horizons de surface (jusqu'à 40 cm environ) plus remarqué pour le naturel et l'impluvium dont la surface réceptrice est de 32 m². Pour le naturel où il existe une variation conséquente des teneurs en eau, il a un comportement d'un sol nu ne bénéficiant pas d'apports supplémentaires résultant de la collecte des eaux de pluies par la surface réceptrice. La couche superficielle est la plus affectée par les processus de dessèchement et de « réhumectation ».

Pour les autres traitements, les variations des teneurs en eau sont moins nettes. Cela s'explique par le fait que les impluviums reçoivent une quantité d'eau largement supérieure à celle reçue par le naturel. Au-delà de 40 cm, c'est à dire, pour les horizons de profondeur 60-80 cm, les teneurs en eau semblent se stabiliser. Ces résultats corroborent les travaux de (AIDAOU, 1985) ; (KEBIECHE, 1989 ; BOULASSEL et SELLAM, 1998).

En ce qui concerne l'horizon 60 cm, nous avons constaté que l'humidité décroît en

cas de réhumectation, ceci est dû vraisemblablement à la nature du sol. Dans cet horizon, le sable dépasse le taux de 40% ce qui permet une infiltration vers les couches inférieures. Nous avons constaté que le sol n'est pas homogène et le sable commence à apparaître à partir de cette profondeur dans plusieurs endroits de la parcelle d'essai. Cette thèse semble la plus plausible pour expliquer la diminution de la teneur en eau à cette phase.

La stabilisation de la teneur en eau à l'horizon 80 cm est due à l'existence d'une couche peu perméable aux environs de 100 à 120 cm, mais également, aux flux descendants et latéraux provoqués par la pente qui avoisine les 20 %. Cette hypothèse a été vérifiée lors de la réalisation du profil pédologique où nous avons constaté une stagnation de l'eau jusqu'au mois de juin 2005 et un écoulement latéral en continu.

En ce qui concerne le gradient hydrique, donc, l'évolution de la teneur en eau des extrémités au centre de la digue de l'impluvium, on peut noter l'existence d'une variation significative de l'humidité des extrémités au centre de la digue. Ceci est valable pour le profil en dessèchement. Cette différence est due essentiellement à la convergence de toutes les eaux collectées à un seul point qui est le centre de la digue. Il nous est arrivé d'attendre trois jours pour le ressuyage du sol afin d'effectuer les prélèvements des échantillons de l'humidité à cause de la stagnation de l'eau au niveau du centre de la digue de l'impluvium.

En conclusion, nous pouvons dire qu'il est intéressant d'approfondir l'étude de la teneur en eau surtout en cas de dessèchement par un contrôle tensiométrique, c'est à dire, l'étude du couple (\square, \square) afin de mieux maîtriser les transferts hydriques, séparer les flux ascendants et les flux descendants, mettre en évidence l'existence et l'importance des infiltrations latérales et de mieux comprendre la stabilité des teneurs en eau à un seuil élevé pour les impluviums dont la surface réceptrice est importante.

Un suivi minutieux de la teneur en eau du profil en dessèchement continu s'impose pour tester l'efficacité des impluviums. Cette phase débute avec les dernières pluies printanières (généralement le mois de mai) et se prolonge jusqu'aux premières pluies automnales. Ce choix est dicté par le fait, que cette phase de sécheresse coïncide avec l'élaboration des organes fructifères chez l'olivier, d'où une demande accrue en eau.

Ainsi, nous constatons que pour la période allant du 24/02/04 au 22/03/04, les teneurs en eau volumétriques augmentent nettement des horizons de surface aux horizons profonds, excepté pour le T2, où les variations sont remarquables, surtout à l'horizon 60 cm où la teneur en eau diminue considérablement pour atteindre une valeur de 32,8 %, largement inférieure à celle de l'horizon 40 cm où l'humidité a atteint 52,63 %. Ceci peut être expliqué, comme on l'a souligné précédemment, par la présence d'un taux élevé de sable, mais également des petits cailloux qui ont tendance à augmenter le poids sec du sol.

Pour le reste, la teneur en eau suit une tendance linéaire avec les plus grandes valeurs enregistrées à l'horizon 80 cm (figures 13 et 14).

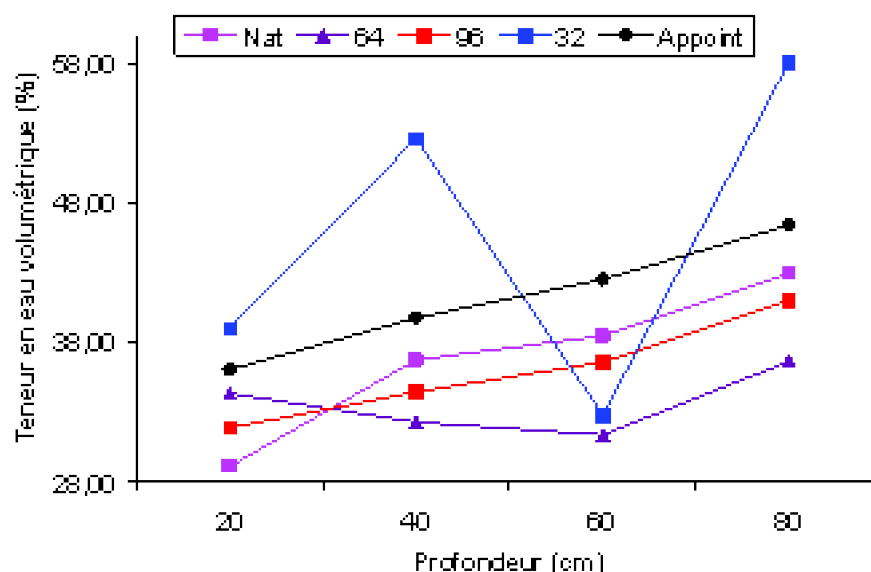


Fig.13 : Evolution des profils hydriques (profils en réhumectation, 24/02/2004)

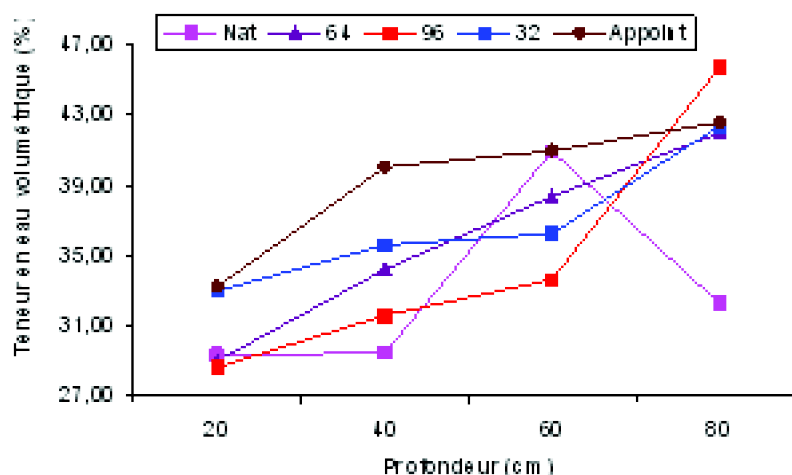


Fig.14 : Evolution des profils hydriques (profils en réhumectation, 22/03/2004)

Les teneurs en eau varient entre 29,15 à 43,01 %, 31,38 à 36,64 %, 31,88 à 41,03 %, 32,80 à 58,52 % et 36,08 à 46,43 % respectivement pour les traitements T1, T2, T3, T4 et T5.

On remarque que l'horizon 0 – 20 cm se dessèche rapidement après une pluie sous l'effet des flux descendants, ascendants mais surtout les infiltrations latérales. La teneur en eau pour cette phase augmente dans le sens de la pente, c'est à dire, dans le sens de l'écoulement en surface (le ruissellement). La teneur en eau augmente dans le sens $T1 < T3 < T4 < T2 < T5$. Il est recommandé de peaufiner l'étude de l'écoulement latéral par un suivi du couple (teneur en eau, tension de l'eau dans le sol).

La figure 15, correspondant au profil réalisé le 02/04/04 après un dessèchement du sol d'une semaine suivi d'une pluie de 17 mm enregistrée le 31/03/04, montre une augmentation de l'humidité en surface atteignant 41 % pour le T4. Pour le traitement naturel, la teneur en eau à l'horizon 20 ne dépasse pas 30 %. Si pour les horizons 20, 60 et 80 cm, la variation de la teneur en eau entre traitements est bien visible, elle converge vers une valeur presque constante à l'horizon 60 cm.

Après un dessèchement de 17 jours, la courbe du traitement T4 enveloppe les autres traitements (figure 16). En ce qui concerne le traitement naturel, nous constatons une stabilité de l'humidité de la surface à l'horizon 80 cm. Elle varie entre 21,90 et 25,57% de la surface à l'horizon 80 cm. Pour les autres traitements, La teneur en eau croit en profondeur. Elle se stabilise autour de 40 % pour les traitements T2, T3 et T5 à l'horizon 80 cm. Par contre, elle varie de 35,33 % en surface à 49,80 % à l'horizon 80 cm pour le traitement T4. Pour le même traitement (T4), la teneur en eau est constante pour les horizons 40, 60 et 80 cm et reste à une valeur très importante malgré l'absence de pluie sur une période relativement longue (17 jours). Ceci peut être expliqué par une réhumectation en continu résultant de la collecte des eaux de pluies par la surface réceptrice et les infiltrations latérales sous deux formes :

* Dans le sens de la pente,

* Et, des extrémités vers le centre de la digue de l'impluvium (figure 16)

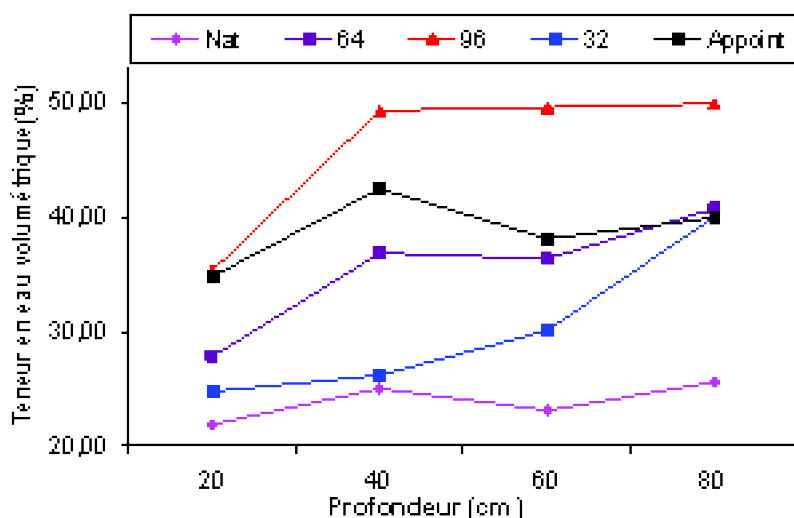


Fig.16 : Evolution des profils hydriques (profils en dessèchement de 17 jours, date du 17 avril 2004)

Ce résultat est confirmé lors d'un dessèchement de 28 jours, suivi d'une pluie de 11 mm enregistrée le 12 juin 2004. Nous constatons que la courbe du traitement T4 dont la surface réceptrice est de l'ordre de 96 m² enveloppe complètement les autres traitements. Pour les traitements T1, T2 et T3, l'humidité en surface reste faible. Ce résultat rejoint les conclusions des travaux de KEBIECHE (1989) et de BOULASSEL et SELLAM (1998) sur l'évolution des profils hydriques où ils ont constaté que pour les zones subhumides, les faibles hauteurs de pluie à partir du mois de mai n'affecte que légèrement la couche superficielle du sol et s'évaporent rapidement. Si l'humidité oscille autour de 25% en surface pour les traitements T1, T2, T3 et T5, elle atteint 36,43 % pour le traitement T4. Ce résultat est justifié par un écoulement favorable vers le centre de la digue de l'impluvium (figure 17).

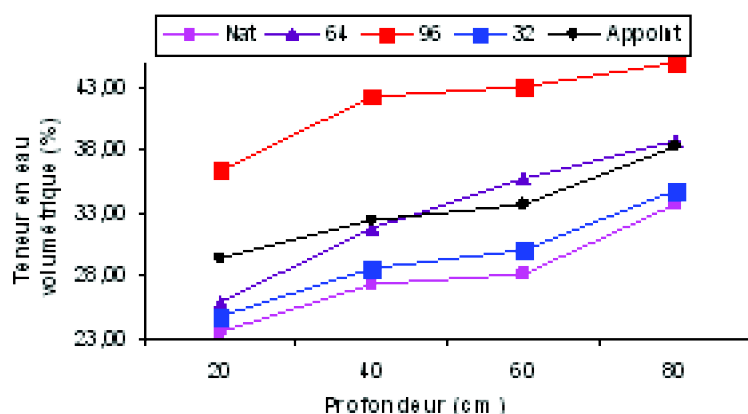


Fig.17 : Evolution des profils hydriques (profils en dessèchement de 28 jours suivi d'une pluie de 11mm ; date du 13 juin 2004)

En conclusion de la première année de mesure, on notera l'importance de la surface réceptrice sur le maintien de la teneur en eau du sol à un niveau élevé en profondeur, malgré un dessèchement remarquable en surface. Ceci est intéressant et mérite d'être approfondi pour mieux maîtriser les transferts hydriques dans des sols en pente (d'une manière générale dans les zones de montagnes). La corrélation des résultats de l'évolution de la teneur en eau et du stock d'eau et leur impact sur la rigueur des jeunes plants de l'olivier et la production par arbre, va nous permettre de tester l'efficacité de ces aménagements simples et peu coûteux et par la suite leur diffusion pour un développement durable de l'agriculture de montagne. Il y a lieu de noter que l'olivier constitue le moyen d'existence durable de plusieurs communautés de montagne dans la région de Béjaia, premier producteur national d'huile en Algérie.

Durant la deuxième année, nous nous sommes contentés de faire le suivi d'un profil en dessèchement « parfait ». L'année 2004-2005 est marquée par une succession de pluie et de neige durant toute la période hivernal (janvier – avril). Ainsi, la figure 18 correspondant à un profil réalisé le 14 avril 2005, juste après la fin de la période de pluie et neige, montre clairement une augmentation de l'humidité en surface pour tous les traitements. L'évolution de la teneur en eau de la surface aux horizons inférieurs (profonds) est presque linéaire. L'écart entre les différents traitements est moins visible.

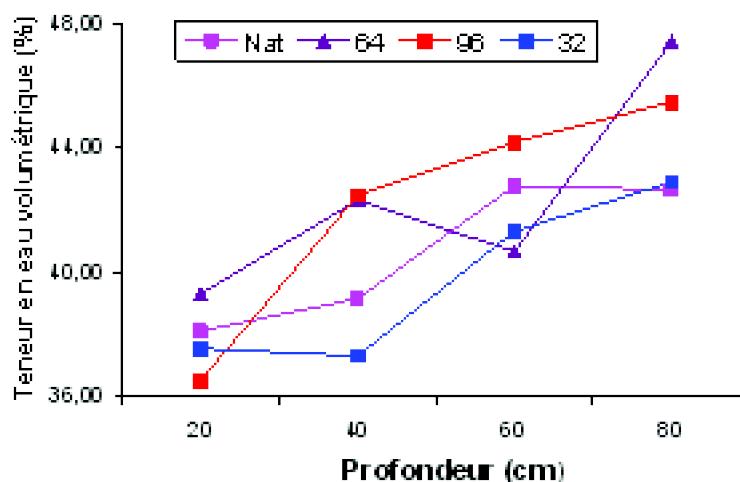


Fig.18 : Evolution des profils hydriques (profils en réhumectation, 14/04/2005)

La figure 19, illustre un profil en dessèchement de 1er jour, prélevé le 01/05/05. Nous constatons, comme pour l'année 2004 (figure 16), que la courbe du traitement T4 enveloppe les autres traitements. L'écart est remarquable entre la teneur en eau en surface et en profondeur. Elle varie entre 32,53 et 44,86 % de la surface à l'horizon 80 cm pour le traitement T4. Pour les autres traitements, elle fluctue entre 22,79 % pour le naturel en surface à 38,41 % pour le traitement T3 en profondeur.

Ce résultat confirme les conclusions de la première campagne de mesure en ce qui concerne l'allure générale des profils hydriques. Néanmoins, les valeurs enregistrées lors de cette année reste en dessous des valeurs de la campagne précédente. Ceci s'explique, vraisemblablement, par l'augmentation de la demande climatique, traduite par l'ETP, lors de l'année 2005 par rapport à la même période de l'année 2004.

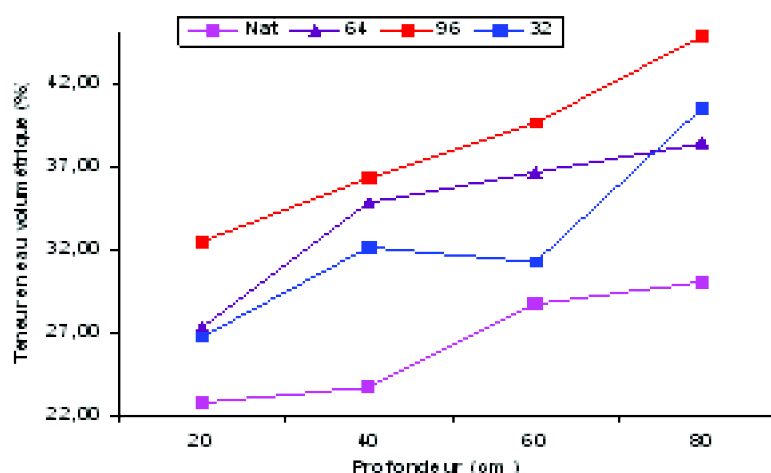


Fig.19 : Evolution des profils hydriques (profils en dessèchement de 17journs ; date du 1 mai 2004)

La figure 20, correspondant à un profil en dessèchement de 40 jours, prélevé le 24 mai 2005, montre que le traitement T4 garde une teneur en eau assez élevée en profondeur (les horizons 60 et 80 cm), malgré un dessèchement en surface. L'humidité varie de 25,67 % en surface à 41,07 % à l'horizon 80 cm. Les courbes des autres traitements sont complètement enveloppées par le traitement T4.

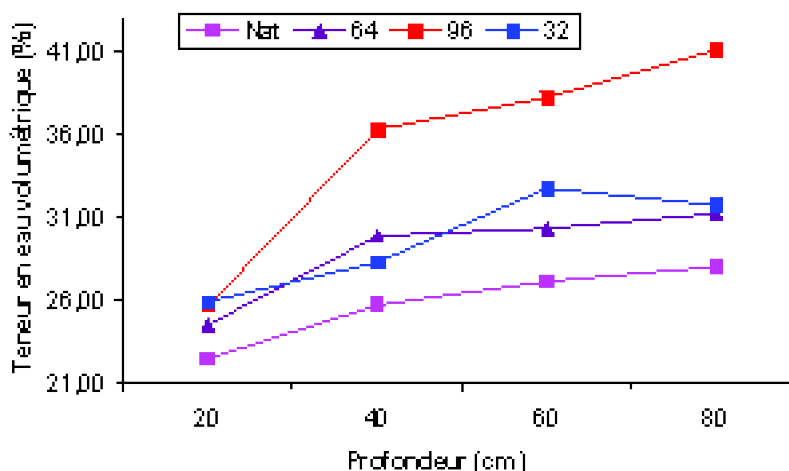


Fig.20 : Evolution des profils hydriques (profils en dessèchement de 40journs ; date du 24 mai 2005)

mai 2005)

A la suite d'une pluie de 8 mm enregistrée le 25 mai 2005, nous avons constaté une réhumectation en surface du traitement naturel, malgré un léger dessèchement des couches inférieures. L'humidité passe de 27,53% en surface à 26,46 pour l'horizon 80 cm. La même remarque peut être faite pour les autres traitements, sauf que l'humidité augmente en profondeur. Cela est dû à un apport supplémentaire issu de la collecte d'une partie des pluies (figure 21).

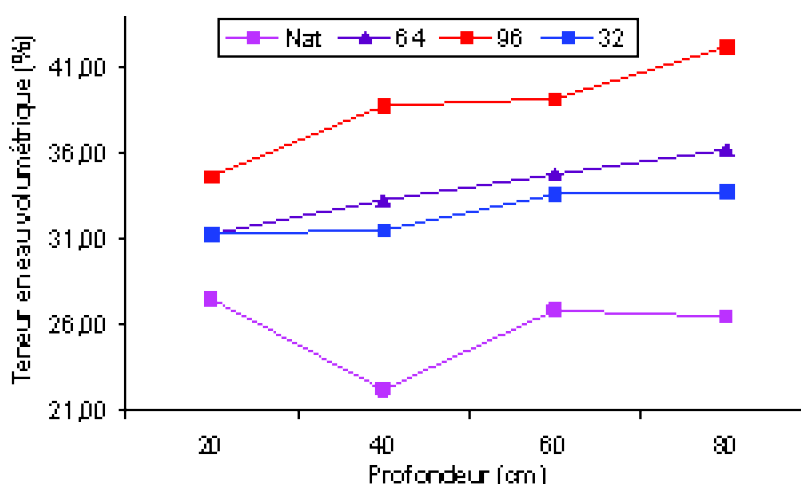


Fig.21 : Evolution des profils hydriques (en réhumectation ; date du 26 mai 2005)

Après un dessèchement d'une semaine, tous les traitements perdent de l'humidité en surface. Néanmoins, la courbe du traitement T4 enveloppe les restes des traitements, en maintenant une teneur en eau assez élevée en profondeur (figure 22).

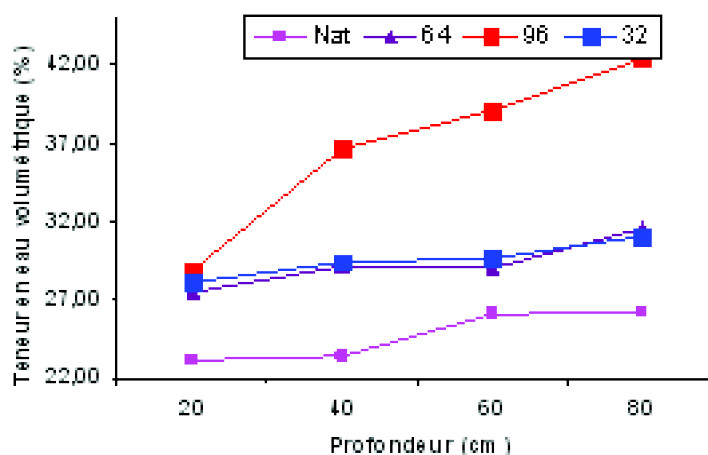


Fig.22 : Evolution des profils hydriques (profils en dessèchement d'une semaine ; date du 31 mai 2005)

En conclusion de l'étude de l'évolution des profils hydriques, on notera que le traitement T4 qui présente la plus grande surface réceptrice garde une teneur en eau élevée surtout en profondeur. Donc, du point de vue teneur en eau, ce traitement est recommandé avec en deuxième lieu le traitement d'appoint et le traitement T3 dont la surface réceptrice est de 64 m².

II.3. Gradient hydrique

Afin de tester l'efficacité des aménagements mis en place, nous avons procédé à un suivi de l'humidité des extrémités vers le centre de la digue de l'impluvium. Pour rappel, ce suivi ne concerne que le traitement T4. Nous constatons à travers l'analyse des résultats obtenus que les variations de la teneur en eau après des pluies conséquentes sont minimales entre les extrémités et le centre de la digue de l'impluvium. Mais, lorsque le dessèchement est accentué, l'amplitude des variations entre extrémités et le centre de la digue devient plus important. L'humidité a tendance à augmenter considérablement dans le sens de l'écoulement en surface « le ruissellement » et dans le sens de la pesanteur, donc en profondeur. Les valeurs les plus importantes sont enregistrées au centre de la digue de l'impluvium (figures 23 à 31). (OUYAHIA et al., 2006).

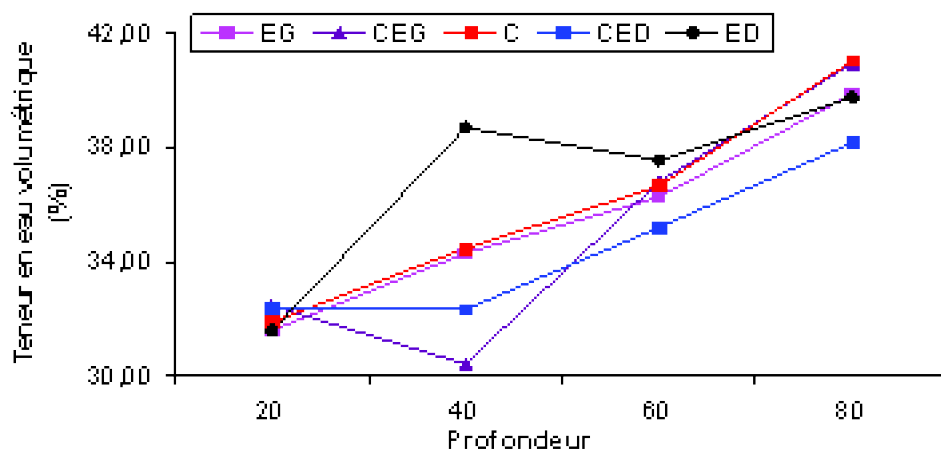


Fig.23 : Evolution de la teneur en eau des extrémités vers le centre de la digue l'impluvium (profil en réhumectation, le 24/02/2004)

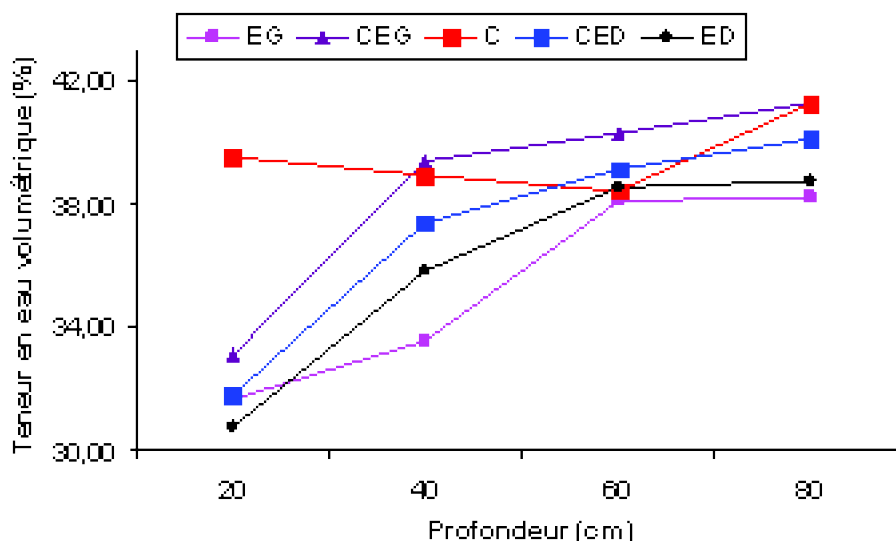


Fig.24: Evolution de la teneur en eau des extrémités vers le centre de la digue l'impluvium (profil en réhumectation, le 22/03/2004)

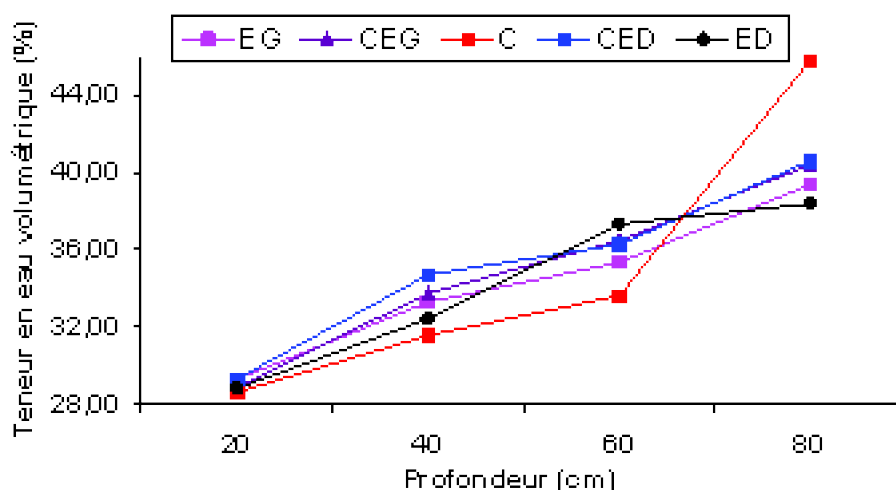


Fig.25 : Evolution de la teneur en eau des extrémités vers le centre de la digue l'impluvium (profil en dessèchement d'une semaine suivi d'une pluie de 18mm le 31/03/2004)

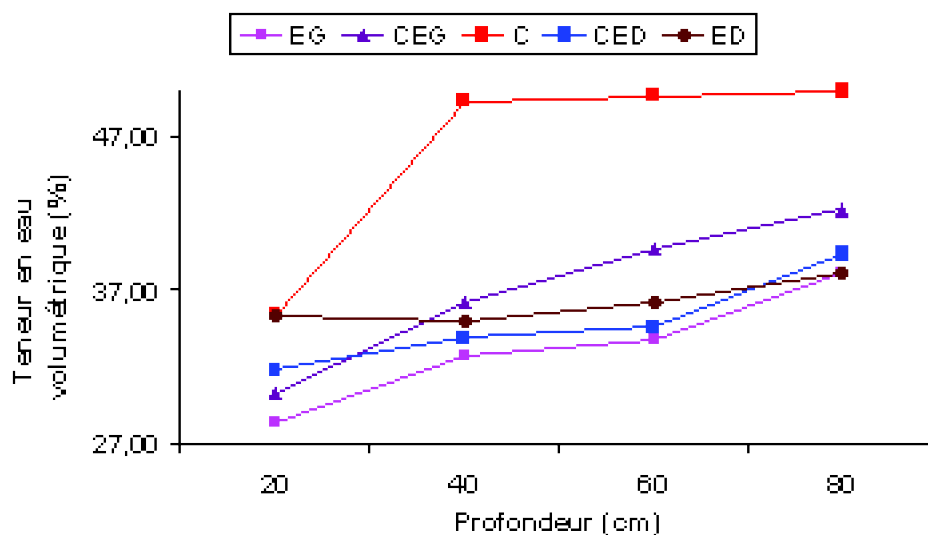


Fig.26 : Evolution de la teneur en eau des extrémités vers le centre de la digue l'impluvium (profil en dessèchement de 17 jours, le 17/04/2004)

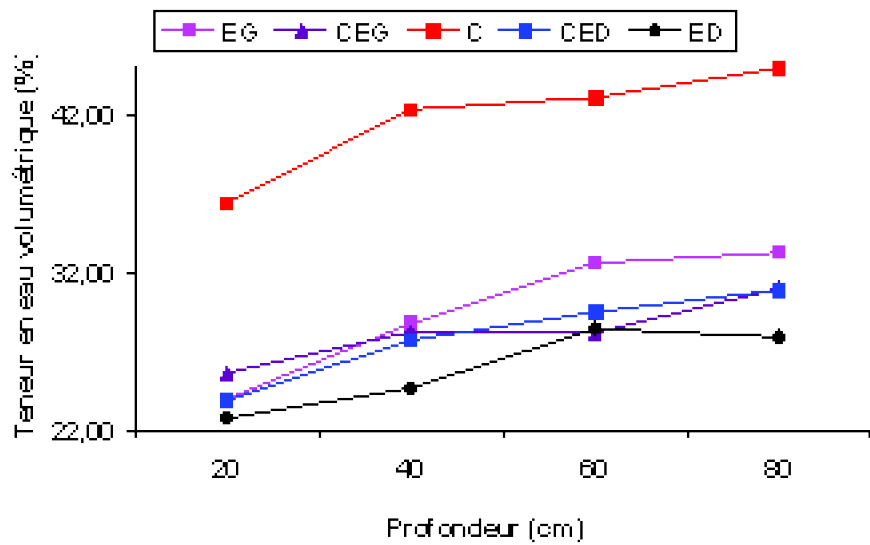


Fig.27 : Evolution de la teneur en eau des extrémités vers le centre de la digue l'impluvium (profil en dessèchement de 28 jours, le 13/06/2004)

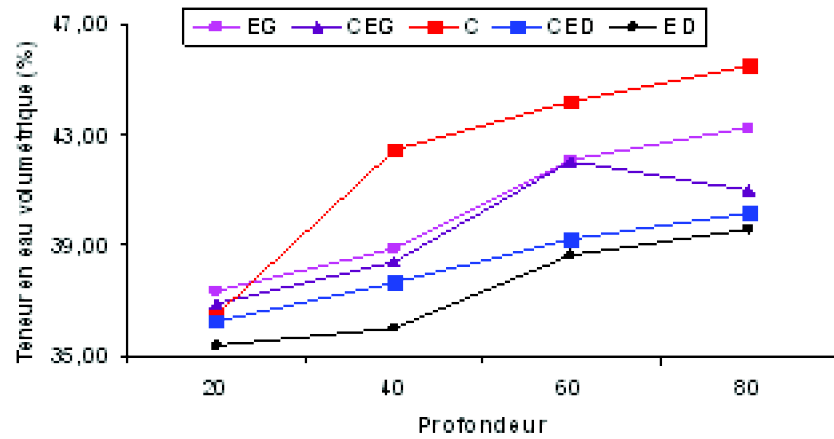


Fig. 28 : Evolution de la teneur en eau des extrémités Vers le centre de la digue de l'impluvium (Profil en réhumectation, le 14/04/05)

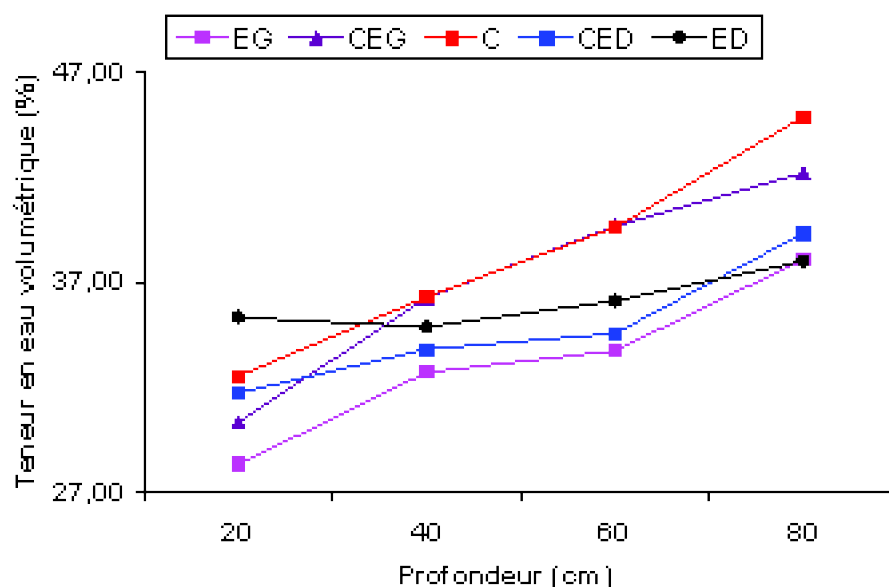


Fig.29 : Evolution de la teneur en eau des extrémités vers le centre de la digue l'impluvium (profil en dessèchement de 17 jours, le 1/05/2005)

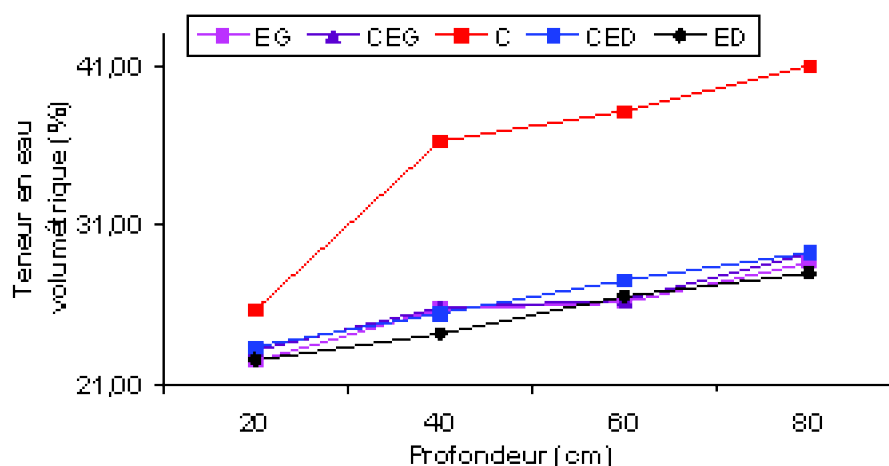


Fig.30 : Evolution de la teneur en eau des extrémités vers le centre de la digue l'impluvium (profil en dessèchement de 40 jours, le 24/05/2005)

III. Stock d'eau

A partir des profils hydriques, nous pouvons calculer la quantité d'eau retenue par le sol, pour la même date à une profondeur déterminée. Ainsi, pour toute la période d'essai, nous constatons que les fluctuations les plus importantes sont observées pour la couche 0-20 cm où nous notons des variations assez importantes des stocks d'eau par rapport aux horizons inférieurs, pour lesquels, le stock d'eau semble se stabiliser.

Pour une clarté des interprétations, nous allons décrire l'évolution des stocks d'eau pour chaque couche séparément et ensuite l'évolution du stock d'eau dans tout le profil.

a. Horizon 0-20 cm

La couche 0-20 cm présente les fluctuations les plus importantes. Elle est la couche la plus affectée par les processus de réhumectation et de dessèchement. Du point de vue tendance générale, nous constatons une diminution du stock d'eau dans le temps. Le stock varie approximativement d'une valeur initiale de 76 mm à une valeur finale de 44 mm pour le traitement naturel et d'une valeur maximale, lorsque le profil en réhumectation, de 99 mm pour le traitement T4 à une valeur minimale de 47 mm pour le traitement T3 lorsque le profil est en dessèchement. Ces variations concernent toute la période d'essai (figure 32). Les pics enregistrés durant les périodes du 02/03/04, 30/04/04, 16/05/04, 14/04/05 et 26/05/05 sont dus à des apports plus ou moins importants de pluies qui varient entre 8 et 46 mm.

On constate également que la courbe du traitement T4 correspondant à une surface réceptrice de 96 m, enveloppe les courbes des autres traitements (figure 34), à l'exception de la mesure du 02/04/2004, qui semble être la plus faible de toutes.

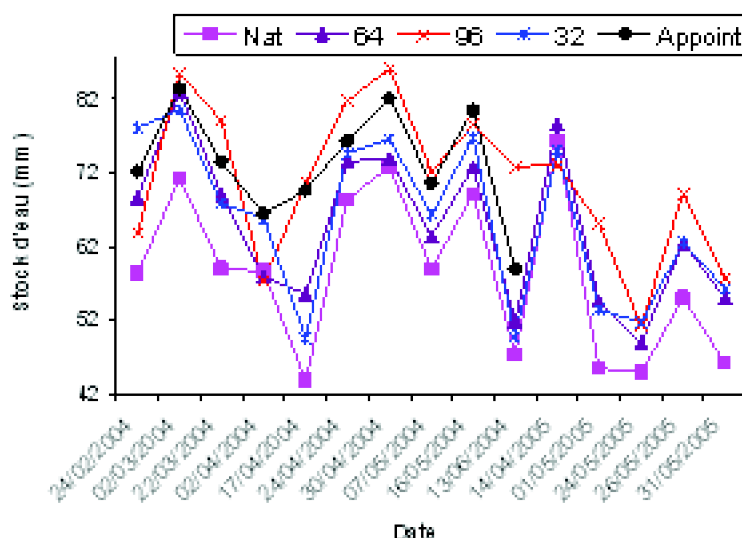


Fig.31 : Evolution du stock d'eau (horizon 0-20cm)

b. Horizon 20-40 cm

Du point de vue tendance générale, le stock d'eau de la couche 20-40 cm diminue dans le temps. Il passe d'une valeur initiale de 65,91 mm à une valeur finale de 51,07 mm et entre 77,30 et 46,63 mm respectivement pour les années 2004 et 2005 pour le traitement naturel.

Pour le traitement T4, nous constatons qu'il enveloppe presque complètement les autres traitements, malgré une variation légère du stock d'eau entre les différents traitements lors d'une réhumectation. En ce qui concerne l'allure générale, nous constatons que tous les traitements suivent la même tendance que se soit en réhumectation ou en dessèchement, exception faite pour le traitement T4 où nous avons constaté une réhumectation de l'horizon considéré suite à un dessèchement du profil (cas du 17/04/04 et du 13/06/04) (figure33).

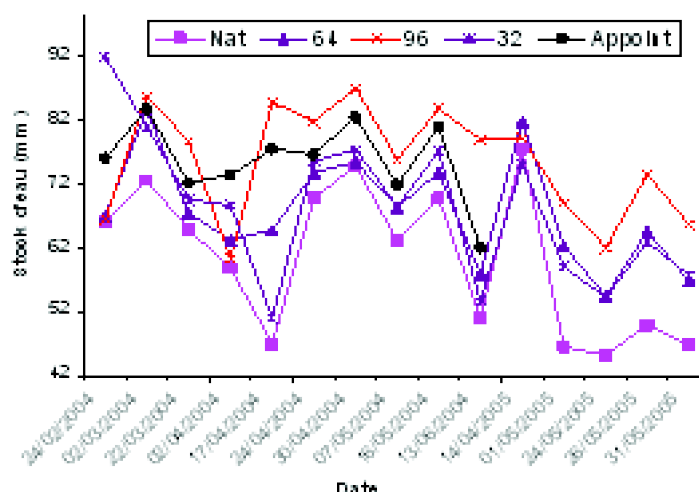


Fig.32 : Evolution du stock d'eau (horizon 20-40cm)

c. Horizon 40-60 cm

La figure 34, qui correspond à l'évolution du stock d'eau de la couche 40-60 cm durant toute la période d'essai (les deux années de mesures), montre clairement que le traitement naturel, qui ne bénéficie pas d'un apport supplémentaire présente les stocks les plus faibles comparés aux autres traitements. En ce qui concerne la tendance générale, nous constatons une diminution du stock d'eau dans le temps.

Nous constatons également que tous les traitements ont la même allure que se soit en réhumectation ou en dessèchement. Le traitement T4 se démarque des autres traitements lors d'un dessèchement de 17 jours (date du 17/04/04) où l'amplitude entre celui-ci et les autres traitements est importante. L'écart en faveur de T4 est de 50,76, 42,63, 25,65 et 18,31 mm respectivement pour le traitement naturel, T2, T3 et le traitement d'appoint. Ceci représente un gain relatif de 105,4 %, 75,73%, 35 % et 22,71 % respectivement par rapport au traitement naturel, T2, T3 et T5.

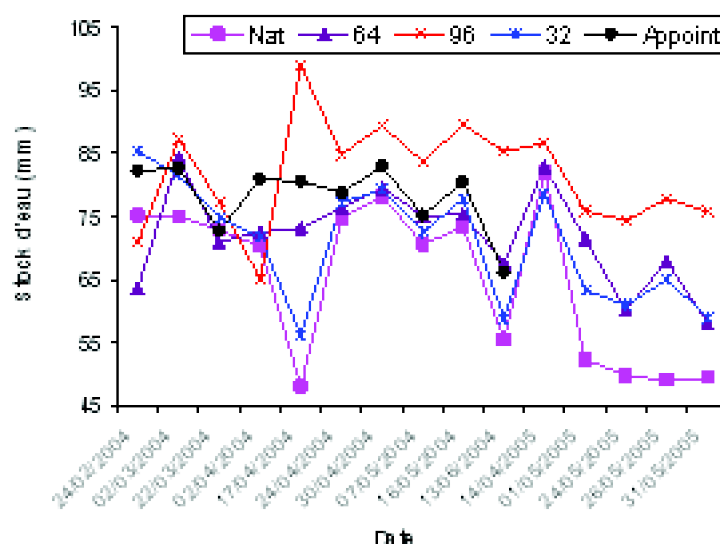


Fig.33 : Evolution du stock d'eau (horizon 40-60cm)

d. Horizon 60-80 cm

Les mêmes remarques et constats peuvent être faits pour la couche 60-80 cm où nous constatons une diminution du stock d'eau dans le temps (figure 35). Le traitement T4 se démarque des autres traitements lors d'un dessèchement de 17 jours (date du 17/04/04) où l'amplitude entre celui-ci et les autres traitements est importante. L'écart en faveur de T4 est de 50,81, 29,35, 22,35 et 21,44 mm respectivement pour le traitement naturel, T2, T3 et le traitement d'appoint. Ceci représente un gain relatif de 104,33 %, 41,83 %, 28,96 % et 27,46 % respectivement par rapport au traitement naturel, T2, T3 et T5.

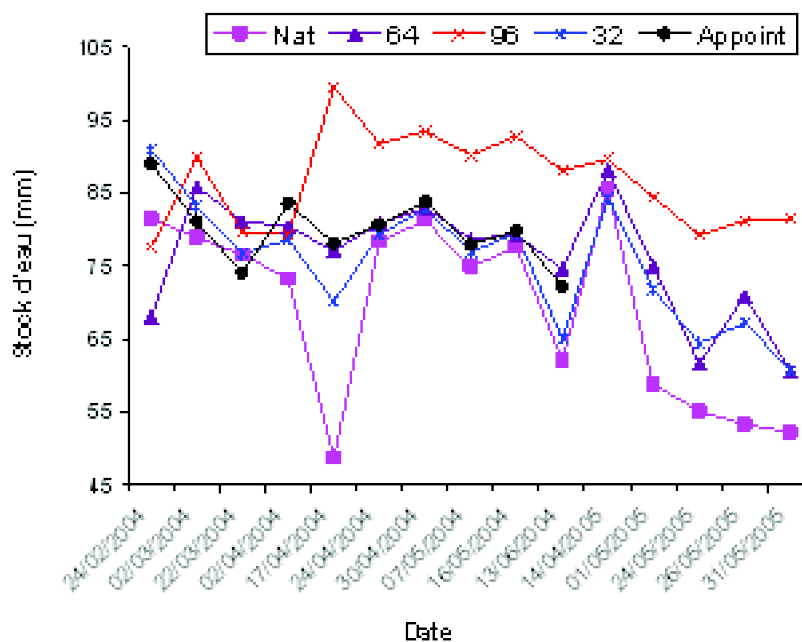


Fig.34 : Evolution du stock d'eau (horizon 60-80cm)

e. Horizon 0-80 cm

Réunissant tous les résultats obtenus précédemment aux différents horizons, et pour les différents traitements, nous caractérisons ainsi l'évolution du stock d'eau dans tout le profil étudié.

Nous constatons que le stock d'eau diminue dans le temps pour tous les traitements étudiés. Il passe d'une valeur initiale de 280,93 mm le 24/02/04 à une valeur finale de 216,03 mm le 13/06/04 et d'une valeur initiale de 320,98 mm enregistrée le 14/04/05 à une valeur finale de 194,75 mm enregistrée le 31/05/05 pour le traitement naturel. Pour les autres traitements, le stock diminue dans le temps, sauf pour le T4 où la valeur initiale de 267,06 mm enregistrée le 24/02/04 passe à 325,18 mm le 13/06/05. Ceci est dû à un apport d'eau de pluie de 13 mm enregistrée la veille.

Pour l'ensemble des traitements, les apports de pluies n'ont contribué que ponctuellement à la reconstitution de la réserve du sol. Les traitements T4, T5 et à un degré moindre le T4, perdent plus lentement leurs réserves que les traitements T1 et T2 (figure 36). A la fin de la campagne de mesures de la première année, c'est à dire, après un dessèchement de 28 jours suivi d'une pluie de 11 mm (date du 13/06/04), nous avons constaté que l'amplitude entre le traitement T4 et les autres traitements est importante. L'écart en faveur de T4 est de 109,15 mm, 97,77 mm, 73,13 mm et 65,96 mm

respectivement pour le traitement naturel, T2, T3 et le traitement d'appoint. Ceci représente un gain relatif de 50,52 %, 42,99 %, 29,01 % et 25,44 % respectivement par rapport au traitement naturel, T2, T3 et T5. Après un dessèchement de 40 jours (date du 24/05/05), l'écart en faveur de T4 est de l'ordre de 71,97 mm, 35,58 mm et 41,94 mm respectivement pour le traitement naturel, T2 et T3. Ceci représente un gain relatif de 36,89 %, 15,37 % et 18,63 % respectivement par rapport au traitement naturel, T2 et T3. (Ouyahia et al., 2006).

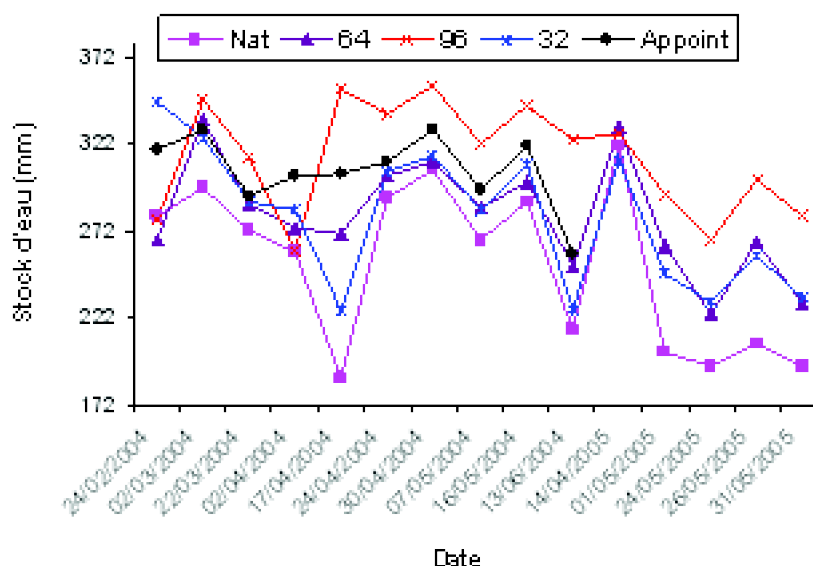


Fig.35 : Evolution du stock d'eau (horizon 0-80cm)

III.1. Variation du stock d'eau

Les profils hydriques permettent de calculer la variation de l'humidité du sol entre deux dates dans le même endroit à une profondeur déterminée. Cette variation traduite en colonne d'eau détermine la variation du stock d'eau entre les deux dates considérées. Ainsi, nous constatons pour toute la période d'essai une diminution de la variation du stock d'eau pour tous les horizons étudiés et pour tous les traitements considérés. Elle varie, pour tout le profil étudié (0-80 cm), entre un gain initial de l'ordre de 16,89 ; nulle, 69,67 ; 69,44 et 11,54 mm enregistrés le 24/02/04 et une perte finale de l'ordre de 73,75 ; 83,83 ; 49,15 ; 19,40 et 62,56 mm enregistrés le 13/06/05 respectivement pour les traitements T1, T2, T3, T4 et T5.

Il ressort de ce qui précède que le traitement T4, qui représente l'impluvium dont la surface réceptrice est la plus importante, perd beaucoup moins d'eau que les autres traitements. Il y a lieu de noter également que les faibles pluies, surtout celles qui surviennent à partir du mi-mai n'affectent que ponctuellement la couche superficielle du sol et s'évaporent ensuite rapidement. Dans le cas des sols en pente, un autre phénomène intervient pour expliquer le dessèchement rapide dans le cas traitement naturel, il s'agit de l'infiltration latérale. Ainsi, nous constatons qu'une hauteur de pluie de 8 mm enregistrée le 25/08/05 n'a affecté que la couche superficielle du traitement naturel. Le gain de 12,54 mm peut être expliqué par les façons culturales (crochetages autour des

arbres) qui a favorisé positivement l'infiltration. Pour les autres traitements, Nous enregistrons des gains qui varient approximativement de 26 à 40 mm. Ceci est assuré par une alimentation des couches inférieures, au delà de 60 cm par la collecte des eaux et un écoulement préférentiel vers le centre de la digue de l'impluvium (figures de 36à 40). (Mouhouche et al., 2006).

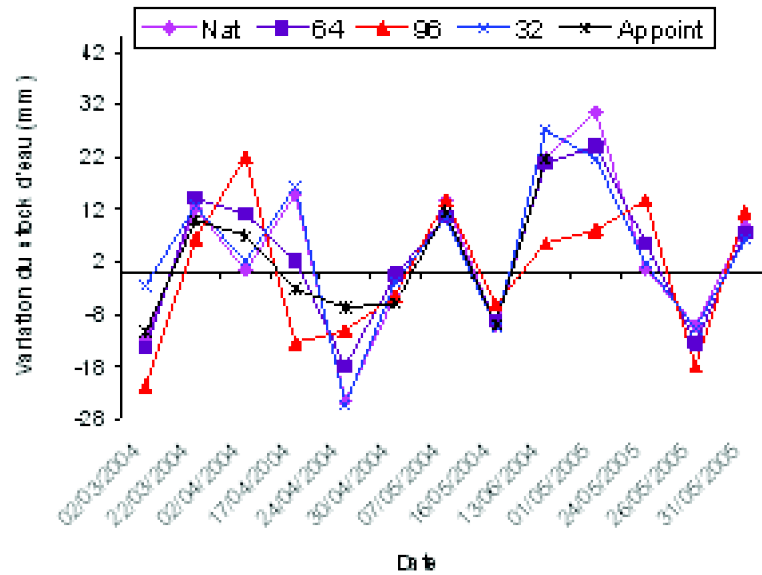


Fig.36 : Evolution de la variation du stock d'eau (horizon 0- 20cm)

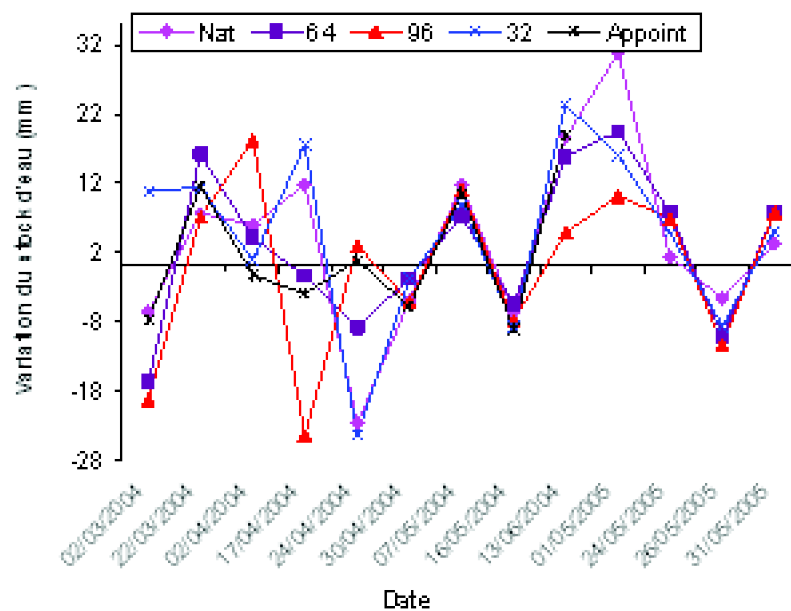


Fig.37 : Evolution de la variation du stock d'eau (horizon 20- 40cm)

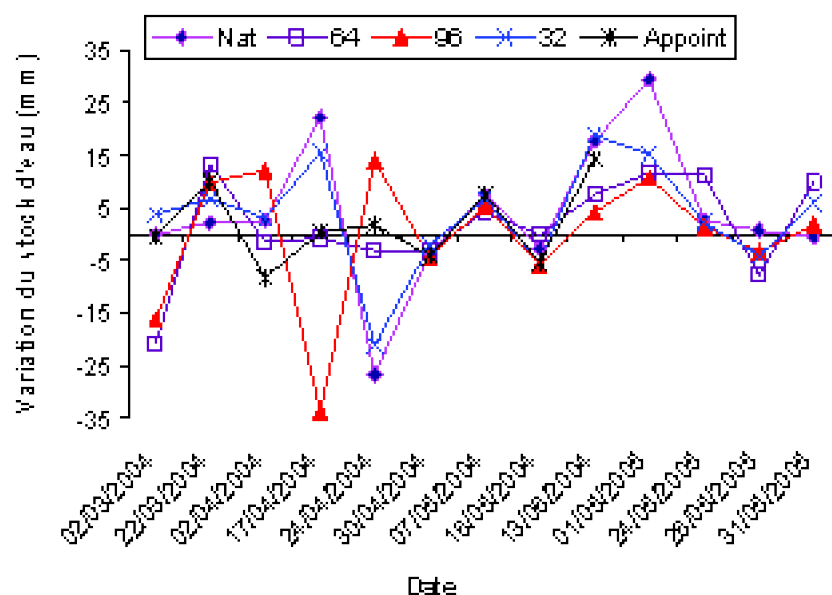


Fig.38. : Evolution de la variation du stock d'eau (horizon 0- 60cm)

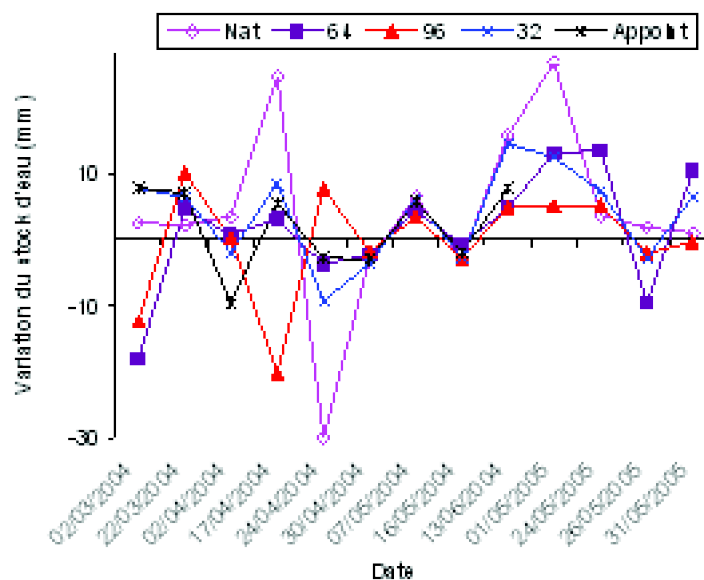


Fig.39 : Evolution de la variation du stock d'eau (horizon 60- 80cm)

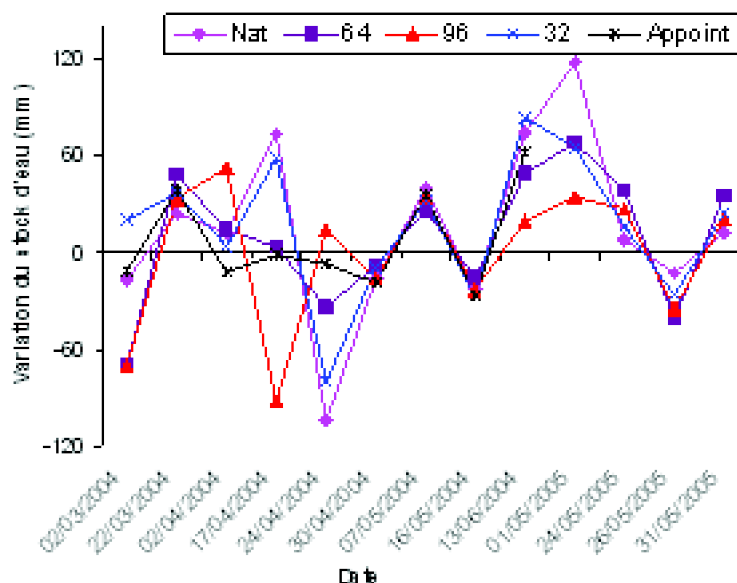


Fig.40 : Evolution de la variation du stock d'eau (horizon 0- 80cm)

III.2. Variation du stock d'eau entre les extrémités et le centre de la digue de l'impluvium

En complément du chapitre précédent, nous discutons dans ce qui suit, l'évolution de la variation du stock d'eau entre les extrémités et le centre de la digue de l'impluvium pour deux dates choisies, correspondant à deux profils en dessèchement, l'un de 28 jours et l'autre de 40 jours.

La figure 41 illustre le stock d'eau dans tout le profil pour les deux dates choisies. Nous constatons que le stock au centre de la digue de l'impluvium est plus important par rapport aux extrémités. L'écart du stock d'eau (ce qui représente la variation du stock d'eau) en faveur du centre de la digue de l'impluvium, lors d'un dessèchement de 28 jours (date du 13/06/04) est de l'ordre de 96,98 et 122,51 mm respectivement par rapport à l'extrémité gauche et l'extrémité droite. Ceci représente un gain relatif de 42,5 % et 60,45 % respectivement par rapport à l'extrémité gauche et par rapport à l'extrémité droite. Cela représente un gain de plus de 50 % du centre de la digue de l'impluvium par rapport aux extrémités situées chacune à 6 m du centre. (Mouhouche et al., 2006).

Lors d'un dessèchement de 40 jours, soit le 24/05/05, le gain en faveur du centre est de l'ordre de 67,53 et 70,24 mm respectivement par rapport à l'extrémité gauche et celle de droite. Ceci représente un gain relatif de 33,84 % et 35,69 %.

En conclusion, nous retenons que les impluviums permettent au sol de garder un stock d'eau à un niveau important à la fin de la campagne de mesure (juin 2004 et fin mai 2005). La variation du stock d'eau entre les extrémités et le centre de la digue de l'impluvium qui est approximativement de 110 mm et de 69 mm à la fin des campagnes de mesure correspond respectivement à deux mois et un mois et demi d'évapotranspiration d'une jeune oliveraie.

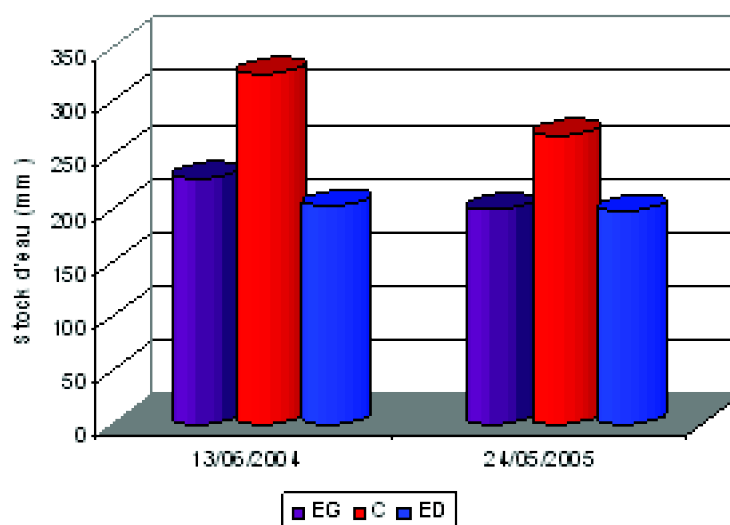


Fig.41 : Evolution du stock d'eau des extrémités au centre de la digue l'impluvium (cas d'un profil en dessèchement)

Dans le chapitre suivant, nous saurons plus sur l'effet de la collecte des eaux pluviales sur le développement et la rigueur de la jeune oliveraie, en comparant le gain en hauteur, en épaisseur et l'envergure des différents impluviums par rapport à un traitement naturel.

III.2.1. Effet de la surface réceptrice sur le développement de l'arbre

1. Effet de la surface réceptrice sur le gain de l'arbre en hauteur

L'analyse de la variance indique un effet hautement significatif ($P= 0,001$) de l'importance de la surface réceptrice sur le gain engendré par le développement de l'arbre en hauteur. En moyenne, les traitements de la surface réceptrice la plus importante, ont engendré les gains les plus remarquables. En effet, le T4 et T3 qui se comportent d'une façon homogène, car ils forment le même groupe selon le test de Newman-Keuls à un risque d'erreur estimé à 5%, ont un gain en hauteur plus important que le traitement naturel T1 et T2. (Mouhouche et al, 2006)

Le gain relatif est de 23,63% et de 26,28% respectivement pour le T4 et le T3. On peut expliquer le gain le moins important de T2 du fait que les hauteurs initiales (lors de la première mesure) du T1 est la plus grande par rapport aux autres traitements.

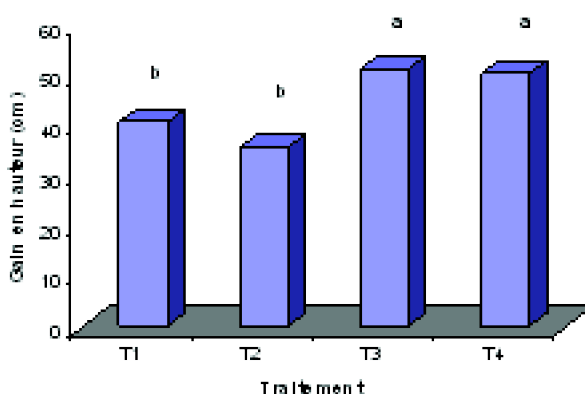


Fig.42 : Gain en hauteur des différentes surfaces réceptrices

Le traitement T2 semble se comporter comme un traitement naturel, car la surface réceptrice semble moins importante pour affecter positivement le développement de l'arbre en hauteur (fig.42).

2. Effet de la surface réceptrice sur le gain de l'arbre en envergure

L'analyse de la variance montre l'absence de toute différence significative pour la surface réceptrice sur le gain engendré pour le développement de l'arbre en envergure, mais, néanmoins, le gain diminue dans le sens $T4 > T3 > T2 > T1$.

Le gain relatif à l'envergure est de l'ordre de 13.34%, 13.1% et 6.93% respectivement pour T4, T3 et T2 par rapport au naturel. L'importance de la surface réceptrice a amélioré, en moyenne, l'envergure de 11.12 % par rapport au traitement naturel (tableau 12 et fig.43).

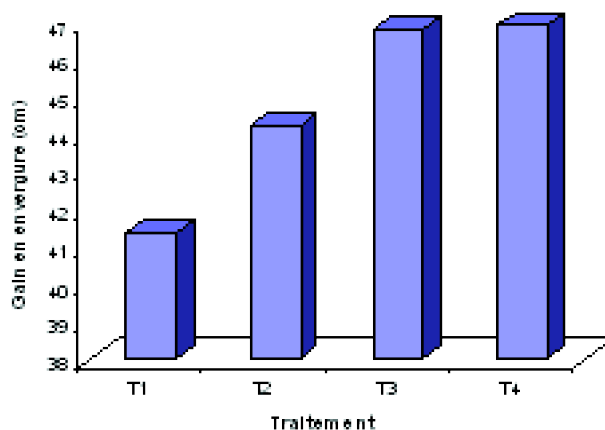


Fig.43 : Gain en envergure en fonction des différentes surfaces réceptrices

3. Effet de la surface réceptrice sur le développement du tronc au collet de l'arbre

L'analyse de la variance illustrée dans le tableau a révélé un effet non significatif de la surface réceptrice sur le gain engendré par le développement de l'arbre en épaisseur. Le gain le plus important est remarqué pour le T2 dont la surface réceptrice est la moins importante par rapport aux traitements T3 et T4. L'épaisseur est améliorée de 19.70%,

8.87% et 54.19% respectivement pour le T4, T3 et T2 par rapport au naturel.

L'importance de la surface réceptrice a amélioré, en moyenne, l'épaisseur de 27.58% par rapport au traitement naturel (tableau 12 et fig.44).

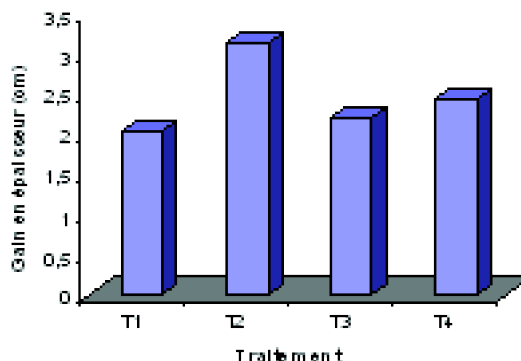


Fig.44 : Gain en épaisseur des différentes surfaces réceptrices

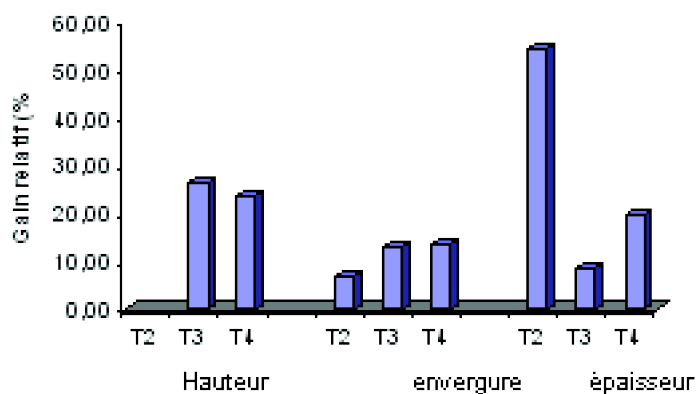


Fig.45: Gain relatif (%) en hauteur, en envergure, et en épaisseur des différents impluviums par rapport au naturel

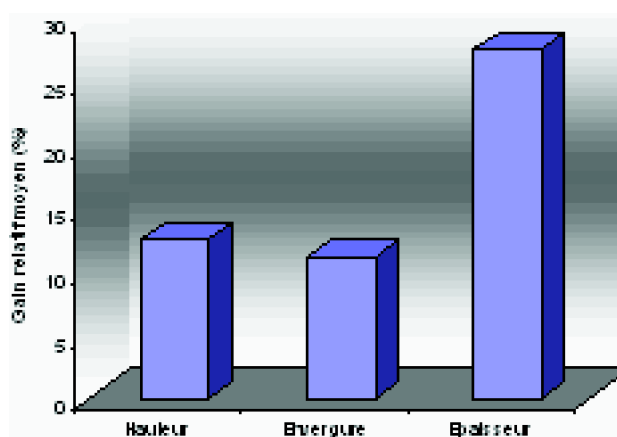


Fig.46: Gain relatif moyen (%) en hauteur, en envergure, et en épaisseur des différents impluviums par rapport au naturel

Tableau 12 : Carrés moyens de l'analyse de variance pluriannuelle du gain relatif à la hauteur, à l'envergure et à l'épaisseur des jeunes plants d'oliviers pour les quatre traitements

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Source de variation	ddl	Hauteur	Envergure	Epaisseur
Totale Traitement Bloc	14.50	78.80	198.33	13.45
rescue	0.11	231.38**	101.27	10.93ns
elle1			26.31	0.30

ns, *, **, *** non significatif, significatif à 5 %, 1 % et 0.1 % respectivement.

Conclusion

* Importance de la surface réceptrice; T3 et T4 qui reçoivent une quantité largement supérieure aux autres traitements, provenant de la collecte des eaux pluviales, ont les meilleurs gains en hauteur, envergure, et épaisseur.

De point de vue développement de l'arbre « jeunes plants de l'olivier », on peut opter au T3 ou bien T4. La solution intermédiaire qui est le T3 est importante pour les raisons suivantes :

- * Une couverture totale des plants dont l'écartement est ce une surface de m^2 .
- * Moins de risque d'érosion des extrémités de l'impluvium au centre de celui-ci, du fait de ralentissement de ruissellement sur une longueur moins importante que pour le T4
- * Moins de risque de débordement de l'eau lors des pluies intenses
- * Le stock d'eau est plus important pour le T4.

On constate que malgré un dessèchement accentué d'un mois (pluie= 0 mm), le stock d'eau cumulé avoisine les 410 mm.

Conclusion générale

Arrivés au terme de ce travail, nous rappelons les principales conclusions auxquelles nous avons abouties :

La caractérisation de l'état hydrique du sol est conditionnée par les relations existant entre le climat, l'eau et le sol qui sont de nature complexe et font intervenir plusieurs facteurs.

Il est intéressant d'approfondir l'étude de la teneur en eau en cas de dessèchement par un contrôle tensiométrique, c'est-à-dire l'étude de couple (θ , ψ) afin de mieux maîtriser les transferts hydriques, séparer les flux ascendants et les flux descendants.

Mettre en évidence l'existence et l'importance des infiltrations latérales et de mieux comprendre la stabilité des teneurs en eau à un seuil élevé pour les impluviums dont la surface réceptrice est importante.

En conclusion de la première année de mesure, nous avons constaté :

- L'importance de la surface réceptrice sur le maintien de la teneur en eau du sol à un niveau élevé en profondeur malgré un dessèchement remarquable en surface.
- L'étude sur l'évolution des profils hydriques fait montrer que :
- Les teneurs en eau varient entre 29,15 à 43,01%, 31,38 à 36,64%, 31,88 à 41,03%, 32,80 à 58,52% et 36,08 à 46,43% respectivement pour les traitements T1, T2, T3, T4 et T5.

Après un dessèchement de 17 jours, la teneur en eau croît en profondeur, elle se stabilise autour de 40% pour les traitements T2, T3, et T5.

Par contre elle varie de 35,33% en surface à 49,80% à l'horizon 80cm pour le traitement T4.

En effet, nous avons constaté que

- Le traitement T4 dont la surface réceptrice est de l'ordre de 96 m², maintient une teneur en eau élevée par rapport aux autres traitements.
- Le T4 est recommandé avec en deuxième lieu le T3 dont la surface réceptrice est de 64m².

Nous avons conclu que :

- Les impluviums permettent au sol de garder un stock d'eau à un niveau important à la fin de la campagne de mesure (juin 2004, et fin mai 2005).
- Le gain du stock d'eau par rapport aux autres traitements est de l'ordre de 71,97mm, 35,58mm, et 41,94mm respectivement pour le traitement T4 T2 et T3.
- La variation du stock d'eau entre les extrémités et le centre de l'impluvium qui est approximativement de 110mm et de 69mm à la fin des campagnes de mesure correspond respectivement à deux mois et demi d'évapotranspiration d'une jeune oliveraie.

En ce qui concerne l'effet de la collecte des eaux pluviales sur le développement et la rigueur de la jeune oliveraie, nous avons constaté que :

- Le T3 et / ou le T4 qui reçoivent une quantité largement suffisante d'eau par rapport aux autres traitements, ont les meilleurs gains en hauteurs, envergure et en épaisseur.

Pour lutter contre les phénomènes de fragilisation du bassin versant, il est important de mettre en œuvre toutes les solutions existantes qu'elles soient de type agronomique ou de type hydraulique.

D'une manière générale, la réalisation des aménagements vise deux objectifs :

- Réduire les phénomènes d'érosion en limitant les débits de ruissellement sur sols nus ou en contrôlant les concentrations d'écoulements lorsque ceux-ci s'avèrent inévitables.
- Augmenter la résistance des sols à l'érosion en choisissant les bonnes pratiques culturales et en adoptant un couvert végétal adéquat.

Enfin, nous tenons à signaler que les conditions de travail ne sont pas souvent idéales, pour mieux confirmer nos résultats à la réalité.

Cependant, ces résultats ne restent que préliminaires, d'autres études plus judicieuses sont à recommander pour tester l'efficacité de ces impluviums et par la suite

leurs diffusions pour un développement durable de l'agriculture de montagne.

Références bibliographiques

- ABROUK M., 2003-** Agence de bassin Algérois-Hodna-Soummam, avril 2003, (3) :38p.
- AIDAOUI A.,1985-** Variabilité spatiale de la conductivité hydraulique estimée in situ à partir des teneurs en humidités. Thèse magister, Inst.nat.agr., EL- Harrach, p159.
- ANONYME-** [http:// www.Tavlast.net](http://www.Tavlast.net)
- ANONYME., 1980-** Rapport de wilaya. Situation géographique de la wilaya de Bejaia.
- BAIZE D., 2000-** Guide des analyses en pédologie
- BATHILY M., 2003-** Détermination des besoins en eau d'irrigation par la méthode informatique en vue de l'élaboration d'un calendrier des irrigations dans la vallée de la SOUMMAM : Cas de la wilaya de Bejaia. Mémoire Ing.agro., Inst.nati.agro., EL- Harrach, p100
- BLAVOUX B. et LETOLLE R.,1995-** Apports des techniques isotopiques à la connaissance des eaux souterraines géochronologique, 54, p 12-15.
- BROOKS K., FOLLIOTT P.F. GREGERSEN H.M. et THAMES J.L., 1991-** Hydrogeology and the management of watershed. Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa.
- BROOKS D., 2002-** L'eau gérée localement, CRDI, ISBN, 80p.
- BROUSSE G. et LOUSSERT R., 1978-** L'olivier, techniques agricoles et productives méditerranéennes.
- BOULASSEL A., 1990-** Etude de l'hydrodynamique de la couche du sol. Mémoire

Ing.agro., Inst.nati.agro., EL- Harrach, p75.

BOULASSEL A. et SELLAM F., 1998- Etude hydrodynamique de la couche du sol superficielle en conditions naturelle. Recherche Agronomique 2, p 27-36.

Chambre d'agriculture de Bejaia (non daté)

CHILDS JL. ET HOPMANS J.W., 1993- Spatial and seasonal variation of furrow infiltration, irrigation and drainage en genéering, 119(1): 74-90.

DASTANE N.G. (1977) : Précipitations efficaces en agriculture irriguée in Bull.F.A.O. D'irrigation et de drainage, n°25, 1977.

DECHEMI N., AIT MOUHOUB D. et SOUAG G., 2000- Contribution à l'analyse du régime pluviométrique sur le littoral algérien sécheresse .vol.11(1) : mars 2000.

DEREK C. (1998): Cropwat for Windows: User guide.

DJAMED N., 2003- Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam : Etablissement de la carte pluviométrique. Mémoire Ing.agro., Inst.nati.agro., EL- Harrach, 94p.

Djili K. (1994) : Cours polycopie 4^{ème} année, cartographie et prospection des sols ; Inst.nati.agro., EL- Harrach, 40 p.

DOMINIQUE S.,1987- Les bases de la production végétale, le sol, le climat, la plante.

DOORENBOS J. et PRUITT W.O., 1986- Les besoins en eau des cultures. Bull.FAO d'irrigation et de drainage, n°24, Rome.

DUVOUX B. et GRILJ J., 1991- Maîtrise de ruissellement et de l'érosion : Conditions d'adaptation des méthodes Américaines Cemagref, éditeur Lyon.

FAO., 2002- Eau et Agriculture, produire avec moins d'eau.

GALEA G. ET RAMEZ P.H., 1995- Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble de coteau. Guide de l'usage des aménagements, septembre 1995, 126p.

GRECO J., 1966- Erosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. Ed. Publication du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Alger, 393p.

GUY A., 1978- Methodes d'analyse des sols.P8.

HACHUM A., OWEIS T. and PRINZ D., 2001- Water harvesting: Indigenous knowledge for the future of the Drier Environments. ICARDA, Aleppo, Syria. 40pp.

HILLEL D., 1984- L'eau et le sol. Ed. Louvain la neuve, Belgique : Acadimia, 2940p.

HUFTY A., 2001- Introduction à la climatologie : le rayonnement et la température, l'atmosphère, l'eau, le climat et l'activité humaine. 542p.

I.T.A.F (1999): La culture de l'olivier.

KEBIECHE A., 1989- Evolution des profils hydriques en conditions naturelle. Essai de modélisation de l'évaporation d'un sol nu (modèle de Rutchie). Mémoire Ing.agro., Inst.nati.agro., EL- Harrach, p53.

LUC J.P., 1988- Fonctionnement hydrique du réservoir sol. Colloque AGPH. Alimentation hydrique mais, 8-9 déc. AGEN.

MERMOUD A., 2001- Cours de physique du sol: Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. P50.

- MOUHOUCHE B., 2005-** Exemple d'application sur l'utilisation des techniques de collecte des eaux pluviales et de recharges de nappes dans les pays arabes. Congrès international sur la collecte des eaux pluviales et la recharge des nappes souterraines. « Tripoli- Libye 10-13-01-2005 ».
- MOUHOUCHE B., BOULASSEL A. et OUYAHIA N., 2006-** Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations dans la vallée de la Soummam par la méthode de collecte des eaux pluviales. (article proposé pour la publication à la revue ANDRU).
- MUSY A., 2004-** Le cycle et le bilan hydrologique
- OUYAHIA N., BOULASSEL A. et MOUHOUCHE B., 2005-** Méthodes de collecte des eaux pluviales. Journée sur la 10^{ème} fête de l'olive, 5 au 7 février 2006, maison de la culture de Béjaia, 10p.
- PEREIRA L.S., 1996a-** Surface irrigation systems, in Traité d'irrigation (Tiercelin J.R. et Tardieu H.) ; Lavoisier Paris, 1998 ; 1011p.
- SMITH M., 1992-** CROPWAT, un logiciel pour la planification et la gestion des systèmes d'irrigations, FAO, n°46,133p.
- ZWAHLEN F. et RENARD P., 2002-** Hydrogéologie générale, types de milieu et porosité. P4.

Annexes

Annexe 1

Tableau 1: Température

Mois/Date	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Moy
JAN	11,3	11,2	14,2	13,2	12,2	11,1	9	12,9	10,7	11,3	10,58
FEV	11,9	13,7	11,5	12,3	12,6	9,6	11,7	11,3	11,6	10,5	11,67
MARS	14	13,2	13,8	12,8	13,3	13,6	13,4	16,9	14	13,9	13,89
AVR	13,8	14,4	15,7	15,4	15,8	15	16,5	15,3	15,4	15,6	15,29
MAI	19,5	19,4	17,8	19,8	18	19,7	19,4	17,7	18,4	18,3	18,8
JUN	22	21,7	21,6	23,2	22,3	22,9	21,7	23,2	22	24,6	22,52
JUIL	25,4	24,4	24,1	24,1	24,4	24,8	25,5	24,7	24,2	27,3	24,89
AOUT	28,1	25,4	25,2	25,6	25,1	26,9	25,9	25,7	24,6	27,9	26,04
SEPT	24,3	22,4	21,4	23,9	23,6	24,5	23,4	23,2	22,9	19,8	22,94
OCT	20,2	20,1	17,5	20,1	17,8	22,1	18,9	22,6	19,5	20,5	17,92
NOV	16,4	16,6	15,7	16,3	14,6	14,6	16,2	14,7	16,2	15,9	15,72
DEC	12,4	14,8	14,2	13,1	11	11,9	13,9	10,7	13,9	11,6	12,75
Annuel	17,3333	16,4333	17,725	18,32	17,5583	18,0583	17,9583	18,242	17,7833	18,1	17,750833

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Tableau 2: humidité

Mois/Date	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Moy
JAN	82	73	71	67	72	80	80	72	79	77	75,3
FEV	79	74	72	81	78	78	75	75	78	76	76,6
MARS	93	73	75	72	76	73	76	68	77	77	76
AVR	76	75	74	74	75	75	71	77	75	82	75,4
MAI	75	69	78	75	82	78	85	82	74	82	78
JUN	74	79	78	73	80	78	79	70	76	72	75,9
JUIL	70	77	74	76	76	74	73	74	77	73	74,4
AOUT	68	73	76	77	78	74	70	75	79	70	74
SEPT	72	74	73	75	76	74	75	78	76	80	75,3
OCT	80	76	74	76	74	71	79	73	75	81	75,9
NOV	79	65	69	75	79	76	69	76	73	77	73,8
DEC	75	73	66	74	76	77	69	80	77	76	74,3
Annuelle	76,917	73,42	73,3	74,6	76,83	75,67	75,08	75	76,333	76,92	75,4083

Tableau 3: Durée d'ensoleillement

Mois/Date	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Moy
JAN	4,74	4,74	4,7	4,25	5,48	4,12	6,32	5,41	6,06	3,58	4,94
FEV	7,35	7,35	4,42	7,28	6,25	5	7,96	6,89	6,92	4,46	6,388
MARS	6,8	6,8	6,16	2,74	7,19	6,7	7,61	2,45	7,41	6,96	6,082
AVR	8,86	8,86	6,2	8,6	8,43	9,53	8,56	2,66	7,8	7,2	7,67
MAI	10	10	9,41	8,38	7,7	8,38	7,51	8	10,4	8,25	8,803
JUN	9	9	10,1	11,4	10,7	7,06	9,56	11,4	10,7	10,9	9,982
JUIL	11,6	11,6	11,9	9,61	12,1	11	10,3	10,3	9,35	9,93	10,769
AOUT	10,1	10,1	9,19	10,5	9,54	9,03	10,5	9,7	8,22	9,32	9,62
SEPT	8,06	8,06	7,7	7,4	7,33	8,86	7,86	7,13	8,1	7,5	7,8
OCT	7,32	7,32	7,25	6,16	7,19	6,64	6,61	7,9	7,77	5,45	6,961
NOV	6,03	6,03	6,56	4,76	4,3	4,56	5,9	4,93	4,8	5,36	5,323
DEC	4,67	4,67	4,54	4,9	5,09	4,64	5,8	5,45	3,61	4,35	4,772
Annuel	7,8775	7,8775	7,3442	7,165	7,60833	7,12667	7,87417	6,8517	7,595	6,93833	7,4258333

Tableau 4: Pluviométrie

Mois/Date	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Moyenne
JAN	55	238	105	50	16	126	73	212	69	311	125,5
FEV	82	56	221	25	80	120	22	68	104	69	84,7
MARS	1	96	59	16	61	52	14	9	58	31	39,7
AVR	56	36	118	54	95	30	27	64	18	221	71,9
MAI	8	2	44	11	160	15	54	37	24	27	38,2
JUN	2	23	39	22	3	1	5	0	0	1	9,6
JUIL	0	0	10	2	0	1	1	0	107	8	12,9
AOUT	1	20	4	21	10	3	0	12	18	2	9,1
SEPT	133	71	38	58	46	48	13	47	62	114	63
OCT	74	16	47	22	81	24	77	3	36	76	45,6
NOV	18	52	95	108	185	93	31	103	193	46	92,4
DEC	149	61	54	93	128	203	66	71	315	206	134,6
Annuel	579	671	834	482	865	716	383	626	1004	1112	727,2

Tableau 5 : Vitesse du vent

Mois	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
V (m/s)	4,7	4,28	3,92	3,52	3,58	3,47	3,63	3,38	3,54	4,13	4,4	4,9

Tableau 6: Evapotranspiration

Mois/Date	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
JAN	41,85	55,49	66,34	70,06	59,2	44,33	40,9	61,4	45,88	48,98
FEV	51,8	63	56,84	50,12	53,8	45,92	57,1	55,2	52,08	49,56
MARS	53,63	80,29	78,12	71,61	77,2	81,53	67	89,9	78,43	77,19
AVR	93	96,3	93,3	100,5	99,9	100,5	109	76,2	96,3	85,2
MAI	134,2	143,5	119,7	128,3	107	123,1	106	107	132,68	110,67
JUN	141	131,4	138	160,5	141	126,3	134	165	146,1	166,5
JUIL	182,6	164,3	164,6	153,8	169	168,6	170	164	151,28	177,32
AOUT	180,4	158,1	146,9	154,1	145	157,2	168	154	133,61	171,12
SEPT	126,3	115,5	111,9	113,1	113	126,9	117	108	114	94,2
OCT	83,39	90,52	85,56	88,04	86,2	105,4	79,7	107	91,45	77,81
NOV	58,5	82,8	73,8	63,9	52,8	57,9	74,7	58,5	67,2	60
DEC	53,63	62,93	73,47	56,73	48,7	48,98	67,6	42,2	53,32	49,91
annuelle	1200	1244	1209	1211	1152	1187	1191	1188	1162,3	1168,46

Tableau7 : Nombre moyen de jours d'observation de quelques phénomènes climatiques

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Phénomènes	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juill	août	sept	oct	nov	dec	annuel
Brouillard	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0
Orage	2,5	2,7	3,4	2,0	2,1	0,9	1,4	1,9	2,9	3,3	2,2	2,8	28,1
neige	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2
Grésil	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
grêle	0,4	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	1,1
Brume	0,3	1,0	0,9	0,7	2,1	1,8	1,2	0,5	0,2	0,1	0,0	0,3	9,1
Insolation nulle	2,4	1,5	1,0	1,7	1,5	0,5	0,2	0,2	0,5	0,7	1,6	2,1	13,9
Gelée	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
Rosée	10,6	9,7	13,1	13,7	12,8	8,1	6,4	7,5	12,3	12,1	12,9	12,5	131,7
Eclair	0,7	1,2	1,9	0,5	0,3	0,7	0,7	1,8	1,9	3,1	2,4	2,9	18,1
Nuages bas	0,1	0,1	0,8	0,5	0,3	0,2	0,5	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	2,9
Pluie	11,8	13,8	13,0	13,2	10,0	3,5	2,7	4,1	6,4	10,1	12,5	12,8	113,9
Ciel de sable	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
Chasse de sable	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2

Campagne	Mois	T _{moy} (°C)	Pluie (mm)	ETP (mm)	Bilan (mm)
2003/2004	Septembre	20	114	93,6	20,4
	Octobre	21	76	75,02	0,98
	Novembre	16	46	52,8	-6,8
	Décembre	12	208	46,91	159,19
	Javier	11	148	30,69	117,31
	février	13	55	44,24	10,76
	Mars	13	87	57,66	29,34
	Avril	15	110	85,2	24,8
	mai	17	70	107,75	-30,75
	Juin	21	20	130,5	-104,5
	Juillet	25	L	156,41	-156,41
	Août	26	E	156,62	-156,62
2004/2005	Septembre	23	19	109,8	-90,8
	Octobre	22	30	90,21	-60,21
	Novembre	14	178	35,1	142,9
	Décembre	12	136	30,69	105,31
	Javier	8	166	34,41	131,59
	février	9	168	43,96	124,04
	Mars	13	60	62,62	-2,62
	Avril	16	42	86,8	-46,8
	mai	19	C	125,00	-117,00
	Juin	23	L	143,1	-143,1
Juillet	25	C	162,75	-162,75	

Tableau8 : Données climatiques durant la période d'essai (2003/2005)

Annexe 2

Tableau 2 : Données climatiques de la période (1979/1999) de l'ONM de Bejaia

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

MOIS	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill.	août
T.Max °C	16.2	16.4	17.7	19.2	22.0	25.4	27.9	24.9
T.Min °C	7.3	7.5	8.5	10.1	13.0	16.7	19.4	20.3
T.moy.°C	11.7	11.9	13.1	14.6	17.5	21.1	23.6	23.3
P. (mm)	103.30	87.12	101.57	71.46	43.00	14.25	5.27	10.52
H (%)	76.16	75.66	77.58	78.04	79.08	76.83	74.08	75.12
Vent (m/s)	4.72	4.47	3.97	3.76	3.50	3.43	3.47	3.70
Durée insol. (h)	4.90	5.14	5.90	6.50	7.91	12.74	10.29	09.81
ETo (mm)	52.7	55.44	73.78	87.6	112.22	152.7	160.58	141.98
P – ETo	50.6	31.66	27.82	-16.1	-69.22	-138.45	-155.28	-131.48

Annexe 3

Tableau 1: Calendrier des mesures (2004/2005)

Date	Traitement	Répétition	Facteur	Hauteur	Envergure	Epaisseur
8 fev 2004	T3	1	1	105	66	2,2
8 fev 2004	T3	1	2	31	20	0,7
8 fev 2004	T3	1	3	72,5	24	1,9
8 fev 2004	T3	1	4	75	42,5	1,7
8 fev 2004	T4	1	1	60	56	1,83
8 fev 2004	T4	1	2	92	32	1,4
8 fev 2004	T4	1	3	97	78,5	1
8 fev 2004	T4	1	4	95	45,5	1,1
8 fev 2004	T1	1	1	52	26,5	1,9
8 fev 2004	T1	1	2	100	71,5	1,5
8 fev 2004	T1	1	3	79	55	1,6
8 fev 2004	T1	1	4	74	56	1,3
8 fev 2004	T2	1	1	102	49,5	1,4
8 fev 2004	T2	1	2	102	34,5	2,4
8 fev 2004	T2	1	3	94	29,5	1,2
8 fev 2004	T2	1	4	120	50,49	3,5
9 mars 2004	T3	2	1	112	68,5	2,3
9 mars 2004	T3	2	2	31	22	0,7
9 mars 2004	T3	2	3	74,75	30	2,2
9 mars 2004	T3	2	4	82	56	2,1
9 mars 2004	T4	2	1	68,5	63,5	1,95
9 mars 2004	T4	2	2	100	38	1,8
9 mars 2004	T4	2	3	101	85,5	1,5
9 mars 2004	T4	2	4	100	49	1,4
9 mars 2004	T1	2	1	59	30	2,3
9 mars 2004	T1	2	2	104	72	2,3
9 mars 2004	T1	2	3	84	59,5	1,7
9 mars 2004	T1	2	4	78	61	1,3
9 mars 2004	T2	2	1	107	59	1,9
9 mars 2004	T2	2	2	108,5	48,5	2,7
9 mars 2004	T2	2	3	100	37,5	1,3
9 mars 2004	T2	2	4	122	63	3,7
8 juin 2004	T3	3	1	122	77,5	2,6
8 juin 2004	T3	3	2	32	23	0,9
8 juin 2004	T3	3	3	82	37	2,4
8 juin 2004	T3	3	4	90	63	3,1
8 juin 2004	T4	3	1	78	71	2
8 juin 2004	T4	3	2	110	63	2
8 juin 2004	T4	3	3	110,5	87	1,8
8 juin 2004	T4	3	4	107	51	2,2
8 juin 2004	T1	3	1	67	36	2,3
8 juin 2004	T1	3	2	110	87	2,4
8 juin 2004	T1	3	3	89	65,3	2,3
8 juin 2004	T1	3	4	84	69,5	2,1

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

8 juin 2004	T2	3	1	116	67,5	2,8
8 juin 2004	T2	3	2	115	54	2,4
8 juin 2004	T2	3	3	107	44	1,9
8 juin 2004	T2	3	4	126	68	3,8
9 sept 2004	T3	4	1	132	78	3,3
9 sept 2004	T3	4	2	32	25	1,1
9 sept 2004	T3	4	3	90	44	2,9
9 sept 2004	T3	4	4	98	71	3,3
9 sept 2004	T4	4	1	92	73	2,3
9 sept 2004	T4	4	2	118	65	2
9 sept 2004	T4	4	3	118	89,5	1,9
9 sept 2004	T4	4	4	113	67,5	2,4
9 sept 2004	T1	4	1	73	41,5	1,9
9 sept 2004	T1	4	2	116	97	3
9 sept 2004	T1	4	3	94	71	2,3
9 sept 2004	T1	4	4	90	79,5	2,2
9 sept 2004	T2	4	1	125	72,1	3,2
9 sept 2004	T2	4	2	120	60	3,1
9 sept 2004	T2	4	3	113	51	1,1
9 sept 2004	T2	4	4	132	73	3,9
14 decemb 2004	T3	5	1	142	82	3,4
14 decemb 2004	T3	5	2	35	33,5	1,2
14 decemb 2004	T3	5	3	100	51	3
14 decemb 2004	T3	5	4	107	80	3,3
14 decemb 2004	T4	5	1	103	75,75	2,6
14 decemb 2004	T4	5	2	123,5	67,5	4,6
14 decemb 2004	T4	5	3	128	95	3,7
14 decemb 2004	T4	5	4	125	72,5	3,5
14 decemb 2004	T1	5	1	79	47	2
14 decemb 2004	T1	5	2	117	99,5	3
14 decemb 2004	T1	5	3	100	82,3	2,5
14 decemb 2004	T1	5	4	99	87,5	3,2
14 decemb 2004	T2	5	1	135	79	3,3
14 decemb 2004	T2	5	2	127	67	3,6
14 decemb 2004	T2	5	3	118	62	3,8
14 decemb 2004	T2	5	4	140	80	4
13 mars 2004	T3	6	1	151	87	3,7
13 mars 2004	T3	6	2	40	45	2
13 mars 2004	T3	6	3	112	60	3
13 mars 2005	T3	6	4	119	85	3,4
13 mars 2004	T4	6	1	111	80,5	3,3
13 mars 2004	T4	6	2	135	76	3,4
13 mars 2004	T4	6	3	132	100	2,7
13 mars 2005	T4	6	4	135	86	4
13 mars 2004	T1	6	1	88	52,2	2,5

13 mars 2004	T1	6	2	124	110	3,1
13 mars 2004	T1	6	3	107,5	88	1,5
13 mars 2005	T1	6	4	105	90,5	3,4
13 mars 2004	T2	6	1	143,5	85	9,5
13 mars 2004	T2	6	2	135	74,5	4,8
13 mars 2004	T2	6	3	127	70	3,9
13 mars 2005	T2	6	4	147	84	4,1
9 juin 2005	T3	7	1	160	93	4,7
9 juin 2005	T3	7	2	48	49,7	4,7
9 juin 2005	T3	7	3	120,5	67	3,7
9 juin 2005	T3	7	4	129	90	3,6
9 juin 2005	T4	7	1	120	99,5	3,4
9 juin 2005	T4	7	2	143	82	3,4
9 juin 2005	T4	7	3	140	107	3,7
9 juin 2005	T4	7	4	142,5	93	4,5
9 juin 2005	T1	7	1	95	60	2,9
9 juin 2005	T1	7	2	130	120	3,8
9 juin 2005	T1	7	3	113	97	4
9 juin 2005	T1	7	4	110	97,5	3,7
9 juin 2005	T2	7	1	152	95	4,5
9 juin 2005	T2	7	2	140	80	4,9
9 juin 2005	T2	7	3	134	76	4,6
9 juin 2005	T2	7	4	155	90	4,3

Tableau 2 : Gain relatif en hauteur, envergure et épaisseur des différents impluviums

Traitement	Hauteur	Envergure	Epaisseur
T3	62	72	2,5
T3	82	81,5	2,63
T3	100,5	10,5	1,8
T3	65	92	1,9
T4	53	26,5	1,57
T4	55	90,5	2
T4	81	88	2,7
T4	71	85	3,4
T1	108	62	1
T1	73	67,5	2,3
T1	87	75	2,4
T1	76	94	2,4
T2	60	76	3,1
T2	60	48	3,4
T2	66	86	3
T2	112	116,5	3

Annexe 4

Tableau 1 : Variation du stock d'eau

Tableau 2 : Variation du stock d'eau 2005

Date	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004	30/04/2004	07/05/2004	16/05/2004
Nat	-13,00	12,22	0,39	14,88	-24,62	-4,42	13,90	-10,20
64	-14,37	14,07	11,11	2,33	-17,93	-0,50	10,56	-9,36
96	-21,79	6,45	21,84	-13,41	-11,07	-4,44	13,90	-6,20
32	-2,43	12,59	2,07	16,31	-25,14	-1,90	10,28	-10,52
Appoint	-11,29	9,92	7,07	-3,22	-6,65	-5,80	11,56	-9,98
Date	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004	30/04/2004	07/05/2004	16/05/2004
Nat	-6,52	7,69	5,97	11,83	-22,71	-4,98	11,64	-6,59
64	-16,71	16,13	4,10	-1,53	-8,89	-1,77	7,16	-5,49
96	-19,23	7,09	18,31	-24,45	3,04	-5,22	11,10	-7,85
32	10,87	11,36	0,92	17,56	-24,47	-1,83	8,88	-8,63
Appoint	-7,66	11,57	-1,34	-4,02	0,85	-5,80	10,56	-9,09
Date	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004	30/04/2004	07/05/2004	16/05/2004
Nat	0,04	2,15	2,68	22,20	-26,69	-3,44	7,60	-2,69
64	-20,75	13,39	-1,52	-0,69	-3,12	-3,24	4,44	-0,21
96	-16,22	9,94	12,21	-33,73	13,96	-4,43	5,60	-5,88
32	3,81	6,74	3,04	15,56	-21,03	-2,00	6,67	-5,20
Appoint	-0,43	9,97	-8,26	0,43	1,74	-4,08	7,67	-5,27
Date	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004	30/04/2004	07/05/2004	16/05/2004
Nat	2,59	2,25	3,46	24,50	-29,69	-2,89	6,43	-2,83
64	-17,85	4,72	0,76	3,22	-3,65	-2,21	4,34	-0,62
96	-12,21	10,15	0,34	-20,12	7,70	-1,70	3,33	-2,68
32	7,73	6,44	-1,90	8,48	-9,21	-3,53	5,95	-2,57
Appoint	7,85	7,03	-9,50	5,53	-2,71	-2,98	5,80	-1,90
Cumul								
Date	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004	30/04/2004	07/05/2004	16/05/2004
Nat	-16,89	24,32	12,50	73,40	-103,71	-15,73	39,57	-22,31
64	-69,67	48,31	14,46	3,34	-33,60	-7,72	26,50	-15,68
96	-69,44	33,62	52,70	-91,72	13,62	-15,79	33,93	-22,61
32	19,98	37,13	4,13	57,91	-79,86	-9,26	31,78	-26,92
Appoint	-11,54	38,49	-12,02	-1,29	-6,78	-18,66	35,59	-26,24

Tableau 2 : Variation du stock d'eau 2005

01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
30,66	0,64	-10,12	8,72
23,97	5,64	-13,50	7,50
8,02	13,73	-17,92	11,56
21,62	1,72	-10,74	6,20
01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
30,78	1,34	-4,63	3,18
19,51	7,79	-10,14	7,88
10,18	6,89	-11,39	7,78
15,95	4,76	-8,59	5,18
01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
29,49	2,65	0,73	-0,39
11,52	11,30	-7,80	9,91
10,76	1,43	-3,36	1,97
15,23	2,41	-4,03	5,97
01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
26,62	3,70	1,82	1,03
13,01	13,52	-9,38	10,38
5,22	5,19	-1,99	-0,29
12,46	7,31	-2,80	6,55
01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
117,55	8,33	-12,20	12,54
68,01	38,25	-40,82	35,67
34,18	27,23	-34,66	21,02
65,27	16,19	-26,16	23,90

Annexe 5

Tableau 1 : Stock d'eau 2004

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Date	24/02/2004	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004
Nat	58,30	71,30	59,08	58,68	43,80	68,42
64	68,73	83,10	69,03	57,92	55,59	73,52
96	63,75	85,54	79,09	57,25	70,67	81,74
32	78,11	80,54	67,95	65,89	49,58	74,72
Appoint	72,17	83,46	73,54	66,47	69,69	76,34
Date	24/02/2004	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004
Nat	65,91	72,43	64,74	58,77	46,94	69,65
64	66,68	83,39	67,26	63,16	64,69	73,58
96	66,36	85,59	78,50	60,18	84,64	81,60
32	91,68	80,81	69,45	68,53	50,96	75,43
Appoint	75,87	83,53	71,96	73,30	77,33	76,48
Date	24/02/2004	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004
Nat	75,23	75,19	73,04	70,36	48,16	74,85
64	63,70	84,45	71,06	72,58	73,27	76,39
96	71,11	87,33	77,39	65,19	98,92	84,96
32	85,43	81,62	74,88	71,84	56,29	77,32
Appoint	82,33	82,76	72,79	81,04	80,61	78,87
Date	24/02/2004	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004
Nat	81,49	78,90	76,65	73,19	48,70	78,39
64	68,02	85,87	81,15	80,38	77,16	80,81
96	77,66	89,87	79,72	79,38	99,51	91,81
32	90,92	83,19	76,75	78,64	70,16	79,37
Appoint	88,98	81,13	74,10	83,59	78,07	80,78
Cumul						
Date	24/02/2004	02/03/2004	22/03/2004	02/04/2004	17/04/2004	24/04/2004
Nat	280,93	297,82	273,50	261,00	187,60	291,31
64	267,14	336,81	288,50	274,04	270,70	304,30
96	278,89	348,33	314,71	262,01	353,73	340,11
32	346,14	326,16	289,03	284,90	226,98	306,84
Appoint	319,34	330,88	292,39	304,40	305,69	312,47

Tableau 2 : Stock d'eau 2005

14/04/2005	01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
76,25	45,59	44,94	55,06	46,34
78,63	54,66	49,02	62,52	55,02
73,09	65,07	51,34	69,26	57,70
75,13	53,51	51,80	62,54	56,34
14/04/2005	01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
77,30	46,52	45,18	49,81	46,63
81,66	62,15	54,36	64,50	56,62
79,02	68,84	61,95	73,34	65,56
74,89	58,94	54,17	62,76	57,58
14/04/2005	01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
81,97	52,48	49,83	49,10	49,49
83,00	71,48	60,19	67,99	58,08
86,68	75,92	74,49	77,85	75,88
78,67	63,44	61,03	65,06	59,09
14/04/2005	01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
85,46	58,84	55,14	53,32	52,29
88,08	75,07	61,55	70,93	60,55
89,69	84,47	79,28	81,27	81,56
84,25	71,79	64,48	67,28	60,73
14/04/2005	01/05/2005	24/05/2005	26/05/2005	31/05/2005
320,98	203,42	195,09	207,29	194,75
331,38	263,36	225,12	265,94	230,27
328,47	294,29	267,06	301,72	280,70
312,94	247,67	231,48	257,64	233,74

Annexe 6

Tableau 1: Humidité volumétrique 2004

Tableau 2 : Humidité volumétrique 2005

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Date: 24/02/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	29,15	34,37	31,88
40	36,76	32,32	34,48
60	38,48	31,38	36,63
80	43,01	36,64	41,03
Date: 02/03/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	35,65	41,52	42,77
40	36,78	41,84	42,82
60	38,41	42,62	44,51
80	40,49	43,26	45,36
Date: 22/03/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	29,54	34,52	39,55
40	35,20	32,75	38,95
60	37,84	38,32	38,44
80	38,81	42,83	41,28
Date: 02/04/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	29,34	28,96	28,63
40	29,43	34,20	31,56
60	40,93	38,38	33,63
80	32,26	42,00	45,76
Date: 17/04/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	21,90	27,79	35,33
40	25,04	36,89	49,30
60	23,12	36,38	49,61
80	25,57	40,78	49,89
Date: 24/04/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	34,21	36,76	40,87
40	35,44	36,82	40,73
60	39,41	39,57	44,23
80	38,98	41,24	47,58
Date: 30/04/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	36,42	37,01	43,09

40	38,21	38,34	43,73
60	40,08	41,29	45,66
80	41,20	41,77	47,85
Date: 07/05/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	29,47	31,73	36,14
40	33,52	36,46	39,58
60	37,17	38,73	44,21
80	37,68	39,95	45,97
Date: 16/05/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	34,57	36,41	39,21
40	35,01	37,27	44,36
60	38,37	38,13	45,31
80	39,31	41,17	47,55
Date: 13/06/04			
P (cm)	Naturel	64	96
20	23,70	25,94	36,43
40	27,37	31,92	42,35
60	28,23	35,81	43,12
80	33,74	38,79	44,95

Tableau 2 : Humidité volumétrique 2005

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Date: 14/04/05			
P (cm)	Naturel	64	96
20	38,12	39,32	36,54
40	39,18	42,34	42,48
60	42,79	40,66	44,20
80	42,66	47,42	45,49
Date: 01/05/05			
P (cm)	Naturel	64	96
20	22,79	27,33	32,53
40	23,72	34,82	36,30
60	28,76	36,66	39,61
80	30,08	38,41	44,86
Date: 24/05/05			
P (cm)	Naturel	64	96
20	22,47	24,51	25,67
40	22,71	29,85	36,28
60	27,13	30,34	38,21
80	28,01	31,21	41,07
Date: 26/05/05			
P (cm)	Naturel	64	96
20	27,53	31,26	34,63
40	22,24	33,24	38,71
60	26,86	34,75	39,14
80	26,46	36,18	42,13
Date: 31/05/05			
P (cm)	Naturel	64	96
20	23,17	27,51	28,85
40	23,46	29,11	36,71
60	26,03	28,97	39,17
80	26,26	31,58	42,39

Annexe 7

Tableau 1: Gradient hydrique 2004

Date: 24/02/04				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	31,60	32,44	31,88	32,34
40	34,29	30,42	34,48	32,33
60	36,25	36,80	36,63	35,20
80	39,87	40,93	41,03	38,16
Date: 22/03/04				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	31,72	33,12	39,55	31,83
40	33,58	39,43	38,95	37,43
60	38,12	40,32	38,44	39,17
80	38,25	41,31	41,28	40,14
Date: 02/04/04				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	29,28	28,88	28,63	29,33
40	33,27	33,75	31,56	34,71
60	35,35	36,46	33,63	36,24
80	39,36	40,39	45,76	40,59
Date: 17/04/04				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	28,35	30,33	35,33	31,76
40	32,72	36,28	49,30	33,80
60	33,76	39,66	49,61	34,55
80	38,08	42,19	49,89	39,33
Date: 13/06/04				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	24,04	25,69	36,43	23,93
40	28,78	28,28	42,35	27,75
60	32,61	28,21	43,12	29,52
80	33,29	31,02	44,95	30,92

Tableau2 : Gradient Hydrique

Contribution à une utilisation rationnelle des précipitations en agriculture pluviale dans la vallée de la Soummam

Date : 14/04/2005				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	37,41	36,94	36,54	36,31
40	38,88	38,43	42,48	37,70
60	42,13	42,07	44,20	39,23
80	43,26	41,02	45,49	40,21
Date: 01/05/05				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	28,35	30,33	32,53	31,76
40	32,72	36,28	36,30	33,80
60	33,76	39,66	39,61	34,55
80	38,08	42,19	44,86	39,33
Date: 24/05/05				
Pr (cm)	EG	CEG	C	CED
20	22,41	23,11	25,67	23,34
40	25,71	25,78	36,28	25,45
60	26,13	26,28	38,21	27,54
80	28,62	29,21	41,07	29,29
<u>Légende:</u>				
	EG:	Extrémité	gauche	