

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE HASSIBA BEN BOUALI DE CHLEF  
FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE  
DEPARTEMENT DE L'HYDRAULIQUE

MEMOIRE DE MAGISTERE

*Présenté par : BADNI Nadia*

THEME

EAUX D'IRRIGATION ET SALINITE DES SOLS EN ZONE SEMI ARIDE :  
EXEMPLE DANS LE MOYEN CHELLIF « PARCELLE A OULED BEN AEK »  
CONCEPTION ET MODELISATION DES SYSTEMES « IRRIGATION-DRAINAGE »

Devant le jury composé de :

Mr : EZZIANE Karim	Maître de Conférences « A » ; UHB Chlef	Président
Mr : SAAED Hamoudi	Professeur, UHB Chlef	Promoteur
Mr : REMINI Boualem	Professeur; USD Blida	Examineur
Mr : REMAOUNE Mohamed	Maître de Conférences « A » ; UHB Chlef	Examineur
Mr : BOUTHIBA Abdelkader	Maître de Conférences « A » ; UHB Chlef	Examineur
Mme : EL-CHERIF Faiza	Maître Assistant « A » , UHB Chlef	Invitée

2011/2012

# **TABLE DES MATIERES**

**Dédicace**

**Remerciement**

**Résumé**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale**

1

**CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

1.1 Situation géographique	3
1.2 Relief	3
1.3 L'érosion.	3
1.4 Vocation de la commune.	3
1.5 Situation géographique de la micro zone.	8
1.5.1 Accessibilité.	9
1.5.2 Desserte en énergie électrique.	9
1.5.3 Situation juridique.	9
1.5.4 Ressources en sols.	9
1.5.4.1 La géologie.	10
1.5.4.2 La pédologie.	10
1.5.4.3 Résultats d'analyses pédologiques.	12
1.5.4.4 Aptitudes culturales.	17

**CHAPITRE 2 : ETUDE HYDROLOGIQUE**

2.1 La climatologie.	18
2.1.1 Les précipitations.	18
2.1.2 Les températures.	20
2.1.3 L'humidité relative.	22
2.1.4 Autres facteurs climatiques.	23
2.2 Les synthèses climatiques.	25
2.2.1 Courbe ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.	25
2.2.2 Climagramme d'Emberger.	26
Conclusion	28
2.3 Analyse pluviométrique.	29
2.3.1 Précipitation de projet.	29
2.3.2 Traitement des données pluviométriques.	29
Conclusion.	34

### **CHAPITRE 3 : ASSOLEMENT DES CULTURES ET CALCUL DES BESOINS EN EAU**

3.1 Le calcul des besoins d'irrigation.	35
3.2 Evaluation des besoins en eau des plantes cultivées.	36
3.3 Calcul de l'évapotranspiration.	38
3.3.1 Choix du coefficient culturel $K_c$ .	38
3.3.2 Estimation de l'ET <sub>0</sub> .	39
3.4 La pluie efficace, $P_{eff}$ .	40
3.5 Données culturales.	41
3.6 Résultats du cropwat.	42
Conclusion	47

### **CHAPITRE 4 : SALINITE ET BESOIN DE LESSIVAGE**

Introduction	48
4.1 Aperçu scientifique	48
4.2 Origines de la salinité	49
4.2.1 Facteurs environnementaux (naturels) provoquant une salinisation	49
4.2.2 Facteurs induits par l'homme pouvant entraîner une salinisation	49
4.3 Notions du bilan salin dans un sol	50
4.4 Tolérances des plantes aux sels	51
4.5 La qualité des eaux d'irrigation	52
4.6 Qualité des eaux de ressource	52
4.7 Evolution de la salure dans les sols irrigués	54
4.8 Lessivage des sols	56
4.8.1 Lessivage d'entretien	56
4.8.2 Lessivage initial	57
Conclusion	60

### **CHAPITRE 5 : DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'IRRIGATION**

5.1 Historique du goutte à goutte.	61
5.2 Technique d'irrigation goutte à goutte.	62
5.3 Composantes d'un réseau d'irrigation goutte à goutte.	63
5.4 Etapes suivies dans le dimensionnement d'un projet d'irrigation.	69
5.5 Données du projet.	70
5.5.1 Superficie et cultures	70
5.5.2 Sol et eau	71

5.5.3	<i>Caractéristique de la culture</i>	71
5.6	<i>Dimensionnement du réseau.</i>	71
5.6.1	<i>Besoins journalières</i>	72
5.6.2	<i>Dose nette</i>	73
5.6.3	<i>Dose brute</i>	74
5.6.4	<i>Fréquence d'arrosage</i>	74
5.6.5	<i>Durée d'arrosage</i>	75
5.6.6	<i>Durée d'arrosage journalière</i>	75
5.6.7	<i>Nombre de postes</i>	76
5.6.8	<i>Surface d'un poste</i>	76
5.6.9	<i>Longueur de la rampe</i>	77
5.6.10	<i>Nombre de rampes et de goutteurs par rampe</i>	77
5.6.11	<i>Débit d'une rampe</i>	78
5.7	<i>Calcul hydraulique du réseau.</i>	80
5.7.1	<i>Type de goutteurs</i>	80
5.7.2	<i>Calcul de la rampe en polyéthylène</i>	81
5.7.2	<i>Débit de la rampe</i>	82
5.7.4	<i>Perte de charge dans la rampe</i>	82
5.7.5	<i>Calcul de la porte rampe</i>	83
5.7.5.1	<i>Diamètre du porte rampe</i>	83
5.7.5.2	<i>Débit du porte rampe</i>	83
5.7.5.3	<i>Perte de charge dans le porte rampe</i>	83
5.7.6	<i>La conduite secondaire et principale</i>	83
5.7.6.1	<i>Le débit</i>	83
5.7.6.2	<i>La perte de charge</i>	84
5.7.6.3	<i>Les vitesses</i>	84
	<i>Conclusion .</i>	87

## **CHAPITRE 06 : CALCUL DU RESEAU DE DRAINAGE**

6.1	<i>Principales méthodes de drainage.</i>	89
6.1.1	<i>Fossés ouverts.</i>	89
6.1.2	<i>Tuyau enterré.</i>	90
6.2	<i>Ecoulement sous terrain vers les drains.</i>	91
6.3	<i>Calcul de l'écartement des drains, des débits à évacuer et équation de la nappe.</i>	92
6.3.1	<i>La Méthode du régime permanent.</i>	92
6.3.1.1	<i>Calcul de l'écartement des drains.</i>	93

6.4 Analogie de Hooghoudt.	96
6.5 Analogie de Glover-Dumm.	100
6.6 Estimation de la Profondeur de l'imperméable (H).	102
6.7 Détermination des débits maximaux dans les drains.	103
6.8 Détermination des longueurs maximales des drains.	103
Conclusion.	106
<b><u>CHAPITRE 07 : LA MODELISATION</u></b>	
7.1 Contexte et objectifs.	107
7.2 Rappels liés à la modélisation des transferts au sein du milieu poreux.	108
7.2.1 Définition.	108
7.2.1.1 Modèle.	108
7.2.1.2 Modélisation numérique.	108
7.2.1.2.1 Objectifs de la modélisation.	108
7.3 Présentation de parcelle d'étude et principe de simulation associée.	109
7.4 Présentation du modèle.	109
7.4.1 Le modèle: (Le logiciel Wasim).	109
7.4.2 Principe du modèle.	110
7.5 Les données d'entrés.	114
<b><u>CHAPITRE 08 : RESULTATS ET DISCUSSION</u></b>	
8.1 Résultats et discussion	118
Conclusion	124
Difficultés rencontrés	124
<b><u>Conclusion générale</u></b>	<b>125</b>
<b><u>Bibliographie</u></b>	
<b><u>Annexes</u></b>	

# Dédicaces

*A mes chères parents qui m'ont soutenue le long de ma vie.*

*A mon mari et mes deux fils.*

*A toute la famille BADNI.*

*A toute la famille AISSA BOKHTACHE.*

*A toute la Famille TAÏBI.*

*A toute ma promo.*

*A tous qui ont facilité la réalisation de mon projet.*

*Je dédie cet humble ouvrage.*

BADNI NADIA.

## **REMERCIEMENTS**

*Je souhaite en premier lieu remercier les personnes qui m'ont encadré et aidé durant ce mémoire : mon promoteur Mr SAAD Hamoudi pour l'orientation donné et sur qui j'ai toujours pu compter et ma co-promoteur Mme Al CHERIF faiza.*

*A Dr NASR Mohamed(université al saoud Arabi saoudite), pour avoir accompagné mon travail de conceptualisation et de modélisation, à Mr BRADI Hamide pour ses importants conseils pendant tout le mémoire.*

*Un grand merci à mes collègues et amis du FBE, qui ont cherché et organisé grande partie de l'information utilisée.*

*De plus, je voudrais remercier les agents de laboratoire de chimie (université hassiba ben boulid) et spécialement Mr EL ABASSI pour m'avoir donné les appareils nécessaires pour la réalisation du projet.*

*Enfin j'adresse toute ma gratitude à mes enseignants poste graduation, de L'Université de chlef qui ont contribués à ma formation.*

*Une pensée toute particulière à mon mari et mes deux enfants.*

*Nadia BADNI*

## **Résumé**

Dans les régions arides et semi-arides, l'eau est le principal facteur limitant la production agricole

Cependant, l'irrigation mal gérée accroissent les risques de destruction des sols et des eaux sous terraines, car ces zones présentent un taux d'évaporation élevés pendant la saison sèche, ce qui conduit à une forte salinité secondaire du sol.

Ce travail vise à simuler l'irrigation et la salinité de l'année 2001, la zone d'étude est une parcelle privée située au sud du lac de barrage de Sidi Yacoub dans la commune d'Ouled Ben AEK wilaya de Chlef.

L'analyse au laboratoire de 30 échantillons extraite de la zone d'étude ont montré que la conductivité électrique de la partie saturée du sol est de l'ordre de 4 à 06 mmhos/cm.

Afin de maintenir la salinité du sol à un seuil souhaitable on pratique ce que l'on appelle le lessivage, ce dernier consiste à appliquer des doses d'eau supplémentaires, entraînant avec elle une partie des sels solubles accumulés dans le sol. Mais un lessivage ne peut être efficace que s'il est accompagné d'un drainage, surtout en présence des sols peu perméables.

Deux importants objectifs sont visés par cette étude, le premier est d'estimer la quantité d'eau nécessaire au lessivage des sols et d'évacuer ce surplus par un système de drainage. Le second, est la modélisation de l'irrigation et la salinisation, la où on a fait appel au modèle WaSim (water simulation). Ce dernier est utilisé pour simuler l'écoulement de l'eau et le mouvement des sels dans un milieu poreux partiellement saturé.

## **Mots clés :**

Sol, salinité, eau sous terraines d'Ouled Ben AEK, irrigation dimensionnement, drainage dimensionnement, modélisation.

## **Abstract**

In arid and semi-arid area, water is the main factor limiting agricultural production; however, poorly managed irrigation increases the risk of soil destruction and underground waters, as these areas have a high evaporation rates during the dry season, which leads to a secondary high soil salinity.

This work aims to simulate irrigation and salinity of 2001, the study area is a private field located at south of Sidi Yacoub dam, in the commune of Ouled Ben AEK Chlef province.

Laboratory analysis of 30 samples taken from the study area showed that the electrical conductivity of saturated soil paste, the Ece ranges from 4 to 6mmhos/cm.

The difficulty of our leaching techniques is the formation of clay pan forming a pesidoaquifer reaching to the root zone of the plant causing degradation of plant growth.

To maintain soil salinity to a desired level has practiced what is called a leaching, it is to apply extra doses of water, carrying with it a part of soluble salts accumulated in the soil. But leaching can be effective only if accompanied by drainage, especially in the presence of permeable soil zone.

Two important objectives in this study, the first is to estimate the amount of water needed to leach the soil and to remove the surplus by a drainage system. The second is the modeling of irrigation sol salinization, or have used the model WaSim (**W**ater **S**imulation). The latter is used to simulate water flow and movement of salts in a porous medium partially saturated.

## **Keywords:**

Soil salinity, ground water Ouled Ben AEK, irrigation design, drainage design, modeling.

## الخلاصة

في المناطق الجافة و الشبه الجافة يعتبر الماء عامل اساسي في زيادة مردودية المحاصيل الفلاحية.

إلا ان الري الغير مراقب يحدث تدهور للتربة و المياه الجوفية لان هذه المناطق تعاني من ارتفاع قدرة التبخر في الفصول الجافة مما يؤدي الى حدوث الملوحة الثانوية للتربة.

يهدف هذا العمل الى محاكات الري و الملوحة لسنة 2001 لقطعة ارض خاصة تقع جنوب بحيرة سد سيدي يعقوب ببلدية اولاد بن عبد القادر و لاية الشلف.

اظهرت التحاليل المخبرية لـ 30 عينة تربة مستخرجة من المنطقة أن الناقلية الكهربائية لمستخلص عجينة التربة المشبعة تتراوح بين 4 إلى 06 مليميز/سم و هنا استوجب اضافة مياه للغسيل للتخلص من هذا الفائض في الملوحة.

من مساوي هذا الغسيل بوجود تربة طينية تشكل مكنم مائي مؤقت يرتفع حتى المنطقة الجذرية محدثا اختناق للجذور.

كعمل اساسي قمنا بتصميم شبكة الري بالتقطير و اخرى للصرف الزراعي مستعنيين ببرنامج cropwat لحساب الاحتياجات المائية لمحصول البطاطا كما استخدمنا برنامج Drainspace لتصميم و حساب البعد بين المصارف.

كعمل نهائي قمنا بمحاكات الري و الملوحة مستخدمين برنامج water simulation لايجاد علاقة تربط بين التربة و النبات و المناخ لمقاد عمودي للتربة ببعد واحد.

## مفتاح الكلمات:

تربة، تملح، مياه جوفية لأولاد بن عبد القادر، تصميم نظام الري ، تصميم نظام الصرف الزراعي ، محاكاة الري و الملوحة.

## LISTE DES FIGURES

	<b>Nom</b>	<b>page</b>
Fig 1	Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation	1
<b>CHAPITRE 01 : Présentation de la zone d'étude</b>		
Fig 1.1	Situation géographique du bassin versant du barrage de sidi yacoub	4
Fig 1.2	Réseau hydraulique et paramètres physiographique du bassin versant du barrage de sidi yacoub	5
Fig 1.3	Classe des pentes du bassin versant du barrage de sidi yacoub	6
Fig 1.4	Carte du risque d'érosion du bassin versant du barrage de sidi yacoub	7
Fig 1.5	Situation géographique de la zone d'étude	8
Fig 1.6	Géologie du bassin versant du barrage de sidi yacoub	11
Fig 1.7	Position des profils pédologiques	12
Fig 1.8	Position des points d'échantillonnage	16
<b>CHAPITRE 02 : Etude hydrologique</b>		
Fig 2.1	La répartition meuseulle interannuelle de la pluie moyenne Caractéristique de la zone d'étude (1968-2007)	19
Fig 2.2	La répartition meuseulle saisonnière des précipitations caractéristique de la zone d'étude (1968-2007)	20
Fig 2.3	Températures moyennes mensuelles caractéristique de la zone d'étude (1990-2006)	21
Fig 2.4	Humidité relative moyenne mensuelle de la zone d'étude (1990-2006)	22
Fig 2.5	Vitesse du vent moyenne mensuelle de la zone d'étude (1990-2006)	23
Fig 2.6	Insolation moyenne mensuelle de la zone d'étude (1990-2006)	24
Fig 2.7	La courbe ombrothermique caractéristique de la zone d'étude	26
Fig 2.8	Le climagramme du quotient pluviométrique Q D'EMBERGER pour le climat méditerranéen	27
Fig 2.9	Ajustement à une loi normale	31
Fig 2.10	Ajustement à une loi de gumbel	31
Fig 2.11	Ajustement a une loi log-normal	32
<b>CHAPITRE 03 : Assolement des cultures et calcule des besoins en eau</b>		
Fig 3.1	Assolement des cultures en saison sèche dans la zone d'étude	35
Fig 3.2	Complexe hydraulique Sol-Plante-Climat utilisé par CROPWAT8	37
Fig 3.3	Courbe de coefficients culturaux et définition des phases (Doorenbos et pruit, 1975)	39
Fig 3.4	Relation entre l'évapotranspiration de référence , température et humidité relative	43
Fig 3.5	Pluie efficace, précipitation	44
Fig 3.6	Calendrier d'irrigation	46

## CHAPITRE 04 : Salinité et besoin de lessivage

Fig 4.1	Reduction des rendements en fonctions de la salure	51
Fig 4.2	Le diagramme de Riverside	53

## CHAPITRE 05 : Dimensionnement du réseau du drainage

Fig 5.1	Goutte à goutte dans une vigne	61
Fig 5.2	Disposition traditionnelle de la micro irrigation	61
Fig 5.3	Distribution d'eau dans la zone racinaire par les goutteurs	62
Fig 5.4	Schéma d'une installation d'irrigation localisé	63
Fig 5.5	conduite principale , adducteur et conduite latérale avec goutteurs	67
Fig 5.6	schéma de type d'une installation goutte à goutte	68
Fig 5.7	Prcelle d'étude	70
Fig 5.8	Schéma type d'équipement des îlots par le réseau de goutte à goutte	86

## CHAPITRE 06 : Calcule du Réseau de drainage

Fig 6.1	Charrue taupe	89
Fig 6.2	Principales méthode de drainage	90
Fig 6.3	Schéma du drainage par fossés ouvert	91
Fig 6.4	Rabattement par drains reposant sur une couche imperméable, en égime d'alimentation permanent	93
Fig 6.5	Ecoulement effectif et schématisé vers des drains ne reposant pas sur un substratum étanche	95
Fig 6.6	Composantes de flux ; verticale , horizontale et radiale	96
Fig 6.7	Analogie de Hooghoudt	97
Fig 6.8	Fossés parallèles sur couche imperméable	97
Fig 6.9	Drains reposant sur l'assise imperméable	100
Fig 6.10	Fenêtre principale de Drain Space	103
Fig 6.11	Résultats d'analogie de Hooghoudt	104
Fig 6.12	Résultats d'analogie de Glover-Dumm	104
Fig 6.13	Résultats selon la formule de Glover-dumm	105

## CHAPITRE 07 : Modélisation

Fig7.1	Fenêtre principale delogiciel wasim	110
Fig7.2	Bilan hydraulique et salin utilisé dans WaSin	111
Fig7.3	Schéma de fonctionnement du programme	112
Fig7.4	1/Paramètre d'entres . 2/profil du sol la sumulé	114
Fig7.5	Choix du type de sol	115
Fig7.6	Choix du type de drainage	115
Fig7.7	Données climatique	116
Fig7.8	Chois du type de culture	116
Fig7.9	Chois de modèle d'irrigation	117
Fig7.10	Paramètres d'exécution	117

## CHAPITRE 08 : résultats et discussion

Fig8.1	Evolution annuelle de l'évaporation et les précipitations journalières	119
Fig8.2	Variation des profondeurs d'enracinement /hauteur de nappe	120
Fig8.3	Variation des salinités au cour de temps dans la zone racinaire	121
Fig8.4	Variation de la salinité en fonction des apports d'eau	121
Fig8.5	Conductivité initial dans la zone racinaire et les couches sup du sol	122
Fig8.6	variation de la salinité au début et à la fin du cycle végétale	123
Fig8.7	Variation journalière de la conductivité électrique	123

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **CHAPITRE 01 : Présentation de la zone d'étude**

	<b>Nom</b>	<b>Page</b>
Tableau 1.1	Vocation de la commune d'ouled ben AEK	3
Tableau 1.2	Localisation de la zone d'étude	9

### **CHAPITRE 02 : Etude hydrologique**

Tableau 2.1	Caractéristiques principales des stations pluviométrique de la région d'étude	18
Tableau 2.2	Les moyens annuelles et mensuelle des précipitation de la zone d'étude	18
Tableau 2.3	Répartition saisonnière des précipitations de la zone d'étude (1968-2007)	20
Tableau 2.4	les températures moyennes mensuelles	20
Tableau 2.5	les himidité relatives	22
Tableau 2.6	Autre facteur climatique	23
Tableau 2.7	Distribution et méthodes d'ajustement de HYRAN	30
Tableau 2.8	Résultat de la statique de base	30
Tableau 2.9	Caractéristiques des ajustements possibles	33
Tableau 2.10	Ajustement des pluies à la loi de GUMBEL	33
Tableau 2.11	Pluie moyennes de l'année sèche	34
Tableau 2.12	pluie moyennes annuelle de l'année sèche théorique et réel	34

### **CHAPITRE 03 : Assolement des cultures et calcule des besoins en eau**

Tableau 3.1	Résultat de l'évapotranspiration de référence selon CROPWAT	42
Tableau 3.2	Résultat de la pliuie efficace selon CROPWAT	43
Tableau 3.3	Calendrier d'iirigation	45

### **CHAPITRE 04 : Salinité et besoin de lessivage**

Tableau 4.1	Récapitulations des conductivités électriques Ece des profils.	52
Tableau 4.2	Facteur de concentration en fonction de la fraction de lessivage	55
Tableau 4.3	Evolution de la salinité du sol Ece dans les zones non drainées	56
Tableau 4.4	Humidité équivalente et doses pratiques d'arrosage	58
Tableau 4.5	Besoin en eau de lessivage initial	55

### **CHAPITRE 05 : Dimensionnement du réseau du drainage**

Tableau5.1	Type de so et rayons d'épandage latéral d'eau des goutteurs	62
Tableau5.2	Equipement de la parcelle sperficie de 5 ha "pomme de terre"	78
Tableau5.3	Définition de la parcelle	79
Tableau5.4	Dimensionnement du réseau a la parcelle	85

## **CHAPITRE 06 : Calcul du réseau de drainage**

Tableau65.1	Perméabilité du sol dans la zone d'étude en fonction des profondeurs	102
-------------	----------------------------------------------------------------------	-----

## **CHAPITRE 08 : résultats et discussion**

Tableau 8.1	Résultats de simulation du 01/01/2001 au 31/12/2001	118
-------------	-----------------------------------------------------	-----

## **INTRODUCTION GENERALE**

## Introduction

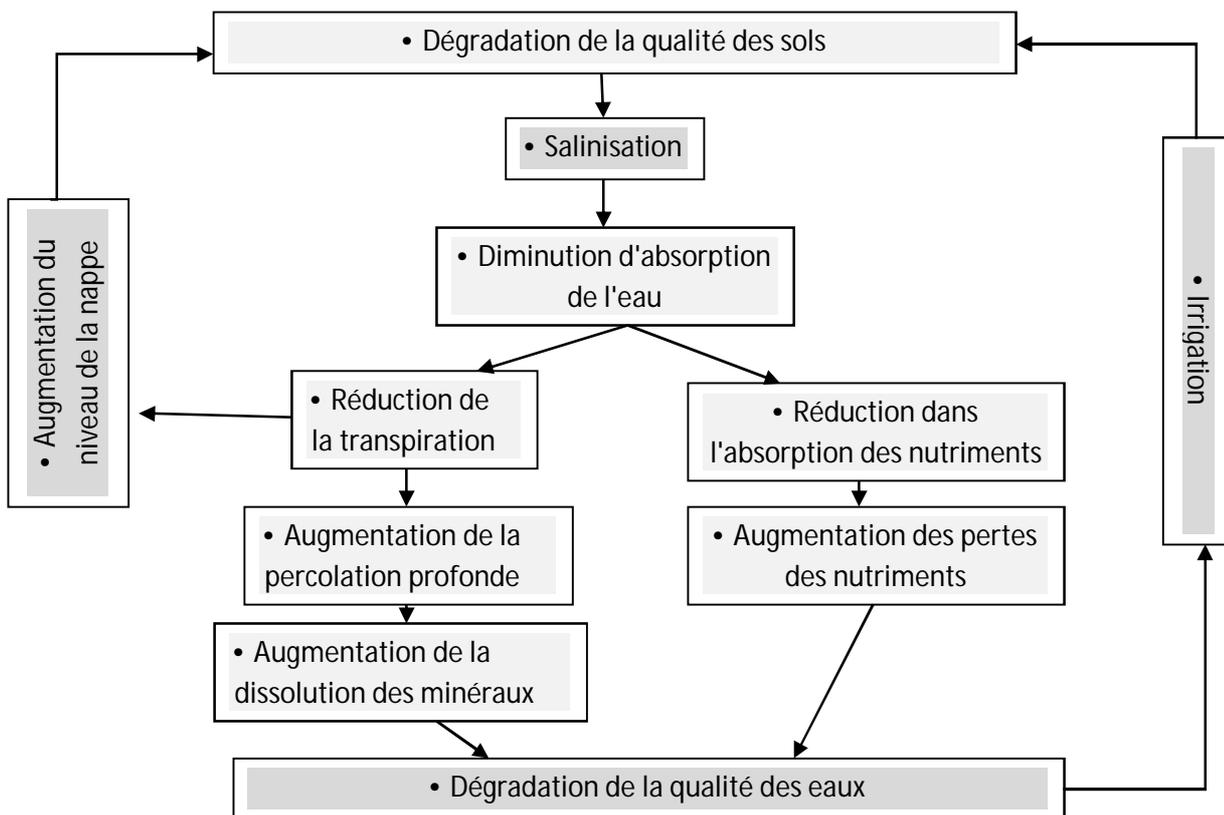
Dans les zones arides et semi-arides, l'eau est le principal facteur limitant la production agricole. Le développement de l'agriculture dans ces régions fait recourir à l'irrigation qui devient alors une nécessité pour améliorer la production afin d'assurer les besoins alimentaires d'une population de plus en plus importante.

Selon l'AFO (2001) 35 à 40 % de la nourriture produite au monde provient des 15 % des terres arables cultivées en irrigués. La croissance projetée de la population mondiale pendant les 30 prochaines années exigera une augmentation d'au moins 20 % de la production agricole dans les pays développés et 60% dans les pays en voie de développement pour maintenir les niveaux actuels de consommation alimentaire.

Cependant, l'irrigation non contrôlée engendre des dégradations importantes de la qualité des sols et des eaux. En effet, aussi bien la quantité d'eau disponible que sa qualité affectent fondamentalement le sol et les cultures qui y sont cultivés. La présence des sels solubles dans l'eau d'irrigation et le pouvoir évaporant de l'air dans les zones irriguées conduisent souvent à la salinisation secondaire des sols irrigués et particulièrement en zones arides et semi-arides.

Comme le montre la figure 1, la salinisation secondaire est un processus de dégradation de la qualité des sols et des eaux. La salinisation secondaire est la forme de dégradation la plus rapide dans les périmètres irrigués (Badraoui et Merzouk, 1994)

**Figure 1. Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation<sup>(1)</sup>**



(1) Modélisation de l'impact de l'irrigation sur le devenir salin et sodique des sols

Le degré de salinisation d'une surface irriguée dépend donc de plusieurs facteurs dont :

- (i) La qualité de l'eau d'irrigation,
- (ii) La qualité du sol,
- (iii) Les conditions climatiques
- (iv) Le niveau de la nappe.

Chacun de ces facteurs fait intervenir un certain nombre de paramètres. Le nombre total de paramètres qui interviennent dans le processus de salinisation est tellement important que la compréhension du phénomène nécessite le recours à la modélisation.

Deux importants objectifs sont visés par cette étude, le premier est d'estimer la quantité d'eau nécessaire au lessivage des sols et d'évacuer ce surplus par un système de drainage, Le second, est la modélisation de l'irrigation salinisation, en faisant appel au modèle WaSim (water simulation), Ce dernier est utilisé pour simuler l'écoulement de l'eau et le mouvement des sels dans un milieu poreux partiellement saturé.

### 1.1 Situation géographique

Notre zone d'étude est le bassin versant de sidi yakoub qui fait l'intersection des trois wilayas : Chlef, Relizane et Tessimsilt ( Fig 1.1) à 1°15' au 1°45' de longitude Est et 35°35' au 36° de latitude Nord, il s'étend sur une longueur (Sud Est-Nord Ouest) de 45 Km environ et une largeur (est ouest) de 20 Km environ, et occupe une superficie de 925,9 Km<sup>2</sup> environ.

Le bassin est drainé principalement par oued l'ardjam du Sud Est vers le Nord Ouest pour rejoindre le lac du barrage (Fig1.2) .

### 1.2 Relief

La zone d'étude est caractérisée par un relief en pentes compris entre 3 à 35% (Fig1.3), il est également caractérisé par la présence de ravinements assez accentués dus au phénomène d'érosion.

Il est situé dans la classe d'altitude de 500 à 1000 m avec un taux de 95% (Fig1.2).

### 1.3 L'érosion :

La zone d'étude est susceptible à l'érosion ( Fig1.4), comme le caractérisent les ravinements existants, il est d'ailleurs enregistré l'existence d'ouvrages de correction torrentielle (Gabionnage) à certains endroits.

### 1.4 Vocation de la commune

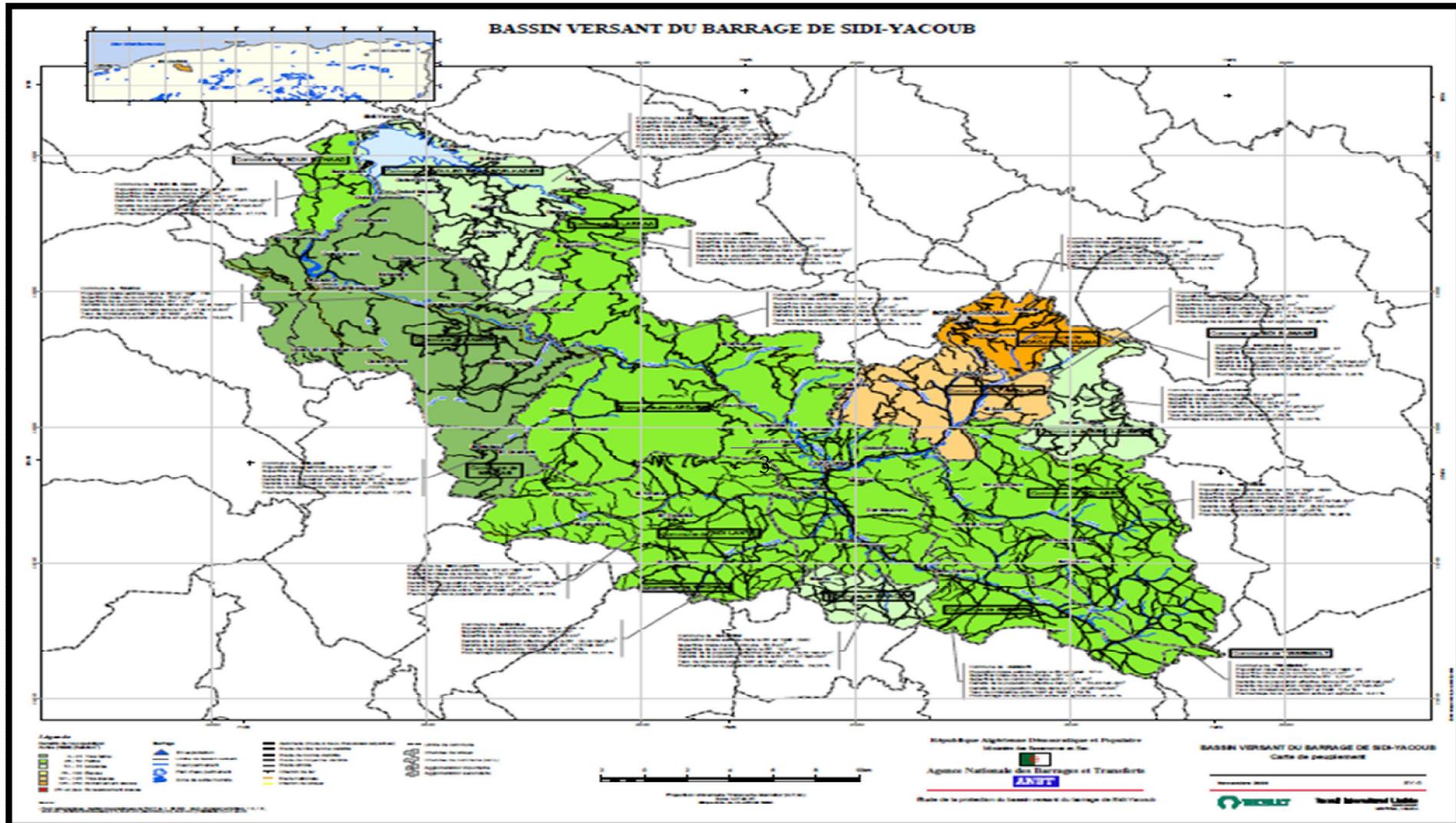
La commune est d'une vocation purement agricole à dominance grandes cultures, maraîchage en plein champ et arboriculture.

**Tableau N° 1.1** vocation de la commune d'ouled ben AEK

culture	Superficie (ha)
Céréales	4200
fourragère	1438
maraîchère	314
arboriculture	531

Source sub division de l'agriculture Ouled ben AEK 2008

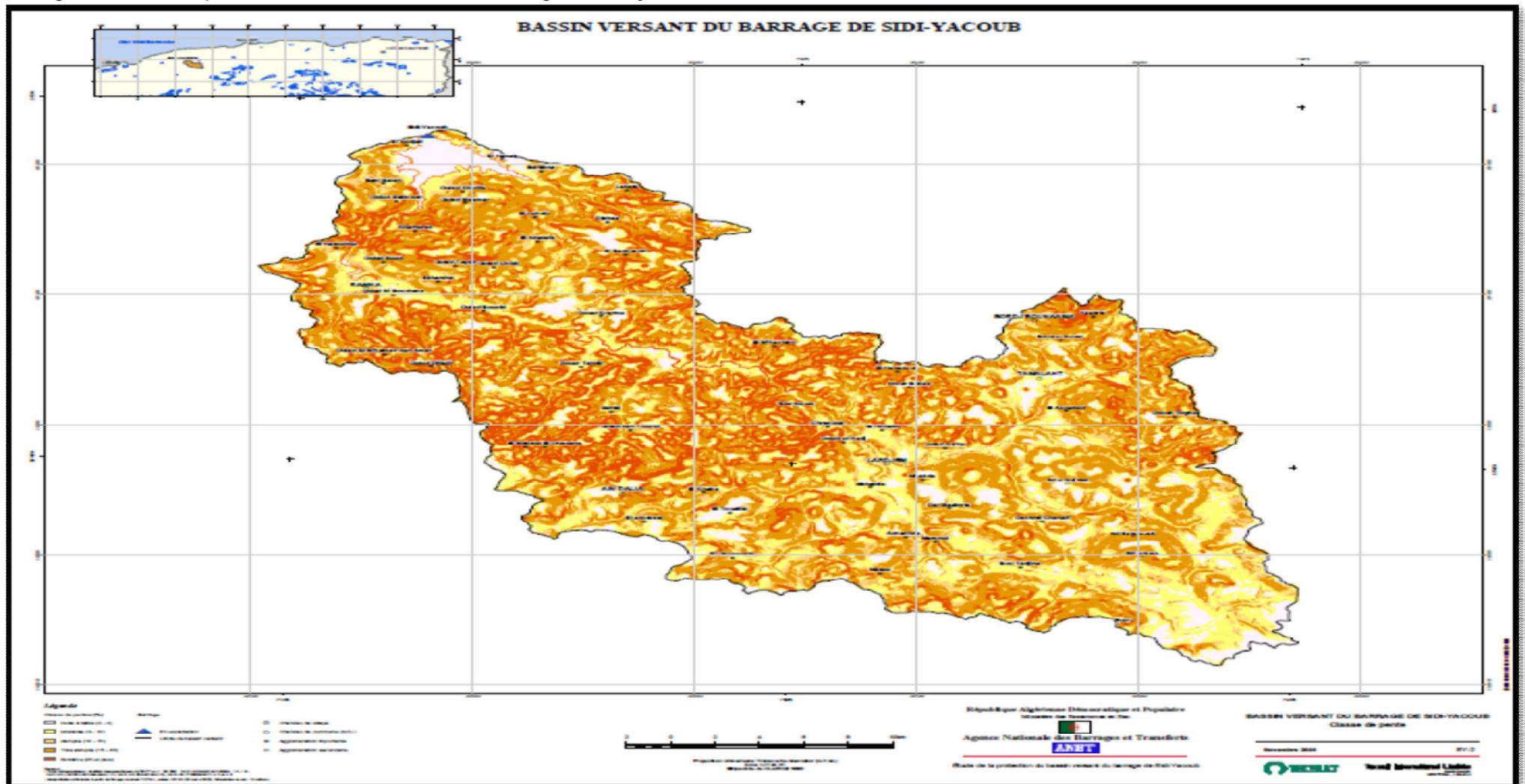
Fig1.1 situation géographique du bassin versant du barrage de sidi yacoub



Source agence nationale des barrages et transfères2006

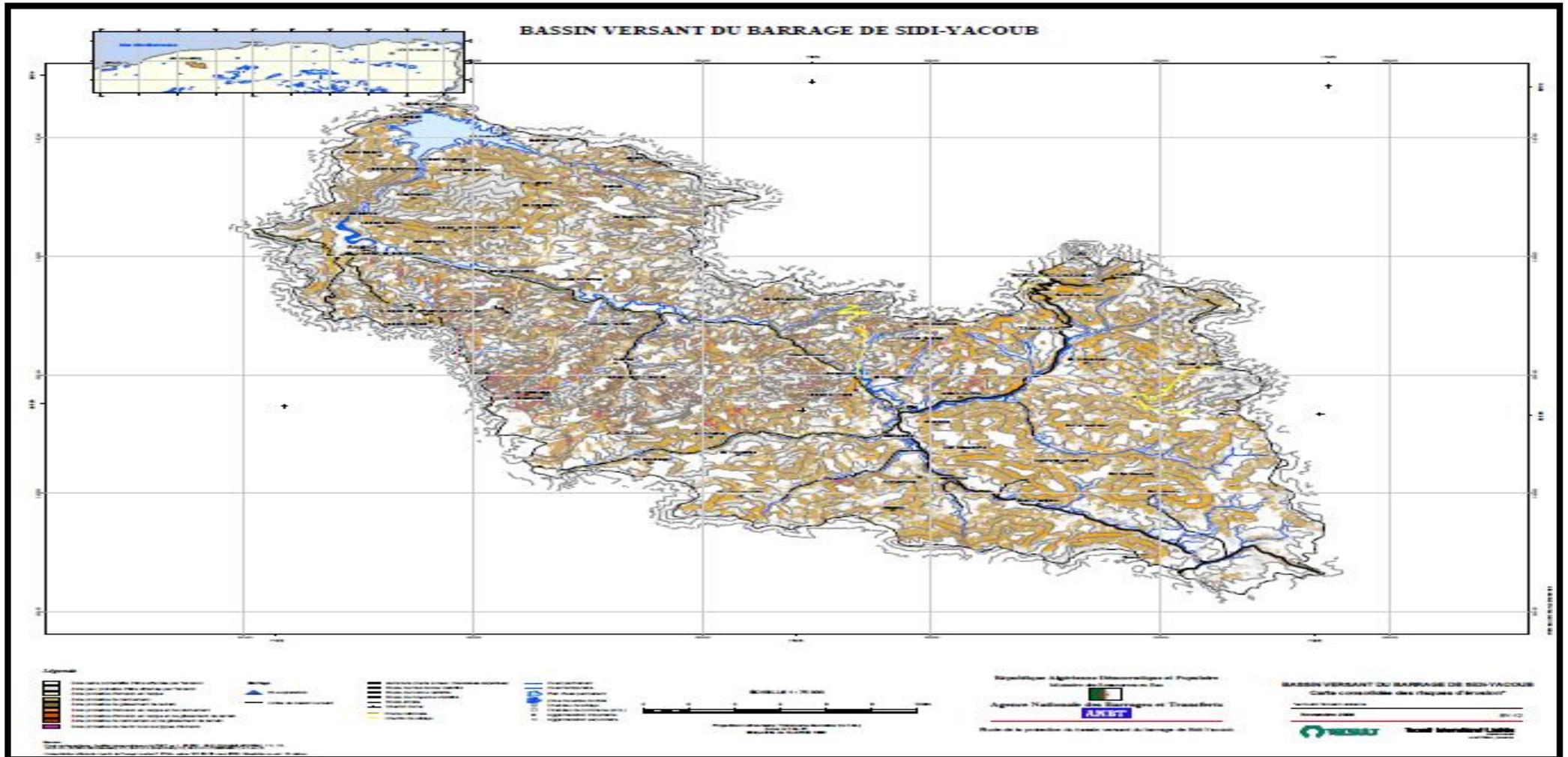


Fig1.3 Classe des pentes du bassin versant du barrage de sidi yacoub



Source agence nationale des barrages et transfères2006.

Fig1.4 Carte du risque d'érosion du bassin versant du barrage de sidi yacoub



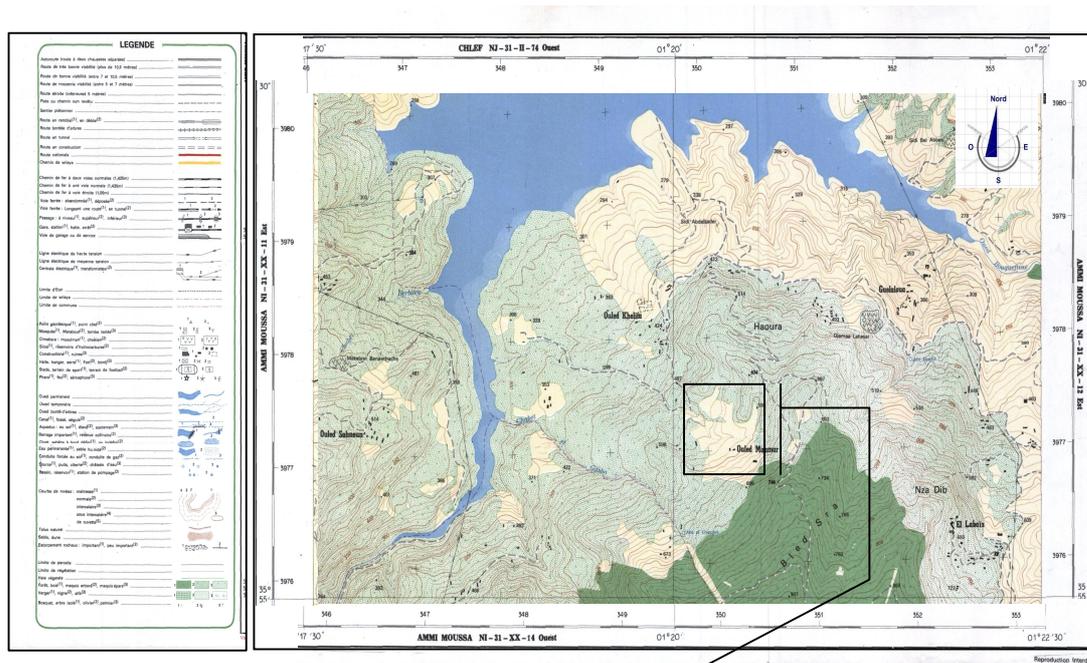
Source agence nationale des barrages et transfères2006

*Pour mieux comprendre le phénomène et résoudre notre problématique nous avons travaillé sur une micro zone*

### 1.5 situation géographique de la micro zone

La micro zone à étudier est une parcelle agricole qui s'étend sur une superficie de 30ha, elle est située à 2 km au sud Ouest du lac du barrage ; cette parcelle appartient a des agriculteurs privés. (Fig1. 5)

**Fig 1.5** Situation géographique de la zone d'étude



Extrait de la carte topographique au 1/25000eme feuille Ami moussa N° NI31 xx-12 ouste



Photo extraite du Google Earth

**Tableau N°1.2 : Localisation de la zone d'étude**

commune	Wilaya	Coordonnées			
		X1	X2	Y1	Y2
Ouled Ben AEK	Chlef	349,87	350,406	3976,91	3977,62

Extraits de la carte topographique au 1/25000eme feuille Ami moussa N° NI31 xx-12 ouste

La zone est délimitée :

- Au Nord, à l'Est et l'Ouest par des terrains agricoles privés.
- Au sud par le chemin de wilaya N° 02.

### 1.5.1 Ressources en sols :

Pour l'étude pédologique du périmètre, la méthodologie adoptée comprend les étapes suivantes :

La prospection pédologique.

L'étude morphologique des sols.

L'étude analytique des sols.

L'interprétation des résultats

La démarche ainsi adoptée, a pour but de se prononcer sur la faisabilité pédologique du projet en décelant les contraintes et les atouts éventuels.

### **1.5.4.1 La géologie**

Notre zone d'étude appartenant aux bassins versants situés dans le massif de l'Ouarsenis, fait partie du domaine des nappes telliennes dont l'existence date du Miocène. Ces derniers sont constitués de matériaux tendres sensibles à l'érosion et produisant des substances fines facilement mises en suspension. La présence de Trias gypseux est un élément favorable à la salure des eaux<sup>(1)</sup>.

Les principales formations géologiques, les feuilles ainsi que les étages, concernant notre région d'étude ont été tirés d'après la carte géologique du bassin versant du barrage de sidi yacoub (Fig 1.6).

Le faciès lithologique du périmètre est composé des dépôts alluvionnaires constitués essentiellement d'éléments fins (argile et limons), la totalité du périmètre repose sur une couche de calcaire friable<sup>(1)</sup>.

### **1.5.4.2 La pédologie**

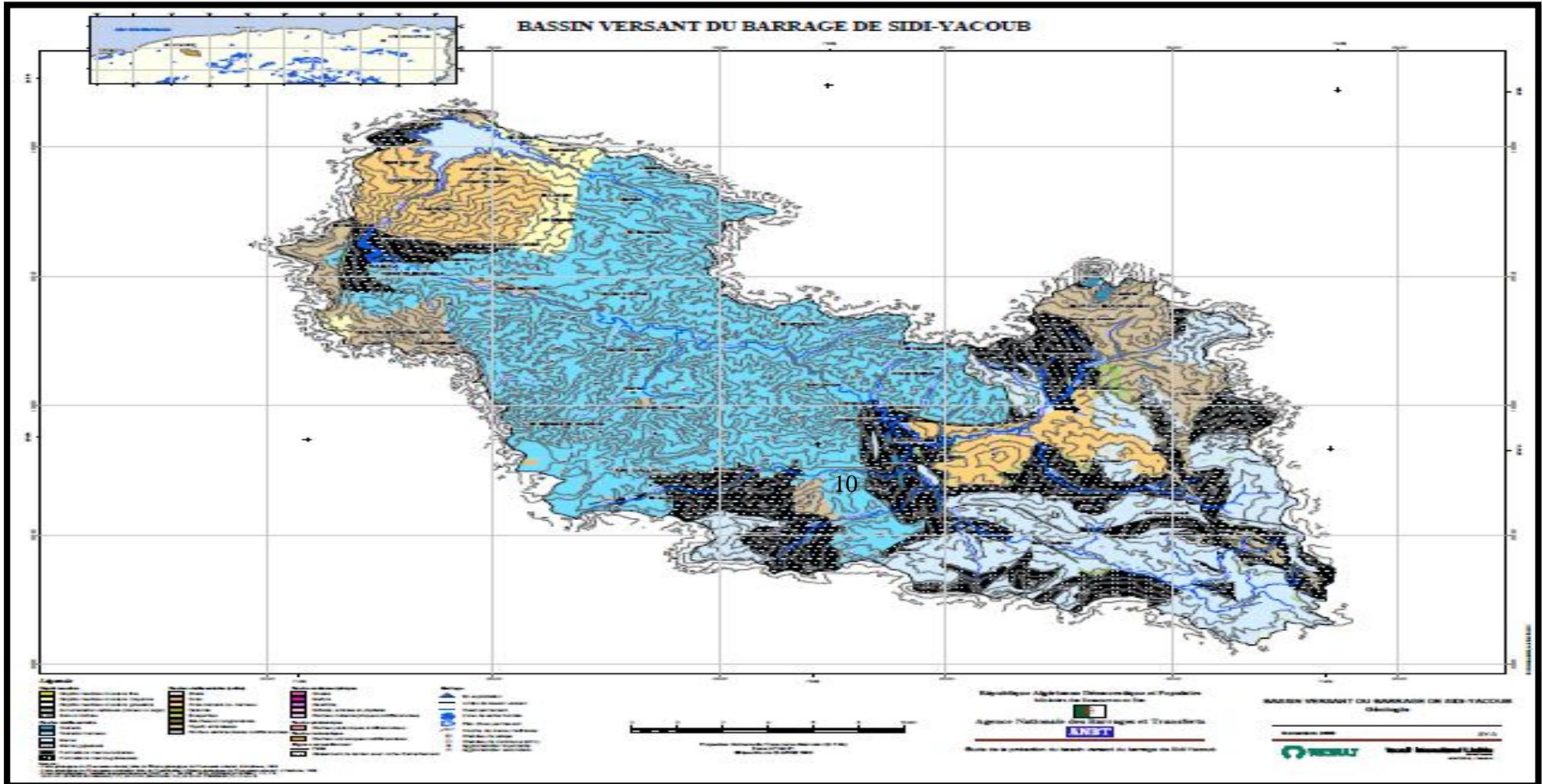
L'étude pédologique est d'une importance capitale lors de toute étude d'aménagement d'un périmètre, ces principaux objectifs sont :

- L'appréciation de potentialité des terres vis-à-vis de l'irrigation, en mettant l'accent sur les zones de faible aptitudes à l'irrigation et la mise en culture, pour les éliminer afin d'avoir les délimitations définitives du périmètre irrigable.
- Fournir à l'irrigation les données fondamentales qui vont lui permettre de fixer les caractéristiques du sol à la base des quelles se fait le choix des genres de cultures adéquates et des systèmes d'irrigation appropriés.

---

(1) source PDAU 2006

Fig1.6 Géologie du bassin versant du barrage de sidi yacoub

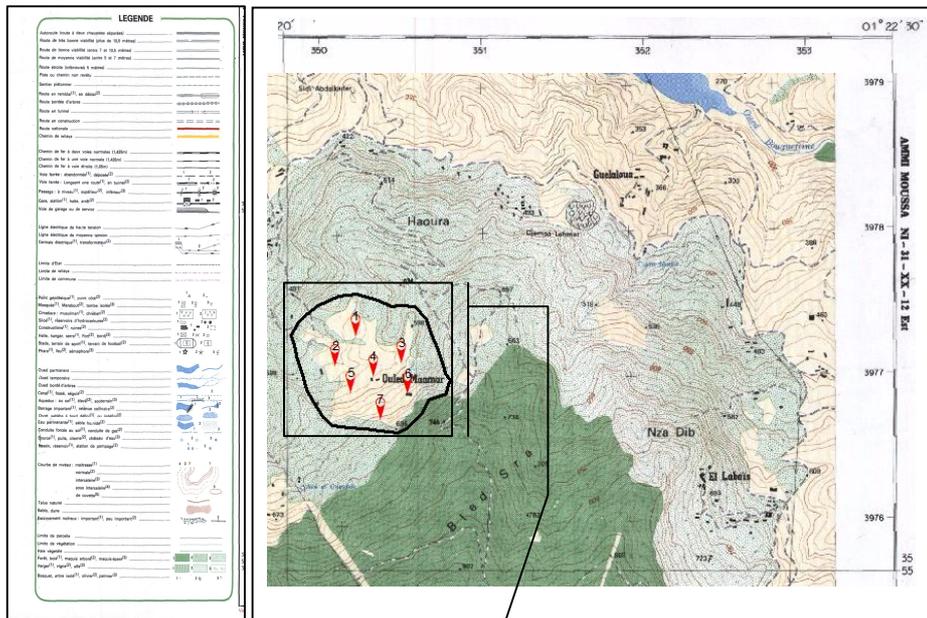


Source agence nationale des barrages et transfères2006.

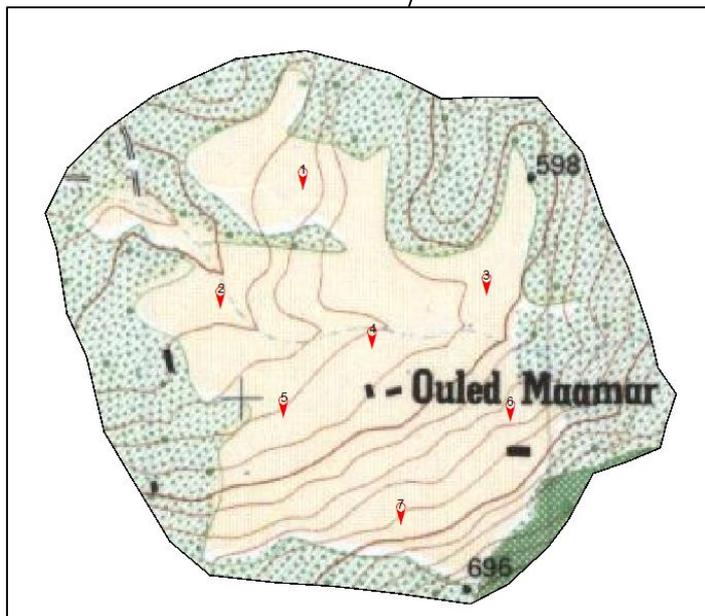
**1.5.4.3 Résultats d'analyses pédologiques :**

Sept profils pédologiques ont été réalisés à divers endroits<sup>(1)</sup>

**Fig 1.7** Position des profils pédologiques



Extrait de la carte topographique au 1/25000eme feuille Ami moussa N° NI31 xx-12 ouste



(1) source direction des services agricoles chlef (programme d'étude de faisabilité technico-économique de périmètre de mise en valeur par la concession

Fiches de description des profils types :

**Profil N° 01**

Coordonnées :

X : N 1°33846

Y : 35°94874 E

**Description :**

**0-25 cm** : Horizon humide, couleur vert grisâtre, texture limono argileuse, présence de quelque radicelle, faible activité biologique, peu de matière organique, moins poreux, peu d'effervescence au Hcl.

**25-100 cm** : Horizon sec, couleur vert grisâtre, texture argilo limoneuse, pas de racine, faible activité biologique, peu de matière organique, moins poreux, peu d'effervescence au Hcl.

**Profil N° 02**

Coordonnées :

X : 1° 33337 N

Y : 35°95193 E

**Description :**

**0-30 cm** : Horizon humide, couleur brun foncé, texture limono argileuse, présence de quelque radicelle, présence d'activité biologique, matière organique moyenne, forte effervescence au Hcl.

**30-100 cm** : Horizon sec, couleur brun foncé, texture limono argileuse, activité biologique moyenne, matière organique faible, présence de cailloux calcaire, taches blanchâtres, très forte effervescence au Hcl.

### **Profil N° 03**

Coordonnées :

X : 1°33069 N

Y : 35°946921 E

#### **Description :**

**0-30 cm** : Horizon humide, couleur vert grisâtre, texture argilo limoneuse, présence de quelque radicelle, faible activité biologique, matière organique non déclarée, moins poreux, effervescence moyenne au Hcl.

**30-100 cm** : Horizon sec, couleur vert grisâtre, texture limo argileuse, faible activité biologique, matière organique non déclarée, moins poreux, effervescence moyenne au Hcl.

### **Profil N° 04**

Coordonnées :

X : 1°32690 N

Y 35°94519 E

#### **Description :**

**0-30 cm** : Horizon humide, couleur marron foncé, texture limoneuse, présence de quelque radicelle, présence de matière organique, moins poreux, forte effervescence au Hcl, calcaire diffusé.

**30-100 cm** : Horizon sec de couleur marron foncé, texture limono argileuse, pas de radicelle, moins poreux, présence de matière organique, présence d'activité biologique, peu d'effervescence au Hcl.

### **Profil N° 05**

Coordonnées :

X : 1° 32751 N

Y : 35° 94805 E

#### **Description :**

**0-30 cm** : Horizon humide, couleur marron foncé, texture limoneuse, présence de quelque radicelle, présence de matière organique, poreux, peu d'effervescence au Hcl.

**30-100 cm** : Horizon sec de couleur marron claire, texture sablo argilo limoneuse, présence d'activité biologique, présence de taches blanchâtres, poreux, peu d'effervescence au Hcl.

### **Profil N° 06**

Coordonnées :

X : 1° 32343 N

Y : 35°94656 E

#### **Description :**

**0-30 cm** : Horizon humide, couleur marron foncé, texture limono argileuse, présence de quelque radicelle, peu effervescence au Hcl, présence d'activité biologique, poreux, présence de matière organique.

**30-100 cm** : Horizon sec de couleur marron foncé, texture limon argileuse, absence de racines, peu effervescence au Hcl, pas d'activité biologique, moins poreux, présence de fissures sur le long de l'horizon.

### Profil N° 07

Coordonnées :

X : 1° 33308 N

Y : 35° 94970 E

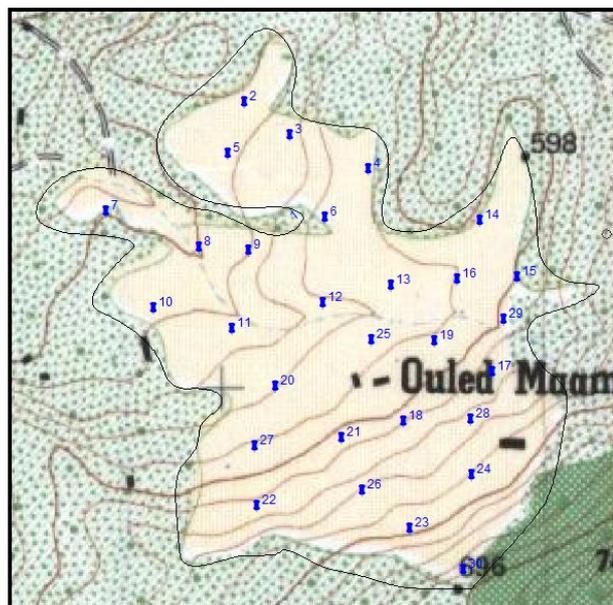
### Description :

**0-25 cm** : Horizon humide, couleur verte grisâtre, texture argilo limoneuse, présence de quelque radicelle, faible activité biologique, matière organique non déclarée, moins poreux, forte effervescence au Hcl, présence de taches blanchâtres.

**25-100 cm** : Horizon sec, couleur vert grisâtre, texture argilo limoneuse, pas de racine, faible activité biologique, matière organique non déclarée, moins poreux, présence de taches blanchâtres, forte effervescence au Hcl.

Trente échantillons de terre ont été prélevés à partir de ces profils pour analyses au niveau du laboratoire.

**Fig1.8** position des points d'échantillonnage.



Les résultats d'analyse au laboratoire sont présentés dans l'annexe N°1.1

#### 1.5.4.4 Aptitudes culturales

Les données pédologiques mettent en évidence les sols présentant d'une manière générale, des caractéristiques physico- chimiques convenables et à même d'offrir des potentialités quant à leur mise en culture.

La prospection pédologique au niveau de la zone d'étude a mis en évidence une couverture pédologique formée principalement par des sols peu évolués, d'apport alluvial caractérisés par une texture dominante, limono argileuse à argilo limoneuse.

On y note en plus des contraintes liées parfois à la présence de calcaire actif.

Sur le plan chimique, les sols présentent les propriétés suivantes :

- une teneur un peu élevée en calcaire actif aux profils 2 et 7, les autres ne présentant que des traces non significatives.
- Un PH légèrement alcalin, ne présente pas une contrainte.
- Une salinité supérieure à 3,5 mmhos/cm.(1/5)
- Une faible présence de matières organiques.

## 2.1 La climatologie

Le climat des régions de Chlef est semi-aride, ce qui engendre une irrégularité de pluies et de températures. La température moyenne annuelle sur une période de 16 ans est de 19,3°C (1990-2006). La quasi-totalité de la région présente une période de sécheresse marquée en été, avec une moyenne annuelle de 347 mm sur une période de 40 ans (1968-2007). Elle est caractérisée par trois tendances de vent : du nord ouest « doux et humide ». Du nord-est « froid » et du sud-ouest « chaud et sec ».

### 2.1.1 Les précipitations

Les pluies sont souvent irrégulières d'une année à l'autre et pour un même mois. La zone d'étude est équipée d'une station pluviométrique, sous le code 012318. Les caractéristiques principales de cette station sont :

**Tableau N° 2.1 :** *Caractéristiques principales des stations pluviométrique de la région d'étude*

Code station :	12318
Nom station :	sidi yacoub
X :	375
Y :	298,3
Z :	272

Les pluies moyennes mensuelles et annuelles enregistrées par cette station sont représentées dans le tableau 01 (annexe 02)

La précipitation mensuelle durant ses 40 années de service est représentée dans le tableau qui suit :

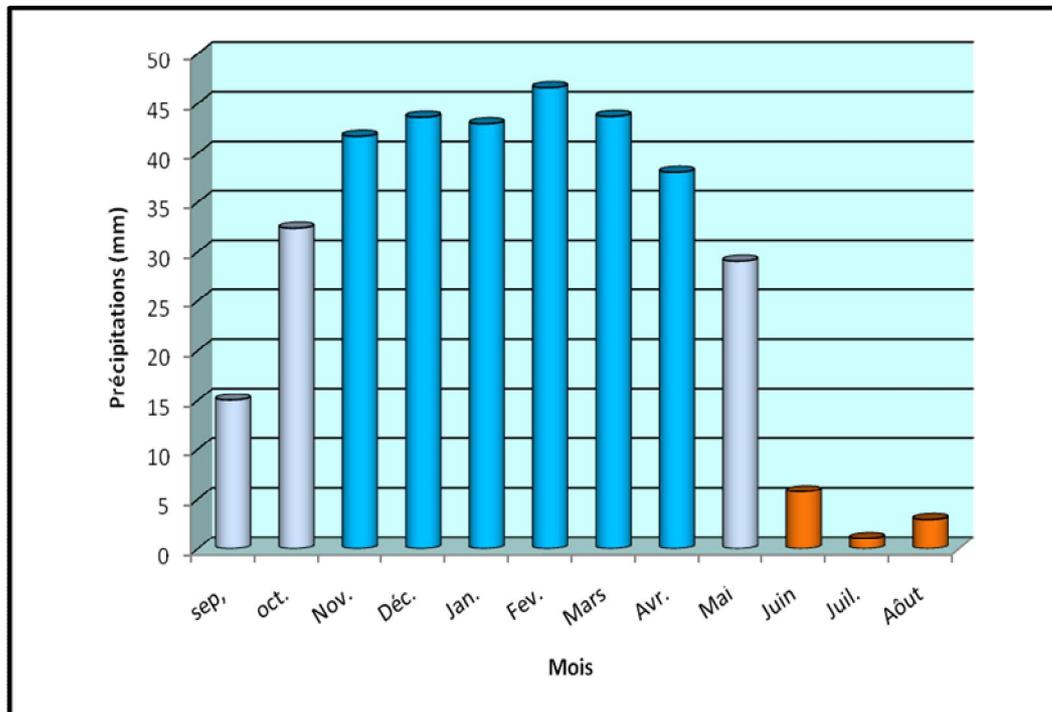
**Tableau N° 2.2 :** *Les moyennes annuelle et mensuelle des précipitations de la zone d'étude.*

Station		Sidi yacoub (012318)												
Mois		Sep,	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aôut	Anuelle
pluie	(mm)	15,02	32,49	42,36	44,78	43,14	47,5	43,89	38,23	30,12	5,87	1,08	2,965	347,42
	%	4,323	9,35	12,19	12,89	12,42	13,67	12,63	11	8,668	1,69	0,31	0,853	100

Source ANRH Alger (1968-2007)

Ainsi, les précipitations moyennes enregistrées par cette station, font ressortir une moyenne annuelle de 347 mm. Notons que l'année (1971) donne une moyenne de 792,90 mm pour la région.

**Figure2.1** : La répartition mensuelle interannuelle de la pluie moyenne Caractéristique de la zone d'étude (1968-2007).



Sur ce graphe on constate une période de sécheresse en été et pluviométrie irrégulière en automne et hiver

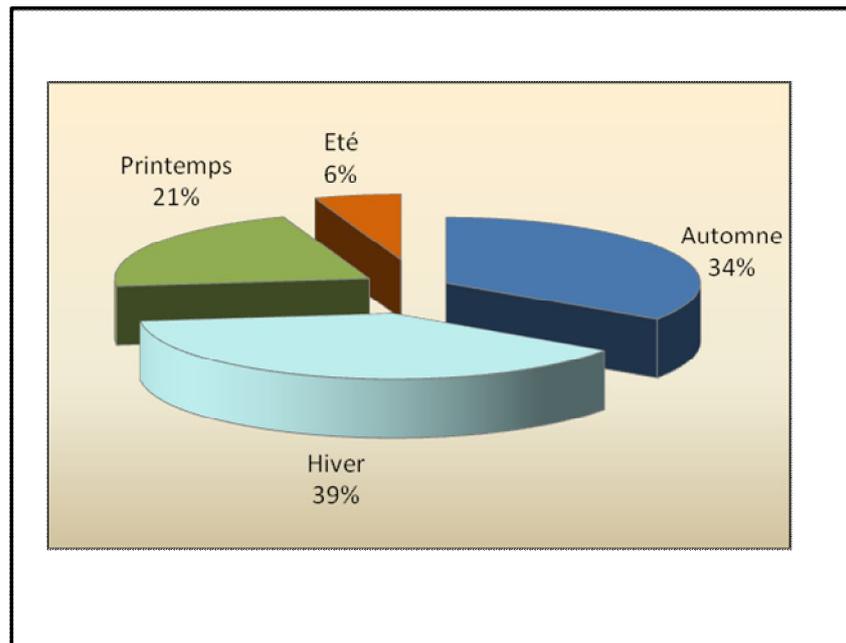
- La période pluvieuse : de novembre à avril, avec un taux égale à 74,80%
- La période moyenne : de septembre, octobre, et mai, avec un taux égal à 22,34%
- La période sèche : de Juin, jusqu'à Août, avec un taux égal à 2,86%.

Ainsi la répartition saisonnière des précipitations est représentée le tableau 2.3 et la figure 2.2

**Tableau 2.3 :** Répartition saisonnière des précipitations de la zone d'étude (1968-2007)

Station		Sidi yacoub (012318)			
Saisons		Automne	Hiver	Printemps	Eté
Pluie	(mm)	119,62	134,5	74,21	19,1
Moy	%	34,43	38,72	21,36	5,49

**Figure 2.2 :** La répartition mensuelle saisonnière des précipitations caractéristique de la zone d'étude (1968-2007)



### 2.1.2 Les températures :

**Tableau N° 2.4 :** Les températures moyennes mensuelles.

Mois	sep,	oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aôut	Moy.
T <sub>max</sub> (°C)	32,50	26,90	20,40	16,50	10,40	17,50	21,00	23,30	28,40	34,10	37,00	37,50	25,46
T <sub>min</sub> (°C)	19,30	15,50	10,30	7,20	5,80	6,20	8,60	10,40	14,30	18,80	21,90	22,40	13,39
T <sub>moy</sub> (°C)	25,90	21,20	15,35	11,85	8,10	11,85	14,80	16,85	21,35	26,45	29,45	29,95	19,43

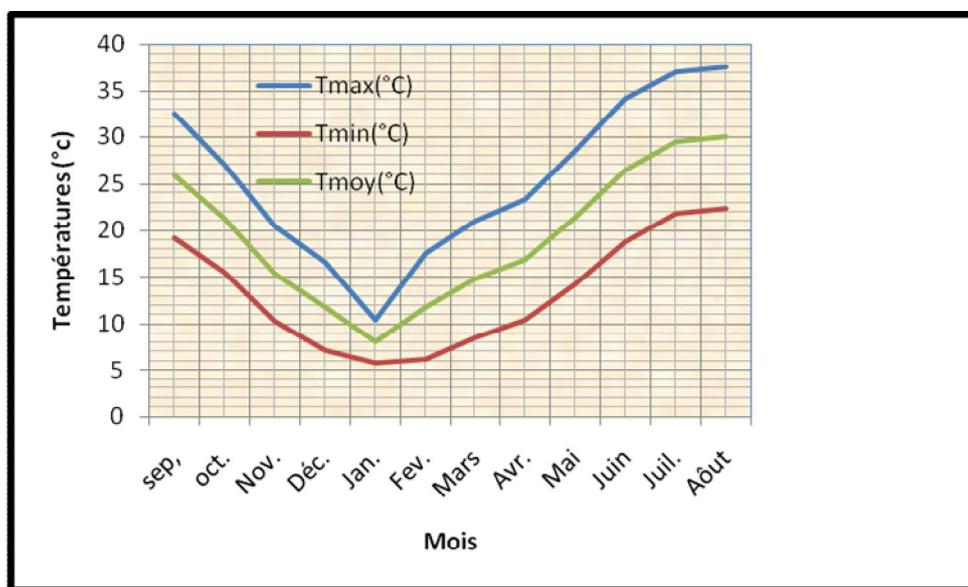
Source ONM Chlef (1990-2006)

Les relevés moyens mensuels de températures ont été enregistrés sur une période de 17 ans (1990 à 2006) fig 2.3, par la station de sidi yakoub, le minima enregistré

pendant ces 17 ans varie entre 5,8°C et 22,4°C respectivement pour le mois de Janvier et Août. Le maxima enregistré sur la même série varie de 10,4°C à 37,5°C au mois de Janvier et Août.

La température moyenne annuelle est de 19,3°C, le minima absolu est 3°C pour les mois de décembre et janvier ; le maxima absolu est de 46°C pour le mois d'Août<sup>(1)</sup>, comme pour les précipitations la région est caractérisée par un régime thermique annuel variable et irrégulier.

**Figure 2.3 :** Températures moyennes mensuelles caractéristique de la zone d'étude (1990-2006)



---

(1) Source ONM Chlef

### 2.1.3 L'humidité :

L'humidité est le rapport entre la quantité d'eau présente dans une particule d'air et celle qu'elle peut contenir.

Ce paramètre n'étant pas mesuré au niveau de la station de sidi yacoub, nous allons faire recours à la station pilote de chlef qui est située à environ 25 Km au Nord Est d'ouled ben AEK, et qui peut être considérée comme représentative du climat de la région. Les coordonnées de cette station sont les suivantes :

Altitude : 143 m

Longitude : 1°20'E

Latitude : 36°13' N

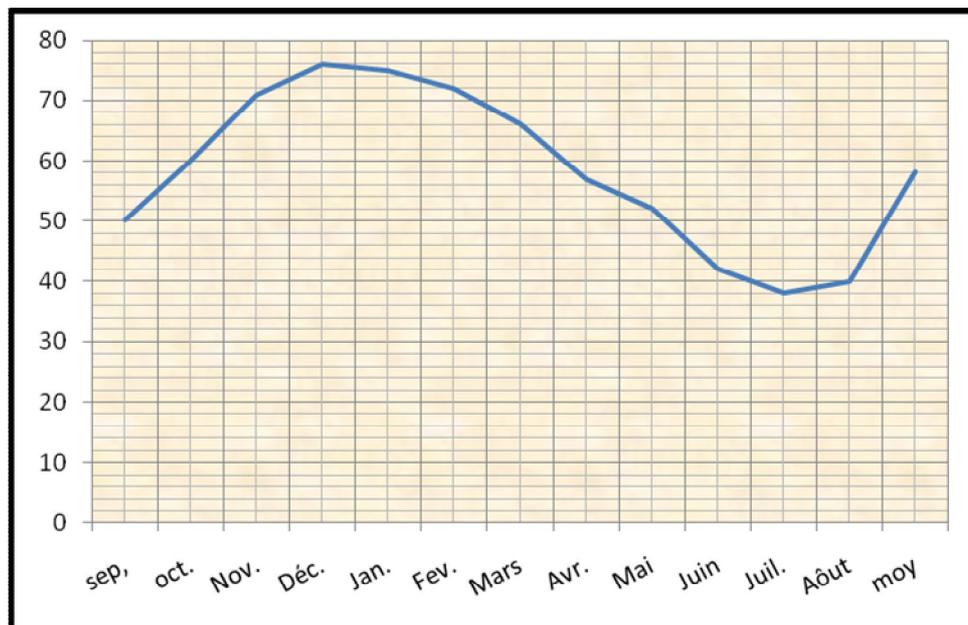
Le tableau ci-dessous donne les moyennes en (%) observées pour les trois phases d'une journée, la matinée, l'après midi et le soir.

**Tableau N°2.5** : Les humidités relatives

Mois	sep,	oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	moy
H. relative %	50	60	71	76	75	72	66	57	52	42	38	40	58,25

Source ONM chlef (1990-2006)

**Fig2.4** : Humidité relative moyenne mensuelle de la zone d'étude(1990-2006)



La figure 2.4 montre l'évolution de l'humidité relative sur une période de 16 ans. Les valeurs maximales de l'humidité relative sont enregistrées au mois de décembre, janvier avec des valeurs de l'ordre de 75%. Alors que le mois le moins humide coïncide avec le mois de juillet avec 38%.

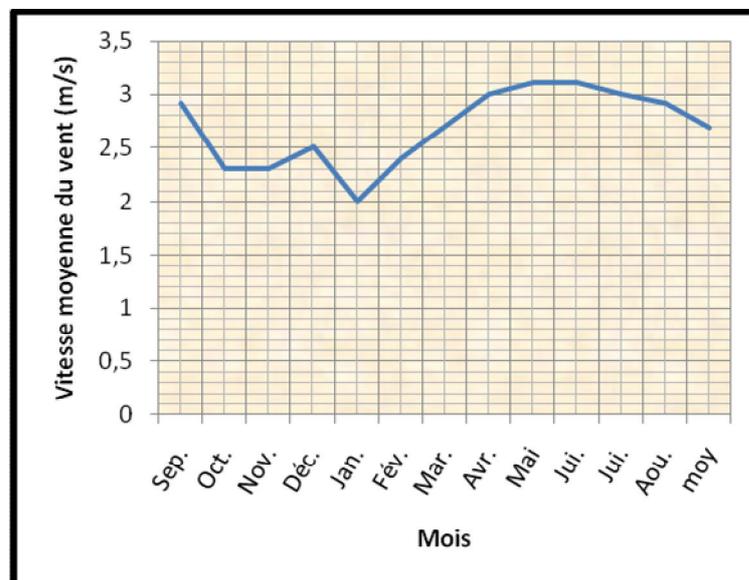
### 2.1.4 Autres facteurs climatiques :

**Tableau 2.6 :** Autres facteurs climatiques

	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jui.	Jui.	Aou.	moy
Vents m/s	2,9	2,3	2,3	2,5	2	2,4	2,7	3	3,1	3,1	3	2,9	2,7
Insolation(h)	8.8	7.2	5.9	5.1	5.3	6.1	6.8	7.2	9.1	10.6	9.8	10.3	7.7

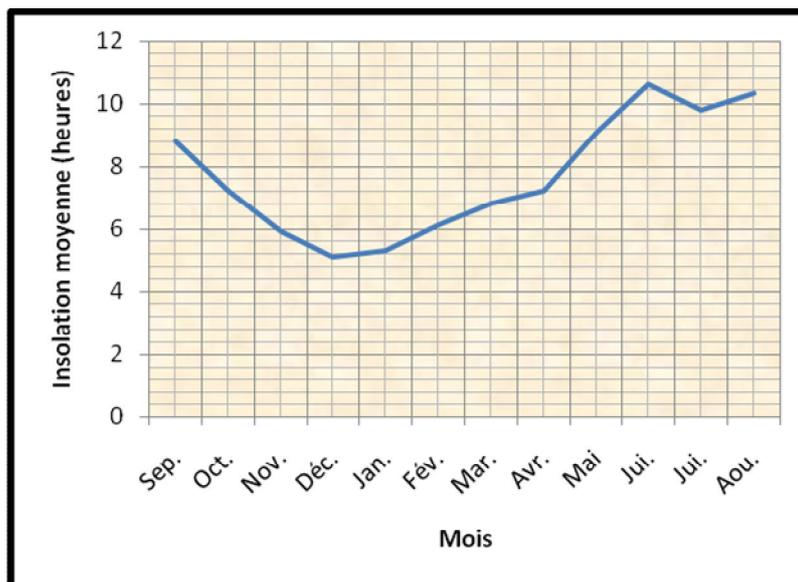
Source ONM chlef (1990-2006)

**Fig2.5 :** Vitesse du vent moyenne mensuelle de la zone d'étude (1990-2006)



Les vents dominants dans la région de Chlef sont des vents d'ouest faibles à modérés. sur la fig 2.5 nous remarquons qu'en début de l'automne, la vitesse moyenne du vent est de l'ordre de 2,8 m/s, à partir du début janvier la vitesse augmente pour atteindre une valeur moyenne de 3.1 m/s. enregistrées au mois de juin, ces vitesses de vent combinées aux fortes températures augmentent davantage le déficit de saturation de l'air et par conséquent les valeurs de l'évapotranspiration potentielle.

**Fig2.6** : Insolation moyenne mensuelle de la zone d'étude (1990-2006)



La figure 2.6 montre que les valeurs de la durée d'insolation évoluent d'une manière inversement proportionnelle à celle de l'humidité relative. la durée d'insolation passe de 5.1 h enregistrée au mois de décembre et augmente pour atteindre une valeur moyenne maximale de 10.6 h enregistrée au mois de juin.

## **2.2 LES SYNTHÈSES CLIMATIQUES :**

### **Introduction :**

Tous les éléments du climat agissent en même temps pour former un milieu climatique.

Afin d'estimer rapidement l'influence des principaux éléments, divers systèmes sont proposés : Les plus utilisés en région méditerranéenne sont : Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et le climagramme pluviométrique d'EMBERGER.

Ces deux systèmes résument le bioclimat d'une station donnée par trois éléments fondamentaux du climat: précipitations (mm) - températures maximales et minimales (°C).

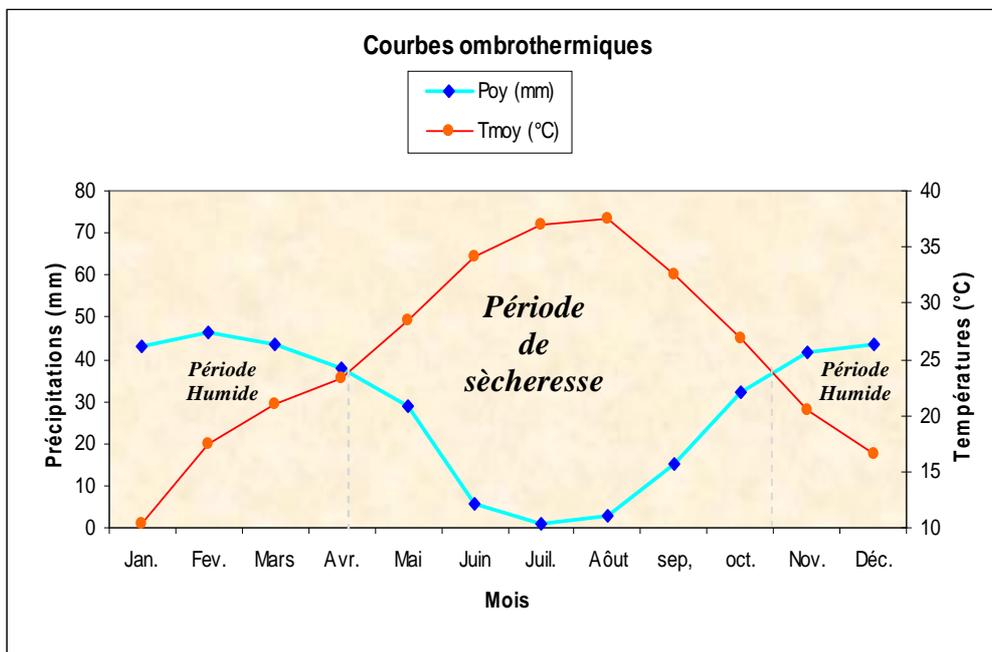
### **2.2.1 – Courbe ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :**

GAUSSEN & BAGNOLS (in STEWART, 1969) considéraient que l'effet positif de 2mm de précipitations est annulé par une augmentation de température de 1°C, et ils ont établi des courbes ombrothermiques pour évaluer la durée et l'intensité de la saison sèche pendant l'année. Ils se sont basés sur la formule  $P \leq 2 T \text{ } ^\circ\text{C}$  ; les mois secs sont définis, quand la courbe des précipitations est située au-dessous de celle des températures moyennes.

Ces graphiques permettent de suivre facilement la suite des saisons et l'importance de leur sécheresse. Mais, ils présentent l'inconvénient de ne pas faciliter la comparaison entre les stations

Ces courbes montrent l'évolution des températures et des précipitations mois par mois, de janvier à décembre pour un lieu donné. Elles sont établies à partir des moyennes climatiques enregistrées sur les périodes cités ci-dessus. La partie du graphique où se croisent les deux courbes représente la durée de sécheresse ainsi que son intensité. C'est un graphique simple qui permet de visualiser et comparer rapidement les précipitations et la sécheresse de différents climats. En ce qui nous concerne, cela permet de comparer les climats où il est nécessaire de recourir aux irrigations.

**Figure 2.7 :** La Courbe ombrothermique caractéristique de la zone d'étude



La courbe ombrothermique, fait ressortir une période sèche s'étalant du mi avril à fin Octobre, période durant la quelle, il est nécessaire de recourir à l'irrigation.

### 2.2.2 Climagramme d'Emberger

Contrairement au diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, ce climagramme permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région donnée à l'aide du quotient pluviothermique d'Emberger (Q) qui est fonction de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaud, de la moyenne minimale (m) du mois le plus froid et de la pluviosité moyenne annuelle (P). Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat de la région est humide (Emberger, 1971).

Il est calculé par la formule suivante :

$$Q = \frac{2000 * P}{M^2 - m^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Tels que :

$M$  : Température moyenne maximale du mois le plus chaud en (°K).

$m$  : Température moyenne minimale du mois le plus froid en (°K).

$P$  : Précipitation moyenne annuelle de la région en (mm).

Pour :

$M=37.5^{\circ}\text{C}$ ,

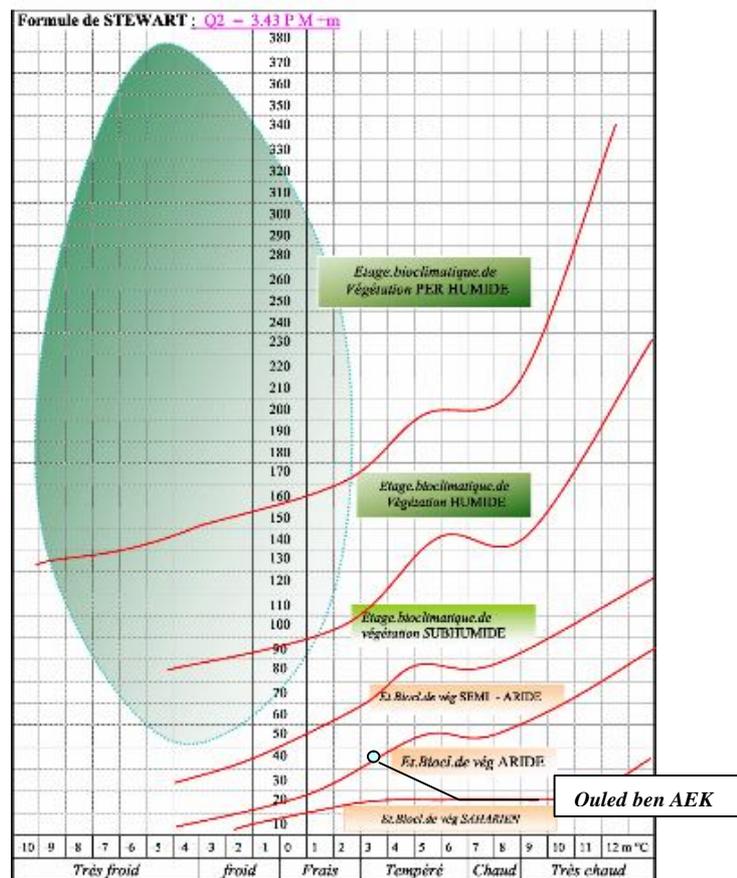
$m=5,8^{\circ}\text{C}$

$P=347.42\text{mm}$ .

On aura:

$$Q = \frac{2000 * 347.42}{(37.5 + 273)^2 - (5,8 + 273)^2} \approx 37.19$$

**Fig.2.8** : Le climagramme du quotient pluviométrique  $Q$  d'EMBERGER pour le climat méditerranéen



Par conséquent, nous pouvons classer la région d'ouled ben AEK dans l'étage méditerranéen semi-aride à hiver tempéré.

### Conclusion

Nous constatons après avoir examiné les résultats cités auparavant que la région présente une période de sécheresse en été, à pluviométrie irrégulière en automne et en hiver et avec une variabilité importante d'une année à l'autre.

Concernant la température, nous remarquons que l'amplitude thermique est faible, l'hiver est doux, l'été chaud, parfois il y a des pic de température qui atteignent les 46°C, l'ensoleillement observé se situe entre 2802,1 et 2870 heures par an.

### **2.3 ETUDE HYDROLOGIQUE**

Les précipitations subissent en plus des variabilités interannuelles en intensité, diverses sortes de pertes. Une analyse statistique des données pluviométriques s'impose. Pour ce faire nous commençons par quelques définitions et passerons ensuite au traitement statistique.

#### **2.3.1 Précipitation de projet :**

La connaissance de la variabilité interannuelle des besoins en eau d'irrigation nécessite une étude fréquentielle des pluies, Cette analyse permettra de déterminer la hauteur de pluie qu'on est sûr de dépasser avec une probabilité donnée. Pour les projets d'irrigation on adopte généralement les probabilités de dépassement (FD) des 3 années sur 4 (75 %) ou 4 années sur 5 (80%).

Concernant notre étude, nous avons utilisé les pluies moyennes annuelles de la station météorologique 012318 pour dégager les hauteurs des pluies selon les probabilités de non dépassement de 20%, 50%, 80% respectivement de l'année humide, normale et sèche.

Les données pluviométriques des années normale, humide et sèche sont normalement utilisées pour la programmation en eau d'irrigation et la gestion de l'eau.

#### **2.3.2 Traitement des données pluviométriques :**

L'efficacité d'une méthode d'estimation dépend de la loi de probabilité, de la taille de l'échantillon et de certaines caractéristiques de l'échantillon. Le choix d'une méthode est donc un exercice difficile à effectuer. Toutefois, de nombreuses études comparatives, autant empiriques que théoriques, ont été menées afin de déterminer dans quelles circonstances une méthode d'estimation est la plus efficace pour une loi donnée.

La simulation des précipitations est faite à l'échelle annuelle. Le logiciel HYFRAN nous permet de récupérer les résultats cités en suivant :

Distributions et méthodes d'ajustement de HYFRAN

**Tableau 2.7 :** Distributions et méthodes d'ajustement de HYFRAN

Loi	Fonction de densité de probabilité	Références	Paramètres
<b>Normal (Gausse)</b>	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$	<a href="#">Perreault et al. (1992)</a>	$u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ $\bar{x}$ : la moyenne $\sigma$ : l'écart type
<b>Gumbel</b>	$f(x) = e^{-u}$	<a href="#">Perreault et al. (1992)</a>	$u = \frac{x - x_0}{g}$ $x_0$ : paramètre de position $g$ : gradexe=0,78 $\sigma$
<b>Log-Normal (Galton)</b>	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$	<a href="#">Aitchison et Brown (1957)</a>	$u = \frac{\log(x - x_0) - a}{b}$ $a$ : la moyenne des $\log(x-x_0)$ $b$ : l'écart type des $\log(x-x_0)$ $x_0$ : paramètre de position

**Statistiques de base :**

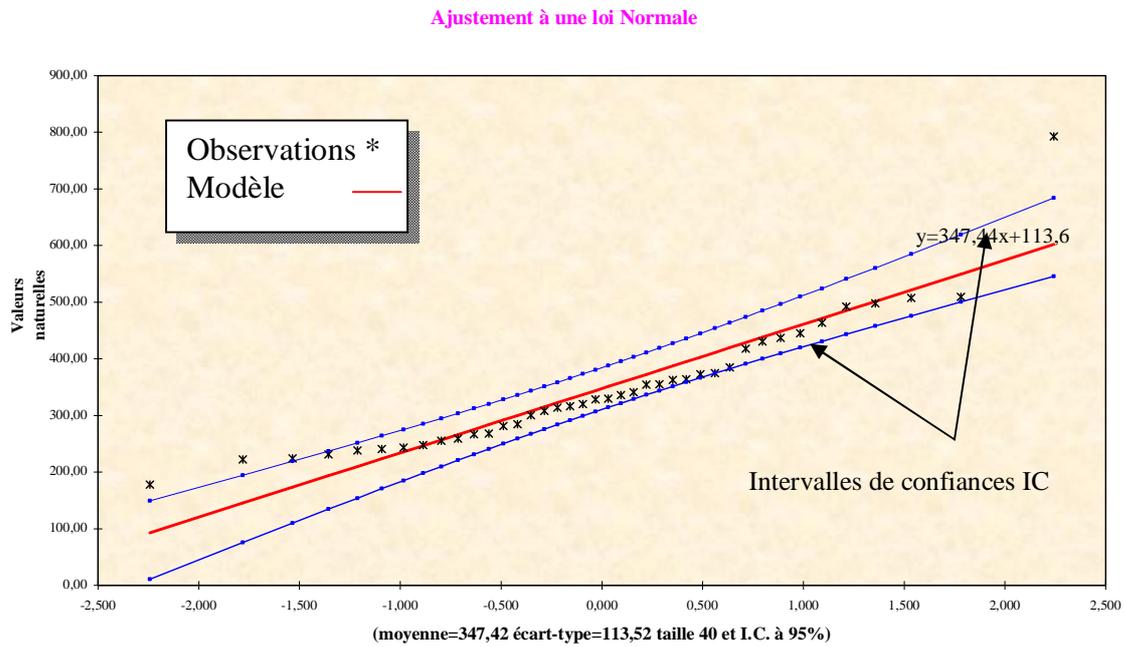
**1- Pluies annuelle**

**Tableau 2.8 :** Résultats de la statistique de base

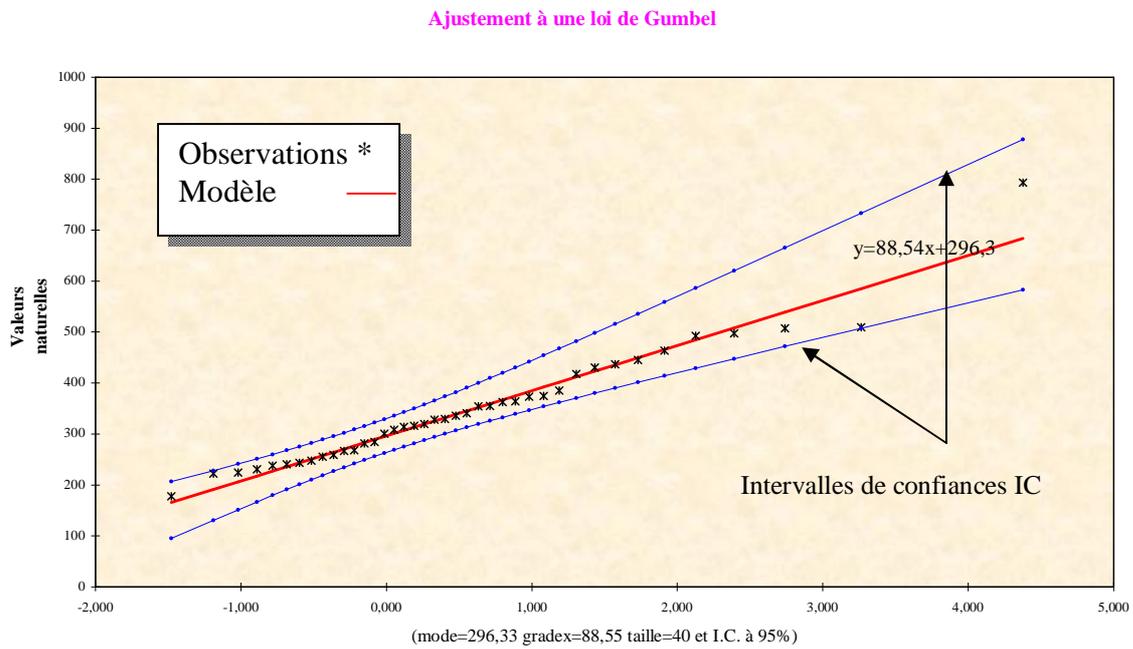
	Toute la série
Nombre [n]	40,00
Maximum	792,00
Minimum	177,00
Moyenne	347,00
Ecart type	113,00
Médiane	329,00
Coefficient de variation (CV)	0,33
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1.64
Coefficient d'aplatissement (Ck)	6.66

Les résultats des ajustements figurent en annexe (02-02)

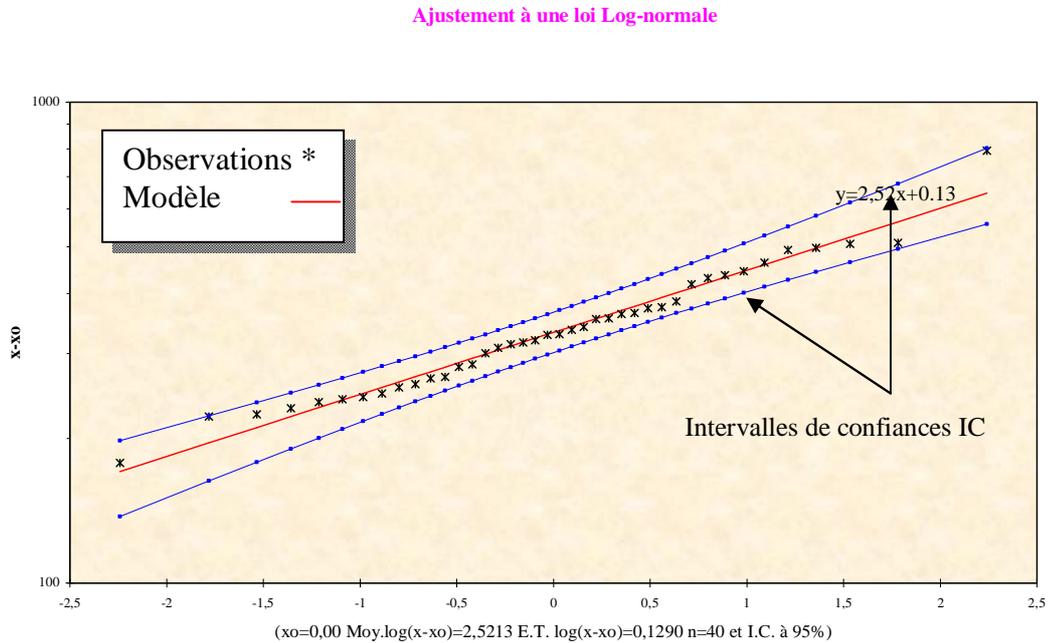
**Fig2.9 : Ajustement à une loi normale**



**Fig2.10 : Ajustement à une loi de gumbel**



**Fig2.11** : Ajustement à une loi log-normale



Certains écarts sont observés entre ces courbes tracés et les points expérimentaux.

Une question se pose :

Ces écarts sont-ils dus uniquement au hasard, vu le nombre limité d'observation ?

Ou bien sont-ils structurels et proviennent-ils du fait que la courbe théorique (la loi) a été mal choisie ?

Pour y répondre, on fait appel aux tests d'adéquation ou de conformité : test de  $\chi^2$ , ou celui de Shapiro-Wilk

Ainsi le logiciel HYFRAN donne les résultats suivants des testes d'adéquations :

**Tableau 2.9:** Caractéristiques des ajustements possibles

	Maximum de vraisemblance		
	GUMBEL	Normale	Lognormale
Khi carré	$X^2 = 2,40$	$X^2 = 13,60$	$X^2 = 4$
	$P = 0,7915$	$P = 0,184$	$P = 0,55$
Test de Shaprio-Wilk	#	$SW = 0,89$	$SW = 0,98$
		$P = 0,94$	$P = 0,94$
Degré de liberté	5	5	5
Nombre de classes	8	8	8
Caractéristiques	$s = 329$	$s = 329$	$s = 329$
	$Cv = 0.327$	$Cv = 0.327$	$Cv = 0.327$
	$Cs = 1.64$	$Cs = 1.64$	$Cs = 1.64$

D'après le tableau précédent, il est clair que le meilleur ajustement, qu'on doit adopter, est bien celui de GUMEL à la méthode de maximum de vraisemblance.

Les résultats de l'ajustement des pluies à la loi GUMBEL sont présentes dans le tableau N°2.10.

**Tableau 2.10 :** Ajustement des pluies à la loi GUMBEL

Fréquence	UGumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.
0,8	-0,476	254,19	214,6	285,62

### Conclusion

Puisque la loi GUMBEL est la plus adéquate ; Alors, nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la zone d'étude.

L'estimation sera pour l'année sèche de fréquence 80%; la formule de calcul des moyennes mensuelles de fréquence 80% est la suivante :

$$P_{moy\ 80\% \text{ de chaque mois}} = P_{moy \text{ de chaque mois}} \cdot \frac{P_{théorique (80\%) \text{ annuelle}}}{P_{théorique (50\%) \text{ annuelle}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

$P_{i\ moy, 80\% \text{ de chaque mois}}$  : Pluie moyennes du mois "i" pour une fréquence de 80% ;

$P_{i\ moy \text{ de chaque mois}}$  : la moyenne des pluies du mois "i" pour 40 ans d'observation ;

$P_{théorique, 80\%} = 254,19 \text{ mm}$  : pluie annuelle estimée pour une fréquence de 80% ;

$P_{moy} = 347,42 \text{ mm}$  : pluie moyenne annuelle pour 40 ans d'observations

Les résultats sont classés dans le tableau suivant :

**Tableau 2.11** : Pluie moyenne de l'année sèche

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	jan	Févr.	mars	Avril	mai	Juin	Juill.	Août	Total
<b>Pimoy 80% [mm]</b>	<b>11</b>	<b>23,8</b>	<b>31</b>	<b>32,8</b>	<b>31,6</b>	<b>34,8</b>	<b>32,1</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>4,3</b>	<b>0,79</b>	<b>2,17</b>	<b>254,21</b>

D'après les résultats obtenus on peut estimer l'année sèche à l'année 2001 avec une moyenne annuelle de 255,30 mm

**Tableau 2.12** : Pluie moyenne annuelle de l'année sèche théorique et réel.

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	jan	Févr.	mars	Avril	mai	Juin	Juill.	Août	Total
Pimoy 80% [mm]	11	23,8	31	32,8	31,6	34,8	32,1	28	22	4,3	0,8	2,2	254,2
Années 2001	5,2	4,3	10,9	25,2	10,7	5,6	28,5	38,2	24,3	0	0	4,1	255,3

Les activités agricoles changent les caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques du sol. Ces activités comprennent: la culture (à la main ou mécaniques), le labourage, le sarclage, le terrassement, le charrue, l'application du fumier, les engrais, le drainage et l'irrigation (Hartemink, *et al.* 2008).

Une enquête a été réalisée en saison sèche, un modèle de culture de cette saison dans la zone d'étude a été constaté, il comporte trois cultures : plus de 95% de l'exploitation comme plantation maraîchère (pomme de terre 65%, tomate 30% et les 5% restantes sont des plantations arborées).

Fig 3.1 : Assolement des cultures en saison sèche dans la zone d'étude



Source : enquêtes de terrain

### 3.1 Le calcul des besoins d'irrigation :

La mise en place d'un système d'irrigation ne s'improvise pas. Une série d'éléments sont à prendre en considération, depuis la conception du projet jusqu'au processus de gestion à long terme des installations.

Lors de la mise en place d'un système d'irrigation, l'ordre logique des démarches à suivre est le suivant:

- Evaluation des besoins en eau des plantes cultivées;
- Détermination des doses et de la fréquence des arrosages;
- Choix, dimensionnement et budgétisation du système d'irrigation.

Un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation a été mis au point par la FAO<sup>(1)</sup>. Ce logiciel permet le calcul des besoins en eau et des quantités d'eau d'irrigation

nécessaires aux cultures. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de différentes pratiques d'irrigation.

### **3.2 Evaluation des besoins en eau des plantes cultivées**

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres, aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région.

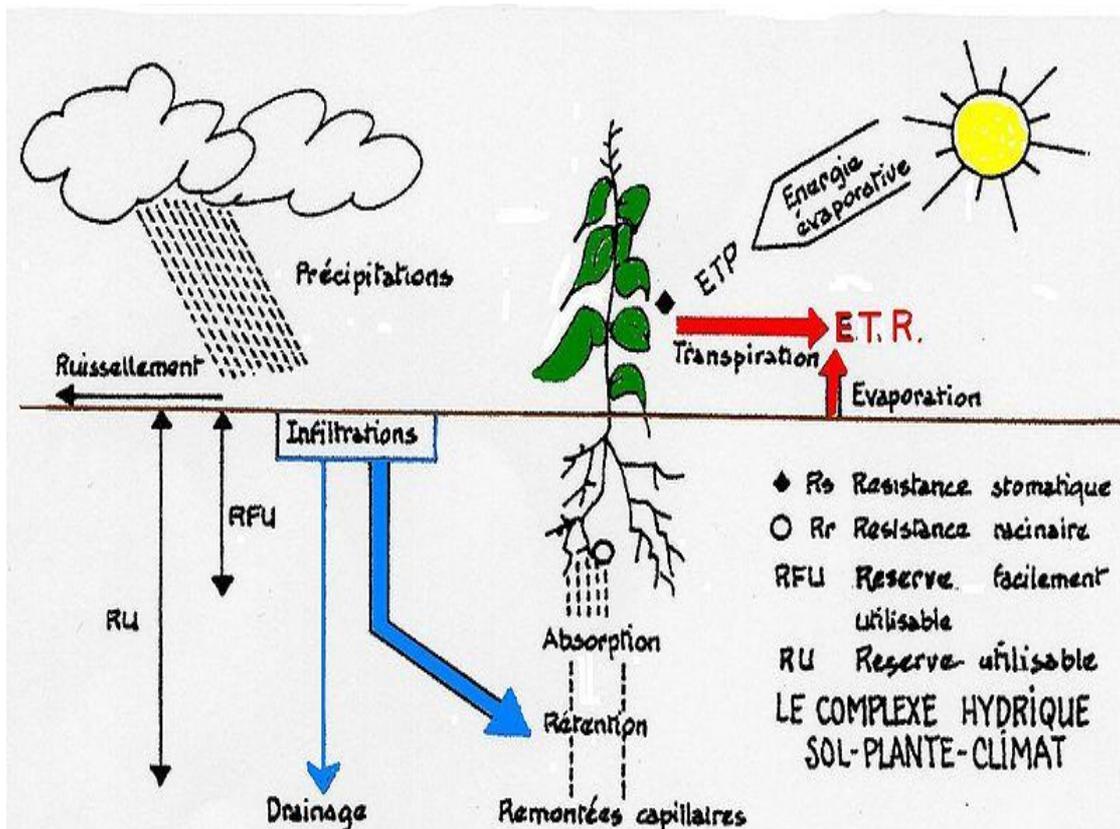
- Les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture.
- Les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol.
- Les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

---

(1) FAO Food and Agriculture Organisation

A l'aide des différents résultats obtenus, il sera relativement facile de déterminer par la suite les quantités d'eau d'irrigation nécessaires au bon développement de la plante. Celles-ci seront calculées au moyen du logiciel CROPWAT8

Fig 3.2: complexe hydrique Sol- Plante-Climat utilisé par CROPWAT8



Source FAO

Le Cropwat est un logiciel d'aide à la gestion de l'irrigation, il a été mis au point par la FAO, basé sur la formule de Penman - Monteith modifiée. Il permet le calcul des besoins en eau des cultures et des quantités d'eau d'irrigation ; basés sur les Bulletins d'irrigation et de drainage FAO-24 et 33. Il offre également la possibilité de développer un calendrier d'irrigation en fonction de diverses pratiques culturales, et d'évaluer les effets du manque d'eau sur les cultures et l'efficacité de différentes pratiques d'irrigation. Actuellement il est à sa version Cropwat sous Windows

### 3.3 Calcul de l'évapotranspiration

Le déficit hydrique ou les besoins nets d'irrigation  $I_n$  se définit comme la différence entre l'évapotranspiration de la culture considérée ( $ET_c$ ) et les précipitations efficaces ( $P_{eff}$ ).

$$I_n = ET_c - P_{eff} \dots\dots\dots(3.1)$$

On définit les besoins en eau des cultures comme étant la hauteur d'eau nécessaire pour **contrebalancer** les pertes en eau par évapotranspiration. En d'autre terme, il s'agit de la quantité d'eau dont ont besoin les différentes cultures pour croître d'une façon optimale.

L'évapotranspiration de la culture s'obtient en multipliant l'évapotranspiration de référence  $ET_0$  par le coefficient cultural  $K_c$ .

$$ET_c = K_c \times ET_0 \dots\dots\dots(3.2)$$

#### 3.3.1 Choix du coefficient culturel $K_c$

Par définition, le coefficient cultural ( $K_c$ ) est le rapport entre l'évapotranspiration de la culture ( $ET_c$ ) et l'évapotranspiration potentielle ( $ET_0$ ), il intègre les effets des 4 caractéristiques primaires qui distinguent une culture de la culture de référence selon (Allen et al, 1998), qui sont :

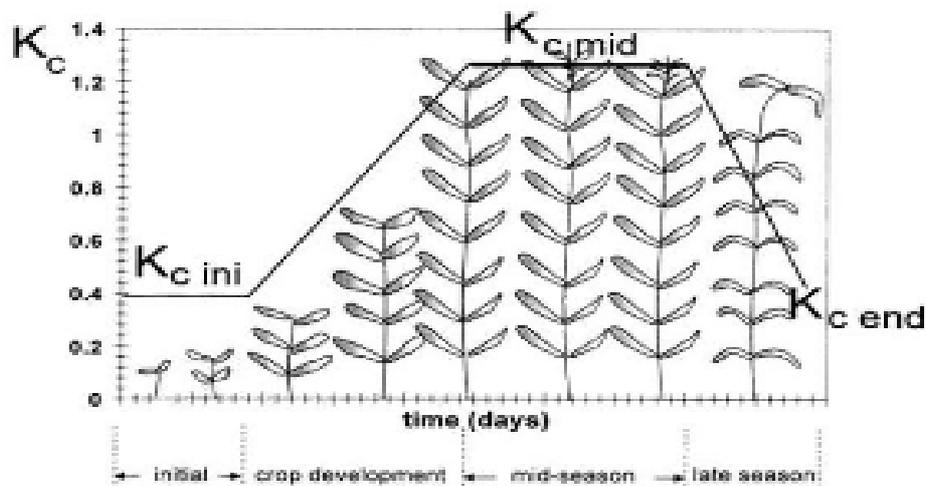
- 1- La hauteur de la culture
- 2- La résistance de surface sol
- 3- Végétation, l'albédo<sup>1</sup>
- 4- L'évaporation de sol

Les facteurs qui influent sur la valeur de  $K_c$  sont : les caractéristiques de la culture, les dates de plantation ou de semis, le rythme de son développement et la durée de son cycle végétatif, les conditions climatiques en particulier au début de la croissance et la fréquence des pluies ou des irrigations.

---

(1) L'albédo du système Terre-Atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchi vers l'espace.

**Figure 3.3:** Courbe de coefficients culturaux et définition des phases (Doorenbos et Pruitt, 1975)



Les valeurs les plus élevées du  $K_c$  sont observées au printemps et en automne, lorsque le sol est encore humide. Les valeurs les plus basses sont notées en été (Allen et al, 1998 in traité d'irrigation).

Selon Tuzet et Perrier (1998) in traité d'irrigation, le  $K_c$  varie essentiellement avec les caractéristiques propres de la culture et seulement un peu avec le climat. Cela permet le transfert des valeurs standard de  $K_c$  (comme celles proposées dans les Bulletins FAO-24 et 56) d'un endroit à l'autre entre les zones climatiques.

### 3.3.2 Estimation de l'ETO

Le ETO est le taux d'évapotranspiration déterminé à partir d'une surface étendue de gazon vert, d'une hauteur de 8 à 15 cm, poussant activement, couvrant complètement le sol et ne manquant pas d'eau. Plusieurs méthodes ont été établies pour le calcul d'ETO que se soit expérimentales, les plus répandues sont la méthode de Blaney-driddle, de Turc et de Penman.

Dans notre cas, on va utiliser le logiciel CROPWAT, établi par la FAO à base de la méthode Penman modifiée par Monteith en 1965

La formule de Penman Monteith telle que recommandée par la FAO (Allen et al.1998), s'écrit :

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{20T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \dots\dots\dots(3.3)$$

Avec

ET<sub>0</sub> : Evapotranspiration de référence (mm/j).

R<sub>n</sub> : est le rayonnement net en surface (MJ/m<sup>2</sup>) ;

G : est le flux de chaleur dans le sol ((M)/j.m<sup>2</sup>),

T : est la moyenne de la température de l'air à 2m de hauteur (°C),

U<sub>2</sub> : est la vitesse du vent à 2 m (m/s) extrapolée de la vitesse à 10 m (Allen et al. 1998)

E<sub>s</sub> : est la pression de vapeur d'eau à saturation (KPa), donnée à partir de la température par la relation de Clausius Clapeyron,

E<sub>a</sub> : est la pression de vapeur d'eau à 2m (KPa),

Δ est la pente de la relation de Clausius Clapeyron (KPa C), approximée en fonction de la température (Allen et al.1998).

### 3.4 La pluie efficace, P<sub>eff</sub>

P<sub>eff</sub> Représente la fraction des précipitations qui est effectivement utilisée par la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface et par percolation profonde. Le choix de la méthode appropriée pour le calcul des précipitations efficaces demande une réflexion sérieuse. Différentes méthodes ont ainsi été développées, chacune prenant en compte le climat de la région où doivent s'effectuer les mesures. Le logiciel CROPWAT en propose 4.

- La première formule propose un pourcentage fixe :

$$P_{eff} = A * P_{moy} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dans laquelle A est une fraction donnée par l'utilisateur. En général, A est compris entre 0.7 et 0.9.

- La deuxième formule a été développée à partir des données provenant de zones arides et semi-arides appelée aussi Equation FAO/AGLN :

$$P_{\text{eff}} = 0.6 * P_{\text{moy}} - 10 \quad \text{pour} \quad P_{\text{moy}} < 70 \text{ mm/mois} \dots\dots(3.5)$$

$$P_{\text{eff}} = 0.8 * P_{\text{moy}} - 25 \quad \text{pour} \quad P_{\text{moy}} > 70 \text{ mm/mois} \dots\dots(3.6)$$

- La troisième formule est la formule empirique :

Les paramètres peuvent être déterminés à partir d'une analyse des données climatiques locales. La relation peut, dans la plus part des cas, être simplifiée par les équations suivantes :

$$P_{\text{eff}} = a * P_{\text{tot}} + b \quad \text{pour} \quad P_{\text{tot}} < z \text{ mm} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$P_{\text{eff}} = c * P_{\text{tot}} + d \quad \text{pour} \quad P_{\text{tot}} > z \text{ mm} \dots\dots\dots(3.8)$$

a, b, c, d et z sont des coefficients de corrélation

- La quatrième formule a été mise au point par le département américain de l'agriculture (USDA) :

$$P_{\text{eff}} = P_{\text{moy}} * (1 - 0.2 * P_{\text{moy}} / 125) \quad \text{pour} \quad P_{\text{moy}} < 250 \text{ mm/mois} \dots\dots(3.9)$$

$$P_{\text{eff}} = 125 + 0.1 * P_{\text{moy}} \quad \text{pour} \quad P_{\text{moy}} > 250 \text{ mm/mois} \dots\dots(3.10)$$

Les besoins en eau seront calculés pour la culture de la pomme de terre au moyen du logiciel CROPWAT en y introduisant les paramètres climatiques et culturaux propres à la zone d'étude. Les besoins en eau s'expriment en m<sup>3</sup>/ha.

### 3.5 Données culturales

Le logiciel CROPWAT contient un fichier reprenant les caractéristiques culturales d'un grand nombre de cultures. Ces données sont les suivantes :

- Le coefficient cultural, Kc, est utilisé pour calculer l'évapotranspiration réelle de la culture. Il est fonction de la plante et de son état végétatif.
- Le tarissement admissible représente le niveau critique de l'humidité du sol à partir duquel l'effet dû au manque d'eau se fait sentir, affectant

l'évapotranspiration et la production de la culture. Les valeurs sont exprimées en fonction de l'humidité totale disponible du sol.

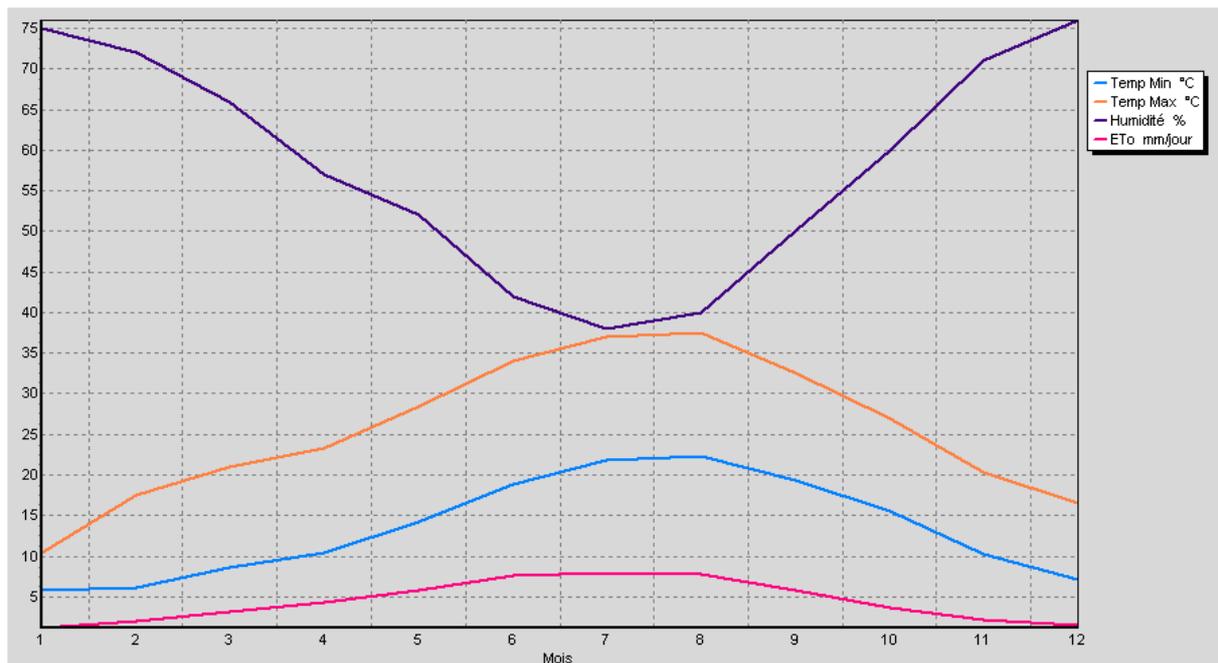
### 3.6 Résultats du cropwat

**Tableau N° 3.1** : Résultat de l'évapotranspiration de référence selon CROPWAT

Pays		ALGERIE		Station		012318	
Altitude		272 m.		Latitude		36.13 °N	
				Longitude		1.12 °E	
Mois	Temp Min	Temp Max	Humidité	Vent	Insolation	Ray.	ETo
	°C	°C	%	km/jour	heures	MJ/m <sup>2</sup> /jour	mm/jour
Janvier	5.8	10.4	75	173	5.3	9.2	1.18
Février	6.2	17.5	72	207	6.1	12.1	1.98
Mars	8.6	21.0	66	233	6.8	15.7	3.10
Avril	10.4	23.3	57	259	7.2	18.8	4.28
Mai	14.3	28.4	52	268	9.1	23.0	5.78
Juin	18.8	34.1	42	268	10.6	25.7	7.56
Juillet	21.9	37.0	38	259	9.8	24.2	8.01
Août	22.4	37.5	40	251	10.3	23.6	7.78
Septembre	19.3	32.5	50	251	8.8	19.1	5.87
Octobre	15.5	26.9	60	199	7.2	14.0	3.62
Novembre	10.3	20.4	71	199	5.9	10.1	2.11
Décembre	7.2	16.5	76	216	5.1	8.3	1.52
<b>Moyenne</b>	<b>13.4</b>	<b>25.5</b>	<b>58</b>	<b>232</b>	<b>7.7</b>	<b>17.0</b>	<b>4.40</b>

La figure 3.3 ci-après donne une illustration des relations entre l'évapotranspiration de référence, température et humidité relative.

**Fig 3.4 :** Relation entre l'évapotranspiration de référence, température et humidité relative



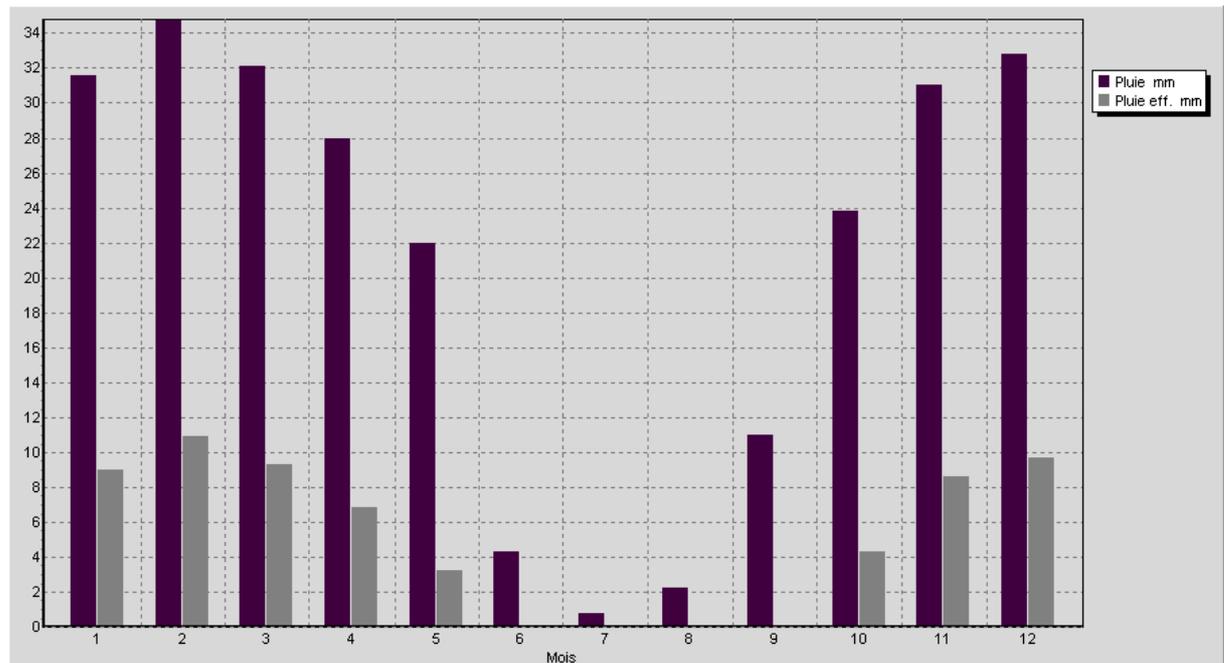
On constate d'après la figure ci-dessus que le mois de pointe pour la demande climatique (ET0) correspond au mois de juillet, avec une moyenne journalière de 8,01 mm.

**Tableau N°3.2 :** Résultat de la pluie efficace selon CROPWAT

Station  Méthode Précipitations eff.

	Pluie	Pluie eff.
	mm	mm
<b>Janvier</b>	31.6	9.0
<b>Février</b>	34.8	10.9
<b>Mars</b>	32.1	9.3
<b>Avril</b>	28.0	6.8
<b>Mai</b>	22.0	3.2
<b>Juin</b>	4.3	0.0
<b>Juillet</b>	0.8	0.0
<b>Août</b>	2.2	0.0
<b>Septembre</b>	11.0	0.0
<b>Octobre</b>	23.8	4.3
<b>Novembre</b>	31.0	8.6
<b>Décembre</b>	32.8	9.7
<b>Total</b>	<b>254.4</b>	<b>61.7</b>

**Fig 3.5 :** Pluie efficace, précipitation



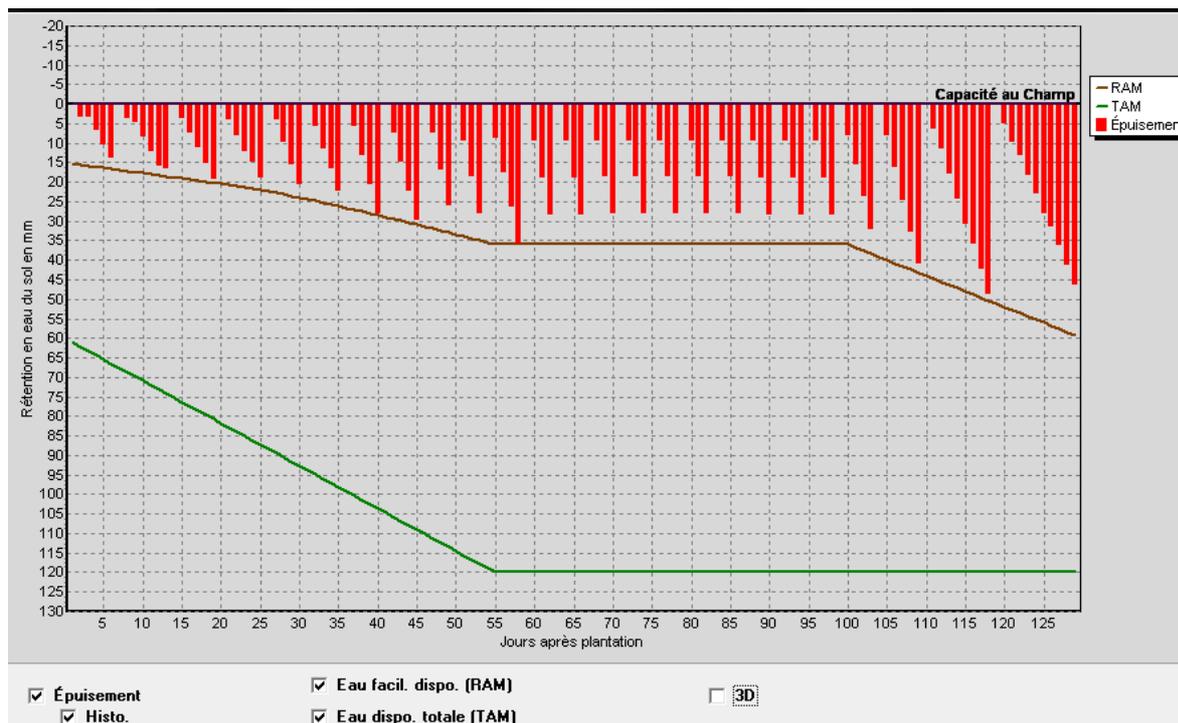
Sur ce graphique on observe une variation **quantito-temporelle** de la pluie efficace. A l'échelle du temps, on constate que pour les différents horizons, la pluie efficace présente de très grandes fluctuations suivant les différents mois. A l'échelle de quantité, on constate que pour la même date, la différence entre la pluie et la pluie efficace est remarquable et ceci est dû aux pertes par évapotranspiration et ruissellements et autres facteurs cités auparavant.

**Tableau N°3.3 : Calendrier d'irrigation**

Date	Jour	Phase	Pluie	Ks	Etr	Épuis.	Irr. Net.	Déficit	Perte	Irr. Brut.	Débit
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
15-mai	1	Init	0	0,67	67	53	32,5	0	0	36,1	4,18
21-mai	7	Init	0	1	100	26	17,5	0	0	19,4	0,37
28-mai	14	Init	0	1	100	27	20,4	0	0	22,7	0,38
03-juin	20	Init	1,5	1	100	27	22	0	0	24,5	0,47
09-juin	26	Croiss.	0	1	100	26	23,2	0	0	25,7	0,5
14-juin	31	Croiss.	0	1	100	28	26,4	0	0	29,4	0,68
19-juin	36	Croiss.	0	1	100	28	28	0	0	31,1	0,72
24-juin	41	Croiss.	0	1	100	34	35,5	0	0	39,4	0,91
29-juin	46	Croiss.	0	1	100	34	37,3	0	0	41,5	0,96
03-juil	50	Croiss.	0,3	1	100	31	35,3	0	0	39,2	1,13
07-juil	54	Croiss.	0,3	1	100	31	37,1	0	0	41,2	1,19
12-juil	59	Mi-sais.	0	1	100	38	45,3	0	0	50,3	1,16
16-juil	63	Mi-sais.	0	1	100	32	37,9	0	0	42,1	1,22
20-juil	67	Mi-sais.	0	1	100	32	37,9	0	0	42,1	1,22
24-juil	71	Mi-sais.	0	1	100	31	37,4	0	0	41,5	1,2
28-juil	75	Mi-sais.	0	1	100	31	37,4	0	0	41,5	1,2
01-août	79	Mi-sais.	0	1	100	31	37,6	0	0	41,7	1,21
05-août	83	Mi-sais.	0	1	100	31	37,6	0	0	41,8	1,21
09-août	87	Mi-sais.	0	1	100	31	37,6	0	0	41,8	1,21
13-août	91	Mi-sais.	0,2	1	100	31	37,5	0	0	41,7	1,21
17-août	95	Mi-sais.	0,2	1	100	31	37,5	0	0	41,7	1,21
21-août	99	Mi-sais.	0	1	100	30	36,5	0	0	40,5	1,17
26-août	104	Fin	0	1	100	34	40,2	0	0	44,7	1,03
01-sept	110	Fin	0	1	100	39	47,4	0	0	52,6	1,02
10-sept	119	Fin	0	1	100	46	55,1	0	0	61,2	0,79
21-sept	Fin	Fin	0	1	0	39					

Station ETo	012318	Culture	Potato	Date de plantation	15/05/20
Station Pluie	012318	Sol	BLACK CLAY SOIL	Date de récolte	09/2011
Format Tableau		Échéance: Irriguer à l'épuisement maximum			
<input checked="" type="radio"/> Calendrier irrigation <input type="radio"/> Bilan hydrique journalier		Apport: Recharger sol à la capacité au champ			
		Eff. au champ 90 %			

**Fig3.6** : Calendrier d'irrigation



Ces besoins d'irrigation de culture sont relatifs aux exigences de cultures et leurs stades de développement. On remarque que des besoins totaux sont de l'ordre de (27.57 l/s/ha).

Néanmoins, on peut déjà noter que le déficit hydrique ne sera sans doute pas contraignant pour les cultures car les quantités d'eau manquant sont aisément compensées par l'irrigation

**Conclusion :**

Avec le Cropwat, nous sommes arrivés à déterminer les besoins d'irrigation des cultures et leur pilotage.

Afin de savoir ce qui se pratique réellement sur le terrain : en outre la maîtrise par les agriculteurs des besoins en eau des cultures, des doses et des fréquences d'arrosage ; nous avons essayé, aux chapitres suivants, de dimensionner le réseau d'irrigation localisée pour répondre à ces besoins.

Le volume total d'eau que doit être apporté est de 27.57 l/s/ha

Le volume nécessaire mois de pointe est 268.3mm

## **INTRODUCTION**

En zone aride et semi-aride, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue un facteur déterminant dans l'expansion de la production agricole, tant dans le sens de l'intensification des cultures, que de l'extension des surfaces irriguées. Pour beaucoup de pays, les eaux superficielles constituent la principale source d'eau d'irrigation ; dans les endroits où cette ressource est rare ou inexistante, il est fait appel aux eaux souterraines. Cependant, la réussite de toute mise en valeur agricole dépendra de l'emploi rationnel et de la maîtrise des ressources hydriques disponibles.

L'agriculture irriguée rencontre de nos jours de nouveaux problèmes tels que le risque de salinisation qui peut constituer une gêne majeure au développement de la production agricole, et même, mener à la stérilité des sols.

L'irrigation peut être une des causes humaines de la salinisation<sup>(1)</sup>. En effet, 20% des terres irriguées ont des problèmes de salinité <sup>(2)</sup>. Lorsque l'irrigation est trop abondante pour être absorbée par les racines des plantes, le sol est humidifié en profondeur, permettant aux sels de remonter à la surface. L'utilisation d'autres méthodes d'irrigation tel le goutte-à-goutte nous ferait éviter ces problèmes.

### **4.1 APERCU SCIENTIFIQUE**

#### Qu'est-ce que la salinité ?

On entend, en général, par salinité une teneur du sol en sels solubles préjudiciable à la production végétale. La liste des sels en cause varie selon le cas de salinité, le plus fréquent en zone semi-aride est d'avoir des chlorures (Cl<sup>-</sup>), les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), le sodium (Na<sup>+</sup>) ou de magnésium (Mg<sup>+2</sup>)

---

(1) Centre d'information sur l'eau et ses usages, « La salinisation causée par l'irrigation ».

(2) Pitman M. and Läuchli A.2004. Salinity: Environment - Plants – Molecules, chapter one: global impact of salinity and agricultural ecosystems

(3) Jared Diamond, *Effondrement*, Gallimard,

## **4.2 Origines de la salinité**

Les facteurs qui conduisent à une accumulation excessive de sels dans le sol peuvent être naturels ou humaine.

### **4.2.1 Facteurs environnementaux (naturels) provoquant une salinisation:**

- Événements géologiques, qui peuvent augmenter la concentration en sel dans les nappes souterraines et par conséquent dans les sols;
- Facteurs naturels, qui peuvent diriger des nappes souterraines riches en sel vers la surface, près de la surface ou vers des couches au-dessus du niveau de la nappe phréatique;
- Infiltration des eaux souterraines dans des zones se trouvant en-dessous du niveau de la mer, à savoir des micro-dépressions avec peu de drainage ou sans drainage;
- Eaux d'inondation provenant de zones qui comportent des substrats géologiques libérant de grandes quantités de sels;
- Action du vent qui, dans les zones côtières, peut souffler des quantités modérées de sel vers les terres.

Les facteurs naturels qui influencent la salinité des sols sont le climat, les matériaux parent du sol, la couverture végétale, le type de végétation et la topographie.

### **4.2.2 Facteurs induits par l'homme pouvant entraîner une salinisation :**

- Irrigation avec des eaux riches en sels;
- Elévation de la nappe phréatique due aux activités humaines (filtration de canaux et réservoirs non doublés, répartition irrégulière des eaux d'irrigation, mauvaises pratiques d'irrigation, drainage inadapté);
- Utilisation d'engrais et autres apports, en particulier quand les terres soumises à une agriculture intensive ont une faible perméabilité et des possibilités limitées de lessivage;
- Utilisation d'eaux usées riches en sels pour l'irrigation;
- Rejet d'eaux usées riches en sel sur les sols;
- Contamination des sols par des eaux riches en sel et des sous-produits de l'industrie.

La salinisation est souvent associée à des zones irriguées dans lesquelles le faible niveau de précipitations, des taux d'évapotranspiration élevés ou les caractéristiques de texture du sol empêchent le lessivage des sels hors du sol, ceux-ci s'accumulant alors dans les couches de surface. L'irrigation avec une eau présentant une forte teneur en sel aggrave encore le problème.

Dans le bassin de Chélif la plaine Bas Chélif est particulièrement touchée par ce problème. Cette salinisation est d'abord primaire, comme pour beaucoup de sols d'Afrique du Nord, les sols sont des alluvions dont le matériau originel était lui-même plus ou moins salé. Les formations salifères (Trias, Miocène, Helvétien, Sahélien) qui affleurent dans l'Ouarsenis sont les principaux pourvoyeurs (Gaucher et Burdin, 1974). La salinisation secondaire due principalement à l'irrigation a contribué à aggraver ce phénomène, par une augmentation spatiale et une accumulation temporelle de la salinité.

C'est ainsi que les superficies touchées par la salinité dans la plaine du Bas Chélif sont passées de 35 % dans les années cinquante à 80 % à la fin des années quatre vingt dix (Douaoui et al, 2006).

#### **4.3 NOTIONS DU BILAN SALIN DANS UN SOL :**

Le bilan salin dans le sol permet d'évaluer la quantité des sels stockés au bout d'un certain nombre d'irrigation, il s'écrit sous l'expression :

$$\Delta S = I_w * C_i - D_w * C_d + S_a + S_s + S_p + S_e \dots\dots\dots(4.1)$$

Avec :

$\Delta S$  : La variation du stock de sels dans le sol.

$I_w$  : Le volume d'eau d'irrigation.

$C_i$  : La concentration en sels de l'eau d'irrigation.

$C_d$  : Concentration en sels de l'eau de drainage.

$S_a$  : La quantité de sels apportés par les engrais ou amendement.

$S_p$  : La quantité de sels mise en solution par l'eau traversant le sol.

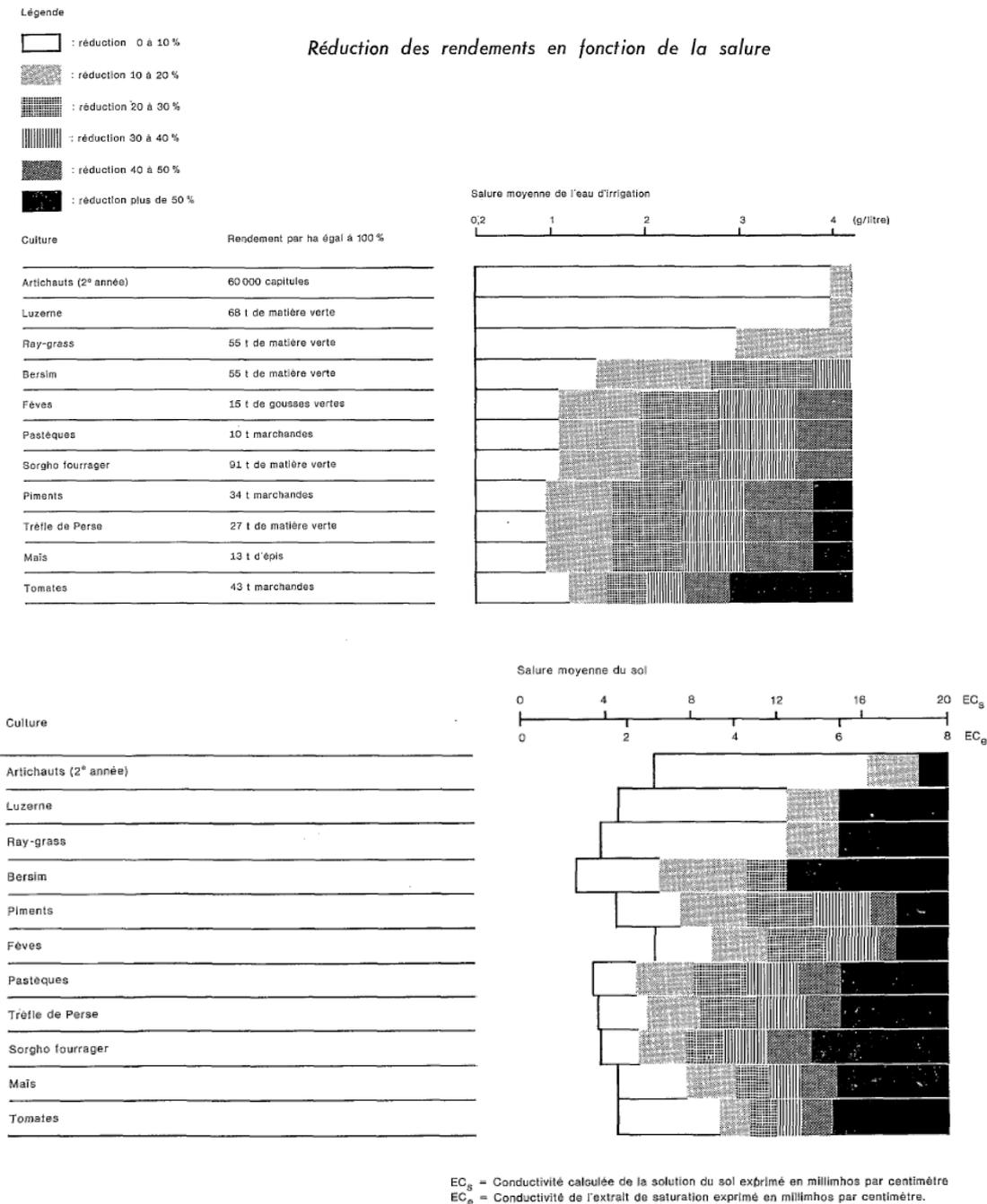
$S_e$  : La quantité de sels consommés par les plantes.

L'idéal serait de parvenir à un modèle où  $\Delta S$  serait égale à zéro, c'est-à-dire supposé :  $S_a + S_s + S_p + S_e = 0$ .

#### 4.4 TOLERANCES DES PLANTES AUX SELS :

Les sels affectent certaines propriétés physico-chimiques du sol, qui à leur tour peuvent avoir des conséquences sur la croissance des plantes.

**Fig 4.1 : Réduction des rendements en fonction de la salure**



Source FAO

Pour les sept (07) profils analysés dans la région, les conductivités électriques moyennes, maximales et minimales des solutions de sols sont rappelées dans le tableau N° 4.1

**Tableau 4.1:** Récapitulations des conductivités électriques  $EC_e$  des profils .

NUMERO DE PROFILS	CLASSIFICATION (mmhos/cm.)	CONDUCTIVITES ELECTRIQUES (mmhos/cm.)		
		Moyenne	Maximale	Minimale
06,07	$EC_e \leq 4$	3,5	3,12	3.88
03,04,05	$4 < EC_e \leq 5$	4,65	4,90	4,41
01,02	$5 < EC_e \leq 6$	5.47	5,89	5,05

### La qualité des eaux d'irrigation

L'évaluation de la qualité d'eau, se réfère aux normes de l'USDA Département of Agriculture (salinity Laboratory concernant la conductivité électrique(CE) ) :

CE < 0,25 dS/m.....Risque de salinisation faible

0,25 < CE < 0,75 dS/m .....Risque de salinisation moyen

0,75 < CE < 2,25 dS/m .....Risque de salinisation élevé

CE > 2,25 dS/m .....Risque de salinisation très élevé

L'unique proche ressource qui peut subvenir aux besoins quantitatifs de la zone d'étude est le puits existant sur la parcelle.

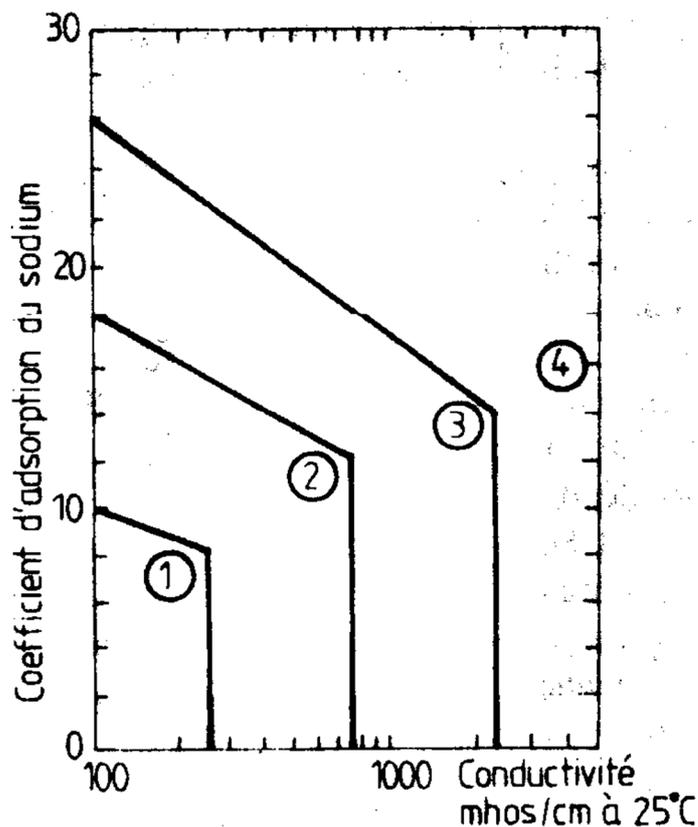
### 4.6 Qualité des eaux de ressource :

La salinisation est sans doute le principal risque encouru par les terrains irrigués, principalement en climat aride et semi-aride. Il peut être apprécié par la conductivité électrique des eaux d'irrigation.

Un autre risque majeur est celui de l'alcalinisation des sols par suite d'échanges ioniques, concernant surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol. De fortes teneurs en sodium modifient la structure des sols et leur

perméabilité. Ce risque peut être apprécié par le coefficient d'absorption du sodium (CAS, en anglais SAR, *Sodium absorption ratio*) (fig4.3)

*.Fig 4.2 : Le diagramme de Riverside*



*Le diagramme de Riverside, d'après US Salinity Laboratory Staff (1954). Le risque de salinisation est mesuré, en abscisse, par la conductivité; le risque d'alcalinisation, en ordonnée, par le coefficient d'absorption du sodium*

Les risques de salinisation et d'alcalinisation ne sont pas indépendants. Ce dernier est d'autant plus grand que la salinité est importante. Le diagramme de Riverside permet de faire une première classification des eaux selon leur aptitude à l'irrigation. Si les eaux de la catégorie 1 peuvent être utilisées sur presque n'importe quel sol et pour n'importe quelle culture, celles des catégories 2 et 3 doivent être utilisées avec précaution, et celles de la catégorie 4 doivent pratiquement toujours être rejetées.

Il ne s'agit cependant là que de grandes lignes et non de normes précises. D'autres espèces chimiques, comme les bicarbonates, les chlorures, le bore peuvent revêtir une grande importance, ainsi d'ailleurs que la présence d'éléments toxiques. <sup>1</sup>

L'étude préalable de la qualité des eaux sous terraines dans la zone d'étude nous a donnés des conductivités électriques de 1.3ds/m(source ANRH chlef), ce qui la range dans la classe des eaux à risque de salinisation élevée (d'après les normes USDA).

L'aidé est de limiter l'extension des terres salées d'où on fait appel au lessivage des sols

#### **4.7 EVOLUTION DE LA SALURE DANS LES SOLS IRRIGUES :**

Par suite d'irrigations répétées, les sels contenus dans l'eau d'irrigation peuvent s'accumuler dans le sol. Selon les directives de la F.A.O, l'équation définissant la conductivité électrique du sol  $EC_e$  en fonction de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation  $EC_w$ , est donnée par l'expression [1-8] :

$$EC_e = EC_w * X \dots\dots\dots(4.2)$$

Avec :

$EC_e$  : Conductivité électrique du sol en *mmhos/cm* .

$EC_w$  : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation en *mmhos/cm* .

$X$  : Facteur de concentration en %

---

(1) US Salinity Laboratory Staff (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, US Department of Agriculture, Handbook n°60, Washington DC.

Le tableau n°5.6, montre la définition du facteur de concentration  $X$  en fonction de la fraction de lessivage  $LR$  :

Tableau 4.2 : Facteur de concentration en fonction de la fraction de lessivage <sup>(1)</sup>.

Fraction de lessivage $LR$	Facteur de concentration $X$
0,05	3,20
0,10	2,10
0,15	1,60
0,20	1,30
0,25	1,30
0,30	1,20
0,40	0,90
0,50	0,80
0,60	0,70
0,70	0,60
0,80	0,60

L'hypothèse qui a considéré que les pertes à la parcelle résultant du choix d'une efficience variant de 70 à 80%, vont couvrir les fractions de lessivage, n'est pas totalement fondée, car ces pertes ne pourront couvrir que dix pour cent (10%).de la fraction de lessivage.

Nous serions donc obligés d'admettre que les cultures sensibles et moyennement sensibles subiront après plusieurs années, une chute de rendement de l'ordre de 10%.

En d'autres termes, les fractions de lessivages retenues varient de 25 à 30% pour une chute de rendement de 10% et l'équation définissant la conductivité électrique du sol  $EC_e$  en fonction de la conductivité électrique de l'eau d'irrigation  $EC_w$ , devient pour  $LR \cong 25$  à 30% :

$$EC_e = 1,1 * EC_w \dots\dots\dots(4.3)$$

Le lessivage par les eaux de pluies tombées hors période d'irrigation contribuera à la préservation des sols, sous réserve de réaliser un réseau de fossés d'assainissement et d'en assurer un entretien efficace, car ce en cas de la non évacuation des eaux de drainage, les conductivités électriques du sol " $EC_e$ ", seront majorées de 10%, ce qui donnera pour les zones précitées dans le tableau N°4.3, les valeurs suivantes :

---

(1): Bulletin de la F.A.O. n°29.

Tableau N° 4.3 : Evolution de la salinité du sol E<sub>Ce</sub> dans les zones non drainées.

NUMERO DE PROFILS	E <sub>Ce</sub> Moyenne actuelle <i>mmhos / cm</i>	E <sub>Ce</sub> en cas de non évacuation des eaux de drainage Avec LR ≈ 25 à 30% <i>mmhos / cm</i>		
		Moyenne	Maximale	Minimale
06,07	3,5	3.85	4.27	3.43
03,04,05	4,65	5.12	5.39	4.85
01,02	5.47	6.02	6.48	5.55

#### 4.8 LESSIVAGE DES SOLS :

Le niveau de salinité dans la zone racinaire est directement lié à la qualité de l'eau, à la quantité de fertilisants et à la profondeur d'application de l'irrigation. Une concentration en sel trop élevée dans le sol peut être contrôlée par le lessivage.

Le lessivage est une pratique qui consiste à appliquer des doses d'eau supplémentaires, en dehors des besoins en eau des plantes, De cette façon, une partie de l'eau percole au travers et en dessous de la zone racinaire, entraînant avec elle une partie des sels solubles accumulés dans le sol. Cela, permet le maintien de la salinité du sol à un seuil souhaité. Un lessivage ne peut être efficace que s'il est accompagné d'un drainage, surtout en présence de la nappe phréatique.

Il existe deux formes de lessivage, selon la manière d'apporter les doses :

##### 4.8.1 Lessivage d'entretien :

Dans ce mode, la dose de lessivage est apportée par fraction en même temps que les doses d'irrigation,

Plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de la fraction de lessivage par des formules empiriques, qui dépendent essentiellement ; de la salinité de l'eau d'irrigation et de la salinité du sol.

En 1972 M<sup>r</sup> Rhoades a présenté la formule (4.4) qui permet l'appréciation de la fraction de lessivage d'entretien :

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} \dots\dots\dots(4.4)$$

Suivant la quelle :

$LR$  : Fraction minimal de lessivage d'entretien en%.

$EC_w$  : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation ( $EC_w = 1,3\text{mmhos / cm}$ ).

$E_{Ce}$  : Conductivité électrique du sol ( $\text{mmhos / cm}$ ).

#### 4.8.2 Lessivage initial :

Il consiste à apporter entre deux campagnes d'irrigation toute la dose de lessivage en une seule opération. Ainsi, les sels accumulés dans le sol lors de la campagne d'irrigation précédente, seront lessivés permettant ainsi au sol de prendre un seuil de salinité acceptable.

L'appréciation des volumes d'eau de lessivage initial à appliquer sur le sol, est estimée par la formule de M<sup>r</sup> Volubeev.

$$H = -\alpha * \theta * D * \ln \frac{(S - S_i)}{(S_0 - S_i)} \dots\dots\dots(4.5)$$

Avec :

$H$  : La lame d'eau à appliquer pour satisfaire les besoins du lessivage initial en (m).

$D$  : La profondeur d'enracinement en (m).

$S$  : La salinité à la quelle on veut amener le sol ( $E_{Ce}$  en mmhos/cm).

$S_i$  : La salinité de l'eau d'irrigation en ( $EC_w$  en mmhos/cm).

$S_0$  : La salinité moyenne avant lessivage en (mmhos/cm)

$\theta$  : L'humidité de sol en %.

$\alpha$  : Coefficient dépendant de la texture de sol :

- Sablo-limoneux à limono sableux :  $\alpha = 0,5$  à  $0,6$ .
- Argilo-sablo-limoneux :  $\alpha = 0,4$  à  $0,5$ .
- Argile :  $\alpha = 0,2$  à  $0,3$ .

Les sols à lessiver sont localisés par les profils n° : 01,02, 03, 04 et 05, et leurs résultats d'analyses pédologiques sont regroupés dans (annexe01). Les paramètres de calcul des doses de lessivage initial sont :

- La salinité moyenne de l'eau d'irrigation  $S_i = 1,3\text{mmhos/cm}$ .
- Les épaisseurs des sols à lessiver est de  $0,60$  m.

- Le coefficient  $\alpha$  est égal à 0,3 dans le cas des sols Argileux.
- La salinité moyenne du sol avant lessivage " $S_0$ ", est représentée par la valeur maximale des  $EC_e$ . Pour les profils suscités, les résultats d'analyse pédologique sont :

$$S_0(01,02) = 6,48 \text{ mmhos/cm}$$

$$S_0(03,04,05) = 5,39 \text{ mmhos/cm}$$

$$S_0(06,07) = 4,27 \text{ mmhos/cm}$$

- La salinité moyenne à atteindre après lessivage est représentée par la relation (4.3) :

$$EC_e = 1,1 * EC_w \quad \text{Pour} \quad LR=25 \text{ à } 30\%$$

Soit :

$$EC_e = 1,1 * 1,3 = 1,43 \text{ mmhos/cm}$$

On prend :

$$S = EC_e \approx 1,5 \text{ mmhos/cm}$$

- L'humidité du sol  $\theta$  peut être assimilée à la capacité de rétention ( $He$ ) dans le cas des sols argileux en supposant que l'eau libre dans le profil est négligeable.

Pour une texture argilo-limoneuse, le tableau n°4.4 nous donne une valeur d'humidité équivalente " $He$ " de l'ordre de 30%.

Tableau 4.4 : Humidité équivalente et doses pratiques d'arrosage <sup>(1)</sup>.

Type de sol et texture	Granulométrie de terre fine			Humidité Equivalente He %	Dose pratique d'arrosage en (m <sup>3</sup> /ha)		
	Argile%	Limons%	Sable%		0,4m	0,7m	1,20m
Légers sableux	10	20 à 30	60 à 70	10	200	350	600
Battants limoneux	20	60 à 70	10 à 20	20	400	700	1200
Francs ou équilibrés Limono-argilo-sableux	25	40 à 50	25 à 30	25	450	750	1350
Lourds argilo-limoneux	35	50 à 60	5 à 15	30	550	1.000	1650

(1) : Etude des schémas d'aménagement et avant projet sommaire.  
Allocation des eaux et délimitation des zone à irriguer Dossier II.A (pp15)

En définitive pour arriver à des conditions de salinité optimales, les hauteurs d'eau à apporter initialement "H" seront résumées dans le tableau n°5.10

$$H_{06} = -0,3 * 0,3 * 0,6 \ln \frac{1,5 - 1,3}{6,31 - 1,3} = 0,1739m = 1739m^3 / ha$$

Tableau 4.5 : Besoins en eau de lessivage initial.

Profil	Superficie (ha)	Hauteur d'eau (m <sup>3</sup> /ha)	Volume d'eau (m <sup>3</sup> )
Pomme de terre	05	1739	8695

Afin d'optimiser la salinité des parcelles suscitées, on devra apporter initialement un volume d'eau total de 8695m<sup>3</sup>.

### *Conclusion*

Sur le plan de la physique du sol, le cas que nous traitons présente deux types de singularités. D'une part, la parcelle présente une conductivité électrique élevée d'où l'importance d'un appel au lessivage des sols. Nécessitant un apport d'eau supplémentaire de l'ordre de 8695 m<sup>3</sup>.

D'autre part l'inexistence du réseau de drainage pose le problème de stagnation de l'eau dans la zone racinaire vue la granulométrie fine du sol.

## Introduction

Le mode d'irrigation le plus répandu par les agricultures est le système gravitaire traditionnel appelé « saghia » ; technique léguée par nos ancêtres et ne répondant plus au contexte actuel d'utilisation de l'eau.

La question qui se pose : Y a-t-il une place pour l'irrigation gravitaire de nos jours ?

La réponse est affirmative vu qu'il est possible de répondre aux exigences de l'économie de l'eau et de mieux produire et assurer une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau en introduisant un nouveau système d'irrigation appelé *micro irrigation localisée*, Aussi connue sous le nom de «goutte à goutte», c'est une méthode d'irrigation pratiquée en zone aride et qui réduit l'utilisation de l'eau à son minimum.

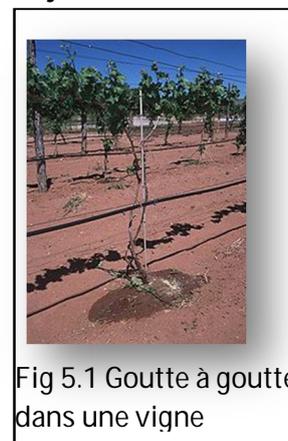


Fig 5.1 Goutte à goutte dans une vigne

L'eau s'égoutte lentement vers les racines des plantes, en coulant à la surface du sol ou en irriguant directement la rhizosphère par un dispositif de tuyaux.

### 5.1 Historique du goutte à goutte

La micro-irrigation a été utilisée depuis l'Antiquité. Des pots d'argile remplis d'eau étaient enterrés pour que l'eau puisse s'infiltrer graduellement dans le sol fig(5.2).

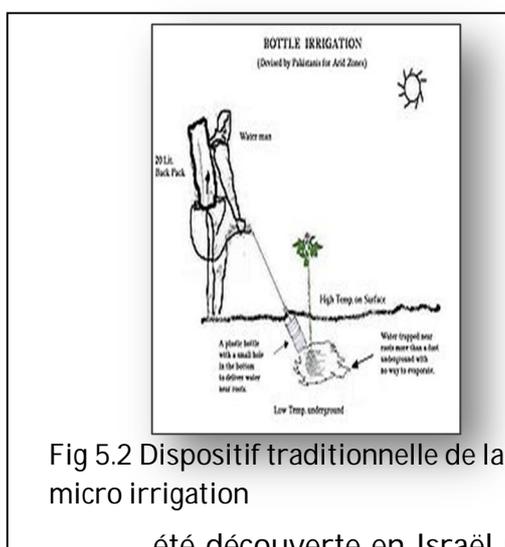


Fig 5.2 Dispositif traditionnelle de la micro irrigation

Avec l'arrivée du plastique, après la Deuxième Guerre mondiale, des améliorations sont devenues envisageables. Des micro-tubes de plastique et divers types d'émetteurs ont été employés en serre en Europe ainsi qu'aux États-Unis.

La technologie moderne d'irrigation par goutte à goutte a été découverte en Israël par Simcha Blass et son fils Yeshayahu. Au lieu de libérer l'eau par des trous minuscules, aisément obstrués par des particules minuscules, l'eau est libérée par de plus grands et plus longs passages en employant le frottement pour le ralentir à l'intérieur d'un émetteur en plastique. Le premier dispositif expérimental de ce type a été établi en 1959 lorsque les partenaires de Blass au Kibboutz Hatzerim créèrent une compagnie d'irrigation appelée Netafim.

Ensemble, ils ont développé et fait breveter le premier émetteur extérieur d'irrigation par goutte à goutte. Cette méthode particulièrement performante s'est développée en Australie, en Amérique du Nord et en Amérique du Sud vers la fin des années 60.

### 5.2 Technique d'irrigation goutte à goutte

En irrigation par goutte-à-goutte, l'eau est appliquée séparément à chaque plante en quantités réduites, précises et fréquentes au moyen d'un distributeur appelé goutteur. Il s'agit de la méthode d'irrigation la plus avancée, avec l'efficacité d'application la plus élevée.

L'eau est distribuée en continu au même endroit sous forme de gouttes et s'infiltré dans le sol en humectant la zone racinaire, verticalement par gravité et latéralement par effet de capillarité. La zone plantée n'est que partiellement humidifiée.

Dans les sols moyennement lourds de bonne structure, le mouvement latéral de l'eau sous la surface est plus important que dans les sols sableux (tableau 5.1). En outre, lorsque le débit du goutteur excède le taux d'absorption du sol et sa conductivité

hydraulique, l'eau s'accumule en surface. Ceci conduit à une distribution de l'eau plus latérale que verticale. Les valeurs suivantes d'épandage latéral de l'eau sont indicatives:

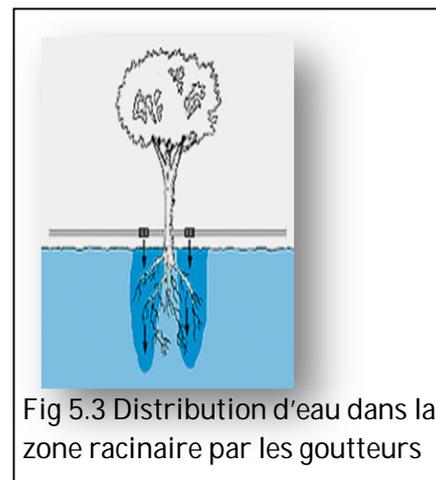


Fig 5.3 Distribution d'eau dans la zone racinaire par les goutteurs

Tableau 5.1 : Type de sol et rayon moyen d'épandage latéral d'eau des goutteurs <sup>(1)</sup>

Type de sol	Rayon moyen d'épandage de l'eau
Texture légère	30 cm
Texture moyenne	65 cm
Texture fine	120 cm

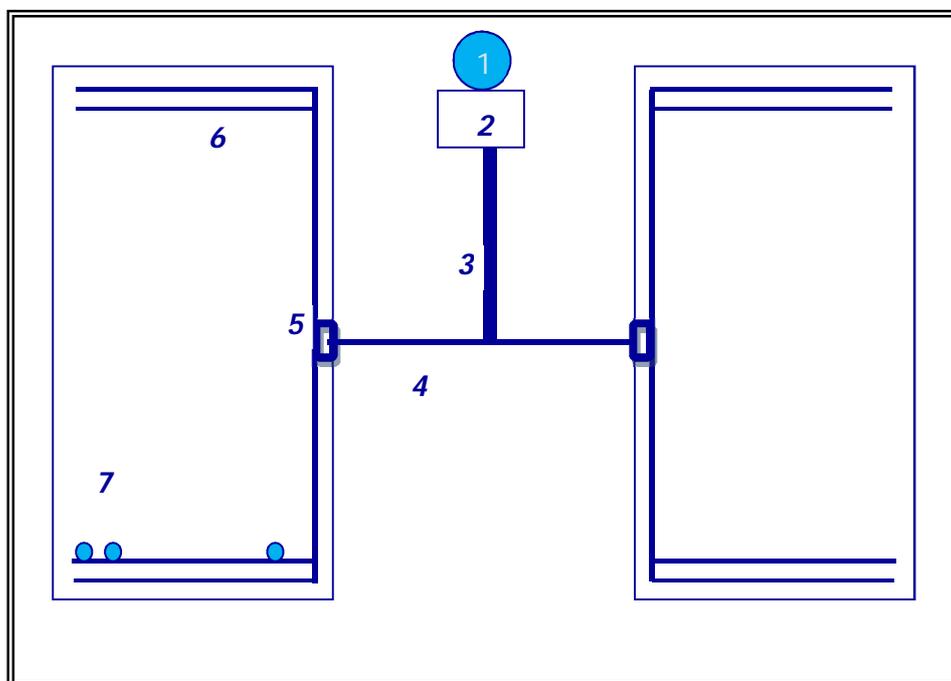
(1) FAO(MANUEL DES TECHNIQUES D'IRRIGATION SOUS PRESSION)

### 5.3 Composantes d'un réseau d'irrigation goutte à goutte:

Une installation ou réseau d'irrigation localisée comprend de l'amont vers l'aval les éléments suivants :

Fig 5.4 : schéma d'une installation d'irrigation localisé

- Source d'eau (1)
- Station de tête (2)
- Conduite principale (3)
- Conduite secondaire (4)
- Porte rompes(5)
- rampes (6)
- Goutteurs (7)



➤ **1- Source d'eau.**

➤ **2- L'ouvrage de tête (contrôle/commande):** Ses caractéristiques et équipements dépendent des besoins du système. Permet de régulariser la pression et le débit.

Habituellement il comprend une unité de filtrage, un injecteur d'engrais et d'autres accessoires :

✓ **Vanne volumétrique :**



Sert à régler le débit et la pression de l'eau. Cette vanne sert à créer un différentiel de pression qui permet à l'injecteur de produire un vide et d'aspirer la solution mère.

✓ **Régulateur de pression :**



Contrôle les variations brusques de pression. Il est indispensable lorsque la pression existante au niveau de la source d'eau est supérieure à la pression demandée par le système.

✓ **Compteur volumétrique :**



Indique la consommation cumulée de l'eau par la culture. Il doit résister à une pression de *10 bars*.

✓ **Manomètres :**



Placés à l'entrée et à la sortie de la station de tête et des filtres. Ils indiquent la pression de l'eau.

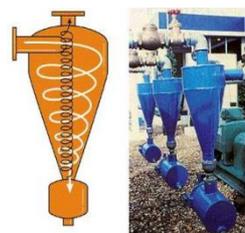
✓ **Station de filtration :**



Le rôle de cette station est l'obtention d'une eau propre en vue d'éviter le colmatage des distributeurs. Le choix du filtre dépend de : l'origine et la qualité de l'eau, du niveau de filtration exigé par les goutteurs utilisés, de la taille de la plus petite particule à empêcher d'entrer dans le système, et du débit de la source qui déterminera le choix du nombre de filtres.

La station de filtration est composée d'un ou plusieurs filtres suivants :

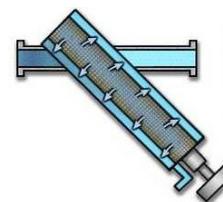
- Hydro cyclone : il sépare le sable en suspension dans l'eau, par centrifugation.



- Filtre à sable : efficace lorsque l'eau contient des quantités importantes de particules. Sa perte de charge est de l'ordre de **2m**.



- Filtre à tamis : est une cuve à pression contenant une cartouche couverte d'un tamis dont les mailles varient de 80 à 150 microns. La perte de charge est de l'ordre de **5 à 6m**.



- Filtres à disque : sont les plus utilisés vus leur finesse de filtration. Leur perte de charge est de l'ordre de **5m à 6m**.



- ✓ **Ventouse ou purge d'air :**



Placé dans les points les plus élevés du réseau : elle sert à éliminer l'air emprisonné dans la canalisation pour éviter son éclatement.

- ✓ **Clapet anti-retour :**

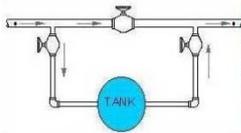


Placé après la station de filtration et juste avant le matériel d'injection en vue de protéger la source de contre le flux de la solution nutritive.

✓ **Système d'injection :**



Le matériel d'injection d'engrais est indispensable à la réalisation de la fertigation. Il sert également à l'injection dans l'eau d'irrigation des produits de traitement de l'eau, des pesticides ou d'autres produits chimiques. Parmi les injecteurs utilisés, on peut citer : le réservoir d'engrais, la pompe doseuse, le venturi et le système d'aspiration.



La station de tête est choisie de telle sorte à répondre au bon fonctionnement et à la sécurité du réseau. En plus de son rôle de filtration la station doit assurer le fonctionnement hydraulique de l'eau de point de vue débit que pression.

Ainsi pour dimensionner le groupe de pompage on prend en compte les pertes de charge au niveau de la station et dans le reste des réseaux. Les pertes de charge au niveau de la station sont essentiellement causées par les filtres. Elles varient selon les types des filtres.

- **3 et 4 Réseaux de canalisation** : de transport depuis la station en tête jusqu'aux secteurs d'irrigation.
- **5 et 6 Canalisation d'alimentation** (rampes et portes-rampes).

Fig 5.6 Conduite principale, adducteur et conduite latérales avec goutteurs<sup>(1)</sup>.



➤ **7-Goutteurs**

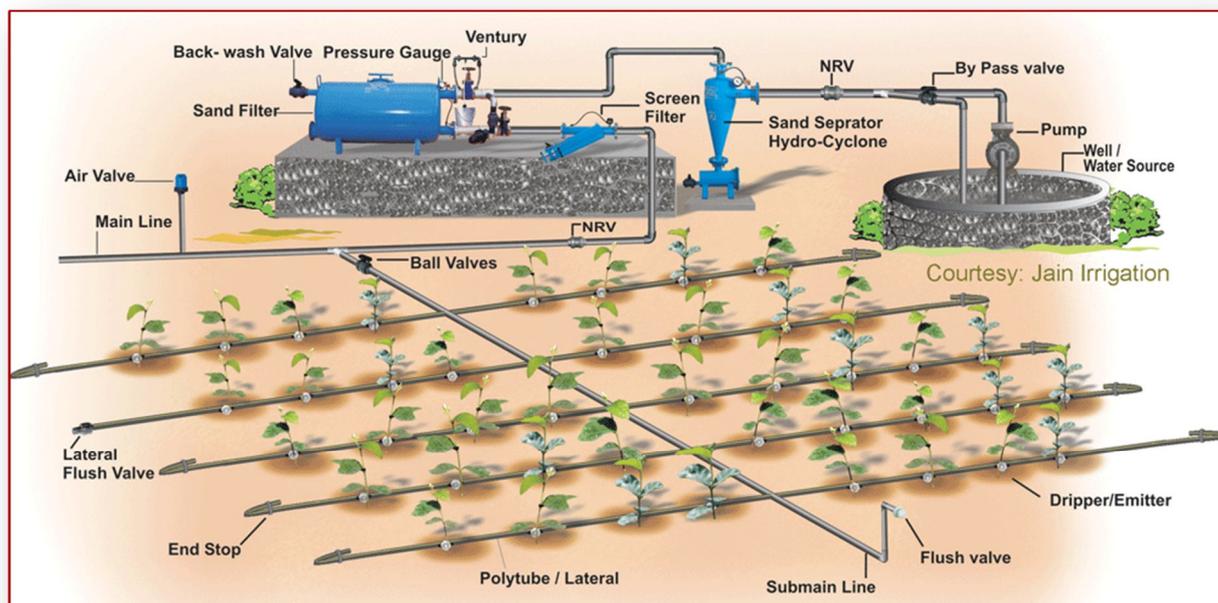
Les goutteurs sont des petits distributeurs en plastique de haute qualité. Ils sont montés à intervalle régulier sur de petits tuyaux flexibles, l'eau pénètre dans les goutteurs sous une pression d'environ 1 bar et ressort sans pression sous forme de gouttelettes continues avec un faible débit de 1 à 24 litres/heure. Les goutteurs sont divisés en deux principaux groupes selon la manière dont ils dissipent l'énergie (pression):

- ❖ type à orifice, avec une section d'écoulement de 0,2 à 0,35 mm<sup>2</sup>;
- ❖ type à circuit long avec une section d'écoulement plus grande de 1 à 4,5 mm<sup>2</sup>.

---

(1) FAO(MANUEL DES TECHNIQUES D'IRRIGATION SOUS PRESSION)

Fig 5.7 : schéma type d'une installation goutte à goutte<sup>(1)</sup>



(1) FAO bultin 58 /2008

**5.4 Etapes suivies dans le dimensionnement d'un projet d'irrigation :**

Après avoir choisir le plan à équiper, on suivi l'ordonnancement suivant :

- Numéroté les parcelles.
- Relever les dimensions des parcelles.
- Création du tableau de données des parcelles.
- Implantation des rampes et des portes rampes et leurs points d'alimentation.
- Dimensionnement des rampes et des portes rampes.
- Implantation des vannes.
- Réalisation du tracé des tuyaux.
- Calcul des paramètres d'irrigation.
- Choix des parcelles de chaque secteur.
- Calcul du débit de chaque secteur.
- Conception de la station tête.

### 5.5 Données du projet :

Ce projet consiste à équiper la parcelle implantée par des pommes de terre avec un réseau d'irrigation goutte à goutte.

#### 5.5.1 Superficie et cultures

La parcelle, qui mesure 05 hectares, est plantée avec des pommes de terre Fig 5.8 en rangs espacés de 0,75 m. Les plantes sont espacées de 0,75m le long des rangs.

La parcelle est divisée en 3 parties, de forme rectangulaire,

Fig 5.8 parcelle d'étude



### 5.5.2 Sol et eau

Sol de texture fine avec perméabilité autour de 12 mm/h et capacité de rétention de l'humidité relativement bonne. La parcelle est équipée d'une petite unité de pompage qui refoule l'eau dans un petit réservoir situé dans la partie sud de la parcelle ; Le remplissage du réservoir se fait directement à partir de d'un puits privé avec une pompe submersibles et un tuyau en PEHD.

### 5.5.3 Caractéristiques de la culture

- Ecartement entre plants: 0,75m
- Ecartement entre rangées : 0,75 m
- 1 Goutteurs pour chaque /plante espacé de 0,75 m de 2 l/h à 10 mCE avec  $x=0,5$ (exposant de la loi débit pression)
- Topographie de terrain est nulle.

### 5.6 Dimensionnement du réseau

On rappelle que les besoins nets de pointe pour la pomme de terre, en juin, sont de l'ordre de 260,1 mm/mois ( $B_p=260$  mm/mois)(d'après le tableau N°3.3).

### 5.6.1 - Besoins journaliers

Les besoins de mois de pointe « mois de juin » est de 260 mm.

Les besoins journaliers

$$B_j = \frac{B_p}{N_j} \dots\dots\dots(5.1)$$

Avec :

$B_j$  : les besoins journalières en mm.

$B_p$  : les besoins de pointes du mois en mm.

$N_j$  : Nombres de jours du mois.

D'où :

$$B_j = \frac{260}{30} = 8.67 \text{ mm}$$

$$\underline{B_j = 8.67 \text{ mm}}$$

Les besoins en eau dans irrigation localisée sont calculés par :

$$B_{ji} = B_j (0.10 + CS) \dots\dots\dots(5.2)$$

$B_{ji}$  : Besoins journalière de l'irrigation traditionnelle en mm

$B_j$  : les besoins journalières en mm.

CS : Couverture du sol, pour les pommes de terre CS = 60 %

$$\begin{aligned} B_{ji} &= 8.67 \times (0.10 + 0.6) \\ &= 8.67 \times 0.7 \approx 6 \text{ mm / j} \end{aligned}$$

$$\underline{B_{ji} = 6 \text{ mm / j}}$$

### 5.6.2- Dose nette

$$D_{\text{nette}} = (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \times Y \times Z \times P \% \dots\dots\dots(5.3)$$

Hcc : L'humidité à la capacité au champ.

Hpf : L'humidité au point du flétrissement

D'après les caractéristiques du sol (texture argilo-limoneuse) on a :

$$H_{\text{cc}} = 31 \% \quad ; \quad H_{\text{pf}} = 15 \%$$

Y : Degré de tarissement admissible ; Y = 2/3.

Z : Profondeur d'enracinement mm.

P : Pourcentage du sol humidifié.

Le pourcentage du sol humidifiée dépend de :

- Débit de distributeur (goutteurs)
- Espacement entre les goutteurs.
- Ecartement entre les rampes.
- Texture du sol.

D'après le tableau de guide d'estimation du pourcentage de sol du humidifié de Keller et Karmeli , pour un écartement de 0,75 × 0,75 ; d'un débit de distributeur de 2l/h et pour une texture fine la valeur de p sera égale à 100 % (voire annexe3) .

D'ou la dose nette :  $D_{\text{nette}} = (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \times y \times z \times \frac{P}{100}$

$$D_{\text{nette}} = (0.31 - 0.15) \times \frac{2}{3} \times 600 \times \frac{40}{100}$$

$$\underline{D_{\text{nette}} = 64 \text{ mm}}$$

### 5.6.3- Dose brute

$$D_{brute} = \frac{D_{nette}}{\eta \times Cu} + LR \dots\dots\dots(5.4)$$

tel que :

$\eta$  : Rendement d'irrigation = 0.95

$Cu$  : Coefficient d'uniformité d'arrosage=0.95

$LR$  : besoin supplémentaire en eau pour le lessivage du sol pour l'irrigation localisée qui est égale à 173,9 mm d'après le tableau 4.5.

$$D_{brute} = \frac{64}{0.95 \times 0.95} + 173.9 = 245 \text{ mm.}$$

$$\underline{D_{brute} = 245 \text{ mm}}$$

### 5.6.4 Fréquence d'arrosage (Périodicité):

$$F_{min} = \frac{D_{brute}}{B_{jt}} \dots\dots\dots(5.5)$$

Avec :

$F_{min}$  : Fréquence d'arrosage "périodicité" (jours)

$D_{brute}$  : Dose brute (mm/mois)

$B_{jt}$  : Besoins journalière de l'irrigation traditionnelle en mm

$$F_{min} = \frac{245}{6} = 41 \text{ jours}$$

$$\underline{F_{min} = 41 \text{ jours}}$$

**5.6.5 Durée d'arrosage:**

$$d = \frac{D_{brut} \times Eg \times Er}{Qd} \dots\dots\dots(5.6)$$

Avec :

*d* : Durée d'arrosage (heures/arrosage)

*D<sub>brut</sub>* : Dose brute (mm/mois)

*Eg* : Espacement entre plantes (m)

*Er* : Espacement entre rampes (m)

*Qd* : Débit du distributeur (goutteur) (l/h)

$$d = \frac{245 \times 0,75 \times 0,75}{2} = 69 \text{ heures}$$

d = 69 heures /d'arrosage

**5.6.6 Durée d'arrosage journalière:**

$$dj = \frac{d}{F \text{ min}} \dots\dots\dots(5.7)$$

Avec :

*dj* : Durée d'arrosage journalière (heures/jours)

*d* : Durée d'arrosage (heures/arrosage)

*F min* : Fréquence d'arrosage "périodicité" (jours)

$$dj = \frac{69}{41} \approx 2 \text{heues / jours}$$

Dj= 2 heures/jours

### 5.6.7 Nombre de postes

$$N(p) = \frac{T_{\max}}{dj} \dots\dots\dots(5.8)$$

Avec :

$T_{\max}$  : Temps maximum de travail, en prend  $T_{\max} = 4\text{h}/24\text{h}$ .

$dj$  : Durée d'arrosage en h/jour.

$$N(p) = \frac{4}{2} = 2$$

$$\underline{N(p) = 2}$$

### 5.6.8 Surface d'un poste

$$S(p) = \frac{S(t)}{N(p)} \dots\dots\dots(5.9)$$

Avec :

$S(t)$  : Surface totale en ha.

$N(p)$  : Nombre de poste.

$$S(p) = \frac{5}{2} = 2,5\text{ha}$$

$$\underline{S(p) = 2,5\text{ha}}$$

**5.6.9 Longueur de la rampe:**

$$L_r = L \dots\dots\dots(5.10)$$

Avec :

$L_r$  : Longueur de la rampe (m)

$L$  : Longueur de l'îlot (m)

**5.6.10 Nombre de rampes et de goutteurs par rampe:**

$$N_r = \frac{l}{E_r} \dots\dots\dots(5.11)$$

$$N_g = \frac{L_r}{S_d} \dots\dots\dots(5.12)$$

Avec :

$N_r$  : Nombre de rampes

$N_d$  : Nombre des goutteurs

$L_r$  : Longueur de la rampe (m)

$l$  : Largeur de l'îlot (m)

$S_d$  : Espacement entre plantes (m)

$E_r$  : Espacement entre les rampes (m)

**5.6.11 Débit d'une rampe :**

$$Q_r = N_d * Q_d \dots\dots\dots(5.13)$$

Avec :

$Q_r$  : Débit d'une rampe (l/heures)

$N_d$  Nombre de distributeurs (goutteurs)

$Q_d$  Débit du distributeur (goutteur) (l/heures)

**Tableau 5.2** Equipement de la parcelle superficie de 5 ha « pomme de terre » :

1/ - Besoins en eau dans irrigation localisée	$B_{il} = 6 \text{ mm/jours}$ ,
3/ -Dose nette:	$D_{nette} = 64 \text{ mm/mois}$
4/ -Dose brute:	$D_{brute} = 245 \text{ mm/mois}$
6/ -Fréquence d'arrosage:	$F_{min} = 41 \text{ jours}$
7/ -Durée d'arrosage:	$d = 69 \text{ h/arrosage}$
8/ -Durée d'arrosage journalière:	$d_j = 02 \text{ h/jours}$

Tableau 5.3 Définition de la parcelle :

-Nombre de postes:	N=2postes
--------------------	-----------

a	Sous poste	Surface du sous poste (ha)	Largeur (m)	Longueur (m)	Longueur de la rampe (m)	Nombres de rompes	Nombre de goutteurs par rampe	Nombre de plantes	Débit d'une rampe l/h	Débit du sous poste l/h	Débit du poste l/h
<b>Poste N° 01</b> <b>S= 2,5 ha</b>	/	2,5	85	293	292	113	389	389	779	88249	<b>88249</b>
<b>Poste N° 02</b> <b>S=2,5 ha</b>	SP2-1	1,13	102	112	111	136	148	148	296	40256	<b>113877</b>
	SP2-2	1,37	102	204	203	136	271	271	541	73621	
<b>total</b>											<b>202126</b>

### 5.7 Calcul hydraulique du réseau

#### 5.7.1 -Type de goutteur :

Nous proposons un goutteur à circuit court, à simple orifice et non autorégulant (AZUdrip UNE 69-076) avec :  $K=4,1$   $X=0,47$

régit par la loi :

$$q = K * H^x \text{ (la loi débit-pression du goutteur).} \dots\dots\dots(5.14)$$

Sa pression nominale de fonctionnement est :

$$H=1\text{bar} =10\text{m}$$

#### -Règle de Christiansen :

La variation maximale du débit entre goutteur :

$$\frac{\delta q}{q} = 0,10 \dots\dots\dots(5.15)$$

Ou bien

$$\frac{\delta q}{q} = 0,10 = 0,47 * \frac{\delta H_{\text{totale}}}{H}$$

$$0,10 = 0,47 * \frac{\delta H_{\text{totale}}}{10}$$

Donc :

$$\delta H_{\text{totale}} = \frac{1}{0,47} = 2,13\text{mCE}$$

Perte de charge singulière admissible dans la canalisation assurant un service d'extrémité :

$$\delta H_{\text{Singulière}} = 0,10 * \delta H_{\text{max}} = 0,21mCE$$

Perte de charge linéaire admissible dans la canalisation assurant un service d'extrémité :

$$\delta H_{\text{Linéaire}} = \delta H_{\text{totale}} - \delta H_{\text{sing}} = 1,92mCE$$

La répartition de la perte de charge est :

1/3 sur les porte- rampes.

2/3 sur les rampes.

Perte de charge linéaire admissible dans la rampe :

$$J_{\text{Rampe}} = \frac{2}{3} * \delta H_{\text{Linéaire}} = 1.28mCE$$

Perte de charge linéaire admissible dans les porte-rampes :

$$J_{\text{Porte.rampe}} = \frac{1}{3} \delta H_{\text{Linéaire}} = 0.64mCE$$

### 5.7.2 Calcul de la rampe en polyéthylène

\* **Diamètre de la rampe** : le diamètre est calculé par la formule empirique suivante<sup>(1)</sup>

$$\phi = \left[ \frac{2,75 * J_{\text{Rampe}}}{0,478 * Qr^{1,75} * Lr} \right]^{\left( \frac{1}{-4,75} \right)} \dots\dots\dots(5.16)$$

**Avec :**

Qr : Le débit de la rampe en l/h ;

Lr : La longueur de la rampe en m.

---

(1) Homme terre et eau bulletin N°116 2000 p 24

Nous proposons un diamètre normalisé de 32mm, qui engendre une perte de charge linéaire égale à la perte de charge linéaire admissible dans la rampe selon la règle de Mr Christiansen qui est de l'ordre de 0,64mCE

### 5.7.3 Débit de la rampe

Le débit d'une rampe est donné par la relation :

$$Q_R = N_G \cdot Q_G \dots\dots\dots(5.17)$$

**Avec :**

$Q_R$  = Débit de la rampe en l / h ;

$N_G$  = Nombre de goutteurs par rampe ;

$Q_G$  = Débit d'un goutteur en l / h.

### 5.7.4 Pertes de charge dans la rampe

La perte de charge est calculée par la formule empirique :

$$J = \frac{0,478}{2,75} \cdot D^{-4,75} \cdot Q^{1,75} \cdot L \dots\dots\dots(5.18)$$

Tel que :

J = Perte de charge en m ;

D = Diamètre en mm ;

Q = Le débit en l / h ;

L = Longueur en m.

### 5.7.5 Calcul du porte rampe

#### 5.7.5.1 Diamètre du porte rampe

Le diamètre est calculé par la formule N°5.16

#### 5.7.5.2 Débit du porte-rampe

Le débit d'un porte- rampe est calculé par la relation

$$Q_{PR} = Q_R \cdot N_R \dots\dots\dots(5.19)$$

Avec :

$Q_{PR}$  = Débit du porte rampe en l / h ;

$N_R$  = Nombre de rampes ;

$Q_R$  = Débit d'une rampe en l / h.

#### 5.7.5.3 Pertes de charge dans le porte-rampe

La perte de charge est calculée par la formule N°5.18

### 5.7.6 La conduite secondaire et principale

Le diamètre est calculé par la relation suivante

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{V\pi}} \dots\dots\dots(5.20)$$

#### 5.7.6.1 Le débit

Le débit dans la conduite principale égale a :

$$Q_p = \sum Q_{PR} \dots\dots\dots(5.21)$$

Avec :

$Q_p$  : le débit dans la conduite principale

$Q_{PR}$  : débit du porte rampe ( l/s)

Les débits dans les conduites secondaires égales a :

$$Q_S = Q_{PR}$$

Avec :  $Q_S$  : le débit dans la conduite secondaire.

$Q_{PR}$  : débit du porte rampe ( l/s)

### 5.7.6.2 La perte de charge

La perte de charge est donnée par la formule N°5.18

### 5.7.6.3 Les Vitesse

Les vitesses pour les éléments du réseau sont calculées par la relation suivante :

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} \dots\dots\dots(5.22)$$

avec  $0,5 \leq V \leq 2,6m/s$

Le calcul des rampes, porte-rampes ainsi que les conduites principales sont représenté dans le tableau suivant :

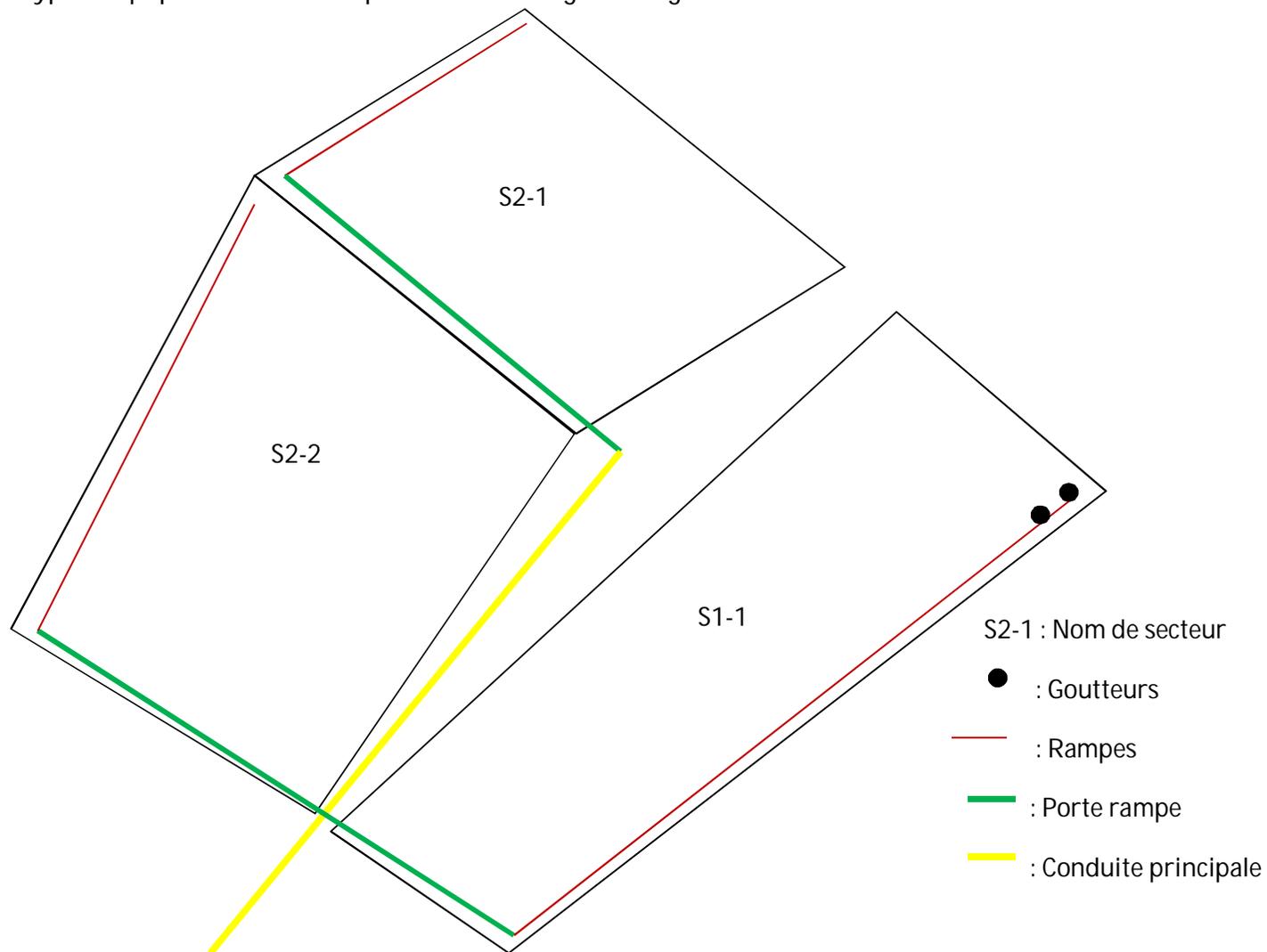
Tableau N°5.4 Dimensionnement du réseau à la parcelle

Poste	Sous postes	Surface du sous poste (ha)	Rampe					Porte rampe						
			Débit l/h	longueur (m)	Φ calculé (mm)	Φ normalisé (mm)	J (m.c.e)	Débit l/h	Débit m3/s	longueur (m)	Φ calculé (mm)	Φ normalisé (mm)	V (m/s)	J (m.c.e)
<b>Poste N° 01</b> <b>S= 2,5 ha</b>	/	2,5	778	292	29,17	32	0,412	87914	0,024	85	176,38	180	0,96	0,129
<b>Poste N° 02</b> <b>S=2,5 ha</b>	SP2-1	1,13	296	111	16,67	32	0,029	40256	0,011	102	119,35	120	0,99	0,270
	SP2-2	1,37	542	203	23,65	32	0,152	73712	0,020	102	131,87	150	1,16	0,269

Suite du tableau N°5.4

Poste	Sous postes	Surface du sous poste (ha)	Conduite principale					
			Débit l/h	longueur (m)	Φ calculé (mm)	Φ normalisé (mm)	V (m/s)	J (m.c.e)
<b>Poste N° 01</b> <b>S= 2,5 ha</b>	/	2,5	201882	20	267,28	250	1,14	0,027
<b>Poste N° 02</b> <b>S=2,5 ha</b>	SP2-1	1,13						
	SP2-2	1,37						

Fig 5.9 : Schéma type d'équipement des îlots par le réseau de goutte à goutte





### Conclusion

Il est clair que le mode d'irrigation goutte à goutte offre une meilleure économie d'eau d'une part, d'autre part une pression de 1 bar sera suffisante au goutteur. Contrairement aux autres modes qui nécessitent une pression importante.

Malgré tout ce qui est précité, la technique de micro irrigation reste relativement faible par rapport au autres techniques et ceci est du à plusieurs raisons dont:

- Le cout d'aménagement.
- La dominance des micros exploitations.
- La mentalité des agriculteurs et leur résistance au changement.

A l'échelle de la parcelle et dans la présence d'un horizon géologique peu perméable, Les excès d'eau sont généralement générés par des quantités importantes des sur-irrigations afin de maintenir la salinité à un niveau acceptable pour les cultures. D'une façon générale, ils se manifestent par la formation d'une nappe perchée temporaire saturant complètement la zone racinaire. Lorsque la perméabilité du sol est faible, les excès d'eau peuvent se manifester à la surface du sol.

Ainsi Des systèmes de drainage sont installés pour pallier les inconvénients du mauvais drainage naturel d'un sol.

*L'objectif de ce chapitre est une meilleure compréhension du dimensionnement et l'installation du système de drainage.*

Le dimensionnement d'un réseau de drainage consiste à déterminer en tenant compte de différents paramètres : les écartements des drains, leurs débits unitaires, débits caractéristiques, débits maximaux et longueurs maximales.

Il est à signaler que les formules utilisées pour le dimensionnement d'un réseau de drainage sont en majeure partie empiriques qui s'appuie sur l'observation, l'expérience et les statistiques.

### 6.1 Principales méthodes de drainage

L'objet du drainage comme nous avons vu ci-dessus, est d'évacuer dans des délais déterminées et courts, en tous points d'une parcelle de terrains agricole les eaux excédentaires saturant la couche superficielle du sol ou stagnantes à sa surface, rendant ainsi impossible toute culture à haut rendement.

Suivant le type d'aménagement retenu, le drainage est dit :

- Drainage de surface
- Drainage de subsurface

Ce dernier peut être constitué essentiellement soit de fossés couverts, soit de conduites en poterie, en ciment ou en plastique, soit de drains moulés sous la terre au moyen de charrue taupe

Fig 6.1 charrue taupe



#### 6.1.1 Fossés ouverts

Les fossés ouverts sont de formes diverses : triangulaire, trapézoïdale.

Différents facteurs conditionnent le fonctionnement hydraulique d'un fossé :

- La pente longitudinale
- Le rayon hydraulique
- La perméabilité du sol dans lequel il est creusé
- La nature des parois
- Le talus

Ainsi leur rôle est de recueillir aussi bien l'eau superficielle que l'eau sous terrain pour les conduire vers un exutoire qui peut être un fossé de plus grande capacité.

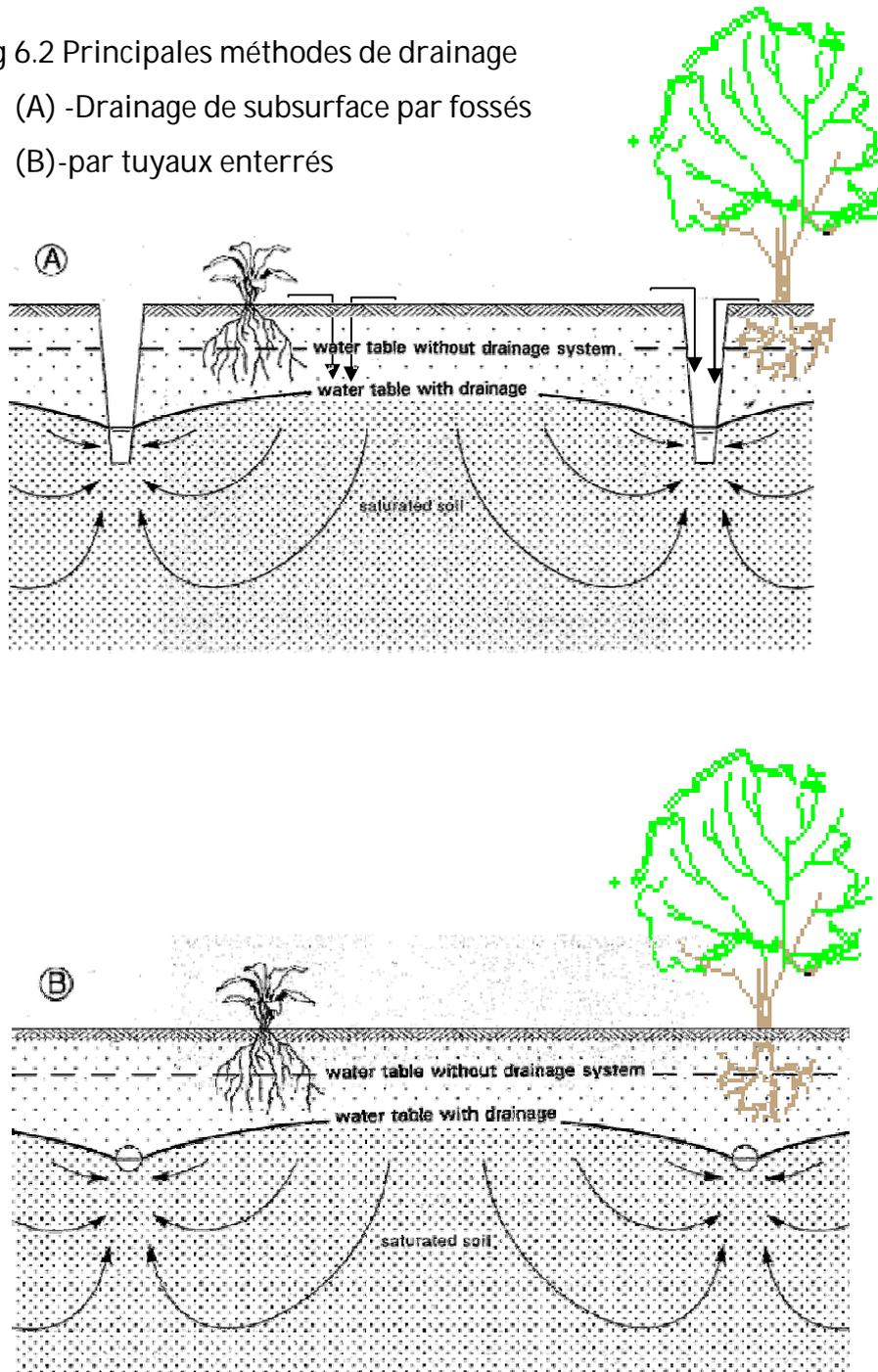
### 6.1.2 Tuyau enterré :

Le drainage, dans bien des cas et notamment pour des raisons de commodités de labour, est assuré par un réseau de canalisations enterrées

Les conduites enterrées n'ont pas, comme les fossés, la capacité de recueillir les eaux de surface. Leurs actions portent principalement sur les eaux souterraines

Fig 6.2 Principales méthodes de drainage

- (A) - Drainage de subsurface par fossés
- (B) - par tuyaux enterrés



Les fosses recueillent les eaux de ruissellement superficiel et par infiltration les eaux de la nappe souterraine

### 6.2 Ecoulement sous terrain vers les drains :

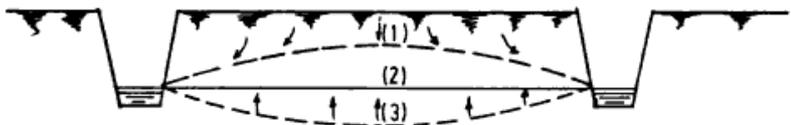
Nous étudierons la façon dont l'eau évolue dans le sol après s'y être infiltrée pour s'introduire dans le drain. Ce phénomène permet de déterminer la profondeur et l'écartement des drains.

En l'absence d'apport extérieur (fig 6.3), la nappe se situe à peu près au niveau des drains suivant un plan horizontal(2). Dans la pratique la situation se présente différemment compte tenu du fait que le comportement de l'eau est lié à l'influence de divers facteurs :

- Forces capillaires.
- Topographie du sol et pendage des couches imperméables.

En absence de toute réalimentation ( arrêt d'irrigation), la nappe perd de l'eau par ascension capillaire, évaporation phsique et physiologique pour prendre une allure concave.

Fig 6.3 : Schéma du drainage par fossés ouverts



### **6.3 : Calcul de l'écartement des drains, des débits à évacuer et équation de la nappe**

Les drains doivent être placés à une position de sorte qu'ils ne provoquent pas d'assainissement excessif en période sèche.

En période humide la nappe d'eau se trouve au-dessus de la ligne des drains et la charge qu'exerce ainsi cette élévation provoque dans les drains une pénétration d'autant plus rapide et d'autant plus importante que la charge est plus élevée, on se doit de fixer le niveau maximal que la nappe doit garder pendant toute la durée de la pluie ou de la pluie artificielle (irrigation), et par conséquent la position correspondante des drains pour évacuer le débit caractéristique.

Les dispositions à prendre doivent tenir compte du type de culture. On peut être même amené à admettre la submersion totale du sol par remontée de la nappe. Mais ceci ne peut être qu'un cas d'exception. Dans la pratique on veillera à évacuer le surplus sans submersion sous une charge plus faible que celle que serait engendrée par une remontée au-dessus de la surface du sol.

#### **6.3.1 La Méthode du régime permanent :**

Ce régime consiste à ***maintenir la nappe en dessous d'un niveau maximum à ne pas dépasser***, juste au dessous de la zone racinaire.



$$Q = K S I \text{ devient } qx = -K y \frac{dy}{dx}$$

Qui devient par intégration :

$$Q_c x^2 + Ky^2 = \text{constante} \dots\dots\dots(6.2)$$

La valeur de la constante est déterminée en se basant sur l'hypothèse que le sommet de la couche supérieure passe à la distance minimale de la surface du sol pour  $x=0$ .

Pour trouver la valeur de la constante on a :

Pour  $y=h$  et  $x=0$  la relation (6.2) devient :

$$Cte = Kh^2$$

Lorsque la nappe passe par les drains c'est-à-dire pour  $y=0$  et  $x=L$  la relation (6.2) devient :

$$Cte = Q_c L^2$$

Et l'équation de la couche supérieure de la nappe s'écrit :

$$Q_c x^2 + Ky^2 = Q_c L^2$$

D'où en divisant les deux nombres par la constante on trouve :

$$\frac{x^2}{L^2} + \frac{y^2}{h^2} = 1$$

Remplacent L par E/2 on trouve :

$$\frac{4x^2}{E^2} + \frac{y^2}{h^2} = 1 \dots\dots\dots(6.3)$$

Qui est l'équation d'une ellipse de demi-grand-axe E/2 et demi-petit axe h .

**Calcul de l'écartement E**

De même on déduit de  $Kh^2 = Q_c L^2$  la relation fondamentale entre  $E=2L$  et  $h$ .

de l'expression  $Kh^2 = Q_c L^2$

$$Kh^2 = Q_c \frac{E^2}{4} \quad \text{d'où}$$

$$E^2 = \frac{4Kh^2}{Q_c} \dots\dots\dots(6.4)$$

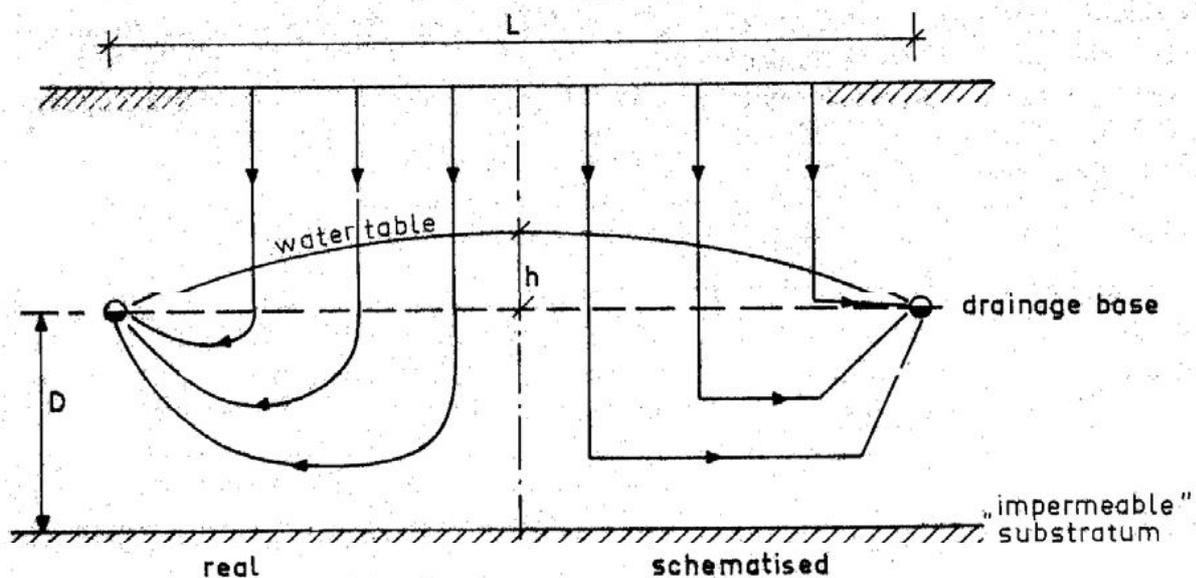
Étant mesurés avec les même unités

Avec :

- E     Ecartement des drains (m)
- Q     débit à évacuer (m/j)
- K     Conductivité hydraulique (m/j)
- h     la distance verticale entre la ligne horizontale qui traverse les fonds des drains et le niveau phréatique au milieu de l'écartement des drains (m)

**B : Cas de drains ne reposant pas sur une couche imperméable**

Fig 6.5: Ecoulement effectif et schématisé vers des drains ne reposant pas sur un substratum étanche

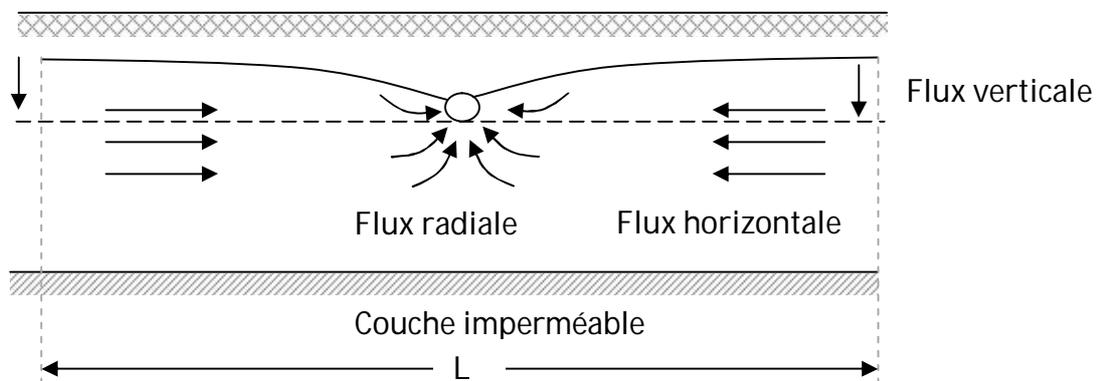


Rabattement par drains ne reposant pas sur une couche imperméable, en régime permanent

#### 6.4 Analogie de Hooghoudt

Une très bonne approximation de l'écoulement des eaux souterraines à un système de drainage peut être obtenue en analysant le flux dans une verticale, une horizontale et une composante radiale par résistances correspondantes (Fig. 6.6).

Fig 6.6 composantes de flux ; verticale, horizontale et radiale.



La résistance radiale est la restriction de l'écoulement en raison de la convergence des lignes de courant à l'approche des drains.

La résistance verticale est habituellement très faible, de sorte que l'espacement des drains nécessaires est principalement déterminé par les résistances horizontales et radiales qui se produisent.

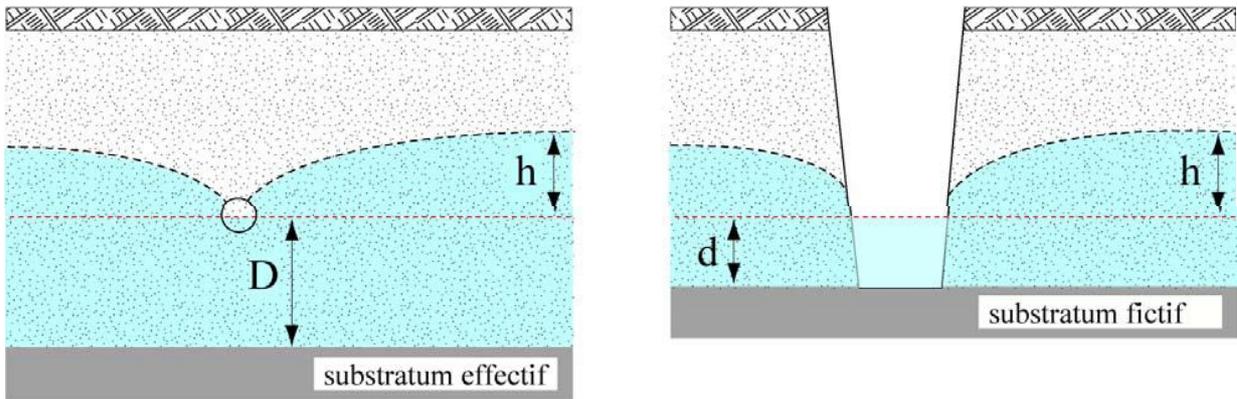
Pour éviter d'avoir à prendre en compte la composante radiale de l'écoulement vers un drain ne reposant pas sur le substratum étanche, Hooghoudt (1940) a proposé de remplacer le réseau de drains par un réseau supposé équivalent de fossés reposant sur un *substratum étanche fictif* tel que, dans les 2 cas:

- le débit évacué soit le même
- la charge maximale  $h$  soit identique
- l'écartement  $E$  entre les ouvrages soit le même

Le substratum fictif se trouve à une profondeur  $d$  en dessous du plan des drains, dénommée *profondeur équivalente*.

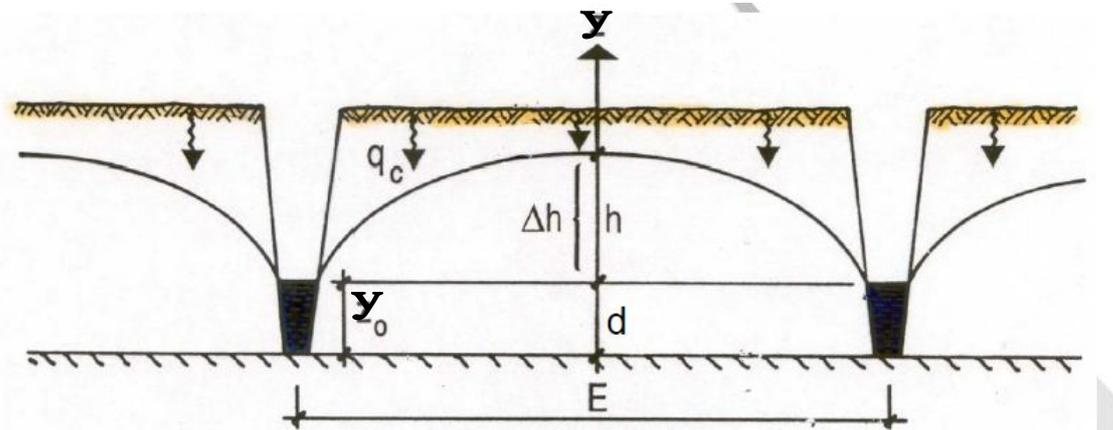
L'intérêt de l'analogie de Hooghoudt est de remplacer le cas réel complexe par un cas équivalent dont la solution est connue puisqu'il s'agit d'un fossé reposant directement sur le substratum imperméable.

Fig 6.7 analogie de Hooghoudt



<p>Situation effective (écoulement vers un drain ne reposant pas sur le substratum)</p>	<p><math>d &lt; D</math> : profondeur équivalente</p>	<p>Équivalence de Hooghoudt (écoulement vers un fossé atteignant une couche imperméable fictive)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fig6.8 : Fossés parallèles sur couche imperméable



A : Régime permanent

Analogie de Hooghoudt

$$Q_x = q_c x \quad \text{et} : \quad Q_x = -K \frac{dy}{dx} y$$

$$q_c \int_0^x x dx = -K \int_h^y y dy$$

$$q_c \frac{x^2}{2} = -\frac{K}{2} (y^2 - h^2)$$

Soit :

$$q_c x^2 = Kh^2 - Ky^2 \dots\dots\dots(6.6)$$

Calcul de la courbe de rabattement :

$$q_c x^2 = Kh^2 - Ky^2$$

$$\frac{q_c x^2}{Kh^2} = 1 - \frac{y^2}{h^2} \Rightarrow \frac{q_c x^2}{Kh^2} + \frac{y^2}{h^2} = 1$$

Soit :

$$\frac{q_c x^2}{Kh^2} + \frac{y^2}{h^2} = 1 \dots\dots\dots(6.7)$$

Calcul de l'écartement E

$$X=E/2 \quad y=y_0 \quad \text{soit} : \quad q_c \frac{E^2}{4} = Kh^2 - K y_0^2$$

d'où :

$$E = 2 \sqrt{\frac{K}{q_c} (h^2 - y_0^2)} \dots\dots\dots(6.8)$$

Analogie de hougoodt :  $\Delta h = h$

$$y_0 = d$$

$$E^2 = \frac{8K_1 dh}{q_c} + \frac{4K_2 h^2}{q_c} \dots\dots\dots(6.9)$$

- E     Ecartement des drains (m)
- q     débit à évacuer (m/j)
- K<sub>1</sub>   Conductivité hydraulique au-dessus des drains (m/j)
- K<sub>2</sub>   Conductivité hydraulique au-dessous des drains (m/j)
- h     la distance verticale entre la ligne horizontale qui traverse les fonds des drains  
          et le niveau phréatique au milieu de l'écartement des drains (m)
- d     Epaisseur de la couche équivalente (m)

Calcul de la profondeur équivalente d

$$d = \frac{D}{\frac{8D}{\pi E} \ln \frac{D}{\mu} + 1} \quad \text{pour } D < E/4 \dots\dots\dots(6.10)$$

$$d = \frac{\pi E}{8 \ln \frac{E}{\mu}} \quad \text{pour } D > E/4 \dots\dots\dots(6.11)$$

Avec :

d : la profondeur équivalente (m)

D : profondeur réelle, en dessous des drains, de l'horizon imperméable (m).

E : écartement des drains (m).

μ : périmètre mouillé des drains ( de rayon r)(m) ; en générale, on admet : μ=π r

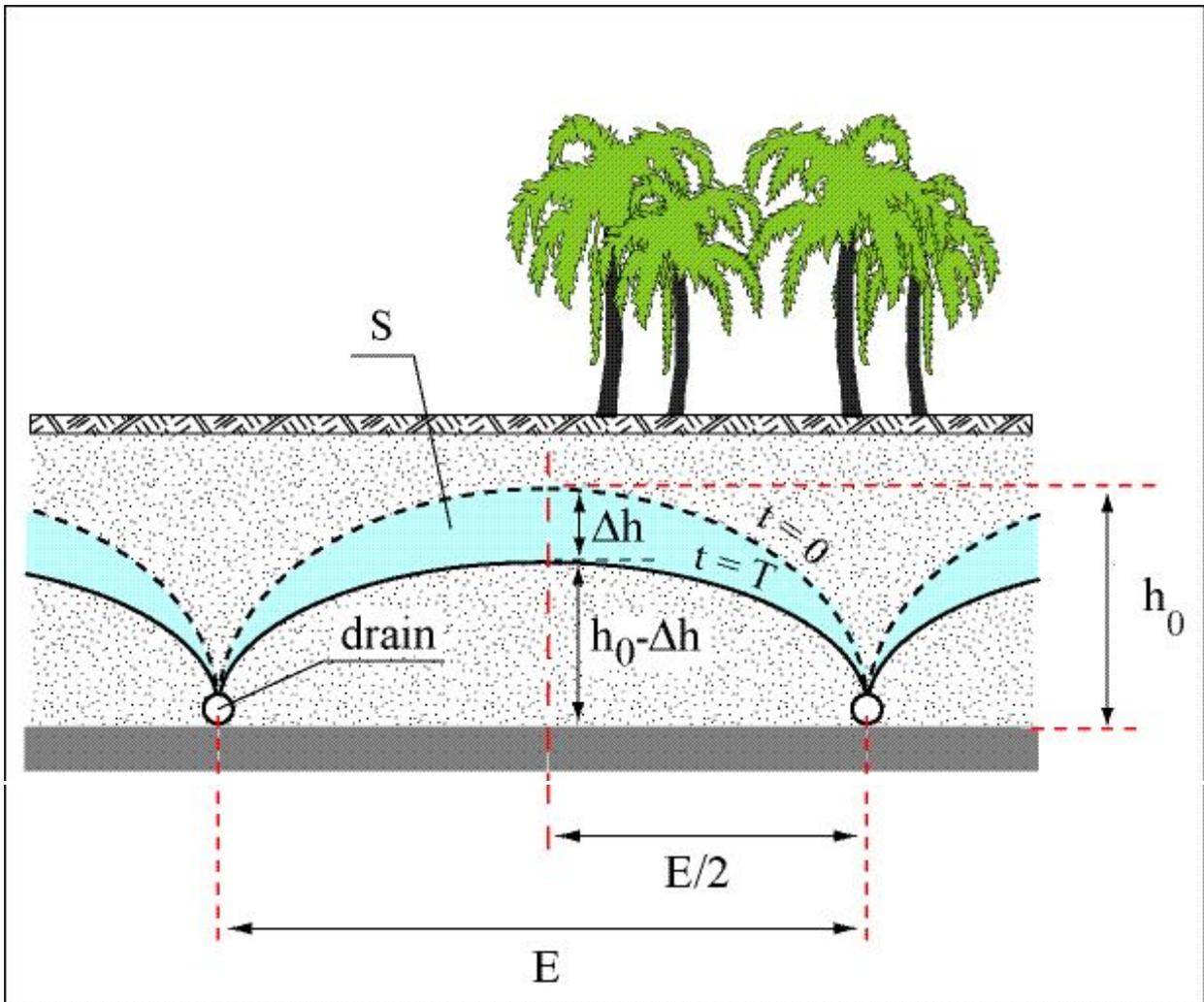
B : Méthode du régime variable de tarissement :

Ce régime consiste à rabattre un niveau initial d'une nappe "gênante" à un niveau final et ce dans un délai ne dépassant pas le temps de tolérance des cultures qui sont installées dans le sol drainé.

6.6 Analogie de Glover-Dumm

1/Drains reposant sur l'assise imperméable:

Fig 6.9 Drains reposant sur l'assise imperméable



$$q_y(t) = \frac{4Kh(t^2)}{E} \qquad q_y(t) = -\frac{dV}{dt}$$

V : volume d'eau susceptible d'alimenter les drains

$$V = \mu S (1m) = \mu \pi E h/4$$

Après introduction dans les éq. précédentes et intégration

$$E^2 = \frac{16Kt}{u\pi} \frac{h h_0}{(h_0 - h)} \dots\dots\dots(6.12)$$

Avec

h<sub>0</sub> : charge initiale à l'inter-drains

E      Ecartement des drains (m)

K      Conductivité hydraulique (m/j)

h      la distance verticale entre la ligne horizontale qui traverse les fonds des drains et le niveau phréatique finale au milieu de l'écartement des drains (m)

Dans l'hypothèse où la variation temporelle du rabattement peut être considérée comme linéaire:

$$\Delta = h_0 - h(T) \text{ soit } h(T) = h_0 - \Delta$$

$$E^2 = \frac{16Kt}{u\pi} \frac{(h_0 - \Delta) h_0}{\Delta} \dots\dots\dots(6.13)$$

Si on a un rabattement non linéaire, on adopte fréquemment:

$$h(t) = h_0 e^{-\alpha t}, \text{ soit, pour } t = T: h(T) = h_0 e^{-\alpha T}$$

α : coefficient de réaction de la nappe

Cas de drains situés au-dessus de la couche imperméable - Formule de Glover-Dumm

$$E^2 = \frac{\pi^2 K t d}{u} \left[ \ln(1.16 \frac{h_0}{h(t)}) \right]^{-1} \dots\dots\dots(6.14)$$

d : profondeur équivalente

si on considère la variation temporelle du rabattement comme linéaire :  $\Delta = h_0 - h(T)$  soit

$$h(T) = h_0 - \Delta$$

L'équation 6.14 devient :

$$E^2 = \frac{\pi^2 K T d}{\mu} \left[ \ln(1.16 \frac{h_0}{h_0 - \Delta}) \right]^{-1} \dots\dots\dots(6.15)$$

Si le rabattement est non linéaire :

$$h(t) = h_0 e^{-\alpha t}, \text{ soit, pour } t = T: h(T) = h_0 e^{-\alpha T}$$

$\alpha$  : coefficient de réaction de la nappe

**6.6 Estimation de la Profondeur de l'imperméable (H) :**

Les valeurs des perméabilités consignées au tableau 6.1 montrent que les perméabilités décroissent avec la profondeur et qu'au-delà de 2,5 m de profondeur elles sont très faibles, de l'ordre du cm/j, en conséquence on considère que l'imperméabilité se trouve à 3 m au-dessous du sol.

Tableau 6.1 perméabilité du sol dans la zone d'étude en fonction des profondeurs

Profondeur	Perméabilité
P (m)	K cm/h
1.0	0.800
1,2	0.723
1,4	0.667
1,6	0.626
1,8	0.593
2.0	0.034
2.2	0.0200
2.4	0.020
2.6	0.020

**6.7 DETERMINATION DES DEBITS MAXIMAUX DANS LES DRAINS**

Le débit maximal par drain est calculé comme suit :

$$Q_{Max} = 21,82 \times D_{int}^{8/3} \times i(o/oo)^{1/2} \dots\dots\dots(6.16)$$

**6.8 DETERMINATION DES LONGUEURS MAXIMALES DES DRAINS**

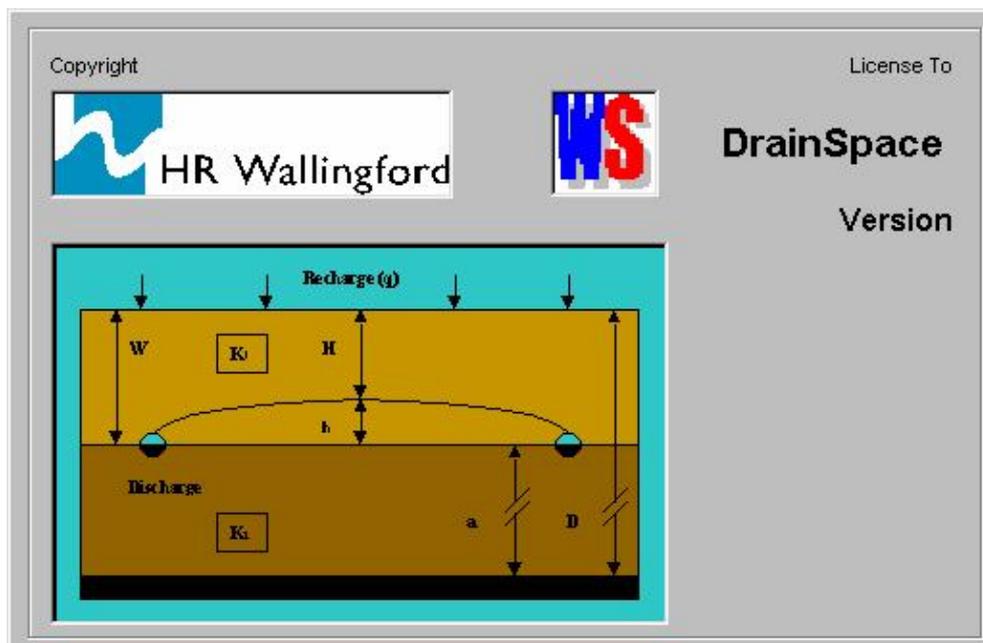
La longueur maximale par drain est calculée comme suit :

$$L_{Max} = \frac{21,82 \times D_{int}^{8/3} \times i(o/oo)^{1/2}}{q(m^3 / s / ml)} \dots\dots\dots(6.17)$$

Vu la complexité de la formule de *Formule de Glover-Dumm* qui nécessite la détermination de différents paramètres à savoir :

La profondeur équivalente, le temps T et les profondeurs h at h0 , HR Wallingford et l'Université de Cranfield (avec le soutien du Royaume-Uni Département de développement International) ont développent cette formule dans son logiciel DrainSpace pour éviter la manipulation manuelle.

Fig 6.10: fenêtre principale de DrainSpace



Calcul des écartement des drains à l'aide de DrainSpace

A: Régime permanent :

Fig 6.11 Analogie de Hooghoudt

B : Régime variable de tarissement :

On se basant sur la formule **de Glover-Dumm**

Fig 6.12 Analogie de Glover-Dumm

### Données d'entrée

T : nombre de jour admissible pour la submersion des cultures [jours]

$h_0$  : charge initiale à l'inter-drains [m]

K Conductivité hydraulique [m/j]

h la distance verticale entre la ligne horizontale qui traverse les fonds des drains et le niveau phréatique finale au milieu de l'écartement des drains [m]

W la profondeur des drains [m]

D Profondeur de l'imperméable [m]

**Résultats :**

Fig 6.13 Résultats selon la formule de Glover-Dumm

Glover Dumm Results													
	Input Parameters									Intermediates			Results
Run	T(days)	K(m/day)	P(%)	H0(m)	HT(m)	W(m)	D(m)	U(m)	S(%)	h0(m)	hT(m)	a(m)	L(m)
2	3	4.00	0.10	0.20	1.80	2.00	3.00	0.35	100	1.80	0.20	1.00	11.41

La pente du drain est celle du terrain naturel, elle devra être supérieure ou égale à 1 % avec un approfondissement en cas de besoin.

Les drains agricoles seront des tuyaux annelés perforés, d'un diamètre nominal (diamètre inférieur, hors gorges selon la norme NF U 51-101) de 58, 72 et 91 mm. Pour le choix du diamètre du projet on adopte la règle<sup>(1)</sup> suivante :

Longueur (m)	Diamètre (mm)
Inférieur à 300 .....	58
De 300 à 500 .....	72
Supérieur à 500 .....	91

Avec des espacements normaliser de 15 m

(1) FAO

### **CONCLUSION**

L'installation d'un système de drainage a pour but la modification du processus hydrologique des nappes superficielles en accélérant leur rabattement, il en résulte une modification de l'état du système eau, sol, plante et notamment une modification des conditions d'aération et d'alimentation en eau dans la zone racinaire.

Pour atteindre ce résultat, une technologie de drainage très appropriée s'impose, basée sur des normes technique, économique et agro-économique.

*Le réel n'est jamais « ce qu'on pourrait croire » mais il est toujours ce qu'on aurait dû penser. La pensée empirique est claire, après coup, quand l'appareil des raisons a été mis au point.*

G.BACHELARD

## **7.1 Contexte et objectifs**

Dans le cadre des travaux menés sur les sites potentiellement salés, et plus particulièrement sur le transfert des sels par les eaux d'irrigation vers les drains dans les sols et les eaux sous terraines, le recours à une modélisation peut s'avérer indispensable à la gestion d'un site. Or se pose nécessairement la question du choix de l'outil adapté.

La modélisation des écoulements souterrains vers les drains est très utile pour la compréhension des schémas d'écoulement et la dynamique de l'eau sous terraine au voisinage du système de drainage.

L'objectif de ce chapitre est de simuler l'irrigation par des eaux salées et voir le cheminement de ces derniers vers les drains par un modèle unidimensionnel limité par le drain et la surface du sol (Débit fournis par le gouteur).

Ce modèle ne peut cependant pas tenir compte de l'hétérogénéité horizontale des sols, de la géométrie réelle des réseaux de drainage, de la variabilité spatio-temporelle de la recharge et des conditions aux limites plus complexes

## **7.2 Rappels liés à la modélisation des transferts au sein du milieu poreux**

Ce qui suivent abordent des points de généralités dans le cadre d'une modélisation de la migration des solutés dans les sols et les eaux sous terraines (d'après Castany, 1982 ; de Marsily, 1994 et 1981 ; Rollin et Quiot, 2006)

### **7.2.1 Définition :**

#### **7.2.1.1 Modèle :**

Simplification dans la réalité dans le but est comprendre l'évolution d'un système réel pour pouvoir en prédire l'évolution.

La plupart des modèles hydrologiques utilisés de nos jours sont des modèles mathématiques déterministes, ils sont basés sur les principes de la conservation de la masse et leurs mise en oeuvre nécessite généralement la résolution d'équations différentielles partielles.

Des solutions exactes peuvent être obtenues analytiquement (modèle analytique) alors que les méthodes numériques fournissent des solutions approchées à travers la discrétisation du système dans l'espace et dans le temps (modèle numérique).

#### **7.2.1.2 Modélisation numérique**

##### **7.2.1.2.1 Objectifs de la modélisation**

La modélisation numérique est un outil qui permet de synthétiser et reproduire des observations. Elle demande une démarche propre et des questions préalables.

Qu'est-ce que je cherche à modéliser ? Qu'est-ce que j'attends de mon modèle ? Quel logiciel choisir ?

Tout d'abord, nous avons utilisé l'outil numérique dans le but de simuler la dynamique saisonnière de la culture en question et de la redistribution de l'eau dans la zone non saturée du profil du sol.

Nous avons choisi le logiciel WaSim (Water simulation) car il s'agit d'un logiciel spécialisé dans le couplage irrigation drainage salinité.

### 7.3 Présentation de parcelle d'étude et principe de simulation associée.

Travailler sur des micro-parcelles simplifie les processus en jeu et permet de se focaliser sur le transport des solutés (mobilisation locale des Seles). Les problèmes d'hétérogénéité de texture, de structure, de comportement par rapport à l'infiltration ne sont pas pris en compte à cette échelle. C'est pourquoi, le travail sur des micro-parcelles est très utile. Cependant il nous permettra d'évaluer l'efficacité du modèle à estimer les potentialités de mobilisation des sels dans le drainage et l'infiltration sur un type de sol fréquemment rencontré sur le territoire étudié.

Pour faciliter la compréhension des lecteurs nous avons distingué le type de micro parcelle sur le quelle nous avons travaillé :

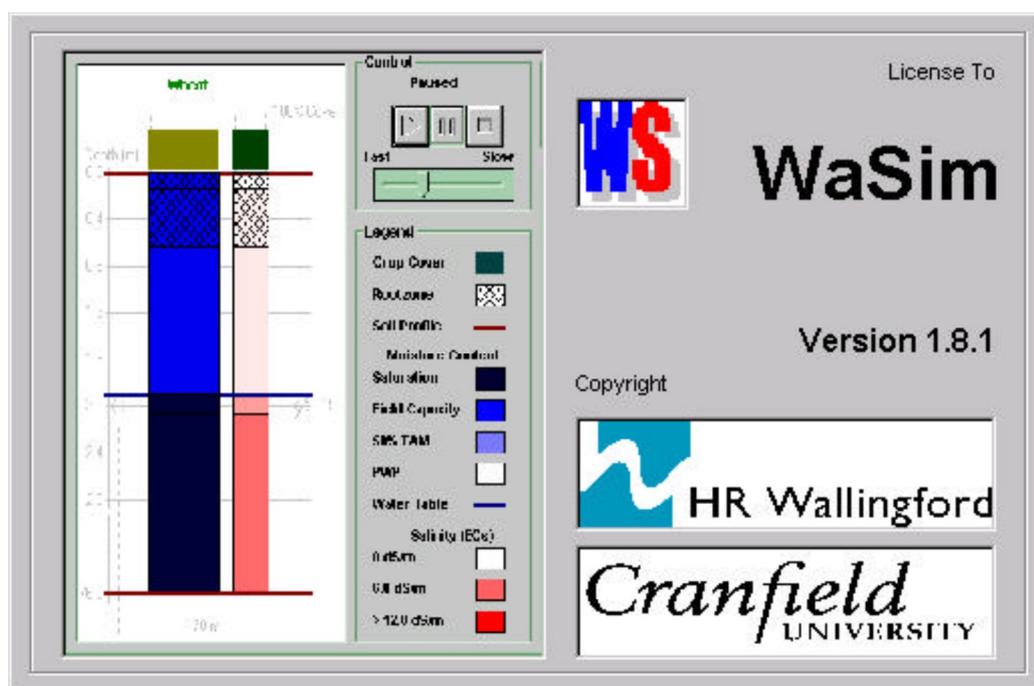
➤ **Les micro-parcelles de sol remanié:** Nous disposions de données météorologique observées dans des stations proches, et on va simuler le comportement du sol lors d'une précipitation naturelle (pluie) ou artificielle (irrigation) sur une année.

### 7.4 Présentation du modèle

#### 7.4.1 Le modèle: (Le logiciel Wasim)

Développé par HR Wallingford et l'Université de Cranfield (avec le soutien du DFID Département britannique pour le Développement international), Wasim est un programme assistée par ordinateur pour la démonstration des questions liées à l'irrigation, drainage et la gestion de la salinité. Wasim simule les relations entre le sol, l'eau et la salinité en réponse à différentes stratégies de gestion (par exemple des dessins de drainage et les pratiques de gestion de l'eau) et les scénarios de l'environnement (par exemple des données météorologiques, les types de sols, les systèmes de culture...ect) Wasim fonctionne sur un pas de temps journalier à l'aide des précipitations et des données historiques d'évapotranspiration de référence

Fig 7.1 Fenêtre principale de logiciel wasim



#### 7.4.2 Principe du modèle:

Le modèle est basé sur le bilan hydrique unidimensionnel du sol, qui vise à simuler le stockage de l'eau dans le sol et les taux d'entrée (pluie nette et irrigation) et de sortie (l'évapotranspiration et le drainage) d'eau en réponse au climat.

La limite supérieure est la surface du sol et la limite inférieure est la couche imperméable.

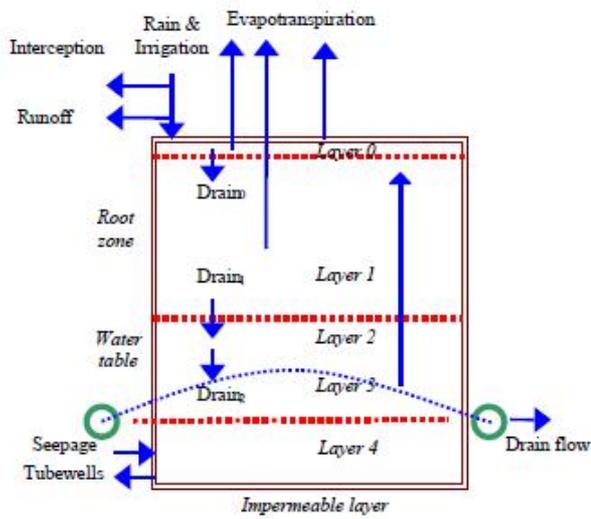
L'eau est stockée entre ces deux limites dans cinq magasins (couches):

1. La surface (0 - 0,15 m).
2. La zone racinaire active (0,15 m - profondeur des racines),
3. La couche non saturée sous la zone racinaire (profondeur des racines - nappe phréatique),
4. La couche saturée au-dessus de profondeur des conduites de drainage (nappe phréatique - la profondeur des drains),
5. La couche saturée au dessous de la profondeur du drain (drains -couche imperméable).

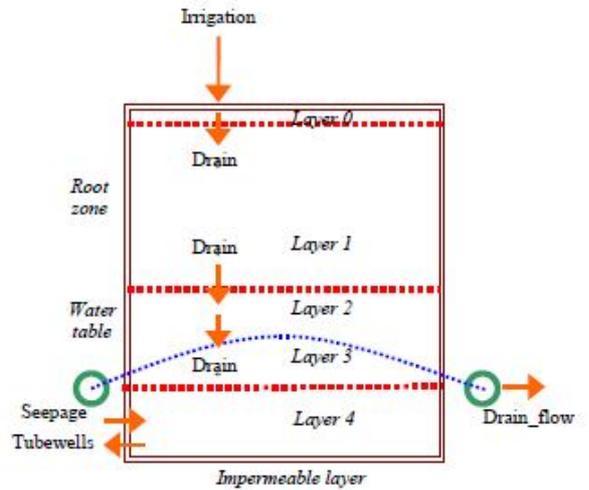
L'eau dans le profil du sol se déplace des couches supérieures aux couches inférieures lorsque la teneur en eau du sol de la couche sup dépasse la capacité au champ, mais le drainage est on fonction de la remonté capillaire de la nappe perchée.

Fig7.2 : bilan hydrique et salin utilisé dans WaSim

a) *water balance*



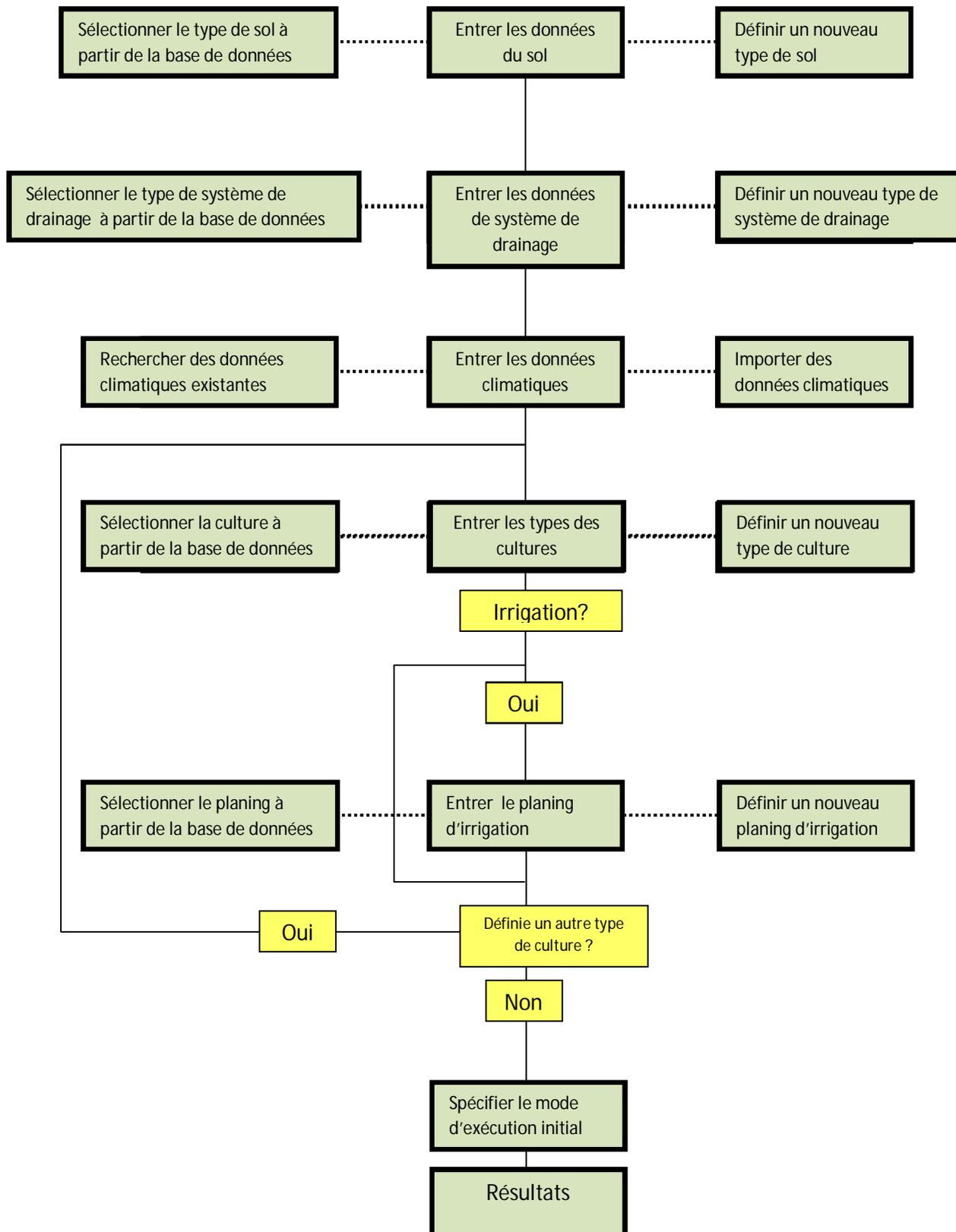
b) *salt balance*



**Le bilan salin**

Un bilan de masse de sel d'un profil à une dimension dont les limites sont les même que dans le modèle de bilan hydrique. Les entrées de sel pour les systèmes sont l'eau d'irrigation appliquée à la surface et les eaux d'infiltration.

Fig 7.3 : Schéma de fonctionnement du programme



En hydraulique agricole, l'excès d'eau se manifeste par la présence d'une nappe perchée au-dessus d'un horizon imperméable pendant les mois pluvieux. WaSim utilise la recharge nette de la nappe à chaque pas de temps afin d'en déduire les variations de hauteur de nappe. La recharge nette est définie comme étant la différence entre la pluie brute et la demande évaporative. L'équation différentielle résolue, déduite de l'équation de Boussinesq (Bouarfa et Zimmer, 2000), s'écrit :

$$C \cdot \mu \cdot \frac{dH(t)}{dt} = R(t) - J(H) - H(t) \cdot \mu \cdot \frac{dC}{dt} \dots \dots \dots (7.1)$$

où :

C : est un facteur de forme de nappe [-] ;

$\mu$  : est la porosité de drainage [-] ;

H (t) : est la hauteur de la nappe au temps t [L] ;

R (t) : est la recharge nette au temps t [L.T-1] ;

J(H) : est la fonction de Hooghoudt et correspond au débit évacué par le système en régime permanent [L.T-1].

Le terme de droite de l'équation (7.1) montre que le fonctionnement des systèmes drainants est régi par trois composants :

Le 1er composant est l'intensité de la recharge qui parvient à la nappe, le 2ème est la production de débit liée à la hauteur de la nappe, et le 3ème correspond aux déformations de la forme de la nappe qui conduit à des stockages/déstockages d'eau de cette dernière. L'importance relative de ces 3 composants dépend à la fois des caractéristiques du système drainant et du pas de temps de simulation.

Bouarfa et Zimmer (2000) ont montré que, pour ce qui est du système drainant, c'est le facteur  $\sigma = K/(\mu^2 \cdot L^2)$  qui détermine l'importance relative des trois termes. Ce facteur détermine en effet la " nervosité " du système et en particulier la fugacité des déformations de nappe. Les systèmes ayant un  $\sigma > 1$  sont " nerveux " et les déformations de nappe se produisent sur des durées brèves : même au pas de temps horaire, la prise en compte de ces déformations n'est pas très importante dans les simulations c'est-à-dire que le troisième terme du membre de droite de l'équation (7.1) peut être négligé :

$$C \cdot \mu \cdot \frac{dH(t)}{dt} = R(t) - J(H)$$

En effet, les trois paramètres K (conductivité hydraulique à saturation),  $\mu$  et L (longueur de l'interdrain) contrôlent la dynamique de mouvement de l'eau dans le sol. Ainsi, WaSim commence alors par déduire la variation de la hauteur de nappe au pas de temps comme suit :

$$\frac{dH(t)}{dt} = \frac{R_{h+1} - J(H)}{\mu \cdot C} \times (t_{h+1} - t_h)$$

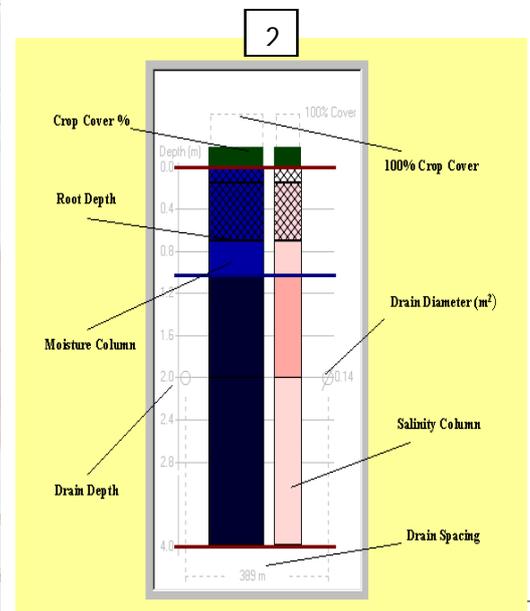
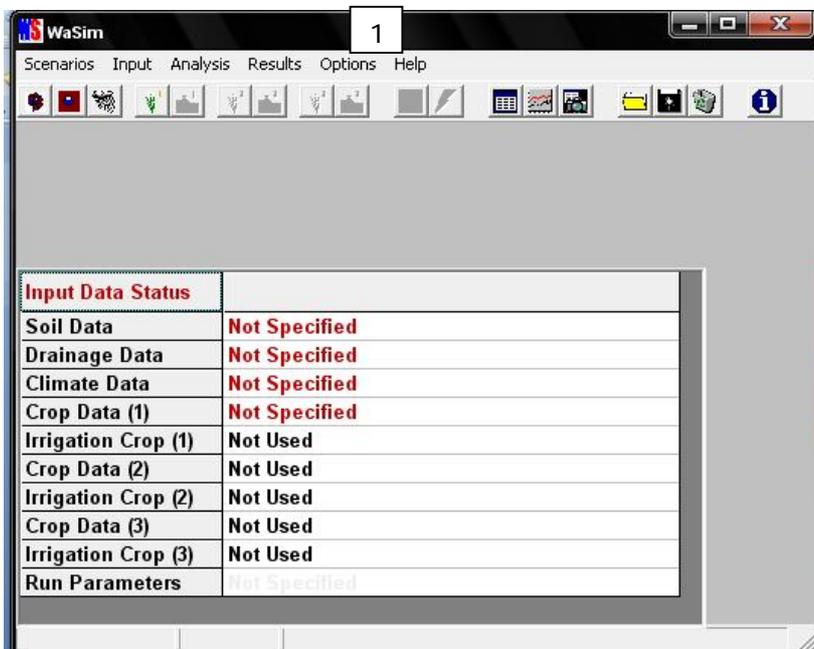
Wasim étant un modèle unidimensionnel, la première étape pour lui permettre de tenir compte du drainage agricole a été de lui faire calculer une hauteur de nappe, puis ensuite de lui faire calculer le débit supposé être drainé et de tenir compte de cette perte d'eau dans le calcul final du bilan hydrique.

### 7.5 Les données d'entrées

Avant l'exécution d'une simulation, toutes les données nécessaires doit être complétée. Les données d'entrées ont été divisé en 6 zones principales ayant chacune leur propre forme;

- 1- Type de sols.
- 2- Drainage.
- 3- le climat.
- 4- La culture.
- 5- l'irrigation.
- 6- paramètres d'exécution.

Fig 7.4 : 1/paramètres d'entrées. 2/profil du sol a simulé



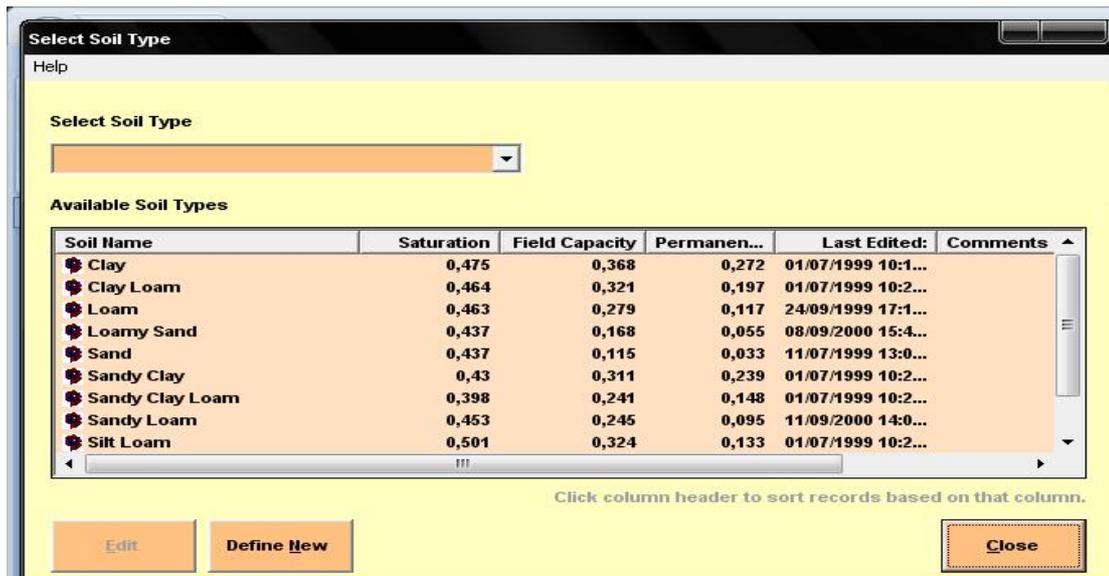
Dans cette simulation le profil testé est présenté dans la Fig 7.4 :2.

Les paramètres de ce profil s'explique par la prise en compte des différents données à savoir :

### 1- Type de sol

Le programme vous proposera une valeur en fonction d'une texture du sol indiqué,

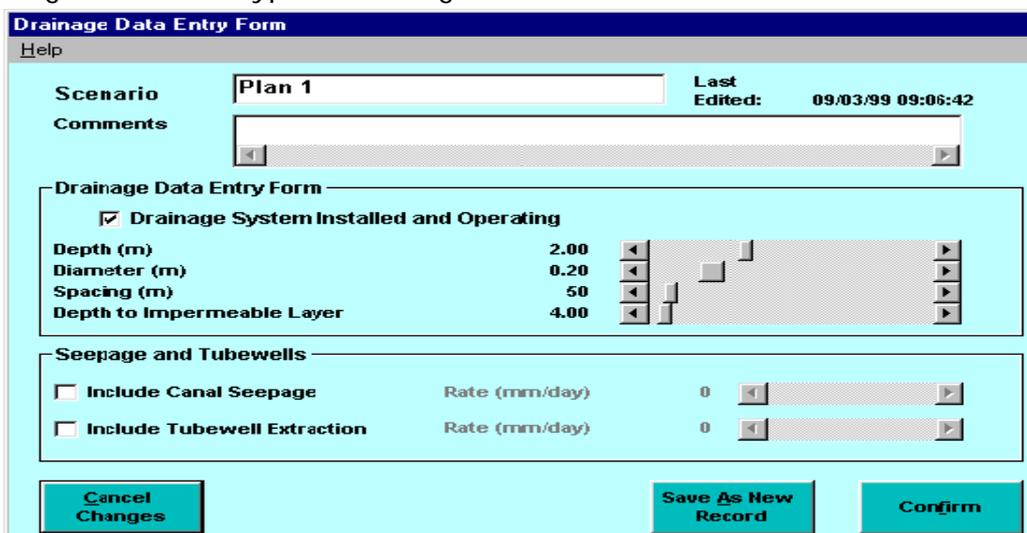
Fig 7.5 choix du type de sol



### 2- Type de drainage

La profondeur de drainage, l'espacement et le diamètre sont à préciser. Si cette case n'est pas sélectionnée, il sera supposé qu'il n'y a pas actuellement un système de drainage, bien que la profondeur de la couche imperméable doit être précisée

Fig 7.6 choix du type de drainage



### 3- les données climatiques

Avant qu'une simulation soit exécutée, les données climatiques doivent être chargées dans le programme. Le programme requiert les précipitations journalières et l'évapotranspiration de référence ou des données d'évaporation du bac.

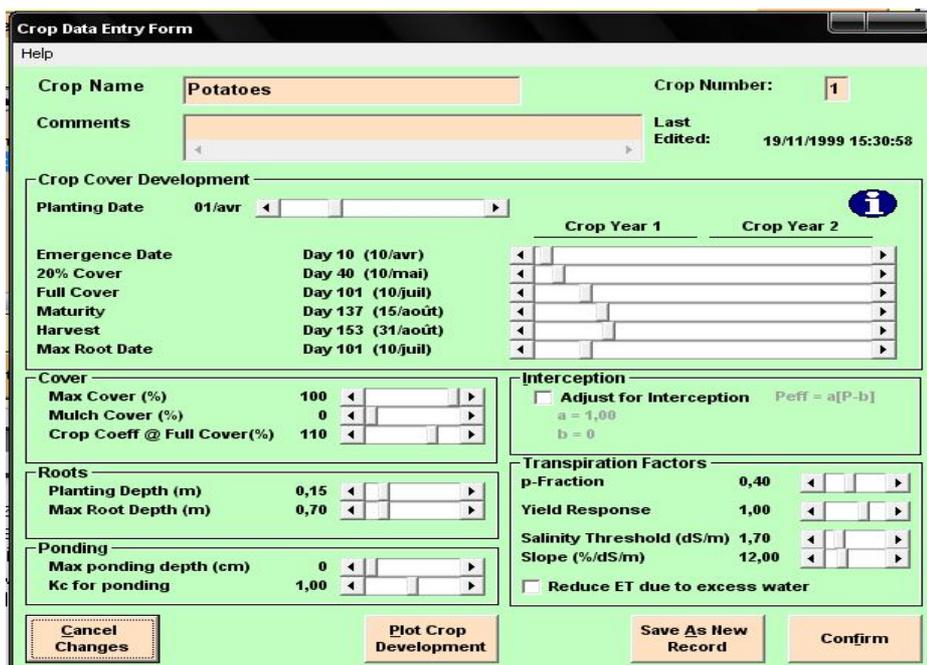
Fig 7.7 données climatique



### 4- Type de culture

Les détails du développement des cultures sont entrés dans le formulaire des données ci-dessus.

Fig 7.8 choix du type de culture



## 5- L'irrigation

Le calendrier d'irrigation sera rempli en fonction des données déjà obtenus de cropwat.

Fig 7.9 choix du modèle d'irrigation

## 6- Paramètres d'exécution

Une fois toutes les données nécessaires (sol, drainage, climat, type des cultures, et l'irrigation) ont été inscrites, les paramètres d'exécution doivent être précisés. Il s'agit notamment des dates de début et la fin de la simulation.

Fig 7.10

paramètres

d'exécution

### 8.1 Résultats et discussion

Les résultats obtenus par la simulation sont présentés dans le tableau suivant  
 Tableau N°8.1 résultats de simulation du 01/01/2001 au 31/12/2001

Summary Data				
Help				
Summary Data (01/Janv/2001 - 31/déc/2001)				
	Dr.NesrChelif.drr			
	Max	Min	Ave	Total
Root Depth (m)	0,00	0,70	0,22	--
Crop Cover	1,00	0,00	0,23	--
Rainfall (mm)	590,0	0,0	7,0	2 570,0
Interception (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0
Run Off (mm)	568,6	0,0	5,3	1 916,9
Actual ET (mm)	50,6	-17,7	8,1	2 974,3
Irrigation (mm)	25,0	0,0	6,1	2 240,0
Rzone Def (mm)	-2,1	62,1	14,7	--
W. T. Depth (m)	2,18	1,80	2,06	--
Drain Flow (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0
ECe Top Soil (dS/m)	10,22	5,21	8,21	--
ECe Rootzone (dS/m)	4,86	0,00	1,86	--
ECe Unsat. Zone (dS/m)	5,18	3,92	4,42	--
Water Fraction - Top S	0,383	0,137	0,285	--
Water Fraction - Rootz	0,320	0,232	0,281	--
Water Fraction - Unsat	0,311	0,292	0,306	--
EC Top Soil (dS/m)	27,22	7,85	12,80	--
EC Rootzone (dS/m)	8,36	0,00	3,22	--
EC Unsat. zone (dS/m)	7,16	5,42	6,21	--
EC Saturated zone (dS)	5,06	0,00	0,45	--
EC Ground water (dS/i)	0,00	0,00	0,00	--
EC Drain Water (dS/m)	0,17	0,00	0,00	--
W.C. in Topsoil(mm)	57,5	20,5	42,8	--
W.C. in Rootzone(mm)	132,1	0,0	37,8	--
W.C. in Unsat. Zone(m)	606,0	435,4	535,9	--
W.C in Sat. Zone (mm)	31,1	0,0	1,4	--

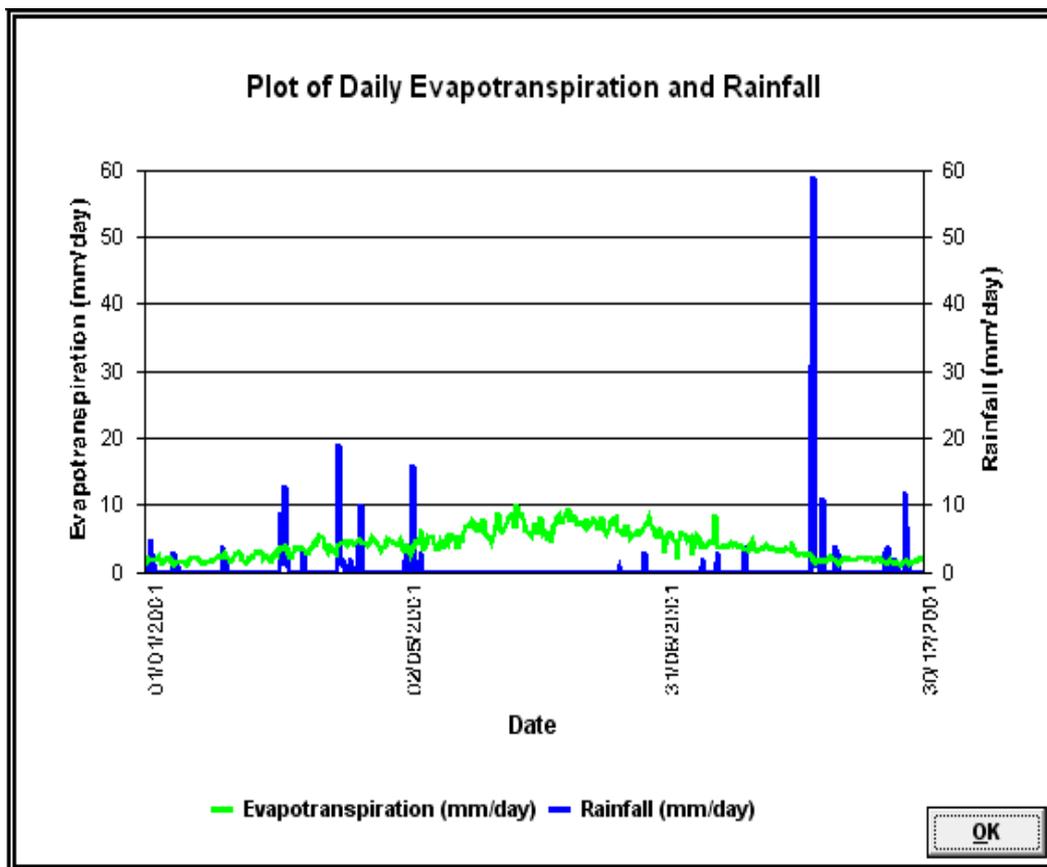
Close

La première analyse réalisée consiste à mettre en évidence les résultats hydriques observées afin d'évaluer leur évolution temporelle ainsi que leur variabilité.

Dans un premier temps, on peut noter en analysant les figures présentées ci-dessous, que les ordres de grandeurs sont comparables.

Nous avons fait figurer, sur le graphique ci-dessous, l'évolution journalière de la précipitation et l'évapotranspiration.

Fig 8.1 Evolution annuelle de l'évaporation et les précipitations journalière



La Figure 8.1 montre l'évolution journalière de l'année de simulation 2001 des flux.

On peut ainsi remarquer sur la courbe des précipitations :

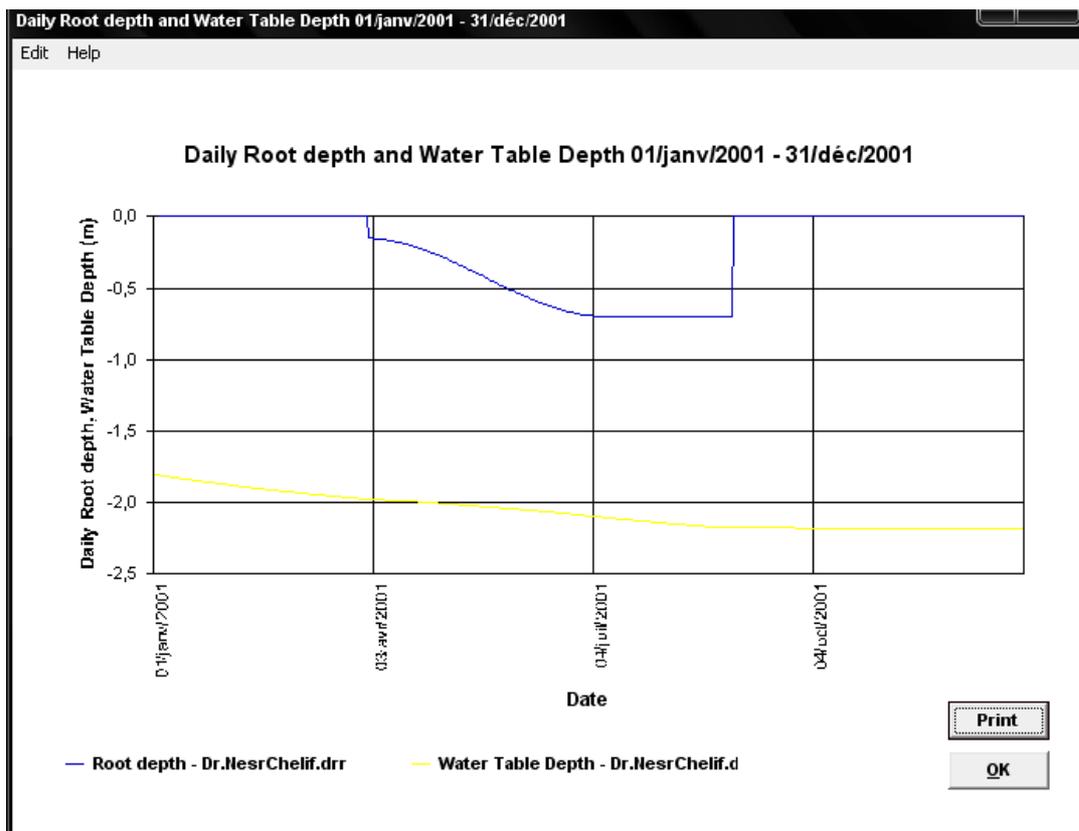
- Les saisons sèches et humides sont bien distinctes : La saison des pluies s'étend du 09 Novembre au 07 Mai 2001, La saison sèche, sans précipitation, occupe le reste de l'année.
- Des pluies isolées ont lieu fin Août et début septembre 2001.

L'évaporation peut être décrite comme suit :

- En saison humide l'*ETP* est faible (quelques dixièmes de mm.jr-1)
- Lors des précipitations isolées en saison sèche, l'*ETP* croit rapidement puis retrouve sa valeur faible en quelques jours.
- En début de saison des pluies, l'*ETP* est encore dépendante des précipitations mais sa valeur croit progressivement jusqu'à atteindre 5 mm/j autour du 15 février.
- Finalement, l'*ETP* retrouve une valeur basse une quinzaine de jours après les dernières pluies de l'année.

Pour analyser le fonctionnement des drains, nous avons confronté les résultats en termes de profondeur.

Fig 8.2 variation des profondeurs d'enracinement/hauteur de nappe



Lorsqu'on observe l'évolution générale des courbes fig 8.2, on remarque une fois de plus que les tendances de variations sont très faibles dans le temps, comme nous le montre le graphique ci-dessus.

On peut ainsi remarquer, pour chaque pas de temps, que les hauteurs des nappes sont peu variables en fonction du développement des racines. Les hauteurs correspondant aux dates d'implantation et de récolte sont respectivement -2.0 et -2.2, soit une variation de 0.2 en présence d'irrigation ce qui explique le drainage des eaux en excès.

Il est également important de noter que la variation de la salinité dans la zone racinaire suit une courbe décroissante ce qui assure la correspondance entre lessivage/concentration des sels.

Fig 8.3 variation des salinités au cours de temps dans la zone racinaire

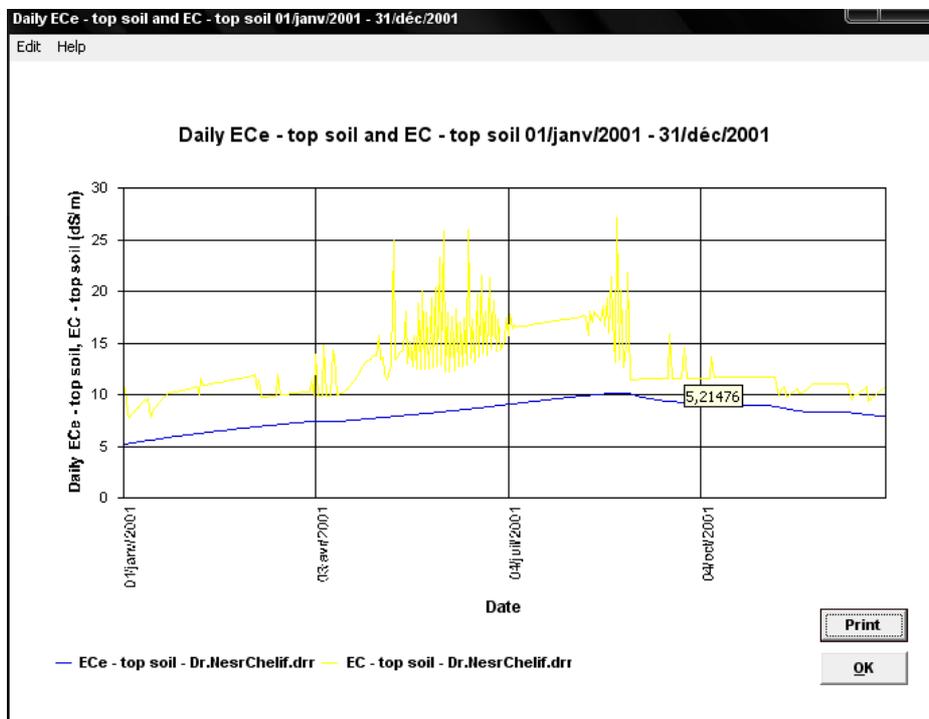
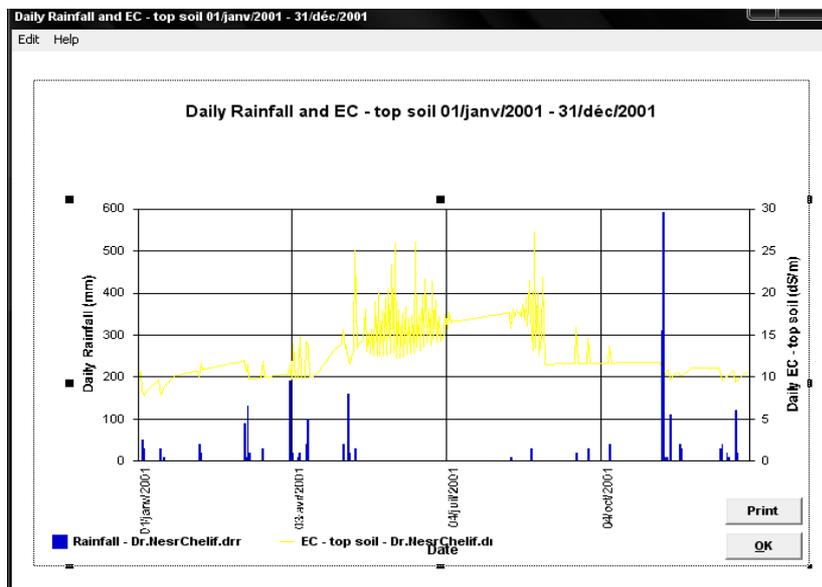
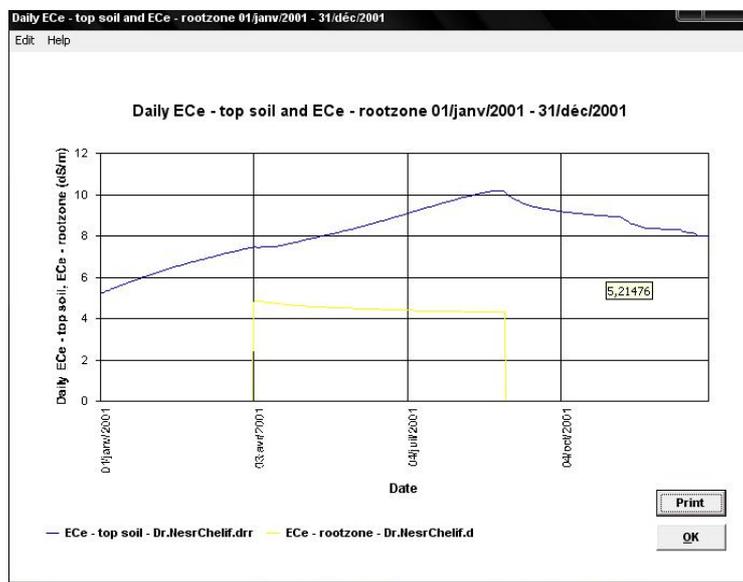


Fig 8.4 variation de la salinité en fonction des apports d'eau



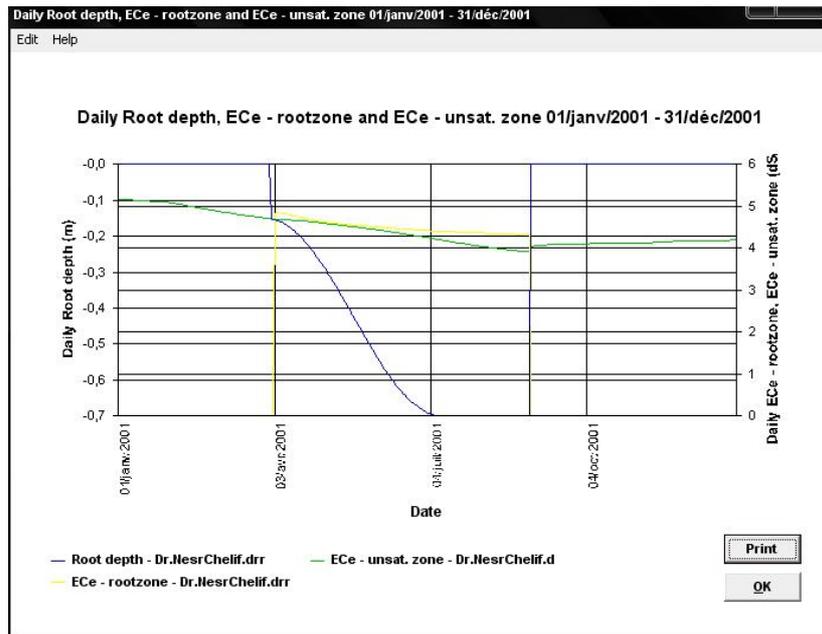
L'analyse des graphes 8.3 et 8.4 montre bien l'évolution de la conductivité au cours du temps avec une part importante au début de la saison sèche (mi mai en présence d'irrigation à des températures élevés 39°C) cette conductivité varie entre 13 et 18 ds/m avec des pic de 25 ds/m comme valeurs max. Au cours de cette période, la conductivité dans la zone supérieure accroît suite au phénomène d'évaporation. Par ailleurs, et dans les jours de faible température (mi octobre avec une température qui atteint les 21.20 °c) on observe une baisse de la conductivité (10ds/m).

Fig 8.5 conductivité initial dans la zone racinaire et les couches sup du sol



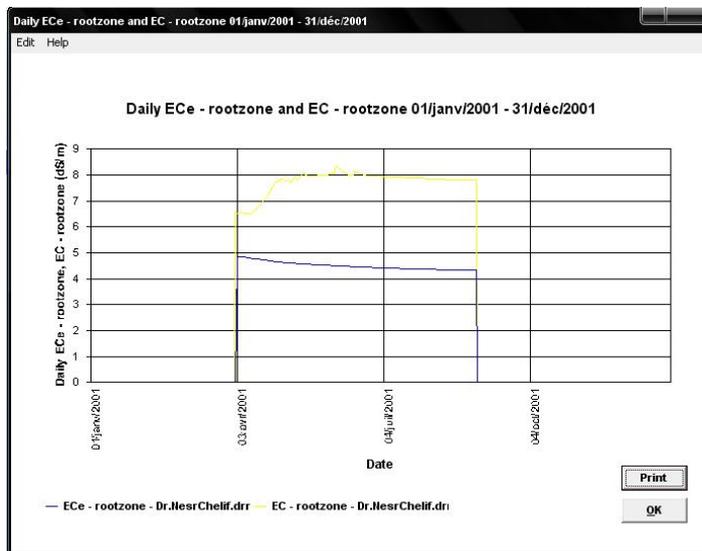
La conductivité initial dans la zone racinaire (fig 8.5) au début de l'implantation est de 5ds/m cette dernière à tendance de diminuer en fonction du développement des plantes jusqu'à atteindre les 4.2 ds/m.

Fig 8.6 variation de la salinité au début et à la fin du cycle végétal



Nous remarquons sur la Figure 8.6 une décroissance continue des conductivités électriques à partir du début d'implantation et qui ne cesse qu'en 1<sup>er</sup> juillet qui correspond au stade de maturité.

Fig 8.7 variation journalière de la conductivité électrique



Nous remarquons sur ce graphe que la diminution de la salinité est linéaire et en fonction du développement de la plante fig 8.7 (absorption par les racines et lessivage)

### Conclusion

L'outil de simulation développé pour prédire le transport des sels dans le sol et le drainage souterrain, permet une représentation très proche de la réalité des systèmes de drainage notamment dans les zones à forte salinité qui nécessitent des lessivages pour un bon rendement. La pertinence du modèle pour la validation des débits de drainage et des hauteurs de nappe a été démontrée dans plusieurs zones semi aride (selon l'université de Cranfield).

Le modèle s'est avéré un bon outil pour le choix du type de culture et le débit nécessaire au projet à travers une étude statistique des débits de drainage, simulés sur un longue période. (Selon l'université de Cranfield)

L'outil de simulation développé présente, cependant, un certain nombre de limitations liées :

- (I) à la paramétrisation des caractéristiques du sol qui reste dépendante du site expérimental.
- (II) au fait que la loi de prélèvement directe de la nappe par évapotranspiration n'a pas été validée.
- (III) à l'absence d'étude de l'interrelation des paramètres (sol-plante-climat).

Le modèle serait, cependant, utile pour d'autres régions où les données plante atmosphère sont disponible est le sol est caractérisé par des moyennes infiltrations donnant lieu à une absence de stagnation d'eau en surface.

### Difficultés rencontrés :

La difficulté principale dans ce type d'étude est d'interconnecter des modèles de nature très différentes : la modélisation de la répartition pluviométrique fait appel surtout à des phénomènes physiques, alors que la modélisation du système sol-plante-atmosphère s'appuie beaucoup plus sur une approche empirique.

Les questions auxquelles nous avons cherché à répondre (quels réglages ? quels modes d'utilisation ?) sont pertinentes, et demandent bien plus qu'une simple juxtaposition de modèles.

## **CONCLUSION**

A l'issue de ce travail, il est d'abord important de souligner que la modélisation du système (plante – sol – atmosphère) est un phénomène complexe. En effet, les facteurs influençant les flux et les mouvements d'eau dans le sol sont très nombreux et difficiles à cerner en totalité.

Les simplifications opérées sur les modèles mathématiques pour obtenir des solutions numériques ne sont pas toujours fiables et peuvent conduire à des approximations erronées. Certains processus pouvant influencer les mouvements de l'eau n'ont pas encore été développés dans nos modèles. A titre d'exemple, le prélèvement des éléments chimiques par les plantes, l'influence de l'activité de la microflore sur les propriétés physiques et chimiques du sol et l'influence de la température sur les processus chimiques ne sont pas encore pris en considération par le modèle wasim utilisé aux chapitres précédents pour la simulation.

Dans le cadre de cette étude. On a utilisé deux logiciels ; Le premier est simple permettant essentiellement l'estimation des besoins en eau d'une culture donnée et de planifier l'irrigation pendant un cycle végétal bien déterminé il s'agit de CROPWAT, ce logiciel nous a permis non seulement de calculer les besoins en eau d'une culture (pommes de terre) plantée sur 5Ha, qui sont de l'ordre de 260mm pendant le mois de juin (mois de pointe) ; mais aussi de planifier un calendrier d'irrigation. Le second modèle (WASIM) permet le suivi pas à pas (suivi journalier) du mouvement de l'eau et de la salinité dans un profil de sol donné.

Ce dernier logiciel nous aider au calcul théorique de la remonté de la hauteur de nappe phréatique à partir des données expérimentales soit : précipitations, évapotranspiration, types de sol, et autres paramètres.

En présence de drains, la nappe perchée n'atteint pas la surface, et son niveau ne dépasse pas -1.6m, dans ce cas de figure, elle n'atteint pas la zone racinaire et par conséquent, ne provoque pas l'asphyxie des racines.

Wasim nous a également permis le calcul de la variation de la salinité dans la zone racinaire et superficielle à pas de temps journalier, ainsi que l'influence de l'évapotranspiration sur le stockage de l'eau dans le sol.

De plus, Il offre une interface graphique agréable et facile à utiliser, intégrant la saisie des données et l'affichage des résultats sous trois formes différentes : textes, tableaux et graphiques.

Les paramètres nécessaires au bon fonctionnement des modèles ont été estimés à partir des données de terrain. En effet, les données entrées sont propre à la région de Chlef avec ses conditions climatiques, types de sols ainsi que ses habitudes culturelles.

*Selon moi les deux logiciels présentés dans ce travail méritent d'être validés dans d'autres conditions de périmètres irrigués en zones arides et semi-arides.*

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **BIBLIOGRAPHIE**

- Abd elkader BOUTHIBA 2006/2007 thèse doctorat; optimisation de l'irrigation de complément du blé dans la région de chlef,
- Abdelhamid BRADAI 2004/2005 thèse magistère; évaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine du moyen cheliff occidental; application de la géostatistique,
- Abdelilah Taky 2008: Maitrise des excès d'eau hivernaux et de l'irrigation et leurs conséquences sur la productivité de la betterave sucrière dans le périmètre irrigué du Gharb (Maroc)
- Abdelwaheb SARIAHMED 2002: l'hydrologie de surface
- Ali HAMMAN Drainage et assainissement des terres agricoles "Agriculture du Maghreb n°43" Avril 2010
- AROUSS M'hamed 2008,: contribution à l'étude de l'érosivité des pluies dans le SBVde BOUGUEDFINE
- Atif, E. M., Taky, A., Hammani, A.,& Bouarfa, S. (1999). Drainage de la plaine du Gharb. Proceeding de l'atelier sur le drainage dans le Gharb, Kénitra, Maroc du 21 au 23 1998
- Benjamin RENARD 2005 Probabilités et statistiques appliquées à l'hydrologie
- BNEDR 2010: étude de faisabilité technico-économique d'un périmètre de mise en valeur par la concession dans la commune d'ouled ben abdelkader,
- C, Brouwer 1990: gestion des eaux en irrigation ; manuel de formation N° 05 méthodes d'irrigation
- C, Brouwer 1995: gestion des eaux en irrigation ; manuel de formation N° 06; besoins et alimentation en eau des réseaux d'irrigation
- Cemagref 2010 Limiter les transferts des polluants d'origine agricole dans les bassins versants drainés.
- Christen, E.; Skehan, 2001: Design and Management of Subsurface Horizontal Drainage to Reduce Salt Loads. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 127, No3, Drainage Engineering, 127, No3.

- COSTORAMA "construire-organiser-aménager" Fi che Consei I n° 60. 01.
- Daniel ZIMMER 1993: Etudes hydraulique agricole N° 05; transferts hydriques en sols drainées par tuyaux enterrés, Cemagref.
- Dumm, L.D.1954 : Drain spacing formula. Agricultural Engineering 35.
- FAO 2000 Irrigation and Drainage Paper N° 56.
- FAO 2004 Capacity development in Paper N° 26 irrigation and drainage.
- G.C. MISHRA January 2010 A new drain spacing formula.
- Gaston REMENIERAS 1980 ; l'hydrologie de l'ingénieur .
- Hassan ELATTIR 2003 Manuel pratique du goutte a goutte en maraichage.
- Henine Hocine thèse doctorat 2006 Couplage des processus hydrologiques reliant parcelles agricoles drainées, collecteurs enterrés et émissaire à surface libre : intégration à l'échelle du bassin versant.
- HORTON J. H. et HAWKINS R . H.1965, Flow path of rain fiom the soil surface to the water table.
- HR waling ford 2001;Drainspace manuel - Design Modules October.
- HR Wallingford, cranfield university,2000 WaSim Technical Manual.
- HR Wallingford, cranfield university,2000 WaSim Tutorial Manual.
- HR Wallingford, cranfield university,2000 WaSim User Manual.
- HR Wallingford, cranfield university,2000, Reference Evapotranspiration Wasim Et Program
- Hydraulic Engineering Circular No. 22,2001 Second Edition URBAN DRAINAGE DESIGN MANUAL.
- Hydrology and water ressources management 2009 journal almand N° 53/2009.
- Isidor Storchenegger 2005, Barbara Bohne A New Solution to Non-Steady Drain Discharge.

- J. Stibinger 2005 An estimation of subsurface total drainage quantity in non-steady state drainage flow, and its verification in loamy soils.
- L,F, ERNST et J,J, WESTERHOFT 2005 Le developpement de la recherche hydrologique et son application au drainage aux pays-bas.
- LANGLOIS Fabien, 2006.- Influence de la variabilité de la pluie sur la production agricole dans le bassin de la Volta – Exemple du Maïs.
- PDMAS "Programme de Développement des Marchés Agricoles du Sénégal" avril 2010 Guides des bonnes pratiques d'irrigation de précision.
- Pierre-Emile Van Laere 2003 Mémento de l'irrigation.
- R. van 1998 DRAINAGE, OF IRRIGATED LANDS.
- Raymond lousert 1987: technique agricoles méditerranéennes.
- Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) 331 – 346 Etude comparative de deux modèles de calcul du rayonnement solaire par ciel clair en Algérie.
- Revue des sciences de l'eau vol. 16, n° 3, 2003, p. 285-304 « Ressources hydriques en Algérie du Nord ».
- Wilfrid VISSIN thèse doctorat 2007 Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger.
- ZELLA Lakhdar, KETTAB Ahmed OPTIMISATION D'UN RESEAU DE MICROIRRIGATION

## Site Internet

<http://www.agriculture.gov.bf>

<http://www.cranfield.ac.uk/sas/naturalresources/research/projects/wasim.html>

<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>

<http://www.fao.org>

<http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwat.stm> (logiciel CropWat)

<http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents>

<http://www.fao.org/ag/AGL/aglw/climwat.stm> (Climwat)

<http://www.fao.org/giews/workstation/page.jsp> (calendrier FAO)

<http://www.granddictionnaire.com>

<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/pub811/3othpro.htm#secheresse>

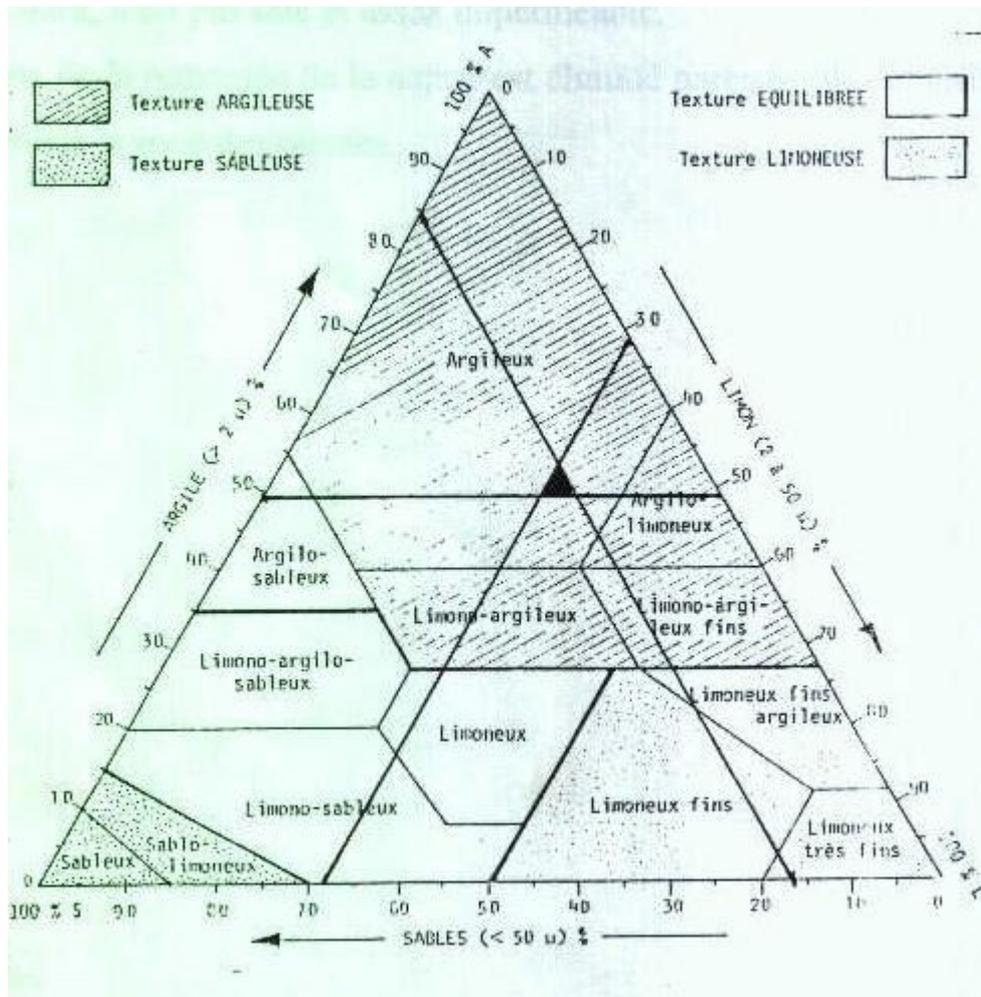
<http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/field/news/croppest/2005/11cpo05a4.htm>

<http://www.taleo.com>

<http://www.tutiempo.net/en/>

# ***ANNEXES***

Triangle de texture



## Conductivité électrique CE en mmhos/cm des ponts d'échantillonnages

points	ce
1	0
2	4.39
3	5.0
4	5.05
5	4.5
6	4
7	4.2
8	4.5
9	4.38
10	4.15
11	4.08
12	4.41
13	4.11
14	4.71
15	4.12
16	3.99
17	3.54
18	5.12
19	4.21
20	3.85
21	3.95
22	3.2
23	3.17
24	3.72
25	4.56
26	4.72
27	4.18
28	3.14
29	3.65
30	5.31

Bordereaux des résultats  
analyse du sol

Profil 01

horizon		H1	H2
Profondeur en cm		0-25	25-100
granulométrie en %	A	49.5	49.2
	LF	25.3	25
	LG	17.6	17.1
	SF	3.3	2.9
	SG	4.3	5.8
Caco3 total (en%)		14.6	12.4
caco3 actif (en%)		10.2	8.3
PH (au 1/5)		7.53	27.6
CE mmhos/cm (1/5)		6	5.5
MO%		3.49	1.32
C%		2.03	0.77
N%		0.18	0.08

Profil 02

horizon		H1	H2
Profondeur en cm		0-25	25-100
granulométrie en %	A	32.6	33.7
	LF	21.3	21.7
	LG	16.3	16.1
	SF	13.2	4.8
	SG	16.6	23.7
Caco3 total (en%)		26.3	25.9
caco3 actif (en%)		12.5	12.1
PH (au 1/5)		2.2	7.58
CE mmhos/cm (1/5)		5.58	6.6
MO%		1.5	0.79
C%		0.13	0.46
N%		34.35	0.05

## Profil 03

horizon		H1	H2
Profondeur en cm		0-25	25-100
granulométrie en %	A	43.5	36.1
	LF	22.3	21.8
	LG	18.1	15.7
	SF	8	11.7
	SG	8.1	14.7
Caco3 total (en%)		13.1	12.8
caco3 actif (en%)		8.2	7.1
PH (au 1/5)		7.54	7.43
CE mmhos/cm (1/5)		2.6	4.1
MO%		1.94	0.64
C%		1.13	0.37
N%		0.1	0.044

## Profil 04

horizon		H1	H2
Profondeur en cm		0-25	25-100
granulométrie en %	A	21.3	30.1
	LF	15.9	20.6
	LG	22.8	16.3
	SF	20.5	19.8
	SG	19.5	13.3
Caco3 total (en%)		3	3.8
caco3 actif (en%)		-	-
PH (au 1/5)		7.56	7.8
CE mmhos/cm (1/5)		4.1	4.26
MO%		1.55	1.14
C%		0.9	0.66
N%		0.08	0.07

## Profil 05

horizon		H1	H2
Profondeur en cm		0-25	25-100
granulométrie en %	A	22.4	24.7
	LF	15.6	16.5
	LG	21.5	20.7
	SF	19.4	13.1
	SG	21.1	25
Caco3 total (en%)		4	13.1
caco3 actif (en%)		-	6.8
PH (au 1/5)		7.43	7.48
CE mmhos/cm (1/5)		4.29	4.5
MO%		1.98	1.07
C%		1.15	0.62
N%		0.12	0.07

## Profil 06

horizon		H1	H2
Profondeur en cm		0-25	25-100
granulométrie en %	A	31.5	34.3
	LF	20.7	20.6
	LG	17.3	17.2
	SF	15.3	12.9
	SG	15.2	15
Caco3 total (en%)		4.1	3.4
caco3 actif (en%)		-	-
PH (au 1/5)		7.53	7.95
CE mmhos/cm (1/5)		3.33	3.21
MO%		2.1	1.31
C%		1.22	0.76
N%		0.13	0.082

## Profil 07

horizon		H1	H2
Profondeur en cm		0-25	25-100
granulométrie en %	A	41,6	35,4
	LF	22	21,6
	LG	14,1	17,8
	SF	11	6,5
	SG	11,3	18,7
Caco3 total (en%)		44,6	43,9
caco3 actif (en%)		19,1	18,2
PH (au 1/5)		7,57	7,82
CE mmhos/cm (1/5)		3.2	4,7
MO%		1,22	0,48
C%		0,71	0,28
N%		0,065	0,032

Tableau des pluies moyennes mensuelles et annuelles station sidi yacoub 12318

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1968	0	0	6,6	34	8,3	22,7	8,3	31,3	24,8	8	0	0	144,00
1969	1,1	27,9	21,9	50,1	11,5	7,5	18,2	31,9	8,1	8,6	0	0	186,80
1970	0	3,8	0,2	10,1	32,3	10,3	10,1	18,5	29	22	0	0	136,30
1971	13,5	12,2	37	19,3	37	95	42,8	5,7	33	0,5	0	2,7	298,70
1972	8,6	18	15,8	9,7	18,6	37,4	26	18,7	0	7,5	0	1,3	161,60
1973	6,4	2	8,6	11,9	1,7	17,6	38,2	25,3	0	6,5	0	0	118,20
1974	8,6	23,2	24	2,5	5,9	22	26,8	32,9	0	4,9	0	5,5	156,30
1975	1	4	19,3	15,9	18	25,7	5,8	5,7	20,4	3,5	3	48,8	171,10
1976	37,4	48,2	13,8	14,7	21,3	11,5	13,7	18	27,5	19,7	0,3	1	227,10
1977	1,5	10,6	16,6	33,4	31,1	4,5	20,5	29,4	18	0	0	0	165,60
1978	0	49,2	8,2	12,1	14,7	18,6	30,9	16,7	13,7	0	0	0	164,10
1979	16,5	18,8	9,7	20	6,3	11,2	21,5	11,5	12,2	0,4	0	0	128,10
1980	3,5	2,6	2,8	38,3	9,8	19,5	13,5	13,6	8,3	0,4	0	0	112,30
1981	1	3,5	0	14,9	7,8	8,3	20,1	6	13,4	0	0	0	75,00
1982	2,6	41,2	20	8,3	0	18,9	8,3	1,7	0	0	0	0	101,00
1983	0	2	11,7	10,5	17,4	6	13,9	2,6	17,7	18	0	0	99,80
1984	5,5	8,4	24,8	17,2	12	3,4	19	6,7	15,9	0	0	0	112,90
1985	2,6	4	7,2	7,8	34,8	20,3	27,4	3,8	0,3	0,7	0,5	0,3	109,70
1986	8,5	19,2	8,7	16,4	10,3	22,4	2,3	4	2,5	1,5	8,9	0	104,70
1987	5	8,6	15,4	5,3	18,5	6,1	13,8	7,5	14,3	4,9	0	0	99,40
1988	2,8	10,4	8,3	44,2	5,4	8,6	16,9	14	6,8	11	3,2	12,6	144,20
1989	13,7	8,1	8,9	3,4	16,1	1,5	11,5	12,2	11,3	0	1	0	87,70
1990	0	6,9	12,4	7,6	8,7	6	19,7	7,5	13,9	4,7	0,8	3,3	91,50
1991	0	11	18,3	8,6	1,6	26,2	14,9	18,1	3,9	0	0	0	102,60
1992	5,7	10,1	28,1	2,5	15,8	2,6	20,1	19,3	11,6	5,4	2	0	123,20
1993	13	13,8	10,5	8,9	11,5	33,4	0,3	19,7	4,2	0	0	0	115,30
1994	39	15,4	14,8	13,5	15,4	9	16,3	6,5	0	10,6	0	0	140,50
1995	19,4	7,5	9,7	7,5	9,2	18,2	20,9	12,3	6,4	0	9,2	0	120,30
1996	29,5	12,6	6,7	14,5	27,5	9,7	0	59,8	10	0	0	7,7	178,00
1997	10,5	9,6	30,8	8	6,6	5,1	1,6	30,2	21,6	0,9	0	0	124,90
1998	10,3	3	6	9,2	26,8	19,7	28,2	3	6,5	0	0	1	113,70
1999	17,5	8,5	13,5	19,9	3,3	0	23,3	3,2	3,9	0	0	0	93,10
2000	22,1	66,8	19,1	10,1	12,7	11,2	3,5	7,7	4,6	0	0	0	157,80
2001	2,7	4,3	58,6	12,4	4,6	4	12,9	18,5	16,2	0	0	3,3	137,50
2002	0	0	29,4	13,7	29,9	11,2	5,8	23,3	28,2	1,8	0	0	143,30
2003	0	4,1	11,2	26,4	15	14,5	6,2	9,5	24,2	4,3	0	0	115,40
2004	6,5	16	11,9	15	4,6	16,3	8,5	2	0,8	1,5	0	0	83,10
2005	5,5	11,9	23	14,9	20,7	30,6	8,5	1,5	40,8	15	0	0,9	173,30
2006	13,6	0	0	15	16,8	11,9	16,3	19,4	18,5	0	0	0	111,50
2007	32,3	11,8	21	6,3	9,7	17,1	14,3	10,7	19,8	13	2,8	0	158,80

<b>Ajustement à une loi de Gauss</b>
--------------------------------------

(moyenne=134,71 écart-type=42,03 taille 40 et I.C. à 95%)

Taille n= 40

Moyenne= 134,71

Ecart-type= 42,0319402

I.C. à (en%)= 95

U Gauss=

0,2700

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
144	298,7	1	0,0125	3,902	298,7000	298,7	293,579243	304,119902
186,8	227,1	2	0,0375	2,198	227,1000	227,1	223,864899	230,503635
136,3	186,8	3	0,0625	1,239	186,8000	186,8	184,459472	189,235549
298,7	178	4	0,0875	1,030	178,0000	178	175,817665	180,261303
161,6	173,3	5	0,1125	0,918	173,3000	173,3	171,193899	175,476495
118,2	171,1	6	0,1375	0,866	171,1000	171,1	169,02735	173,239032
156,3	165,6	7	0,1625	0,735	165,6000	165,6	163,604131	167,652218
171,1	164,1	8	0,1875	0,699	164,1000	164,1	162,123258	166,130355
227,1	161,6	9	0,2125	0,640	161,6000	161,6	159,653293	163,595759
165,6	158,8	10	0,2375	0,573	158,8000	158,8	156,884075	160,75987
164,1	157,8	11	0,2625	0,549	157,8000	157,8	155,894307	159,747813
128,1	156,3	12	0,2875	0,514	156,3000	156,3	154,408883	158,230501
112,3	144,2	13	0,3125	0,226	144,2000	144,2	142,389899	146,027412
75	144	14	0,3375	0,221	144,0000	144	142,19066	145,826287
101	143,3	15	0,3625	0,204	143,3000	143,3	141,493167	145,122503
99,8	140,5	16	0,3875	0,138	140,5000	140,5	138,700769	142,309793
112,9	137,5	17	0,4125	0,066	137,5000	137,5	135,704556	139,300534
109,7	136,3	18	0,4375	0,038	136,3000	136,3	134,504796	138,098104
104,7	128,1	19	0,4625	-0,157	128,1000	128,1	126,286889	129,901053
99,4	124,9	20	0,4875	-0,233	124,9000	124,9	123,070747	126,711358
144,2	123,2	21	0,5125	-0,274	123,2000	123,2	121,36013	125,018874
87,7	120,3	22	0,5375	-0,343	120,3000	120,3	118,438825	122,134889
91,5	118,2	23	0,5625	-0,393	118,2000	118,2	116,320941	120,048943
102,6	115,4	24	0,5875	-0,459	115,4000	115,4	113,493986	117,270789
123,2	115,3	25	0,6125	-0,462	115,3000	115,3	113,392959	117,171634
115,3	113,7	26	0,6375	-0,500	113,7000	113,7	111,775939	115,585735
140,5	112,9	27	0,6625	-0,519	112,9000	112,9	110,967019	114,793196
120,3	112,3	28	0,6875	-0,533	112,3000	112,3	110,360152	114,198969
178	111,5	29	0,7125	-0,552	111,5000	111,5	109,550762	113,406899
124,9	109,7	30	0,7375	-0,595	109,7000	109,7	107,72868	111,625697
113,7	104,7	31	0,7625	-0,714	104,7000	104,7	102,660707	106,68455
93,1	102,6	32	0,7875	-0,764	102,6000	102,6	100,52941	104,612016
157,8	101	33	0,8125	-0,802	101,0000	101	98,904536	103,033971
137,5	99,8	34	0,8375	-0,831	99,8000	99,8	97,6853169	101,851002
143,3	99,4	35	0,8625	-0,840	99,4000	99,4	97,2788056	101,456783
115,4	93,1	36	0,8875	-0,990	93,1000	93,1	90,8697281	95,2543686
83,1	91,5	37	0,9125	-1,028	91,5000	91,5	89,2401923	93,6809856
173,3	87,7	38	0,9375	-1,118	87,7000	87,7	85,3673325	89,9469136
111,5	83,1	39	0,9625	-1,228	83,1000	83,1	80,6744226	85,4314324
158,8	75	40	0,9875	-1,421	75,0000	75	72,3998664	77,4912128

**Ajustement à une loi de Gumbel**

(mode=296,33 gradex=88,55 taille=40 et I.C. à 95%)

Taille n= 40

Xo= 296,33

U

g= 88,55

I.C. à (en%)= 80

Gauss=

0,2700

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
144	298,7	1	0,0125	-1,478	298,70	165,50	158,35	172,15
186,8	227,1	2	0,0375	-1,189	227,10	191,05	184,84	196,87
136,3	186,8	3	0,0625	-1,020	186,80	206,03	200,32	211,40
298,7	178	4	0,0875	-0,890	178,00	217,48	212,13	222,55
161,6	173,3	5	0,1125	-0,782	173,30	227,13	222,05	231,95
118,2	171,1	6	0,1375	-0,685	171,10	235,66	230,80	240,30
156,3	165,6	7	0,1625	-0,597	165,60	243,45	238,78	247,93
171,1	164,1	8	0,1875	-0,515	164,10	250,71	246,19	255,07
227,1	161,6	9	0,2125	-0,437	161,60	257,59	253,20	261,86
165,6	158,8	10	0,2375	-0,363	158,80	264,19	259,90	268,38
164,1	157,8	11	0,2625	-0,291	157,80	270,58	266,37	274,72
128,1	156,3	12	0,2875	-0,220	156,30	276,82	272,66	280,92
112,3	144,2	13	0,3125	-0,151	144,20	282,95	278,84	287,04
75	144	14	0,3375	-0,083	144,00	289,01	284,92	293,10
101	143,3	15	0,3625	-0,015	143,30	295,04	290,95	299,15
99,8	140,5	16	0,3875	0,053	140,50	301,05	296,95	305,21
112,9	137,5	17	0,4125	0,122	137,50	307,10	302,96	311,30
109,7	136,3	18	0,4375	0,190	136,30	313,18	309,00	317,46
104,7	128,1	19	0,4625	0,260	128,10	319,35	315,10	323,72
99,4	124,9	20	0,4875	0,331	124,90	325,61	321,28	330,09
144,2	123,2	21	0,5125	0,403	123,20	332,00	327,56	336,60
87,7	120,3	22	0,5375	0,477	120,30	338,54	333,99	343,30
91,5	118,2	23	0,5625	0,553	118,20	345,28	340,59	350,19
102,6	115,4	24	0,5875	0,631	115,40	352,24	347,39	357,34
123,2	115,3	25	0,6125	0,713	115,30	359,46	354,44	364,77
115,3	113,7	26	0,6375	0,798	113,70	367,00	361,78	372,54
140,5	112,9	27	0,6625	0,887	112,90	374,91	369,46	380,70
120,3	112,3	28	0,6875	0,982	112,30	383,25	377,56	389,33
178	111,5	29	0,7125	1,082	111,50	392,13	386,16	398,51
124,9	109,7	30	0,7375	1,189	109,70	401,63	395,35	408,35
113,7	104,7	31	0,7625	1,305	104,70	411,89	405,28	419,01
93,1	102,6	32	0,7875	1,432	102,60	423,11	416,11	430,66
157,8	101	33	0,8125	1,572	101,00	435,53	428,08	443,56
137,5	99,8	34	0,8375	1,730	99,80	449,50	441,54	458,10
143,3	99,4	35	0,8625	1,911	99,40	465,56	457,00	474,83
115,4	93,1	36	0,8875	2,126	93,10	484,56	475,27	494,64
83,1	91,5	37	0,9125	2,391	91,50	508,02	497,82	519,11
173,3	87,7	38	0,9375	2,740	87,70	539,00	527,56	551,45
111,5	83,1	39	0,9625	3,264	83,10	585,39	572,07	599,91
158,8	75	40	0,9875	4,376	75,00	683,80	666,40	702,79

## GUIDE D'ESTIMATION DE P

(p = pourcentage de sol humidifié pour divers débits de distributeurs et divers espacements entre rampes et entre distributeurs dans le cas d'une seule rampe rectiligne, équipée de distributeurs uniformément espacés délivrant une dose de 40 mm par arrosage sur l'ensemble de la surface )

Ecartement entre rampes $S_i$ en m	Débit des distributeurs														
	moins de 1,5 l/h			2 l/h			4 l/h			8 l/h			Plus de 12 l/h		
	Espacement recommandé des distributeurs sur la rampe, Sd en m														
	en sol de texture grossière (G), moyenne (M), fine (F)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1,0	0,6	1,0	1,3	1,0	1,3	1,7	1,3	1,6	2,0	
Pourcentage en sol humidifié p %															
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1,0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2,0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3,0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4,0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5,0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6,0	5	12	18	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

## Caractéristiques hydriques de quelques sols

Texture	Humidités pondérales en % du poids sec			Réserve utile volumétrique en mm/m
	à la rétention HCC	du flétrissement HPF	disponible HCC-HPF	
Sableuse	9 (6 à 12)*	4 (2 à 6)*	5 (4 à 6)*	85 (70 à 100)*
Sablo-limoneuse	14 (10 à 18)	6 (4 à 8)	8 (6 à 10)	120 (90 à 150)
Limoneuse	22 (18 à 26)	10 (8 à 12)	12 (10 à 14)	170 (140 à 190)
Limono-argileuse	27 (25 à 31)	13 (11 à 15)	14 (12 à 16)	190 (170 à 220)
Argilo-limoneuse	31 (27 à 35)	15 (13 à 17)	16 (14 à 18)	210 (180 à 230)
Argileuse	35 (31 à 39)	17 (15 à 19)	18 (16 à 20)	230 (220 à 250)