

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'HYDRAULIQUE
-ARBAOUI Abdellah-

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR D'ETAT EN
HYDRAULIQUE

Option : Conception Des Systèmes d'Irrigation-Drainage.

THEME :

**ETUDE DE L'UNIFORMITE DE L'ARROSAGE EN
IRRIGATION DE SURFACE : APPLICATION DU
LOGICIEL SIRMOD**

Présenté par :

M^r: KEMACHA LARBI

Devant le jury composé de :

Président: M^r B.BENLAOUKLI

Examineurs: M^{me} A.AZIEZ

M^r R.REKROUK

M^{elle} H.BOUCRAMA

Promotrice :

M^{me}: L.S. BAHBOUH

Octobre 2010

DEDICACES

Je dédier ce travail Particulièrement

A mes très chair parents.

A mes frères, Dada, Smail, Messaoud

A mes soeurs Zahra, Baya, Nana.

Larbi
Larbi

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier énormément :

Ma promotrice M^{eme} BAHBOUH L.S, qui m'a énormément aidé à achever ce travail, et tout ce que je peut dire d'elle, c'est quelle est une personne formidable.

Mes amis, mohand, lyes, soufiane, makhlouf, samir, redouane, et lillia.

Enfin tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

ملخص

ان الهدف من هذا العمل؛ هو تحسين مردود تقنية الري بالساقية باستعمال برنامج سرمود لهذا الصدد تم مقارنة نتائج النفاذية؛ المحسوبة تجريبيا بالنتائج المستخلصة من البرنامج. المقارنة التي تمت؛ مكنتنا من معرفة عدم جدوى استعمال سرمود؛ نظرا الى ان الفرات بين النتائج المحسوبة تجريبيا و المستخرجة من البرنامج كبيرة.

Résumé.

Le but de ce présent travail, est l'amélioration des performances de la technique d'irrigation par raie, en utilisant le logiciel SIRMOD.

Pour ce faire, Les résultats d'infiltration qui ont été calculés avec les données mesurées sur le terrain, sont comparés avec les résultats simulés par logiciel.

L'étude comparative a montré que les différences entre les valeurs simulées et mesurées sur le terrain sont importantes. De ce fait, le modèle ne peut être utilisé pour améliorer l'utilisation de l'eau par la technique d'irrigation par raie.

Abstract.

The objectif of this present work is, the improvement of the performances of furrow irrigation technique, by using software SIRMOD.

With this intention, the results of infiltration which were calculated with the data measured on the field are compared with the results simulated by software.

The comparative study showed that the differences between the values simulated and measured on the field are significant. So the model can not be used to improve the use of water by the furrow irrigation technique.

SOMMAIRE

Introduction générale

Chapitre I Généralités sur le sol et l'eau dans le sol

Introduction.....	1
I-1-1- Définition du sol.....	1
I-1-2- Principaux composants du sol.....	1
I-1-2-1-Phase gazeuse.....	2
I-1-2-2-Phase liquide.....	2
I-1-2-3-Phase solide.....	2
I-1-3- Fraction minérale.....	2
I-1-3-1- Minéraux argileux.....	2
I-1-3-2- Oxydes et oxyhydroxydes.....	3
I-1-3-3- Carbonates.....	3
I-1-4- Fraction organique.....	3
I-1-4-1- Matières organiques héritées et humifiées.....	3
I-1-4-2- Facteurs de l'humification.....	4
I-1-4-3- Le complexe argilo humique.....	4
I-1-5- Propriétés du sol.....	4
I-1-5-1- Propriétés physiques.....	4
I-1-5-2- Propriétés chimiques et physico-chimiques.....	6
I-2- l'eau dans le sol.....	7
I-2-1- Formes de l'eau dans le sol.....	7
I-2-1-1- Eau de constitution et fortement adsorbée.....	7
I-2-1-2- Eau de rétention capillaire.....	7
I-2-1-3- Eau gravitaire.....	7
I-2-2- Réserve utile en eau du sol.....	8
I-2-2-1- Humidité à la capacité au champ.....	8
I-2-2-2- Humidité au point de flétrissement.....	8
I-2-2-3- La réserve facilement utile.....	8
I-2-3- Méthodes de détermination des teneurs en eau.....	8

I-2-3-1- Méthode gravimétrique.....	8
I-2-3-2- Méthodes utilisant les rayonnements nucléaires.....	9
I-2-3-3- Méthodes électriques.....	10
I-2-4- Phénomènes physiques dans le sol.....	10
I-2-4-1- La conductivité hydraulique.....	10
I-2-4-2- Infiltration de l'eau dans le sol.....	10
I-2-4-3- Capacité d'infiltration et infiltrabilité.....	11
I-2-4-4- Facteurs influençant l'infiltration	11
I-2-5- Expressions mathématiques de l'infiltration.....	13
I-2-5-1- Model de Horton.....	13
I-2-5-2- Model de Philip	13
I-2-5-3- Kostiakov-Lewis.....	13
I-2-5-4- Green et Ampt.....	13
Conclusion.....	15

Chapitre II Les techniques d'irrigation de surface

Introduction.....	16
II-1- Irrigation par ruissellement.....	16
II-1-1- Les planches	16
II-1-2- Les rigoles de niveau	17
II-1-3- Les rases.....	17
II-1-4- Les plans inclinés.....	17
II-1-5- Les ados.....	18
II-1-6- Les raies.....	18
II-1-7- Les sillons ou microsillons.....	18
II-1-8- L'arrosage à la raie en courbes de niveau.....	18
II-1-9- Les rigoles d'infiltration.....	18
II-1-10- Irrigation par submersion.....	19
II-2- Irrigation mixte.....	19
II-2-1- Épandage des crues.....	19
II-2-1-1- Réseaux sommaires.....	19
II-2-1-2- Ouvrages d'amélioration de l'épandage	19

II-2-2- La raie courte.....	20
II-3- Les paramètres intervenant dans l’irrigation de surface	20
II-4- Efficience d’irrigation	21
II-4-1- Définitions.....	21
II-4-1-1- Efficience de l’irrigation.....	21
II-4-1-2- Efficience du réseau de transport.....	21
II-4-1-3- Efficience du réseau de distribution.....	21
II-4-1-4- Efficience de l’irrigation a la parcelle.....	21
II-4-1-5- Efficience globale d’un système d’irrigation.....	21
II-5- Paramètres dont dépend l’efficience de l’irrigation.....	21
II-6- Avantages et inconvénients de l’irrigation de surface.....	22
Conclusion.....	22

Chapitre III Présentation du logiciel SIRMOD

Introduction.....	23
III-1- Ecran d’ouverture.....	23
III-2- Les unités.....	23
III-3- Les boutons de SIRMOD.....	24
III-4- Les données d’entrée.	24
III-4-1- Régime d’alimentation (Inflow controls).....	24
III-4-1-1- Paramètres d’exécution (run parameters).....	25
III-4-1-2- La vitesse de simulation.....	26
III-4-2- La topographie et géométrie du champ (Field topography/geometry.....	26
III-4-2-1- La géométrie du champ (Field geometry)	27
III-4-2-2- Le système d’irrigation (Field system).....	27
III-4-2-3- Le coefficient de Manning (Manning-n values).....	27
III-4-2-4- La pente (compound slopes).....	27
III-4-2-5- Les paramètres de section (Flow section-cross).....	28
III-4-3- Caractéristiques de l’infiltration (Infiltration characteristics).....	28
III-4-3-1- Détermination des coefficients de l’équation d’infiltration (a, k, et f0).....	28
III-4-4- Hydrogramme d’entrées (Hydrograph inputs).....	29
III-5- La simulation (simulation).....	30

III-6- Conception (design).....	32
III-6-1- Données d'entrées pour la conception.....	32
III-6-1-1- Le débit total disponible.....	33
III-6-1-2- Le temps total de l'irrigation.....	33
III-6-1-3- La vitesse maximum de l'écoulement.....	33
III-6-1-4- Le débit unitaire.....	34
III-6-1-5- Le temps de coupure.....	34
III-6-1-6- Diviseur du champ.....	34
III-7- La Simulation.....	34
III-8- Les sorties (output).....	34
III-8-1 Le tracé de l'avancement et de la récession.....	34
III-8-2- Hydrogramme de ruissellement.....	35
III-8-3- courbe de l'infiltration.....	36
Conclusion.....	36

Chapitre IV Présentation générale de la zone d'étude

Introduction.....	37
IV-1-2- Climatologie.....	38
IV-1-2-1- Pluviométrie.....	38
IV-1-2-2- température.....	39
IV-1-2-3-Le vent.....	39
IV-1-2-4- Evaporation.....	40
IV-1-2-5- Insolation.....	40
IV-1-2-6- Humidité relative de l'air.....	40
IV-2-6- La géologie.....	45
Conclusion.....	45

ChapitreV Organisation de l'irrigation actuelle, et calcul des besoins en eau de la courgette

Introduction.....	46
V-1-1- Organisation de l'irrigation actuelle.....	46
V-1-1-1- les cultures en place.....	46
V-1-1-2- Réseau de distribution.....	46

V-1-2- Irrigation de la parcelle.....	48
V-2-1- Calcul des besoins en eau de la courgette.....	48
V-2-2- Détermination de l'année de calcul.....	48
V-2-3- Etude des précipitations annuelles.....	49
V-2-4- Calcul de l'évapotranspiration.....	51
V-2-4-1- L'évapotranspiration réelle.....	51
V-2-4-2- calcul de ET0.....	52
V-2-5- Les besoins en eau de la courgette.....	52
Conclusion.....	53

Chapitre VI Calcul de l'infiltration à partir des données recueillies sur le terrain

Introduction.....	54
VI-1- Description de a raie.....	54
VI-2- Description de l'irrigation.....	55
VI-2-1- Le débit en tête de raie.....	55
VI-2-2- Le temps de l'avancement.....	55
VI-2-3- La récession.....	55
VI-2-4- L'infiltration.....	55
VI-3- Le déroulement des irrigations.....	55
IV-3-2-La première irrigation.....	55
VI-3-3- La deuxième irrigation.....	56
VI-4- Infiltration à partir des données d'avancement.....	56
VI-5- Equation du bilan.....	56
VI-5-1- Fonction d'avancement de l'eau.....	56
VI-5-2- L'équation de Lewis-Kostiakov.....	57
VI-6- Evaluation des paramètres d'infiltration (k, a et f_0).....	57
VI-7- Evaluation de l'irrigation par raie.....	58
VI-7-1-Pour une irrigation complète et sur irrigation.....	59
VI-7-2-Pour sous irrigation.....	59
VI-8- Calculs pratiques.....	60
VI-8-1- la première irrigation.....	60
VI-8-1-1- Interprétation des résultats.....	64

⋮

VI-8-1-2- Calcul des indices de performance	64
VI-8-2- La deuxième irrigation.....	64
VI-8-2-1- Interprétation des résultats.....	68
VI-8-2-2-Calcul des indices de performance.....	68
Conclusion.....	68

Chapitre VII simulation

Introduction.....	69
VII-1- Introduction des données dans SIRMOD.....	69
VII-2- Résultats de simulation.....	69
VII-2-1- La première irrigation.....	69
VII-2-2- Interprétation des résultats	70
VII-3- La deuxième irrigation.....	70
VII-3-1-Interprétation des résultats.....	71
VII-4- Etude comparative.....	71
Conclusion.....	72
CONCLUSION GENERALE.....	73
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	74

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Composition élémentaire (moyenne des sols).....	2
Tableau I-2 : Échelle granulométrique de la texture du sol.....	5
Tableau III-1 : les boutons de SIRMOD.....	24
Tableau III-2 : limite max de vitesse d'écoulement suivant le type du sol.....	33
Tableau IV-1 : Pluies moyennes mensuelles.....	38
Tableau IV-2 : Nombre moyens des jours pluvieux.....	38
Tableau IV-3 : Températures moyennes interannuelles.....	39
Tableau IV-4 : Vitesses moyennes mensuelles des vents.....	39
Tableau IV-5 : Evaporation moyenne mensuelle.....	40

∴

Tableau IV-6 : Insolation moyenne mensuelle.....	40
Tableau IV-7 : Humidités relatives moyennes mensuelles.....	40
Tableau IV-8 : les limites de climat d'après l'indice de Martonne.....	41
Tableau IV-9 : Précipitations et double des températures.....	41
Tableau IV-10 : Composition texturale du profil réalisé a la parcelle.....	43
Tableau IV-11 : Caractéristiques de l'eau d'irrigation.....	44
Tableau V -1: Le classement des pluies et leurs fréquences.....	50
Tableau V-2: Pluies moyennes mensuelles.....	51
Tableau V-3 : Précipitations mensuelles de l'année de probabilité 80%.....	51
Tableau V-4: Calcul de ET0.....	52
Tableau V-5 : besoins en eau de la courgette.....	53
Tableau VI-1 : dimensions de la raie.....	54
Tableau VI-2 : Résultats pour la première irrigation.....	55
Tableau VI-3 : Résultats pour la deuxième irrigation.....	56
Tableau VI-4 : Valeurs des sections et périmètres mouillés.....	61
Tableau VI-5 : Résultats obtenus pour la première irrigation.....	63
Tableau VI-6: Valeurs des sections et périmètres mouillés.....	64
Tableau VI-7 : Résultats obtenus pour la deuxième irrigation.....	67
Tableau VII-1 : Lamme d'eau infiltrée suivant la longueur de la raie.....	69
Tableau VII-2 : lamme d'eau infiltrée suivant la longueur de la raie.....	70
Tableau VII-3 : Résultats mesurés et simulés pour la première irrigation.....	71
Tableau VII-4 : résultats mesurés et simulés pour la deuxième irrigation.....	72

Liste des figures

Figure (I-1) : Les constituants du sol.....	1
Figure (I-2) : Formation des complexes argilo-humiques.....	4
Figure (I-3) : Régime d'infiltration en fonction du temps pour différents types de sol.....	12
Figure (I-4) : Schématisation du processus de l'infiltration selon Green et Ampt.....	14

Figure (III-1) : écran d'ouverture de SIRMOD.....	23
Figure (III-2) : unités de SIRMOD.....	23
Figure (III-3) : régime d'alimentation.....	25
Figure (III-4) : géométrie et topographie du champ.....	26
Figure (III-5) : exemple de multi pente dans un terrain irrigué.....	27
Figure (III-6) : caractéristiques de l'infiltration.....	28
Figure (III-7) : table de détermination des coefficients de l'équation de l'infiltration.....	29
Figure (III-8) : Hydrogramme d'entrées.....	30
Figure (III-9) : exemple de simulation avec ruissellement en surface.....	31
Figure (III-10) : exemple de simulation sans ruissellement en surface.....	31
Figure (III-11) : panneau de conception.....	32
Figure (III-12) : exemple d'un tracé $T=f(L)$	35
Figure (III-13) : exemple d'un tracé $Q_{ruis}=f(T)$	35
Figure (III-14) : exemple d'un tracé $Z=f(L)$	36
Figure (IV-1) : Répartition des températures moyennes interannuelles.....	37
Figure (IV-2) : Diagramme ombrothermique.....	39
Figure (V-1) : Le forage en place et la conduite qui lui est raccordée.....	46
Figure (V-2) : la bâche d'eau.....	47
Figure (V-3) : La conduite liée à la bâche d'eau.....	47
Figure (VI-1) : forme de section de la raie.....	54
Figure (VI-2) : courbe d'infiltration pour une sous irrigation.....	60
Figure (VI-3) : courbe d'infiltration pour la première irrigation.....	63
Figure (VI-4) : courbe d'infiltration pour la deuxième irrigation.....	67
Figure (VII-1) : Courbe d'infiltration résultante de la simulation.....	70
Figure (VII-2) : Courbe d'infiltration résultante de la simulation.....	71

Introduction générale.

En Algérie, seulement 4 % de la surface agricole utile (SAU) est irriguée, en raison du manque d'eau. L'agriculture reçoit le plus faible quota des ressources en eau suite à un déficit hydrique chronique.

Le mode d'irrigation gravitaire, à la parcelle, est pratiqué sur plus de 50 % des superficies irriguées. L'irrigation par raies est une technique très répandue, car elle exige peu d'investissements, et s'adapte à de petites surfaces.

Néanmoins, cette technique valorise à peine 50 % des volumes d'eau alloués, et le reste étant perdu par infiltration.

Donc cette technique présente des taux d'efficacité très restreints, ce qui implique l'utilisation d'énormes quantités d'eaux.

Une des contraintes majeures à l'amélioration des performances d'irrigation par raie, réside dans la difficulté d'évaluer les multiples paramètres d'irrigation associés à cette technique, leurs interactions mutuelles et leurs utilisations dans le management de l'irrigation.

Notre sujet d'étude vise justement à développer les performances de cette technique en utilisant un des outils pour améliorer l'irrigation de surface qui est le logiciel SIRMOD.

En effet, il s'agit d'un des modèles nous permettant de prédire les performances de la technique en question, et d'évaluer les changements des variables qui peuvent améliorer son efficacité.

Notre travail est scindé en deux grandes parties :

Une synthèse bibliographique qui comporte des généralités sur le sol et l'eau dans le sol, des rappels sur les principales techniques d'irrigation de surface, un aperçu sur le logiciel.

La deuxième, est une partie qui comprend la présentation générale du secteur d'étude, l'organisation de l'irrigation actuelle et calcul des besoins de la courgette, le calcul de l'infiltration à partir des données recueillies sur le terrain, et enfin une simulation à l'aide du logiciel présenté.

Introduction.

L’homme s’est toujours tenu un engagement envers sa terre depuis les civilisations les plus anciennes, sans cette dernière, il ne serait pas parvenu à grand-chose aujourd’hui. C’est grâce à elle qu’il se nourrissait, s’abritait, et après tout, dans laquelle il retournerait. La terre ou le sol était pour lui une boîte noire qu’il exploitait au maximum mais dont les caractéristiques et les spécificités étaient de véritables mystères à découvrir. La science a permis à l’homme aujourd’hui de relever le défi et d’explorer le sol afin d’en connaître tous les secrets.

I-1-1- Définition du sol.

Si l’on s’en tient à la définition de Baize et Jabiol (1995), le sol ou couverture pédologique est une formation superficielle naturelle, meuble, de l’écorce terrestre, résultant de la transformation, au contact de l’atmosphère et des êtres vivants, de la roche mère sous-jacente, sous l’influence de processus physiques, chimiques et biologiques. Cependant le sol est un milieu vivant, complexe et dynamique, en évolution constante sous l’effet de différents paramètres tels que le climat, la topographie, la végétation et l’action de l’homme. Il joue un rôle d’interface entre les phases liquides et gazeuses dans l’environnement où il intervient comme système source, système transformateur, et système de transfert des éléments en trace (Berthelin et Leyval, 2000).

I-1-2- Principaux composants du sol.

Le sol est un milieu poreux où se déroule de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques. C’est un système multi composant ouvert formé par trois phases: solide, liquide, gazeuse. Comme tout système ouvert, il subit nombres d’échanges de matière et d’énergie avec l’atmosphère, la biosphère et l’hydrosphère. Les sols sont également considérés comme des milieux chimiquement réactifs où toutes les phases sont en équilibre.



Figure (I-1) : Les constituants du sol.

I-1-2-1-Phase gazeuse.

La phase gazeuse du sol est constituée par les mêmes éléments que l'air atmosphérique, mais à cause de l'activité biologique, les teneurs de chaque composant peuvent changer considérablement. Sa composition dépend elle-même de la profondeur.

I-1-2-2-Phase liquide.

La phase liquide du sol est principalement constituée par l'eau, dans laquelle sont présents les ions minéraux et des molécules organiques.

I-1-2-3-Phase solide.

La phase solide représente entre un demi et deux tiers du volume du sol en général, 90 % du solide est formé par des composants inorganiques.

I-1-3- Fraction minérale.

La composition des sols en éléments minéraux varie d'un sol à l'autre, le tableau suivant nous donne la composition élémentaire moyenne des sols.

Tableau I-1 : Composition élémentaire (moyenne des sols).

O ₂ (%)	Si (%)	Al (%)	Fe (%)	Ca (%)	Na (%)	K (%)	Mg (%)	H (%)	N (%)	Autres (%)
47	28	8	5	3,25	2,4	2,35	2,35	1	0,35	0,3

L'Oxygène et le silicium sont donc les deux principaux éléments. Certains constituants minéraux sont primaires, hérités directement de la roche mère (division sans transformation) Ex : oxydes de silicium comme quartz, très résistants à l'altération. La plupart, dans les horizons supérieurs, sont issus de la transformation chimique de ceux-ci, et forment le complexe d'altération. Celui-ci comporte des sels (carbonates de calcium ou de magnésium). Mais surtout des silicates (micas, argiles) et des hydroxydes de fer ou d'Al (Fe₂O₃, Al₂O₃), qui sont des colloïdes (Minéraux secondaires, ou néoformés).

I-1-3-1- Minéraux argileux.

En minéralogie, les argiles sont définies comme des roches composées principalement par les phyllosilicates d'aluminium, plus ou moins hydratés. Les argiles se présentent sur les formes de feuillets, de lattes et d'aiguilles. Elles sont constituées de couches d'octaèdres «O» Al(OH)₆ et de couches de tétraèdres «T» SiO₄ reliées par les atomes O et OH mis en commun. D'après la structure du feuillet, on distingue principalement les argiles T/O (1 couche tétraédrique + 1 couche octaédrique) et les argiles 2T/O (2 tétraédriques pour 1 octaédrique) (Alloway, 1992). Des exemples de minéraux argileux sont la kaolinite (f/O) Al₂SiO₅ (OH)₄ et l'illite K_{1-1,5}Al₄ (Si,Al)₈O₂₀ (OH)₄ (2T /O).

I-1-3-2- Oxydes et oxyhydroxydes.

Les oxydes et les hydroxydes de fer (goethite: FeOOH), de manganèse (manganite: MnOOH) et d'aluminium ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), sont les oxydes et les hydroxydes les plus couramment rencontrés dans les sols. Selon Soulier (1995), ce sont des minéraux de petite taille, finement dispersés, qui ont tendance à recouvrir d'autres particules de plus grande taille, comme le quartz.

L'unité de base des oxydes ou des oxyhydroxydes est un octaèdre $\text{Fe}(\text{O})_6$ ou $\text{Fe}(\text{O})_3(\text{OH})_3$ (Robert, 1996). Ces octaèdres sont assemblés de différentes manières selon les structures. En milieu aqueux, la surface des oxydes peut former des complexes avec l'eau. Des groupements OH^- se forment par la dissociation d'un proton et recouvrent la surface pour compléter la coordination des ions métalliques. Il y a apparition d'une surface hydrolysée (Tardy, 1980).

I-1-3-3- Carbonates.

Les minéraux carbonatés présents dans les sols sont la calcite (CaCO_3), la magnésite (MgCO_3), la dolomite ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), le carbonate de sodium ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) et la sidérite (FeCO_3). La calcite et la dolomite apparaissent comme des minéraux primaires ainsi que des minéraux secondaires. La calcite primaire est le produit de la désagrégation des silicates contenant du calcium, comme les pyroxènes ou amphiboles. La calcite, minérale secondaire, est le résultat de la précipitation de la solution du sol souvent enrichie en magnésium: on parle de magnésium calcite ($\text{C}_{1-y}\text{Mg}_y\text{CO}_3$).

I-1-4- Fraction organique.

I-1-4-1- Matières organiques héritées et humifiées.

Certaines macromolécules sont directement issues des débris organiques : dites héritées (surtout cellulose, lignine, protéines et lipides). D'autres sont synthétisées dans le sol, suite à des processus chimiques ou biochimiques complexes (l'humification) : surtout des composés aromatiques (c-a-d autour d'un noyau de 6 C).

Ces dernières se classent en acides fulviques, solubles dans l'eau, possédant un petit nucléus aromatique et acides humiques, au nucléus aromatique plus important, insolubles dans l'eau mais solubles dans solutions alcalines : en général, ils dérivent des acides fulviques par polycondensation. Enfin humines, au très gros nucléus, très stable (insolubles), et qui se fixe solidement aux argiles. Issue des acides humiques ou d'une synthèse bactérienne, ou d'un héritage de produits déjà présents dans la litière.

Les agents de l'humification sont les organismes vivants, et en particulier les microorganismes, qui secrètent des enzymes simplifiant les molécules (dépolymérisation), minéralisent (libèrent N et P sous forme minérale) et humifient. Bactéries et champignons surtout.

I-1-4-2- Facteurs de l'humification.

- La composition de la matière organique fraîche (la litière)
- Le climat.
- Aération.
- Richesse chimique du sol.

I-1-4-3- Le complexe argilo humique.

Le calcium du sol va constituer ce qu'on appelle un pont calcique. En effet, par réactions chimiques et mises en commun d'électrons, il va se lier à l'humus et à l'argile, pour former le complexe argilo-humique (CAH).

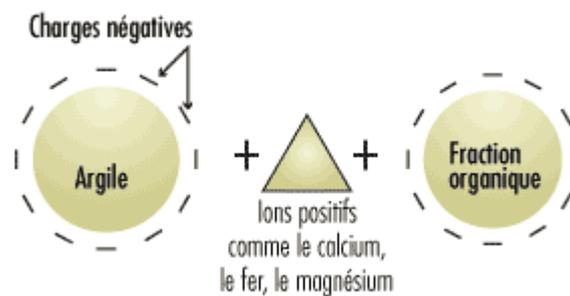


Figure (I-2) : Formation des complexes argilo-humiques.

I-1-5- Propriétés du sol.

I-1-5-1- Propriétés physiques.

I-1-5-1-1- La texture.

La texture du sol se définit par les proportions relatives de particules de dimensions différentes. Elle est la résultante du mélange argile, sable, limon, dont les pourcentages varient d'un sol à l'autre.

La texture peut s'apprécier sur le terrain ou être déduite de l'analyse granulométrique qui permet, précisément, de déterminer les proportions des diverses particules, réparties en classes de dimensions.

I-1-5-1-2- Importance de la texture.

La connaissance de la texture permet d'indiquer les tendances du sol quant à ses qualités physiques.

Les sols riches en sables sont perméables, filtrants, ce d'autant plus que le sable est grossier. Si aux éléments grossiers, s'adjoignent beaucoup de sable fin et de limon, ceux-ci tendent à colmater les interstices entre les éléments grossiers, rendant le sol plus ou moins imperméable.

Si des proportions suffisantes d'argile s'ajoutent aux limons et aux sables, surtout en présence

∴

d'humus, une structure fragmentaire peut prendre naissance, garantissant, à la fois, une perméabilité tout en retenant assez d'eau pour la végétation.

I-1-5-1-3- Échelle granulométrique de la texture du sol.

Tableau I-2 : Échelle granulométrique de la texture du sol.

Terre fine					Terre grossière	
Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers	Graviers	Cailloux
< 2 µm	2 µm à 20 µm	20 µm à 50 µm	50 µm à 200 µm	200 µm à 2 mm	2 mm à 20 mm	> 20 mm

I-1-5-1-4- La structure.

La structure du sol se définit par le mode d'assemblage des constituants solides. Elle est due à la cimentation des grains grossiers (limon, sable) par éléments colloïdaux, argile et humus associés en complexes argilo humiques.

I-1-5-1-5- Types de structures.

1- Structure fragmentaire.

L'agencement des grains, appelés agrégats est suffisamment espacé pour permettre à la fois une infiltration et une rétention suffisante de l'eau nécessaire à la végétation. De plus ceci favorise les interactions chimiques, donc le bon fonctionnement des cycles de l'azote, du carbone, du phosphore et du soufre : c'est la structure la plus intéressante pour l'agriculture.

2- Structure particulaire.

Elle se caractérise par une agrégation des particules insuffisamment fines et développées (la plage de sable). Sa capacité d'infiltration est très élevée mais sa capacité de rétention très réduite, le sol est donc incultivable.

3- Structure compacte.

À l'opposé de la structure particulaire, elle limite fortement l'infiltration de l'eau dans le sol qui s'engorge on le dit saturé en eau. Ce sol s'appauvrit en oxygène et devient difficilement pénétrable par les racines. Cependant, certaines plantes tolèrent ces conditions de vie.

I-1-5-1-6- Facteurs de structuration:

1- Facteurs favorables.

- Teneurs équilibrées en argile et en humus, riches en acides humiques.
- Présence de calcium.
- Teneurs suffisantes en oxydes de fer et d'aluminium.
- Présence de vers de terre (surtout les espèces fousseuses) jouant un rôle primordial dans la Formation des complexes argilo humiques.

2- Facteurs défavorables.

- Tassement et compaction par passage des engins lourds.
- Actions mécaniques des pluies battantes.
- Altération des ciments colloïdaux.

I-1-5-1-7- Effets de la structure.

- **Porosité du sol**, c'est-à-dire, le volume non occupé par les constituants solides du sol.

On distingue les pores capillaires des pores non capillaires.

La porosité du sol est d'importance primordiale pour la circulation de l'eau et de l'air, influençant les possibilités d'activités biologiques (racines, microflore, faune).

L'expérience semble montrer que l'optimum correspond à des proportions (sub)égales des deux types de pores.

- **Résistance de l'érosion** : la structure facilite l'infiltration des eaux de pluie et réduit le ruissellement en surface.

- Contacts sol- racines.
- Echanges thermiques entre le sol et l'atmosphère.
- Quelques moyens de conservation de la structure.
- Maintien sous couverture végétale
- Maintien des réserves humiques et calciques

I-1-5-2- Propriétés chimiques et physico-chimiques.

I-1-5-2-1- Eléments Nutritifs.

Ce sont des éléments chimiques qui se trouvent sous différentes formes ces derniers sont : Phosphore (P), potassium (K), Calcium (Ca), magnésium (Mg), Bore (B), cuivre (Cu), zinc (Zn), soufre (S), manganèse (Mn) et fer (Fe).

I-1-5-2-2- Sources d'éléments nutritifs dans le sol.

Les principales sources d'éléments nutritifs dans le sol sont:

- les éléments en solution.
- les réserves minéralogiques, libérées au fur et à mesure de l'altération des roches et des minéraux.
- les éléments retenus par le complexe sorbant.
- les éléments immobilisés sous forme organique.

I-1-5-2- 3- Capacité d'échange cationique (CEC).

Exprimée en mEq (milliéquivalents) par 100 grammes de sol. La CEC mesure la capacité du sol à retenir les cations (atomes d'éléments nutritifs chargés positivement) comme Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} et NH_4^{+} . La glaise et la matière organique sont chargées négativement. Les sols argileux et/ou riches en matière organique ont une CEC élevée et donc un potentiel de rétention de grandes quantités d'éléments nutritifs.

I-1-5-2-4- Le pH.

Mesure l'acidité du sol ; un pH inférieur à 7 indique que le sol est acide; au-dessus de 7, le milieu est alcalin (doux). La microfaune du sol ainsi que la quantité disponible d'éléments nutritifs essentiels sont influencées par son pH; la fourchette idéale se situe généralement entre 6 et 6,5. Le rapport d'analyse du sol inclut une recommandation d'amendement calcaire (t/ha) destiné à élever le pH du sol à une valeur donnée (généralement 6,5).

I-2- l'eau dans le sol.

I-2-1- Formes de l'eau dans le sol.

L'eau dans le sol se trouve sous plusieurs formes : eau de constitution, eau fortement adsorbée, réserve hydrique (eau de rétention capillaire), et la réserve hydrologique (eau gravitaire).

I-2-1-1- Eau de constitution et fortement adsorbée.

Cette fraction de l'eau est totalement indisponible, au moins jusqu'à ce que la roche soit altérée. Une autre fraction de l'eau est fortement adsorbée à la surface des colloïdes minéraux et organiques (argiles, humus), mais aussi sur divers autres minéraux. Les forces qui lient cette fraction de l'eau avec les particules du sol sont supérieures à la force de succion des racines des plantes (12 atmosphères). Cette eau ne peut donc pas être utilisée par les plantes, mais cette eau peut être sollicitée par les phénomènes d'évaporation directe.

I-2-1-2- Eau de rétention capillaire.

Une autre fraction de l'eau constitue ce que l'on appelle l'eau de rétention capillaire. Cette eau constitue des films dans les microporosités du sol. Les forces qui lient cette eau sont inférieures à 12 atmosphères, ce qui veut dire que les plantes peuvent mobiliser cette eau au niveau de leurs racines. Naturellement, cette eau peut être évaporée. Mais les forces exercées par la pesanteur sont trop faibles pour la percoler. Cette eau ne participe donc pas à l'approvisionnement des nappes. En outre, pour que cette eau soit mobilisable par évaporation ou par les plantes, il faut que la continuité des films capillaires soit conservée. Diverses pratiques culturales comme le sarclage (diminution du nombre des racines des adventices évapotranspirantes) ou le binage, sont des moyens connus, probablement depuis les débuts de l'agriculture, qui, en introduisant des discontinuités dans les films capillaires du sol, diminuent considérablement les phénomènes d'évapotranspiration et maintiennent au plus haut niveau possible cette fraction capillaire que l'on appelle aussi réserve hydrique du sol.

I-2-1-3- Eau gravitaire.

Cette eau remplit les macroporosités du sol. Les forces qui lient cette eau aux minéraux du sol sont trop faibles pour s'opposer à l'action de la pesanteur. Cette eau va donc s'infiltrer et percoler jusqu'à ce qu'elle rencontre un niveau de roches plus imperméables. Là, l'eau va s'accumuler en saturant le niveau de roches sus-jacent en constituant un aquifère (nappe phréatique quand l'aquifère est suffisamment proche de la surface pour être accessible par le creusement d'un puits). Cette fraction de l'eau est appelée réserve hydrologique du sol. Deux descripteurs sont importants pour comprendre les mécanismes de circulation de cette fraction de l'eau dans les profondeurs des roches : la porosité et la perméabilité.

I-2-2- Réserve utile en eau du sol.

La réserve utile (**RU**) en eau d'un sol, exprimée en millimètre d'eau, correspond à quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. La RU est encore la quantité d'eau comprise entre l'humidité à la capacité au champ et l'humidité au point de flétrissement.

I-2-2-1- Humidité à la capacité au champ.

Il s'agit de du taux d'humidité d'un sol ressuyé dans des conditions où le drainage est assuré librement.

I-2-2-2- Humidité au point de flétrissement.

Elle correspond au taux d'humidité d'un sol pour lequel l'eau est retenue avec une intensité supérieure aux forces de succion des racines. La tension superficielle est supérieure à la succion exercée par les racines. Si le sol atteint son point de flétrissement, la plante ne peut plus absorber l'eau du sol ce qui implique le flétrissement et la mort de la plante. Pour la plupart des cultures, le point de flétrissement est atteint lorsque le sol exerce sur l'eau des tensions de l'ordre de 15 à 16 bars. Pour l'olivier, la tension au point de flétrissement est de l'ordre de 25 bars, ce qui se traduit directement par une augmentation de la réserve utile par rapport aux autres cultures.

I-2-2-3- La réserve facilement utile.

La réserve facilement utile (**RFU**) en eau d'un sol, exprimée en millimètre d'eau, correspond à la fraction supérieure de la réserve utile (**RU**) pour laquelle la plante n'est pas amenée à réguler son évapotranspiration par les stomates.

I-2-3- Méthodes de détermination des teneurs en eau.

Trois groupes de méthodes sont utilisés pour déterminer les teneurs en eau :

- la méthode gravimétrique
- les méthodes utilisant les rayonnements nucléaires, neutrons et rayonnements γ
- les méthodes utilisant les propriétés électriques du sol ou des matériaux terreux. comme la conductivité et la capacité électrique

I-2-3-1- Méthode gravimétrique.

C'est à la fois la plus ancienne, la plus facile à mettre en oeuvre et la plus fiable des méthodes. Elle consiste simplement à prélever un volume connu de matériau terreux et à déterminer la masse d'eau qu'il contient.

Le prélèvement est effectué à l'aide d'un outil généralement de forme cylindrique, d'un volume de l'ordre de 50 à 500 cm³, mais il n'existe pas de limites particulières, sinon celles qui sont liées à la commodité de la manipulation. Il est important de fermer hermétiquement le récipient de prélèvement pour éviter les pertes d'eau par évaporation.

La détermination de la masse d'eau est faite par pesée des échantillons prélevés avant (**M**) et après leur dessiccation (**M_s**). La perte de masse ainsi déterminée permet de calculer la teneur massique en eau :

$$\omega = M - M_s \quad (\text{I-1}).$$

Le passage à la teneur volumique en eau nécessite la connaissance du volume de l'échantillon. On prend généralement le volume du récipient de prélèvement mais cela n'est valable que si le volume apparent de l'échantillon ne varie pas ou peu au cours de la dessiccation.

L'expérience montre qu'un chauffage à 105°C pendant 24 heures permet de déshydrater complètement la plupart des matériaux terreux. Toutefois, il faut se rappeler qu'une partie de l'eau d'hydratation des minéraux argileux n'est pas éliminée à cette température. Un chauffage à une température plus élevée aurait cependant l'inconvénient d'altérer certains minéraux et les constituants organiques de sorte que les conditions utilisées sont considérées comme un compromis satisfaisant.

La méthode gravimétrique est facile à mettre en oeuvre et elle est très précise (0.1g-0.3g/100g), mais son principal inconvénient est de nécessiter de nombreux prélèvements et de ne pas permettre des mesures en continu. Elle peut être utilisée pour déterminer les teneurs en eau aussi bien au laboratoire que sur le terrain. Compte tenu de sa nature, cette méthode donne une information non ambiguë et elle est toujours prise comme référence. Le prélèvement d'échantillons de matériau terreux en fait une méthode destructive, ce qui peut être aussi un autre inconvénient.

I-2-3-2- Méthodes utilisant les rayonnements nucléaires.

Deux méthodes ont été développées depuis plusieurs dizaines d'années ; elles utilisent soit l'atténuation d'un faisceau de neutrons, soit l'absorption de rayons γ

1- Atténuation des neutrons.

Des neutrons émis dans le sol subissent des collisions avec les noyaux des atomes des constituants du sol. Quand les collisions ont lieu avec des noyaux plus gros que les neutrons, ceux-ci subissent des chocs élastiques et leur vitesse de propagation est très peu modifiée. Au contraire, quand les collisions ont lieu avec des atomes d'hydrogène, les chocs ne sont pas élastiques et la vitesse des neutrons est beaucoup diminuée jusqu'à des valeurs correspondant à celles de l'agitation thermique. Les neutrons ainsi ralentis, sont appelés des neutrons thermiques. Leur nombre dépend de la quantité d'atomes d'hydrogène présente dans le milieu où se fait l'émission. Cette quantité dépend principalement de la masse d'eau présente (Pellegrin et Buscarlet, 1960). Pour une source donnée de neutrons, il suffit de déterminer la correspondance entre le nombre de neutrons ralentis et la teneur en eau par l'établissement d'une courbe d'étalonnage (Couchat, 1967). La présence d'une teneur élevée en matière organique (qui contient des atomes d'hydrogène) et en ion chlorure qui ralentit aussi les neutrons rend l'utilisation de cette méthode difficile dans certains sols.

2- Absorption des rayons γ .

Le principe et la détermination la masse volumique apparente des matériaux terreux. L'eau présente dans le matériau participe à l'absorption des rayons γ dont l'atténuation permet de calculer la masse à partir d'une courbe d'étalonnage (Bertuzzi et al. 1987). Cette technique est précise que la sonde à neutrons et sa résolution spatiale est meilleure, de l'ordre 0,5 cm. Elle est cependant d'une mise en oeuvre plus difficile.

I-2-3-3- Méthodes électriques

Elles sont basées sur des propriétés électriques des matériaux (la conductivité et la capacité électriques).

1-Méthodes basées sur la conductivité ou la résistivité électrique.

Il en existe deux types mis en oeuvre sur le terrain. Un premier type de dispositifs est constitué par des électrodes, deux ou plus, que l'on implante dans le sol. Une différence de potentiel électrique est appliqué entre ces électrodes et on mesure l'intensité du courant électrique qui traverse le matériau situé entre les électrodes, ce qui permet de calculer la conductivité, la résistance et la résistivité électrique correspondantes. Il faut procéder à un étalonnage préalable pour obtenir la relation entre la résistivité et la teneur en eau.

2- Méthodes basées sur la capacité électrique.

Il existe deux techniques utilisées :

La première consiste à confectionner un condensateur avec deux pièces métalliques en utilisant le matériau poreux comme diélectrique. Ce condensateur est connecté à un circuit oscillant qui permet la mesure de la capacitance du circuit ainsi constitué. La relation entre la capacité électrique du matériau et la teneur en eau est, là aussi, établie par un étalonnage.

La deuxième technique est basée sur la détermination indirecte de la constante diélectrique du sol. On place dans le sol deux tiges métalliques qui jouent le rôle de guides d'ondes dans lequel on fait passer un signal électromagnétique pulsé. Ce signal est réfléchi à l'extrémité des tiges et on mesure la durée de son trajet, ce qui permet de connaître sa vitesse de propagation. Celle-ci dépend du constant diélectrique du milieu, donc de la composition, de la structure du sol et de sa teneur en eau. Un étalonnage est nécessaire pour obtenir la relation entre la constante diélectrique et la teneur en eau.

I-2-4- Phénomènes physiques dans le sol.

I-2-4-1- La conductivité hydraulique.

Le coefficient K ou conductivité hydraulique atteint une valeur maximale lorsque le sol est saturé (K_S) et diminue très rapidement avec la teneur en eau. En effet lorsque la teneur en eau d'un sol décroît, ce sont les pores les plus larges qui se vident en premier : la section totale d'écoulement diminue de même que la vitesse moyenne, en raison de la disparition des zones de vitesses les plus élevées situées au centre des pores.

I-2-4-2- Infiltration de l'eau dans le sol.

L'infiltration qualifie le transfert de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou s'il est exposé à une submersion. L'eau d'infiltration remplit en premier lieu les interstices du sol en surface et pénètre par la suite dans le sol sous l'action de la gravité et des forces de succion. L'infiltration influence de nombreux aspects de l'hydrologie, du génie rural ou de l'hydrogéologie.

I-2-4-3- Capacité d'infiltration et infiltrabilité.

Lors d'un apport d'eau continu, sans stagnation de l'eau à la surface, on constate que la densité de flux infiltré diminue au cours du temps (ou encore avec le volume d'eau apporté) et tend vers une valeur limite qui est égale à la conductivité hydraulique en milieu saturé en eau. En l'absence de formation d'une lame d'eau stagnante à la surface, autrement dit quand toute l'eau apportée s'infiltré, la densité de flux infiltré, i , est une caractéristique instantanée du sol. On l'appelle l'infiltrabilité du sol (Hillel, 1980).

Le volume d'eau infiltré après un temps donné est:

$$I(t) = \int_0^t i(t) dt \quad (I-2).$$

Avec :

$I(t)$: volume total infiltré après un temps t [mm].

$i(t)$: flux d'eau pénétrant dans le sol en surface au temps t [mm/h].

La diminution de l'infiltrabilité que l'on observe a plusieurs causes:

- la diminution du gradient de potentiel hydrique au fur et à mesure que la teneur en eau du sol augmente
- la dégradation de la structure qui fait disparaître des pores de grandes dimensions
- le colmatage des pores par des particules solides mises en suspension
- le piégeage de l'air qui se comprime dans des pores et empêche la pénétration de l'eau

L'intérêt pratique du concept d' infiltrabilité réside dans la comparaison que l'on peut faire avec les apports d'eau.

I-2-4-4- Facteurs influençant l'infiltration.

1) Le type de sol (structure, texture, porosité.

Les caractéristiques de la matrice du sol influencent les forces de capillarité et d'adsorption dont résultent les forces de succion, qui elles-mêmes, régissent en partie l'infiltration.

2) La compaction de la surface du sol due à l'impact des gouttes de pluie (battance) ou à d'autres effets (thermiques et anthropiques).

L'utilisation de lourdes machines agricoles dans les champs peut par exemple avoir pour conséquence la dégradation de la structure de la couche de surface du sol et la formation d'une croûte dense et imperméable à une certaine profondeur (sensible au labour). La figure montre à titre d'exemple les différentes évolutions du régime d'infiltration au cours du temps selon le type de sol.

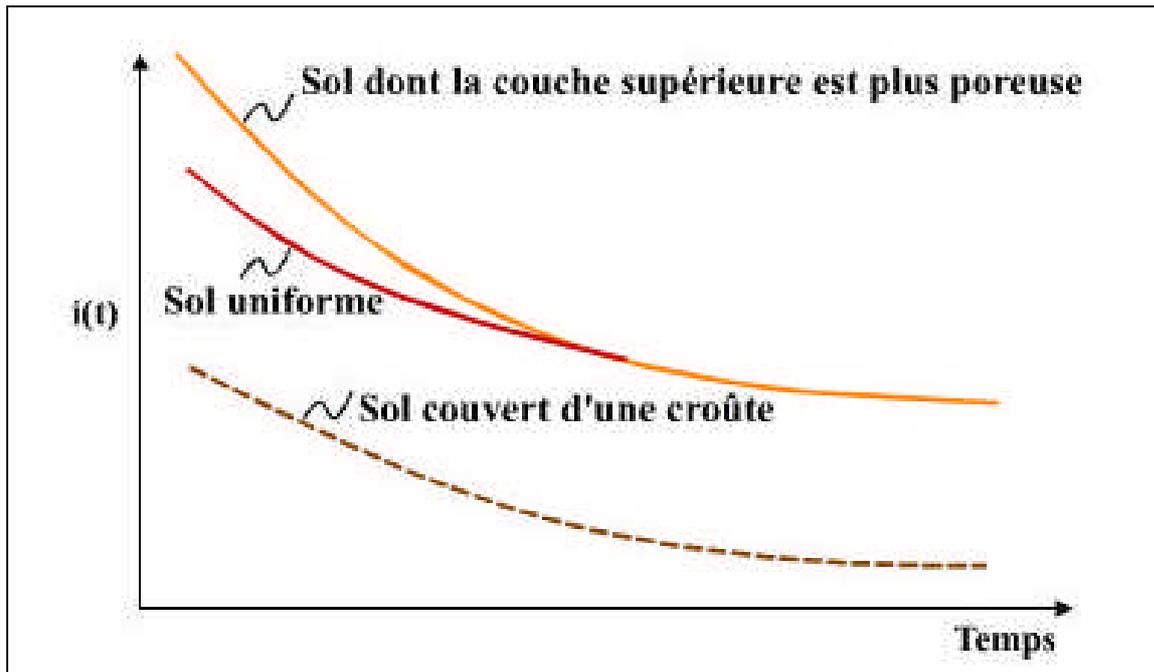


Figure (I-3) : Régime d'infiltration en fonction du temps pour différents types de sol (D'après Musy, Soutter, 1991)

3) La couverture du sol.

La végétation influence positivement l'infiltration en ralentissant l'écoulement de l'eau à la surface, lui donnant ainsi plus de temps pour pénétrer dans le sol. D'autre part, le système racinaire améliore la perméabilité du sol. Enfin, le feuillage protège le sol de l'impact de la pluie et diminue par voie de conséquence le phénomène de battance.

4) La topographie et la morphologie.

La pente par exemple agit à l'opposé de la végétation. En effet, une forte pente favorise les écoulements au dépend de l'infiltration.

5) La teneur en eau initiale du sol (conditions antécédentes d'humidité).

L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol. Le régime d'infiltration au cours du temps évolue différemment selon que le sol est initialement sec ou humide. L'humidité d'un sol est généralement appréhendée en étudiant les précipitations tombées au cours d'une certaine période précédant un événement pluvieux.

∴

I-2-5- Expressions mathématiques de l'infiltration.

I-2-5-1- Model de Horton.

$$i(t) = i_f + (i_0 + i_f)e^{-\beta t} \quad (\text{I-3}).$$

Avec :

$i(t)$: capacité d'infiltration au cours du temps [cm/s].

i_0 : capacité d'infiltration initiale [cm/s].

i_f : capacité d'infiltration finale [cm/s].

β : Constante caractéristique de la vitesse de diminution de l'infiltrabilité avec le temps.

I-2-5-2- Model de Philip.

Philip a proposé une méthode de résolution de l'équation de l'infiltration verticale pour certaines conditions initiales et limites. Ce modèle introduit la notion de sorptivité qui représente la capacité d'un sol à absorber l'eau lorsque l'écoulement se produit uniquement sous l'action du gradient de pression. La sorptivité est définie par la lame infiltrée I en écoulement horizontal. Elle dépend des conditions initiales et des conditions aux limites du système. Elle est fonction des teneurs en eau initiale du sol θ_i et imposée en surface θ_0 .

$$i(t) = \frac{1}{2}st^{-\frac{1}{2}} + A \quad (\text{I-4}).$$

Avec :

s : sorptivité [$\text{cm}\cdot\text{s}^{-0,5}$]

A : composante gravitaire fonction de la conductivité hydraulique à saturation [cm/s].

I-2-5-3- Kostiakov-Lewis.

$$i(t) = K\tau^a + f_0\tau \quad (\text{I-5}).$$

Avec :

a et : paramètres d'ajustement.

f_0 : taux d'infiltration.

I-2-5-4- Green et Ampt.

Ce modèle repose sur des hypothèses simplificatrices qui impliquent une schématisation du processus d'infiltration. Il est basé sur la loi de Darcy, et inclut les paramètres hydrodynamiques du sol tels que les charges hydrauliques totales, au niveau du front d'humidification (H_f est la somme de la hauteur d'eau infiltrée depuis le début de l'alimentation - Z_f - et de la charge de pression au front d'humidification - h_f) et en surface ($H_0 = h_0 =$ charge de pression en surface). Une des hypothèses du modèle de Green et Ampt stipule que la teneur en eau de la zone de transmission est uniforme. L'infiltration cumulative

I(t) résulte alors du produit de la variation de teneur en eau et de la profondeur du front d'humidification. Ce modèle s'avère satisfaisant dans le cas de son application à un sol dont la texture est grossière. Cette méthode reste cependant empirique puisqu'elle nécessite la détermination expérimentale de la valeur de la charge de pression au front d'humidification.

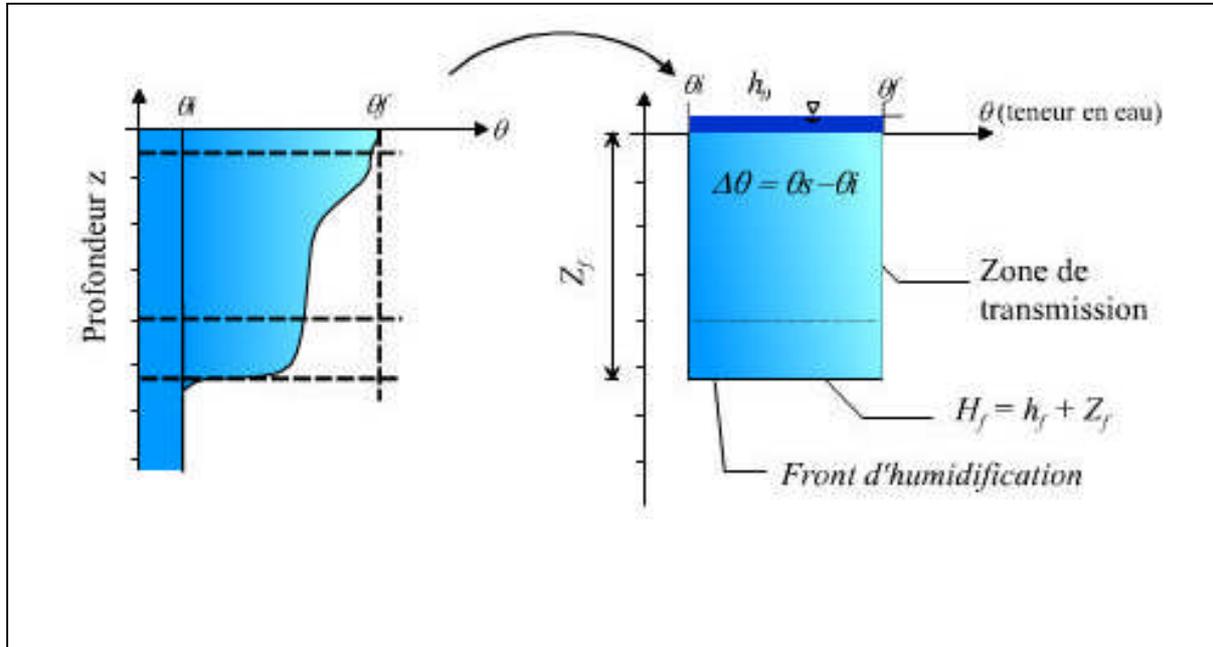


Figure (I-4) : Schématisation du processus de l'infiltration selon Green et Ampt (Tiré de Musy et Soutter, 1991).

La formule s'écrit de la façon suivante :

$$i(t) = K_s * \left(1 + \frac{h_0 - h_f}{z_f(t)} \right) \quad (I-6).$$

Avec :

K_s : conductivité hydraulique à saturation [mm/h].

h_0 : charge de pression en surface [mm].

h_f : charge de pression au front d'humidification [mm].

z_f : profondeur atteinte par le front d'humidification [mm].

Conclusion.

Le sol est un milieu vivant, complexe et dynamique, en évolution constante dans l'espace et dans le temps.

Les sols diffèrent les uns des autres suivant leurs constitutions, et leurs caractéristiques physiques et physico-chimiques. Celles-ci jouent un rôle primordial surtout dans la mobilité et le transfert des éléments dans le sol même et dans les autres compartiments de l'environnement.

Le sol est un siège de plusieurs phénomènes physiques.

Donc le sol peut jouer un rôle très important quant au transfert d'eau vers les horizons profonds et la préservation des nappes souterraines.

Introduction.

L'irrigation de surface regroupe l'ensemble des techniques d'arrosage dans lesquelles la répartition de l'eau à la parcelle se fait entièrement à l'air libre, par simple écoulement à la surface du sol. La répartition de l'eau est assurée grâce à la topographie du terrain et aux propriétés hydriques du sol (ruissellement, infiltration et capillarité).

Les techniques d'irrigation de surface sont dites aussi techniques d'irrigations traditionnelles du fait qu'elles sont utilisées par l'homme depuis l'antiquité. De nos jours, beaucoup de techniques dites traditionnelles ont été modernisées grâce aux progrès scientifique et technologique (introduction de matériels industriels).

En irrigation de surface, la distinction entre les différentes techniques est essentiellement fondée sur la méthode d'application de l'eau : ruissellement, submersion ou technique mixtes.

II-1- Irrigation par ruissellement.

➤ **Premier cas.**

L'eau est distribuée par rigoles, ruisselle sur le sol et s'y infiltre verticalement. Il s'agit d'un ruissellement en nappe ou déversement. On recense dans cette catégorie toute une panoplie de techniques telles que :

- l'arrosage à la planche.
- arrosage par rigoles de niveau.
- l'arrosage par rigoles en pente ou rases.
- l'arrosage par plans inclinés.
- L'arrosage par ados.

La mise en place d'un réseau de colature est indispensable pour évacuer les eaux excédentaires.

➤ **Deuxième cas.**

L'eau ne ruisselle pas sur l'ensemble de la surface du sol, elle coule dans des fossés, rigoles ou raies et pénètre par infiltration latérale et verticale jusqu'aux racines des plantes.

II-1-1- Les planches.

La surface à irriguer est divisée en bandes rectangulaires de longueur L , prise dans le sens de la plus grande pente, est de largeur l . En général, la largeur varie de 5 à 30 m, et de 50 à 800 m pour la longueur. Néanmoins, par souci de bonne conduite des irrigations, la longueur maximale des planches est limitée à 400 m (Israelsen et al, 1965).

Cette technique convient le mieux aux pentes inférieures à 0,5% (Berthomé, 1983). Cependant les pentes longitudinales maximales des planches peuvent atteindre 4% à 5%, et la pente transversale doit être nulle pour atteindre une meilleure uniformité de l'arrosage.

L'eau est déversée en tête de la planche limitée latéralement par des petites diguettes ou bourrelets de terre et en bas par une colature. Les sols convenant le mieux à cette technique sont les sols moyennement filtrants.

L'irrigation par planche s'applique aux cultures telles que les prairies, les céréales et les vergers.

Les efficacités observées, s'échelonnent dans une gamme très large allant de 45% à 85%, en fonction notamment de la qualité de nivellement.

II-1-2- Les rigoles de niveau.

L'alimentation de la parcelle est faite par des rigoles se rapprochant des courbes de niveau. La surface à irriguer est divisée en unités parcellaires par des rigoles de répartition tracées suivant la ligne de plus grande pente, puis en petites surfaces larges et courtes par les rigoles de niveau dont l'arrête inférieure permet le déversement de l'eau en nappe mince.

Cette technique convient pour des pentes comprises entre 3 et 10 %, mais reste possible d'application pour des pentes de 20 à 30 % (Ollier et al, 1983): il s'agit d'un système traditionnel d'irrigation en montagne.

Les rigoles de répartition sont perpendiculaires à la rigole d'amenée et sont espacées en général d'environ 50 à 80 m et leur longueur est de 25 à 40 m.

Les sols qui conviennent sont les sols à texture moyenne ne se fissurant pas.

Cette technique est adaptée essentiellement aux prairies mais reste applicable aux céréales à condition de semer selon les courbes de niveau.

II-1-3- Les rases.

Cette technique est adoptée en lieu et place des rigoles de niveau lorsque la pente du terrain devient faible ou lorsque le relief est difficile à suivre avec des rigoles de niveau. Les pentes d'application restent de l'ordre de 0,3 à 6%. Pour forcer l'eau à se déverser, on diminue la largeur et la profondeur des rases à mesure qu'on s'éloigne des rigoles de répartition (Ollier et al, 1983).

L'écartement des rigoles de répartition est de l'ordre de 50m et la longueur des rases est de 25m environ, leur espacement étant de 5 à 20m selon la pente et la nature du sol.

L'arrosage par rases est utilisé pour l'irrigation des prairies (fourrages), des céréales ou des vergers.

II-1-4- Les plans inclinés.

Les parcelles sont divisées en bandes rectangulaires et épousent la pente du terrain égalisé.

Les pentes d'application sont de l'ordre de 4 à 6 % (Ollier et al. 1983). Cependant, le système peut tout aussi bien être mis en place sur des terrains à pentes très faibles inférieures à 1 % ; les plans inclinés sont alors créés de toutes pièces en ondes par rapport au remblai-deblai. Il est nécessaire dans ce cas d'imprimer des pentes minimum acceptables de 2% aux plans inclinés. Cette disposition est certes coûteuse mais donne de bons résultats techniques.

Les espacements entre canaux de distribution (répartition) peuvent varier en général de 13 à 10m suivant la pente.

La distribution de l'eau est souvent bonne, la régularité de l'irrigation étant fonction du degré de planage des planches. L'efficacité est souvent moyenne.

II-1-5- Les ados.

L'ado comporte deux plans inclinés ou ailes de part et d'autre de la rigole de déversement, elle-même perpendiculaire au canal de distribution.

Les eaux excédentaires entre deux ados sont reprises par une colature. La longueur de l'ado varie de 20 à 30m et sa largeur est en général de 8m.

Cette méthode est employée en maraîchage en terrains très plats.

II-1-6- Les raies.

Les raies sont tracées suivant la ligne de plus grande pente du terrain pour des pentes $< 2\%$ (Kay, 1986). Pour des pentes $> 2\%$, les raies sont orientées obliquement par rapport à la ligne de plus grande pente. La forme des sections des raies peut être triangulaire, trapézoïdale ou parabolique avec une largeur entre 25 à 40cm, une profondeur entre 15 à 30cm et de longueur entre 80 et 130 m.

L'arrosage à la raie se pratique sur des terrains d'environ 0,5 à 4% de pente.

L'arrosage à la raie pose de sérieux problèmes d'application de l'eau lorsque la longueur des raies devient importante (supérieure à 250m). Il exige une main-d'œuvre abondante et qualifiée pour la conduite des arrosages.

Toutefois, cette technique a fait l'objet de perfectionnements récents très importants (utilisation des siphons californiens, de gaines souples, de rampes à vannettes, et du transirrigation).

L'efficacité des arrosages telle qu'elle est constatée peut se situer entre 40% et 70% dans les situations traditionnelles, et entre 65% et 85% sur les parcelles bien nivelées.

L'irrigation à la raie à plusieurs variantes qui sont :

II-1-7- Les sillons ou microsillons.

Ce sont des ondulations de très faible profondeur et rapprochées. Leur profondeur est d'environ 10 cm et leur espacement est de 40 à 75 cm (Stern, 1994). La pente maximum d'application de cette technique est généralement de 4 à 8 %. Le terrain n'est pas nivelé ou très peu.

II-1-8- L'arrosage à la raie en courbes de niveau.

Il convient à des terrains irréguliers ou accidentés où il est impossible de tracer des sillons droits. L'arrosage à la raie en courbe de niveau est pratiqué sur des cultures légumières ou fruitières.

II-1-9- Les rigoles d'infiltration.

Lorsque l'arrosage à la raie est employé en arboriculture ou en viticulture, on est amené à utiliser des dispositions particulières : des rigoles trait parallèlement aux lignes d'arbres ou en zig-zag. L'écartement des rigoles est fonction de la perméabilité du terrain et leur pente est de l'ordre 0,5 à 1% (Ollier et al. 1983). Les rigoles sont profondes d'environ 0,20 m et leur longueur peut dépasser 200 m.

II-1-10- Irrigation par submersion.

La pratique de la submersion, nécessite l'aménagement du terrain en bassins de submersion, aussi la parcelle à irriguer est elle bordée de diguettes de 30 à 40 cm de hauteur avec une revanche minimum de 10 cm (Dupriez et al., 1990). L'irrigation par submersion est une technique d'arrosage appliquée de préférence en terrain presque plat (moins de 0,1 % de pente), mais peut également se mettre en pratique sur des terrains naturels en forte pente en réalisant des banquettes ou terrasses.

On distingue plusieurs techniques :

- Les planches de submersion à nivellement horizontal ou bassins à fond plat.
- Les planches de submersion en pente à diguettes en courbes de niveau.
- Les terrasses ou banquettes.
- Les sillons ou raies à pente nulle.
- Les cuvettes en arboriculture.
- Les bassins à billons.
- Les micro-bassins.

II-2- Irrigation mixte.

Il s'agit d'un ruissellement suivi d'une submersion. Les techniques employées en irrigation mixte sont :

- Epanchage des eaux.
- La raie courte.

II-2-1- Épanchage des crues.

Cette méthode consiste à améliorer, ou à reproduire artificiellement les inondations naturelles provoquées par les crues des rivières, ou par le déversement des eaux de ruissellement.

Cette technique diffère des autres, principalement par le fait qu'elle est conçue pour tirer parti du ruissellement, en vue d'irriguer des parcelles cultivées, alors que les autres techniques, sont conçues pour distribuer l'eau en fonction des besoins des plantes (Berthomé, 1993).

A cause du caractère aléatoire des crues, et donc de la rentabilité incertaine des investissements, les aménagements et les réseaux d'irrigations sont généralement rudimentaires, et donc peu coûteux.

II-2-1-1- Réseaux sommaires.

Dans les réseaux sommaires, les aménagements se composent d'un barrage de dérivation en terre, et d'un canal d'amenée vers le périmètre. Dans celui-ci, l'eau est ralentie et répartie grâce aux diguettes parallèles aux courbes de niveaux.

II-2-1-2- Ouvrages d'amélioration de l'épanchage.

Il existe essentiellement deux catégories d'ouvrages d'amélioration de l'épanchage : les ouvrages disposés dans le lits mineurs, et ceux disposés dans le lit majeur.

➤ **Ouvrages dans le lit mineur.**

On peut améliorer l'épandage d'une crue en relevant le niveau du lit mineur provoquant ainsi une crue plus rapide tout en la régularisant en l'étalant dans le temps (digues submersibles, déversoirs, vannes à flotteurs, ou barrages mobiles).

➤ **Ouvrages dans le lit majeur.**

Ces ouvrages sont destinés à retarder l'écoulement, et à provoquer l'infiltration de l'eau. Ils sont en général placés suivant des courbes de niveau. Ce sont des diguettes de faible hauteur quelquefois, submersibles dont l'écartement est fonction de la pente du terrain.

II-2-2- La raie courte.

Les raies courtes sont surtout destinées à l'irrigation des cultures maraîchères. Elles sont de préférence utilisées en terrain peu pentu, sinon à défaut on opère par une disposition en courbes de niveau.

La rigole d'alimentation dessert simultanément un certain nombre de raies courtes séparées par des billons et bouchées à leur extrémité. L'eau ruisselle d'abord dans les raies puis les remplit. On règle le débit d'amenée pour éviter le débordement.

La longueur de la raie varie de quelques mètres à quelques dizaines de mètres. Cette faible longueur assure une répartition assez homogène de l'infiltration le long de la raie.

Pour réduire les pertes par débordement, on peut mettre en communication deux raies voisines au lieu de boucher leur extrémité. On obtient alors des raies courtes bouclées ou communicantes.

II-3- Les paramètres intervenant dans l'irrigation de surface.

Avant d'envisager une telle ou telle technique, il faut prendre en compte certains paramètres pour assurer le bon choix. Parmi ces paramètres on cite :

- la topographie (pente du terrain, relief et la géométrie de la parcelle).
- les ressources en eau (quantité, qualité, et le débit dont on dispose).
- la nature des cultures.
- la nature du sol (texture, structure et perméabilité).
- les facteurs sociologiques et culturels.
- les facteurs économiques.
- la rentabilité de l'opération.

II-4- Efficience d'irrigation.

II-4-1- Définitions.

II-4-1-1- Efficience de l'irrigation.

Elle est définie comme étant le rapport entre la quantité utile à la plante et la quantité d'eau introduite (Kruse et al., 1978). Elle est exprimée en pourcentage.

II-4-1-2- Efficience du réseau de transport.

L'efficience du réseau de transport représente le rapport du volume d'eau prélevé à la source (bassin, prise d'eau...etc.), et celui à l'entrée des parcelles. Elle varie essentiellement en fonction des longueurs des canaux (la commission internationale des irrigations et du drainage, 1984).

II-4-1-3- Efficience du réseau de distribution.

C'est le rapport entre le volume d'eau destiné à la parcelle, et le volume d'eau destiné au réseau de distribution (la commission internationale des irrigations et du drainage, 1984).

II-4-1-4- Efficience de l'irrigation a la parcelle.

Appelée également efficience d'application, représente le rapport entre la quantité d'eau appliquée et stockée dans la zone acinaire, et la quantité d'eau d'irrigation déversée sur le champ (Israeleen, 1932).

II-4-1-5- Efficience globale d'un système d'irrigation.

C'est le rendement de l'ensemble de l'opération d'irrigation qui va de l'ouvrage de prise à la zone explorée par les racines de diverses cultures pratiquée dans le périmètre (la commission internationale des irrigations et du drainage, 1984).

II-5- Paramètres dont dépend l'efficience de l'irrigation.

Différents paramètres à prendre en compte pour avoir une meilleure efficience :

- la technique d'irrigation adaptée.
- La nature et l'état du réseau d'irrigation.
- La maîtrise de l'eau a la parcelle.
- Le type de régulation utilisé.

II-6- Avantages et inconvénients de l'irrigation de surface.

1) Avantages.

- coût d'investissement relativement faible.
- besoins en énergie faibles ou nuls.
- techniques éprouvées.
- insensibilité au vent.
- bonne adaptation à l'épandage d'eaux usées.
- possibilité d'utilisation d'eaux salées (en pratiquant le lessivage du sol).
- les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire.

2) Inconvénients.

- besoins importants en main-d'oeuvre (sauf systèmes modernes).
- efficacité d'arrosage à la parcelle généralement faible (sauf systèmes sophistiqués avec recyclage des eaux de colature).
- inadaptation aux sols très filtrants.
- planage nécessaire des parcelles.
- desserte des parcelles en général assurée par des canaux, qui viennent cloisonner et figer le parcellaire.

Conclusion :

Les techniques d'irrigation de surface sont des techniques faciles à mettre en œuvre, et qui ne demandent pas des coûts d'investissement énormes.

Avec une bonne gestion de l'eau sur la parcelle, cela va permettre de satisfaire les cultures en place en eau et avoir des rendements d'irrigation acceptables.

Introduction.

SIRMOD est un logiciel complet pour simuler l'hydraulique des systèmes d'irrigation superficielle au niveau de champ, et qui permet de maximiser les efficacités d'irrigation tout en réduisant les taux de percolation profonde. Dans ce présent chapitre, nous allons essayer d'expliquer la manière dont ce logiciel fonctionne.

III-1- Ecran d'ouverture.

L'écran d'ouverture de SIRMOD est montré dans figure suivante.



Figure (III-1) : écran d'ouverture de SIRMOD.

III-2- Les unités.

C'est une préférence pour laquelle L'utilisateur a le choix d'avoir les résultats avec les unités qu'il souhaite.

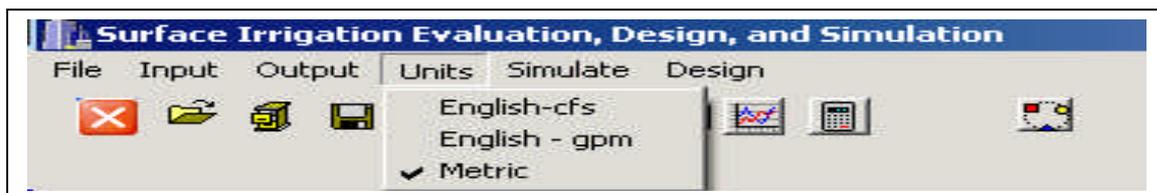


Figure (III-2) : unités de SIRMOD.

III-3- Les boutons de SIRMOD

Le logiciel est doté d'une série de boutons permettant de faciliter son utilisation.

Tableau III-1 : les boutons de SIRMOD.

boutons	signification
	Exit.
	Open.
	Input data.
	Save.
	Clear screen.
	Pause simulation.
	Continue simulation.
	Display output results.
	Plot output results.
	Execute simulation.

III-4- Les données d'entrée.

III-4-1- Régime d'alimentation (Inflow controls).

Ce volet permet à l'utilisateur de faire entrer toutes les données concernant le régime d'alimentation de la parcelle, le contrôle d'arrêt d'exécution de la simulation et les paramètres d'exécution.

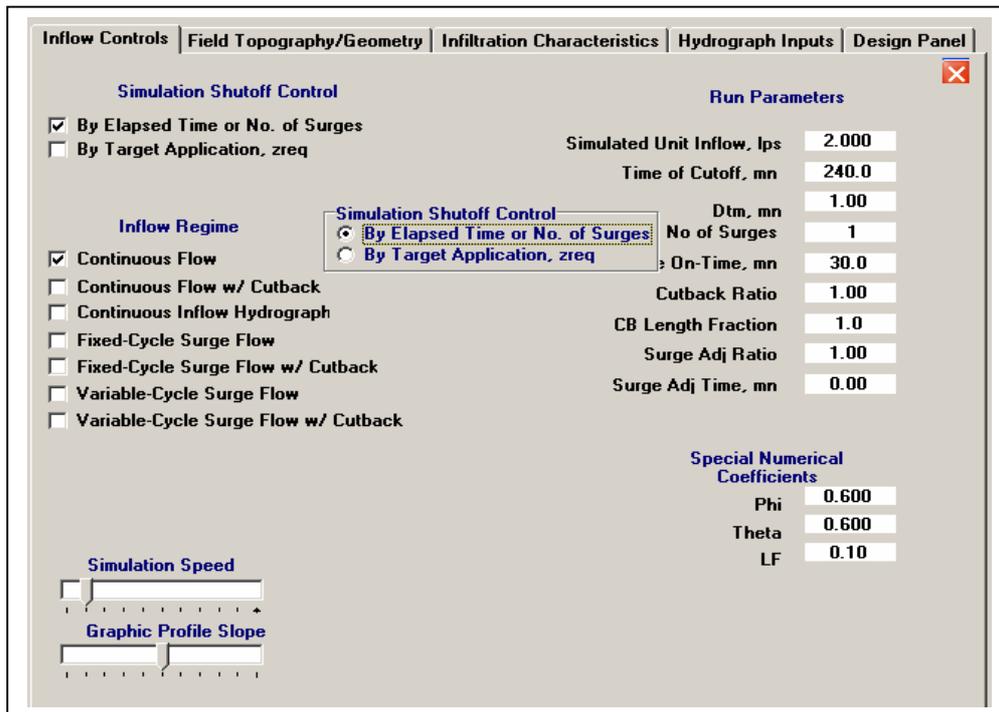


Figure (III-3) : régime d'alimentation.

L'utilisateur a le choix de d'effectuer la simulation avec le type de régime pratiquer sur le terrain, ces choix sont :

- Ecoulement continu.
- Ecoulement continu avec réduction.
- Hydrogramme d'apport continu.
- Cycle fixe d'écoulement de montée subite.
- Cycle fixe d'écoulement de montée subite avec réduction.
- Cycle variable d'écoulement de montée subite.
- Cycle variable d'écoulement de montée subite avec réduction.

III-4-1-1- Paramètres d'exécution (run parameters).

Sous un écoulement de montée subite, il y a deux option de cycle et qui sont : cycle fixe d'écoulement de montée subite, et cycle variable d'écoulement de montée subite

Le logiciel offre de méthodes de varier la période active de cycle de montée subite, la première, c'est de multiplier la première période active du cycle par un paramètre personnalisé (surge Adj.Ratio). Par exemple, si la première période active de montée subite est de 30 minutes et il est souhaitable d'augmenter les montées subites de 10% pour chaque cycle, alors la montée subite Adj. Ratio peut être fixer à 1,1.

La deuxième manière de changer la période de cycle de montée subite est en ajoutant une quantité de temps fixe à chaque période active de montée subite par l'intermédiaire du

paramètre de temps d'ajustement de montée subite, par exemple, si on commence un cycle par 60 minutes, et il souhaitable de l'augmenter de 10 minute chaque montée. Alors **Surge Adj Time** peut être fixé à 10.

La fraction (CB length fraction) de 0,8 signifie que l'avancée de l'eau est à 80% de la longueur du champ. La valeur de cette fraction doit être toujours proche de 1.

III-4-1-2- La vitesse de simulation.

La barre en bas de fenêtre sert à augmenter la vitesse de simulation en la déplaçant vers la droite, ou de diminuer la vitesse de simulation en la déplaçant vers la gauche.

III-4-2- La topographie et géométrie du champ (Field topography/geometry).

Différents paramètres sont exigés dans ce volet, et sont repartis dans : la géométrie du champ, le système d'irrigation, le coefficient de Manning, la pente, et paramètres de section.

Inflow Controls	Field Topography/Geometry	Infiltration Characteristics	Hydrograph Inputs	Design Panel
Field Geometry Field Length, m: 199.9 Field Width, m: 399.9 Field CrossSlope: 0.00010		Flow Cross-Section ✖ Top Width (m): 0.305 Middle Width (m): 0.305 Bottom Width (m): 0.305 Maximum Depth (m): 0.030		
Field System <input type="radio"/> Border/Basin Irrigation <input checked="" type="radio"/> Furrow Irrigation Border/Basin Unit Width (m) or Row Spacing, m: 0.30 Downstream Boundary: <input type="checkbox"/> Free Draining, <input checked="" type="checkbox"/> Blocked End				
Manning - n Values First Irrigations: 0.040 Later Irrigations: 0.030				
Compound Slopes First Slope: 0.00000 Second Slope: 0.00000 Third Slope: 0.00000 First Distance, m: 199.9 Second Distance, m: 199.9		Manning Equation Calculator Slope: 0.00000 Manning n: 0.0000 Flow, lps: 0.0000 Depth, m: 0.0000 Area, m ² : 0.0000 Top Width, m: 0.0000 Wetted Perimeter, m: 0.0000		
The "First Distance" is the distance from field inlet to the break in slope between "First Slope" and "Second Slope". Similarly for the "Second Distance".		Rho1: 1.7471 Rho2: 3.1660 Sigma1: 0.3048 Sigma2: 1.0000 Gamma1: 0.5669 Gamma2: 0.1255 Cmh: 0.0000 Cch: 0.3049		

Figure (III-4) : géométrie et topographie du champ.

III-4-2-1- La géométrie du champ (Field geometry).

Cette partie comporte : la longueur du champ prise dans le sens de l'écoulement de l'eau dans le type de la technique d'irrigation, la largeur de ce dernier, et puis la pente du terrain.

III-4-2-2- Le système d'irrigation (Field system).

L'utilisateur à l'opportunité de sélectionner le système d'irrigation en place à la parcelle en cochant la case adéquate (bassin, raie, et planches), d'introduire l'espacement en cas des raies, et l'état de la frontière (bloquée ou fermée).

III-4-2-3- Le coefficient de Manning (Manning-n values).

Les valeurs de la rugosité des raies utilisées dans le cadre de ce travail sont celles proposé par Walker (2003). Pour une première irrigation $n = 0,04$ et $n = 0,03$ pour les irrigations ultérieures.

III-4-2-4- La pente (compound slopes).

Si la pente du terrain est uniforme, alors la même valeur doit être écrite dans les trois pentes proposées, et les deux valeurs de distances doivent être égale à la longueur du champ.

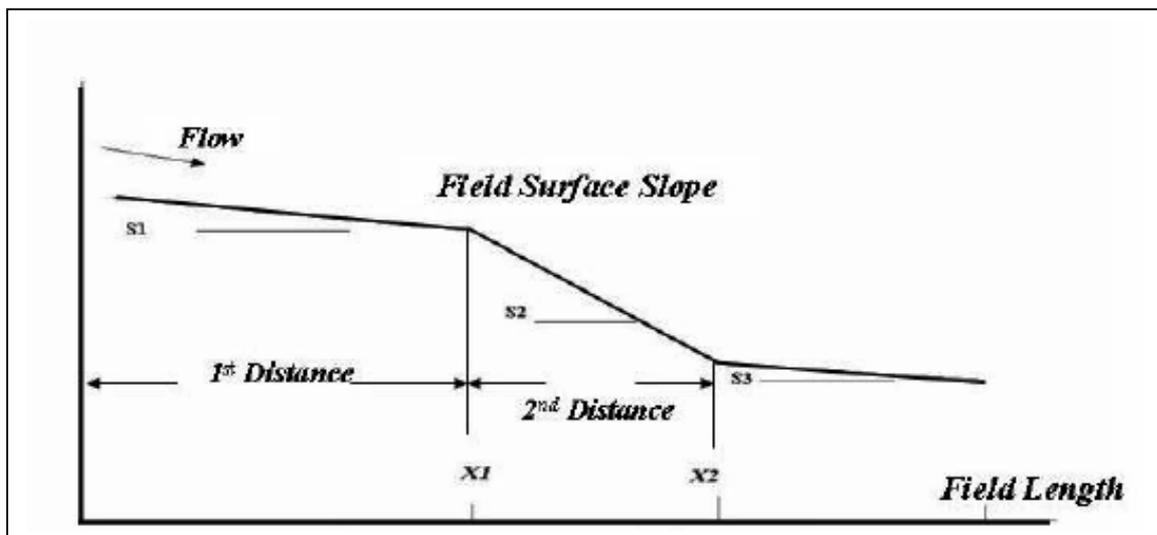


Figure (III-5) : exemple de multi pente dans un terrain irrigué.

III-4-2-5- Les paramètres de section (Flow section-cross).

Suivant la technique d'irrigation, les différents paramètres hydrauliques servant à calculer la section et le périmètre mouillés sont disponibles dans cette partie (largeur au fond et au plafond, la largeur moyenne, la profondeur de la raie ou du bassin).

III-4-3- Caractéristiques de l'infiltration (Infiltration characteristics).

La fonction d'infiltration de Lewis-Kostiakov est donnée dans cet anglet, ajoutant qu'on peut l'appliquer pour différents régimes d'écoulement déjà citer.

$z_{req} = k\tau^a + f_0\tau + c$

Parameter	Initial Continuous Flow Conditions	Later Continuous Flow Conditions	Initial Surge Flow Conditions	Later Surge Flow Conditions
a	0.535	0.451	0.356	0.450
k, m/mn ^a	0.00280	0.00323	0.00359	0.00321
f ₀ , m/mn	0.000220	0.000087	0.000170	0.000087
c, m	0.00000	0.00000		
Q _{infiltr} , lps	2.000	2.000		

Root Zone Soil Moisture Depletion, zreq, meters: 0.101

Required Intake Opportunity Time, min: 227, 531, 413, 536

Units of Measure: Metric

Surface Irrigation Configuration: Border/Basin Irrigation

Figure (III-6) : caractéristiques de l'infiltration.

III-4-3-1- Détermination des coefficients de l'équation d'infiltration (a, k, et f₀).

Après avoir choisi le régime d'écoulement, en cochant la case correspondante, l'espace « tables » permet de définir les coefficients par simple sélection du type du sol.

Le déficit en zone racinaire, zreq, est écrit dans les boîtes d'entrée au-dessous des boutons de Tables. Ces valeurs sont considérées comme les valeurs limite de l'irrigation. Les cases restantes sont destinées pour le temps de contact entre le sol et l'eau.

La méthode de deux points est connue pour pouvoir déterminer théoriquement les paramètres de l'équation de l'infiltration, après avoir déterminé le volume infiltré à L et L/2. On fait entrer à droite : le temps de l'avancement pour la longueur complète, ainsi que à la mi-longueur, et en fin la valeur de la mi-longueur.

Continuous Flow Intake Curve Parameters for Initial Irrigations

ID	Soil Name	a	K (m ³ /m/mn ^a)	Fo (m ³ /m/mn)	Qr (lps)	Wpr (m)
<input type="radio"/> .02	Heavy Clay	0.188	0.000220	0.0000073	0.468	0.111
<input type="radio"/> .05	Clay	0.248	0.000416	0.0000184	0.521	0.122
<input type="radio"/> .10	Clay	0.306	0.000633	0.0000313	0.609	0.138
<input type="radio"/> .15	Light Clay	0.351	0.000810	0.0000437	0.695	0.152
<input type="radio"/> .20	Clay Loam	0.387	0.000966	0.0000555	0.781	0.166
<input type="radio"/> .25	Clay Loam	0.417	0.001107	0.0000670	0.866	0.179
<input type="radio"/> .30	Clay Loam	0.442	0.001220	0.0000780	0.949	0.191
<input type="radio"/> .35	Silty	0.463	0.001346	0.0000887	1.031	0.202
<input type="radio"/> .40	Silty	0.481	0.001453	0.0000990	1.112	0.213
<input type="radio"/> .45	Silty Loam	0.497	0.001551	0.0001090	1.192	0.224
<input type="radio"/> .50	Silty Loam	0.512	0.001650	0.0001187	1.271	0.234
<input type="radio"/> .60	Silty Loam	0.535	0.001830	0.0001372	1.426	0.253
<input type="radio"/> .70	Silty Loam	0.555	0.002011	0.0001547	1.576	0.271
<input type="radio"/> .80	Sandy Loam	0.571	0.002172	0.0001711	1.721	0.288
<input type="radio"/> .90	Sandy Loam	0.585	0.002324	0.0001867	1.862	0.305
<input type="radio"/> 1.00	Sandy Loam	0.597	0.002476	0.0002014	1.999	0.320
<input type="radio"/> 1.50	Sandy	0.641	0.003130	0.0002637	2.613	0.391
<input type="radio"/> 2.00	Sandy	0.671	0.003706	0.0003113	3.115	0.452
<input type="radio"/> 4.00	Sandy	0.749	0.005531	0.0004144	4.000	0.650

OK Cancel

For display purposes only. These radio buttons do not change settings on previous panels

Units of Measure: English, cfs English, gpm Metric

Surface Irrigation Configuration: Border/Basin Irrigation Furrow Irrigation

Figure (III-7) : table de détermination des coefficients de l'équation de l'infiltration.

III-4-4- Hydrogramme d'entrées (Hydrograph inputs).

Ce logiciel est conçu pour : évaluer le fonctionnement des systèmes existants d'irrigation de surface, simuler la conception d'une irrigation de surface, et pour comparer les résultats simulés et mesurés.

Les mesures prises sur le terrain, et qui sont : le débit, le temps écoulé pendant l'irrigation, le temps de l'avancement et de la récession de l'eau, et le ruissellement seront placées dans cette fenêtre.

Il n'est pas nécessaire d'avoir un Hydrogramme de ruissellement si, par exemple, la fin du champ est bloquée.

Ces données peuvent être mesurées sur le terrain ou tout simplement par l'utilisateur pour savoir l'influence du changement du débit sur les résultats et les performances du système.

Inflow Controls			Field Topography/Geometry		Infiltration Characteristics		Hydrograph Inputs			Design Panel
1	Inflow Hydrograph		1	Tailwater Hydrograph		1	Advance and Recession			
2	Elapsed Time, mn	Inflow, lps	2	Elapsed Time, mn	Outflow, lps	2	Distance From Inlet, m	Advance Time, mn	Recession Time, mn	
3	,0	,000	3	,0	,000	3	,0	,0	,0	
4	,0	,000	4	,0	,000	4	,0	,0	,0	
5	,0	,000	5	,0	,000	5	,0	,0	,0	
6	,0	,000	6	,0	,000	6	,0	,0	,0	
7	,0	,000	7	,0	,000	7	,0	,0	,0	
8	,0	,000	8	,0	,000	8	,0	,0	,0	
9	,0	,000	9	,0	,000	9	,0	,0	,0	
10	,0	,000	10	,0	,000	10	,0	,0	,0	
11	,0	,000	11	,0	,000	11	,0	,0	,0	
12	,0	,000	12	,0	,000	12	,0	,0	,0	
13	,0	,000	13	,0	,000	13	,0	,0	,0	
14	,0	,000	14	,0	,000	14	,0	,0	,0	
15	,0	,000	15	,0	,000	15	,0	,0	,0	
16	,0	,000	16	,0	,000	16	,0	,0	,0	
17	,0	,000	17	,0	,000	17	,0	,0	,0	
18	,0	,000	18	,0	,000	18	,0	,0	,0	
19	,0	,000	19	,0	,000	19	,0	,0	,0	
20	,0	,000	20	,0	,000	20	,0	,0	,0	
21	,0	,000	21	,0	,000	21	,0	,0	,0	
22	,0	,000	22	,0	,000	22	,0	,0	,0	
23	,0	,000	23	,0	,000	23	,0	,0	,0	
24	,0	,000	24	,0	,000	24	,0	,0	,0	
Update Inflow Hydrograph			Update Outflow Hydrograph		Update Advance/Recession Data					

Figure (III-8) : Hydrogramme d'entrées.

III-5- La simulation (simulation).

Une fois que toutes les données nécessaires sont enregistrées, la simulation sera observée en cliquant sur le bouton correspondant.

Sur l'écran de simulation paraissent trois zones :

Une permet de voir et suivre l'écoulement de l'eau en surface et parallèlement le remplissage de la réserve facilement utilisable.

Sur l'autre sont inscrits les résultats de simulation (efficience de l'application, du système, requise, et celle du distribution, le taux de percolation, le volume fourni, infiltré, et perdu par percolation), y compris un terme d'erreur décrivant les différences entre les entrées calculés, l'infiltration, et ruissellement (si le champ n'est pas endigué). En règle générale une erreur inférieure à 5% est acceptable.

La dernière zone nous permet de voir la courbe de ruissellement, si ce dernier a été introduit dans les données d'entrées.

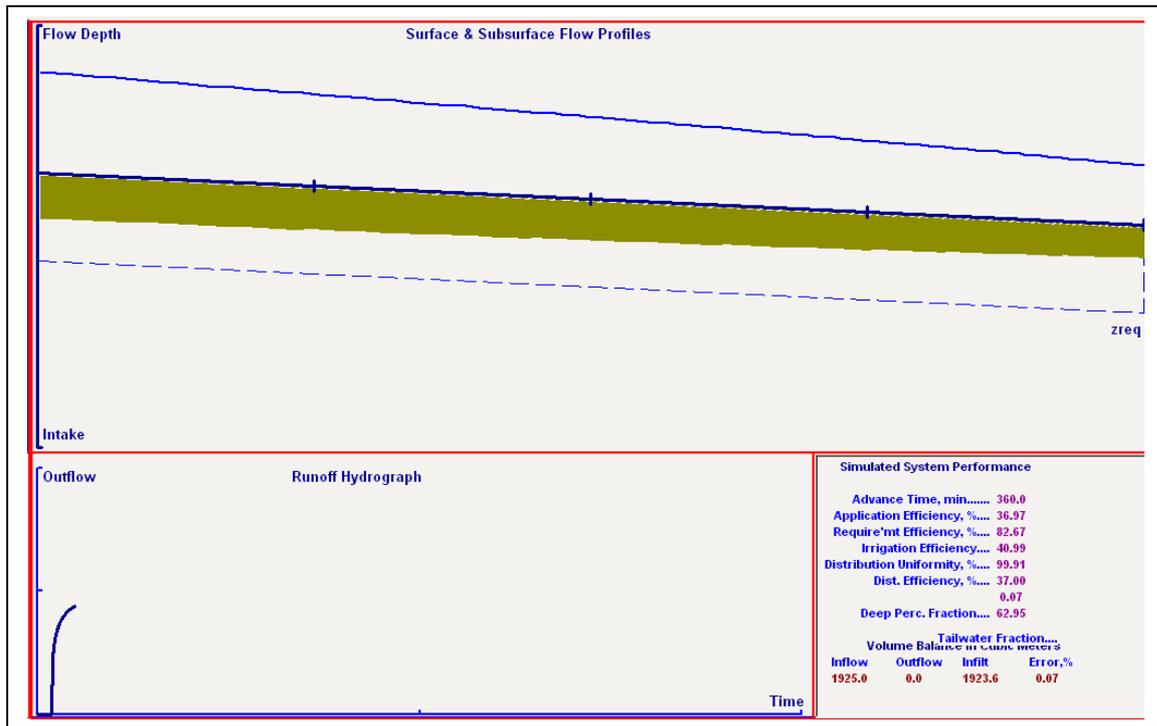


Figure (III-9) : exemple de simulation avec ruissellement en surface.

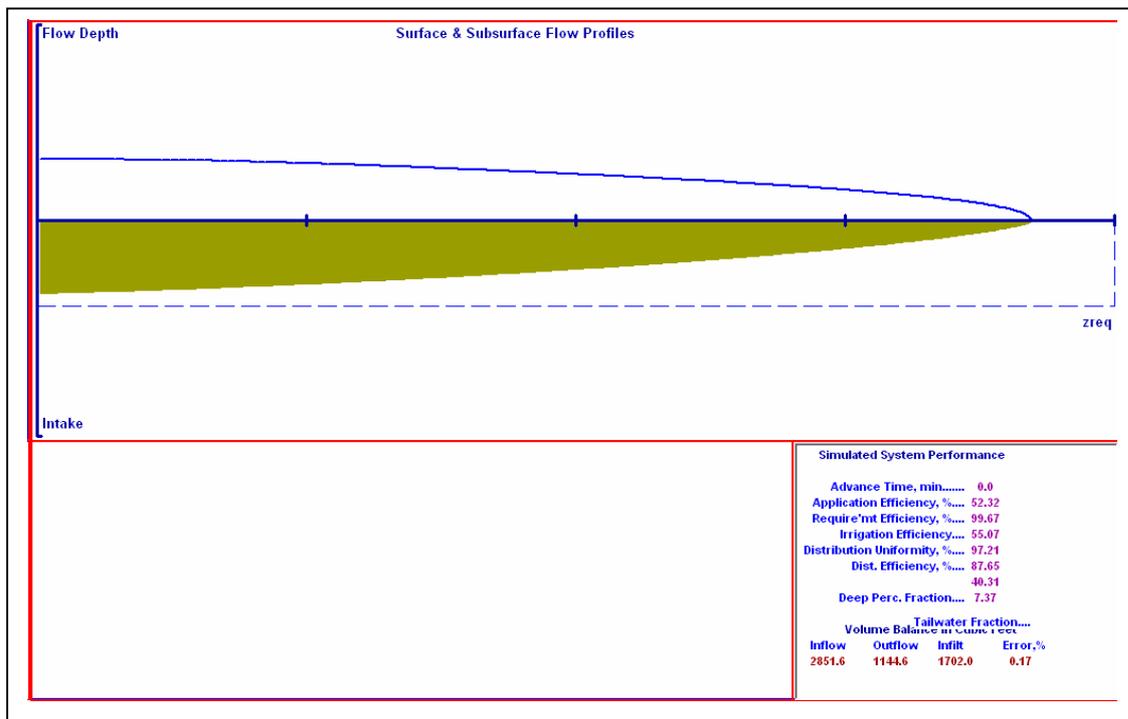


Figure (III-10) : exemple de simulation sans ruissellement en surface.

III-6- Conception (design).

Le logiciel comporte un programme de conception, comme le montre la figure suivante.

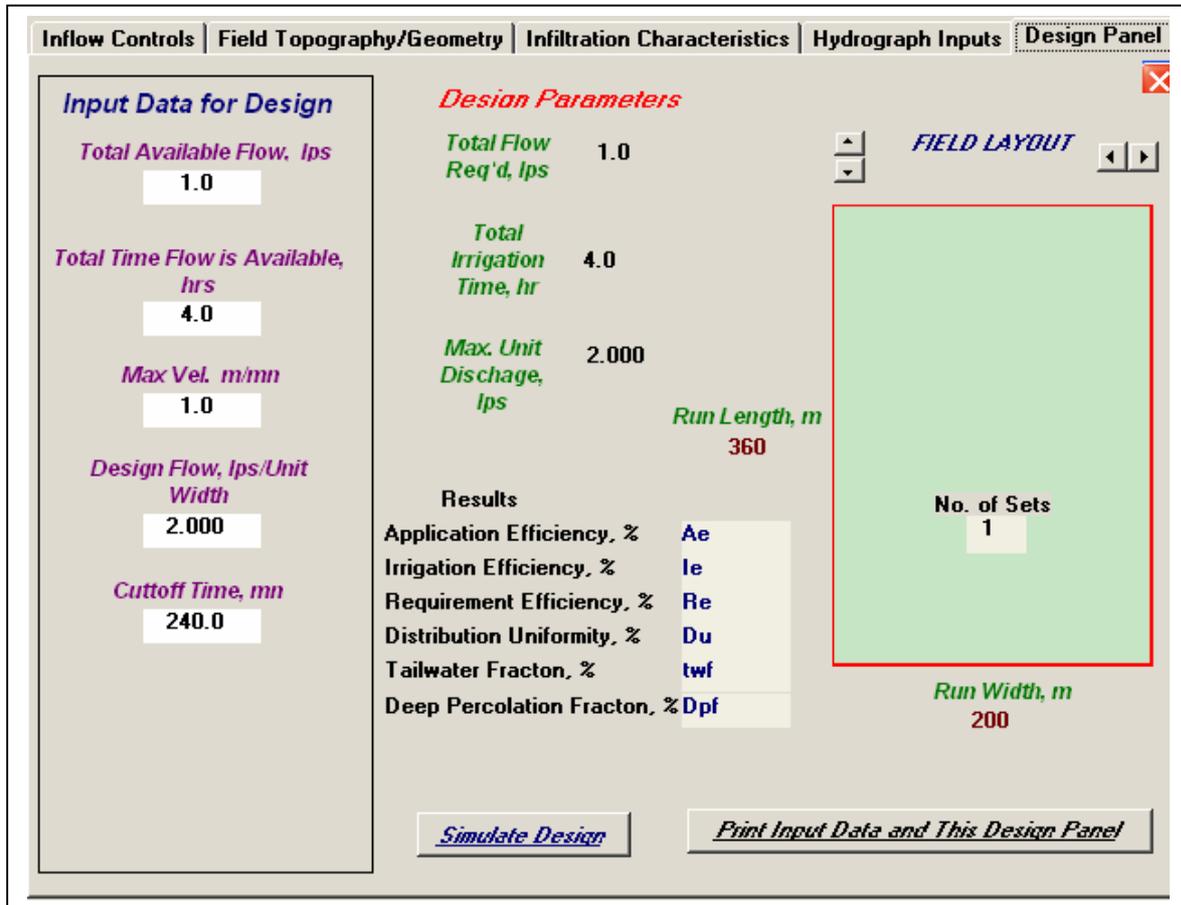


Figure (III-11) : panneau de conception.

III-6-1- Données d'entrées pour la conception.

Bien que le processus de conception ne nécessite pas toutes les données nécessaires pour les tables respectives d'entrées comme l'Hydrogramme d'entrées car il est basé sur un taux d'apport fixe, par contre il ya cinq entrées spéciales pour le processus de conception qu'il ne faut pas nier et qui sont :

- Débit total disponible.
- Le temps total d'irrigation.
- la vitesse maximale d'écoulement non érosive.
- Le débit disponible par unité de longueur.
- Le temps de coupure.

III-6-1-1- Le débit total disponible.

Dans plusieurs cas de l'irrigation de surface, des zones sont sous irriguées, ou ne sont carrément pas irriguées, pour ce fait, il est préférable de diviser le champ en parties puis les irriguées séquentiellement. Le nombre de parties est obtenu par la formule suivante :

$$N_p = \frac{Q_0 * W_f * L}{Q_T * w * R_L} \quad \text{(III-1)}$$

Avec :

Q_0 : débit de conception.

Q_T : débit total disponible.

W_f : largeur du champ.

L : longueur du champ

w : espacement entre les raies.

R_L : longueur des raies.

III-6-1-2- Le temps total de l'irrigation.

Le temps nécessaire pour irriguer tout le champ en supposant que ce dernier est divisé en N parties est :

$$T_t = N_p * T_C \quad \text{(III-2)}$$

Avec :

N_p : nombre de parties.

T_C : temps de coupure pour chaque partie.

III-6-1-3- La vitesse maximum de l'écoulement.

Afin d'empêcher l'érosion, le concepteur devra placer une limite supérieure sur la vitesse d'écoulement. Cette limite peut être aussi basse que 9m/mn si le sol est érosif et 22,5m/mn si le sol est stable. Cette vitesse dépendra du débit unitaire, de la pente de champ, et de la rugosité de champ. Des valeurs typiques de la vitesse maximum pour des systèmes de sillon sont montrées dans le tableau qui suit.

Tableau III-2 : limite max de vitesse d'écoulement suivant le type du sol.

Type du sol	Limite max de la vitesse (m/min)
Sableux	9
Limono sableux	10,8
Limono silteux	11,7
Limono argileux	14,7
argileux	22,5

III-6-1-4- Le débit unitaire.

La performance d'un système d'irrigation de surface dépend fortement du débit unitaire et ce paramètre peut être ainsi le paramètre de gestion le plus important ou le concepteur ou l'irrigateur doit prendre en compte. Pour un écoulement trop lent en avancée on peut s'attendre à une uniformité et efficacité faibles et une percolation profonde excessive. Dans le cas contraire des basses efficacités dues au ruissellement excessif sont observées.

Dans la conception, on cherche un écoulement qui maximise l'efficacité de l'application, et que le maximum du déficit hydrique en zone racinaire sera comblé par l'irrigation.

III-6-1-5- Le temps de coupure.

Le temps de coupure en irrigation de surface est un paramètre important et plus souvent, il est le plus difficile à déterminer. Beaucoup d'irrigateurs choisissent des temps commodes de coupure, afin de réduire le temps d'irrigation, ou pour pouvoir irriguer toutes les parties en temps qui leur convient (pendant le jour).

En règle générale, les temps de coupure devraient être des nombres entiers d'heures comme 1, 2, 3, 4, 6, 8, et 12 heures. Le réglage d'un temps de coupure de 252 minutes est impossible sans moyens automatisés.

III-6-1-6- Diviseur du champ.

Cette option nous permet de diviser le champ en parties suivant sa longueur ou bien sa largeur.

III-7- La Simulation.

Un simple clic sur le bouton « Simulate design », le logiciel effectue la simulation. Si la simulation s'arrête ou se déroule pas comme il le faut, le bouton « Input data » permettra à l'utilisateur de revenir à la fenêtre « design » pour mieux choisir les paramètres afin d'avoir de bons résultats. Les résultats qui s'affichent sont : l'efficacité de l'application et celle requise, l'uniformité de la distribution, et le taux de percolation profonde.

III-8- Les sorties (output).

III-8-1 Le tracé de l'avancement et de la récession.

En fonction des données entrées, à savoir les valeurs de l'avancement et de la récession à chaque pas de longueur et le temps qui correspond, le logiciel en fin de simulation trace une courbe de l'avancement et de la récession de l'eau ($T=f(L)$).

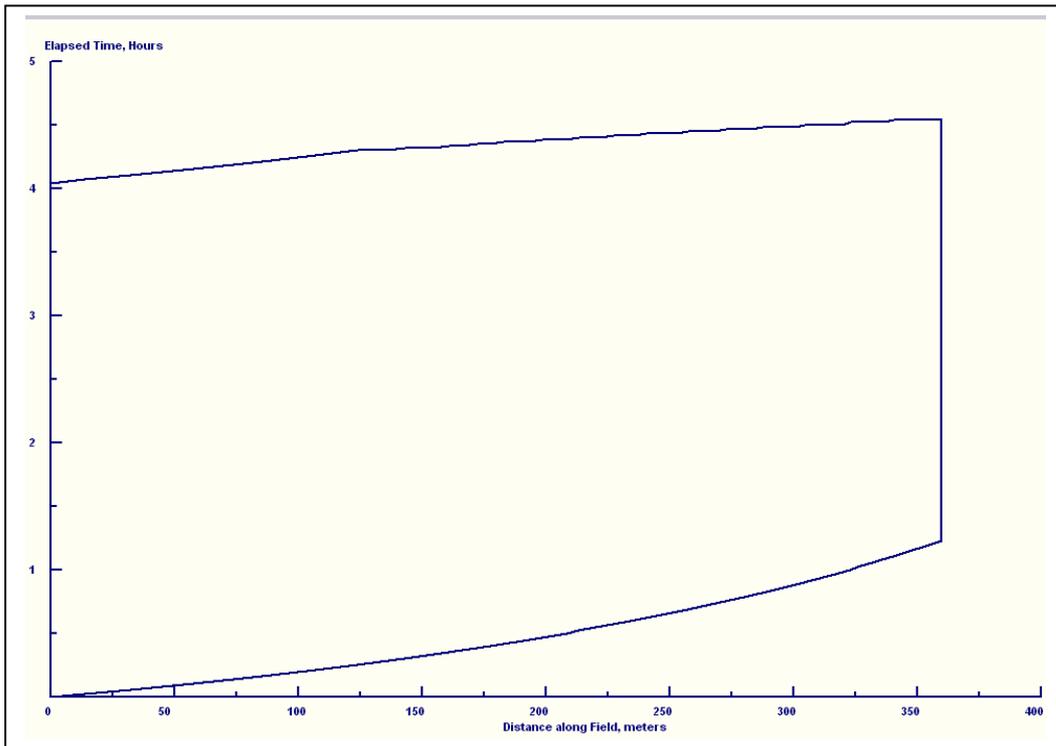


Figure (III-12) : exemple d'un tracé $T=f(L)$.

III-8-2- Hydrogramme de ruissellement.

Bien que cette courbe apparaît lors de la simulation, SIRMOD l'enregistre et l'affiche en fin de simulation pour pouvoir l'utilisée.

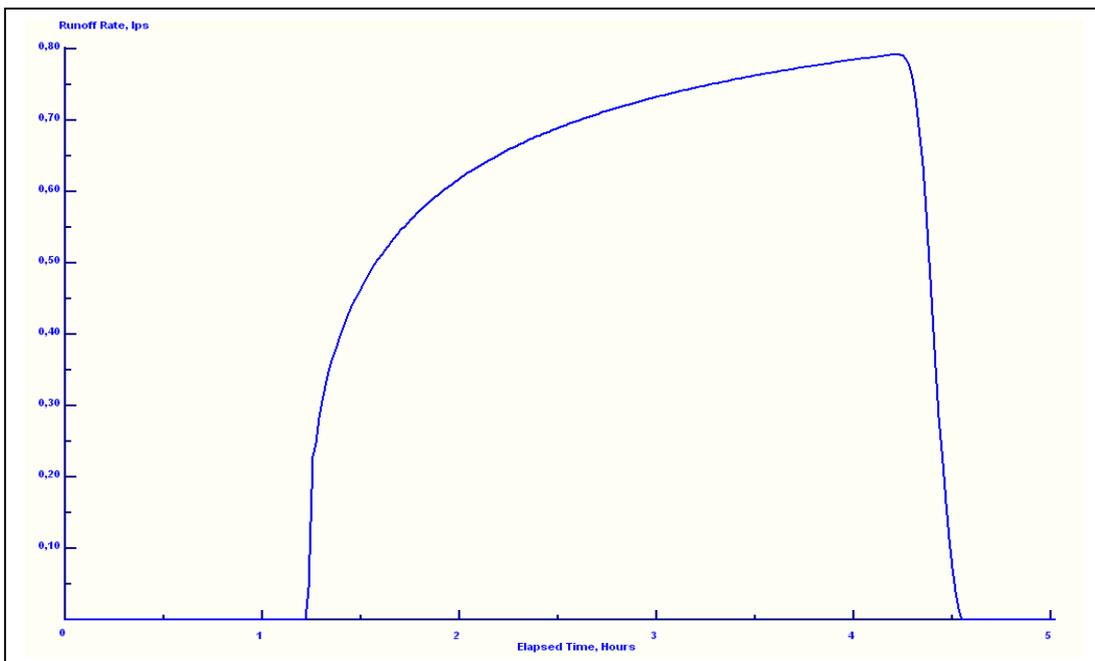


Figure (III-13) : exemple d'un tracé $Q_{\text{ruis}}=f(T)$.

III-8-3- courbe de l'infiltration.

Cette courbe permet de savoir si l'irrigation est uniforme ou non, en se basant sur le remplissage de la réserve facilement utilisable.

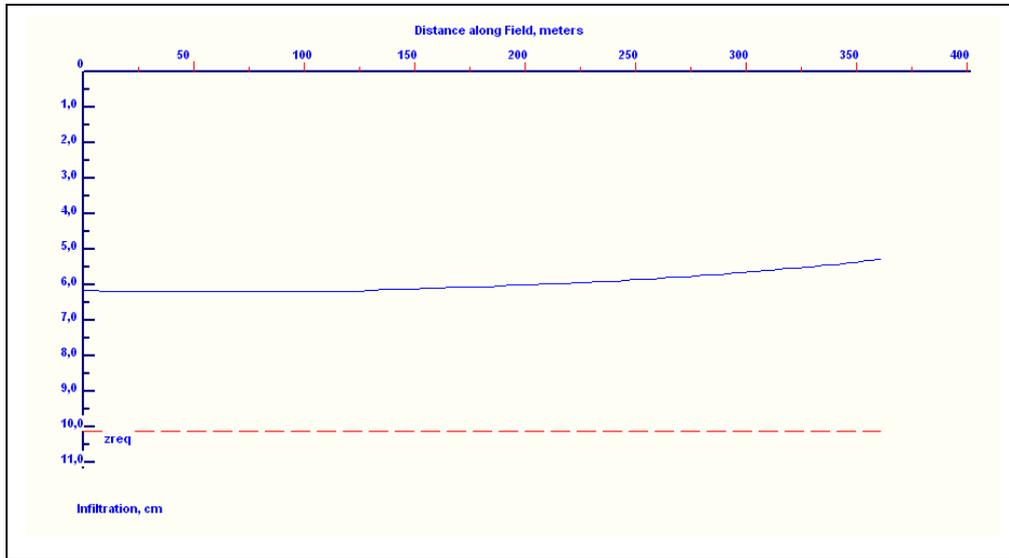


Figure (III-14) : exemple d'un tracé $Z=f(L)$.

Conclusion.

Le logiciel SIRMOD est un outil de travail facile à utiliser, et précieux, car on peut savoir l'évolution de l'infiltration au niveau du champ à partir des données recueillies sur ce dernier.

Introduction.

La Mitidja est la plus vaste plaine sublittorale. Elle occupe une superficie de 1300km². Elle est isolée de la mer par les montagnes du sahel qui prenant appui sur le vieux massif du Chenoua, s'estompe à l'Est d'Alger, disparaît au droit de la cluse de Reghaia. Sa largeur est de 12 à 18 km, s'étendant d'Est en Ouest sur quelque 100km au-delà de Hadjout. Au Nord et sur les marges orientale et occidentale, elle est bornée par un ensemble de montagnes Nord-Ouest et Ouest de Djebel Chenoua (905m) allant jusqu'à 1604m du côté du pic de Mouzaia

IV-1-1- Situation géographique.

La parcelle à étudier se trouve dans la commune de Guerrouaou de la Wilaya de Blida, elle est limitée :

- Au Nord : Commune de Guerrouaou.
- Au Sud : Route nationale N° 29.
- A l'Est: Oued Khermis.
- A l'Ouest: Ouled Yaich.

La parcelle s'étend entre les parallèles 36° 30' 50" et 36° 30' 57" Nord et les longitudes 2° 53' 38" et 2° 53' 40".

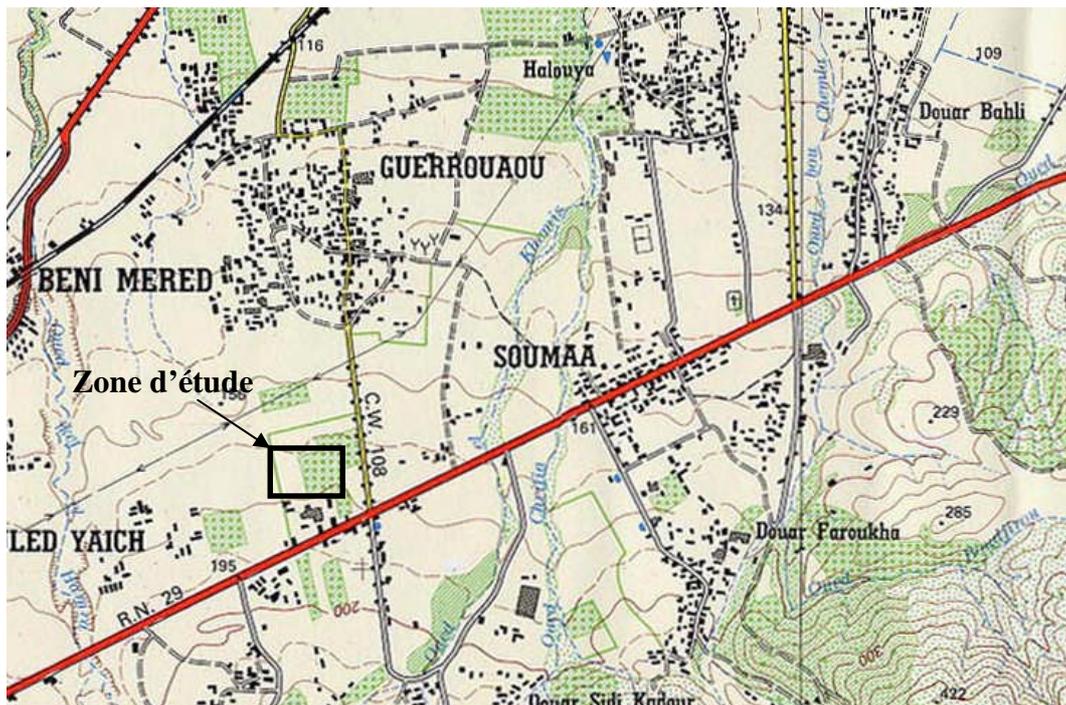


Figure (IV-1) : Localisation de la parcelle (extrait de la carte de Blida).

IV-1-2- Climatologie.

Le climat constitue la phase la plus importante non seulement à la vie animale et les végétaux, mais aussi à l'économie en générale des zones peuplées, il se définit comme étant l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état de l'atmosphère et de son évolution en un lieu donné.

Les données climatiques ci dessous citées, ont été observées durant la période allant de 1992 à 1993.

IV-1-2-1- Pluviométrie.

a) Pluviométries moyennes mensuelles.

Les précipitations moyennes mensuelles enregistrées à la station de Soumaa sont données par le tableau suivant :

Tableau IV-1 : Pluies moyennes mensuelles.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
P(mm)	86,62	73,21	69,14	63,47	54,77	9,22	5,99	5,53	36,85	47,58	57,75	66,8

Source : ANRH Blida.

b) Nombre moyen de jours pluvieux.

Le nombre moyen mensuel de jours pluvieux est porté dans le tableau suivant

Tableau IV-2 : Nombre moyens des jours pluvieux.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
Jours	10	8	10	7	6	5	1	3	5	9	10	10

Source : ANRH Blida.

IV-1-2-2- température

Tableau IV-3 : Températures moyennes interannuelles.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Dec
T _{min} (c°)	7,5	7,7	9,5	11,1	14,1	17,5	19,9	21,5	19,2	15	11,7	9,00
T _{max} (c°)	15,2	16,7	19,7	20,8	24,8	28,9	32,8	33,6	30,2	24,7	19,8	16,7
T _{moy} (c°)	11,3	12,2	14,6	15,9	19,4	23,2	26,3	27,5	24,7	19,8	15,7	12,8

Source : ANRH Blida.

De par les derniers données de températures, on peut dessiner le graphe de répartition des températures moyennes interannuelles.

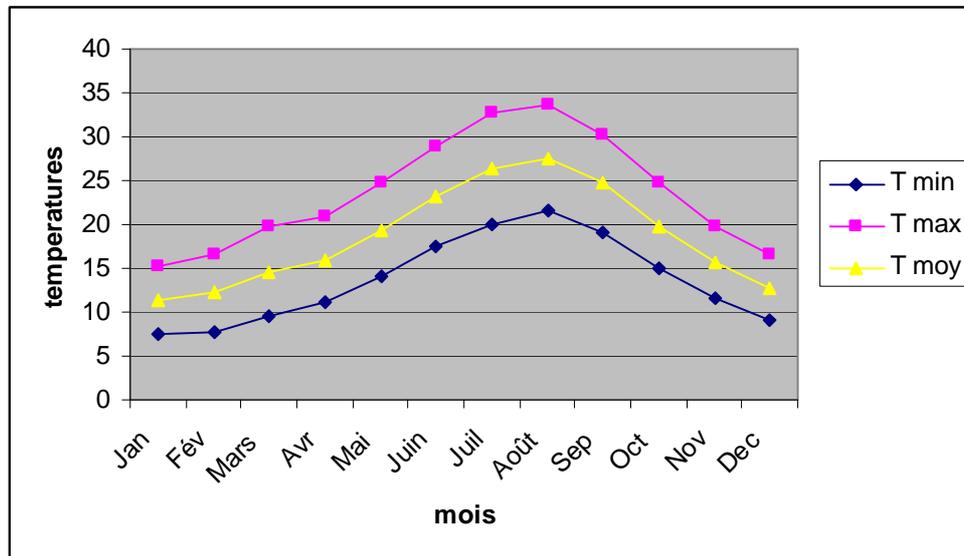


Figure (IV-2) : Répartition des températures moyennes interannuelles.

IV-1-2-3-Le vent

L'action des vents influe à la fois le sol (évapotranspiration et érosion) et la plante (la distribution).donc la connaissance de leurs vitesses et importante.

Tableau IV-4 : Vitesses moyennes mensuelles des vents.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
V (m/s)	3,0	3,1	2,9	3,1	2,8	3,0	3,2	3,1	2,5	2,3	2,5	3,7

Source : ANRH Blida.

IV-1-2-4- Evaporation.

L'évaporation se traduit par la transformation de l'eau liquide en vapeur d'eau, elle dépend généralement de la température ambiante et des mouvements de l'air.

Tableau IV-5 : Evaporation moyenne mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
Evaporation -n (mm)	59	54	72	88	104	135	157	154	118	97	77	63

Source : ANRH Blida.

IV-1-2-5- Insolation.

C'est la période durant laquelle le soleil brille sur le sol.

Tableau IV-6 : Insolation moyenne mensuelle.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
insolation (heures)	4,43	6,0	7,09	7,65	9,66	10,12	11,3	10,6	9,29	7,07	5,32	4,09

Source : ONM.

IV-1-2-6- Humidité relative de l'air.

Elle est un élément de cycle hydrologique qui contrôle l'évaporation du sol et le couvert végétal.

Tableau IV-7 : Humidités relatives moyennes mensuelles.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
Hr (%)	74	70	71	66	65	61	60	57	66	69	71	73

Source : ONM.

IV-1-2-7- Indices climatiques.

IV-1-2-7-1- Indice d'aridité de Martonne.

Il représente le degré de sécheresse du climat de la région. La classification bioclimatique de la zone peut être donnée par l'indice d'aridité de Martonne. Il est calculé par la formule suivante :

$$I_A = \frac{P}{T + 10} \quad (IV-1).$$

∴

Avec :

I_A : Indice climatique de Martonne.

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (c°).

$$\text{Donc : } I_A = \frac{576,93}{18,65 + 10} = 20,14$$

Tableau IV-8 : les limites de climat d'après l'indice de Martonne.

Valeurs de I_A	Type de climat	Irrigation
$I_A \leq 5$	Désertique	Indispensable
$5 < I_A \leq 10$	Très sec	Indispensable
$10 < I_A \leq 20$	Sec	Souvent indispensable
$20 < I_A \leq 30$	Relativement humide	Parfois utile
$I_A > 30$	Humide	Inutile

Dans notre cas : $I_A = 20,14$, ce qui correspond au climat relativement humide, d'où l'irrigation est parfois utile.

IV-1-2-7-2- Le diagramme ombrothermique de Gaussen.

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen fourni une représentation plus concrète du climat au cours de l'année.

- Nous avons utilisés les moyennes mensuelles interannuelles des précipitations et le double des températures calculées pour donner un aperçu sur le climat dans la région d'étude.

Tableau IV-9 : Précipitations et double des températures.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pluie mm	86,62	73,21	69,14	63,47	54,77	9,22	5,99	5,53	36,85	47,58	57,75	66,8
2x Temp	22,6	24,4	29,2	31,8	38,8	46,4	52,6	55	49,4	39,6	31,4	25,6

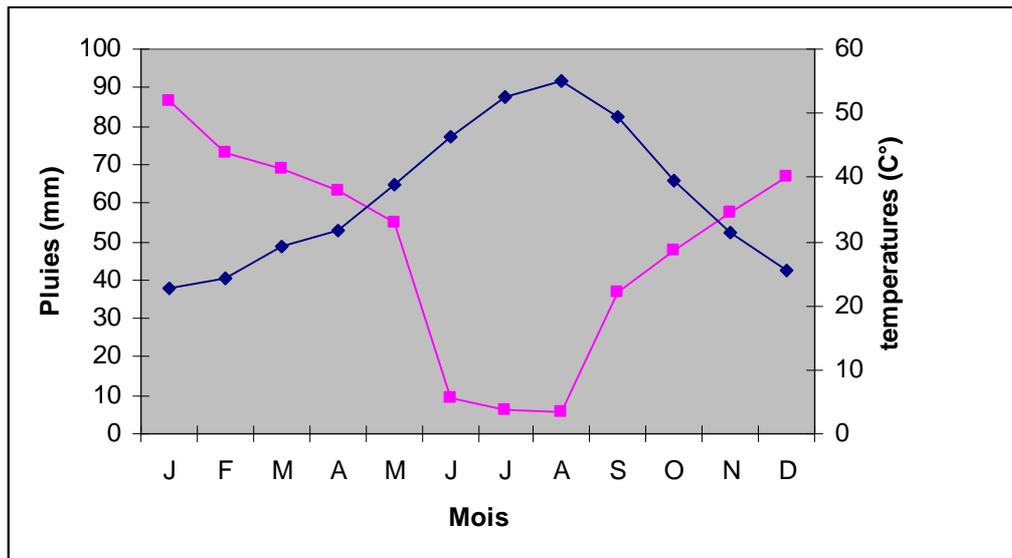


Figure (IV-2) : Diagramme ombrothermique.

IV-2-1- Ressources en sol de la parcelle.

La prospection pédologique confrontée aux résultats analytiques des sols a permis de mettre en évidence 01 classe de sol qui est : Classe des sols peu évolués.

1- Classe des sols peu évolués.

Les sols peu évolués de type AC sont formés d'un horizon humifère reposant directement sur le matériau d'altération ou sur les alluvions d'apport, il s'agit donc d'une matière peu altérée, les sols sont différenciés.

- La faible teneur en matière organique des sols décrits est liée au matériau de dépôts récents.
- Les sols sont riches en éléments fins ce qui leur incombe la texture fine, la teneur en calcaire total et actif est moyenne, la structure est faiblement développée dans l'horizon de surface.

Il a été distingué :

Sous-classe ; sols d'apport non climatique

Groupe : d'apport alluvial.

Sous groupe : verticale

Groupe : d'apport colluvial

Sous groupe : modal

Ces sols peu évolués appartiennent à la sous-classe des sols d'origine non climatique. L'étude du terrain a permis de distinguer le groupe suivant :

2- Groupe des sols peu évolués d'apport alluvial.

Ces sols présentent les caractères généraux suivants

- Faible différenciation du profil
- Altérations minérales réduites.
- Structure mal individualisée, peu développée généralement.
- Grande porosité et bonne aération superficielle
- Une texture fine.

3- Sous groupe : Modal.

Ces sols ne présentent pas de caractères, spécifiques secondaires (absence salinité, de caractère hydro morphes) appartiennent au sous groupe : M

Au niveau inférieur de la classification ; les sols se différencient au niveau de la famille et surtout du type, lequel est déterminé par la texture de l'horizon supérieur.

IV-2-2- Description du profil type.

Tableau IV-10 : Composition texturale du profil réalisé a la parcelle.

Fraction Horizons (cm)	Argiles (%)	Limons Fins (%)	Limons Grossiers (%)	Sables Fins (%)	Sables Grossiers (%)	texture
0-30	11.25	30.30	35.14	13.94	9.37	Limono sablo argileuse
30-60	4.20	33.38	34.83	24.95	2.64	Limono sableuse
60-90	3.60	10.94	31.93	24.70	28.83	Limono sableuse

IV-2-3- Caractéristiques hydrodynamiques du sol.

IV-2-3-1- La perméabilité.

La connaissance de la perméabilité est très importante, car elle module des travaux d'aménagement important.

Elle est calculer sur le terrain, par la méthode de Porchet, et sa valeur, est de : $K=2,76*10^{-5}$ m/s.

IV-2-3-2- La conductivité hydraulique.

La conductivité hydraulique est une propriété nécessaire à connaitre elle est mesurée au laboratoire, par la méthode de Hénin, et sa valeur est de : $K_s=9,95*10^{-5}$ m/s.

IV-2-3-3- La porosité.

La porosité qui présente le volume des vides par rapport aux volume totale du sol; les essais faits indiquent que la densité apparente des profils est comprise entre 1.30-1.60 et la densité réelle est comprise entre 2.37-2.56 d'où une porosité de: 36-49%.

IV-2-4- Ressources en eau.

IV-2-4-1- Les eaux de surface.

Pour un observateur qui se place au point le plus haut de la Mitidja, il aperçoit vers le nord une vaste plaine traversée par plusieurs cours d'eau, à qui on donne le nom d'oueds. Ces oueds sont alimentés soit par l'intermédiaire des sources ou par les eaux de ruissellement et les précipitations atmosphériques, quand ces dernières tombent régulièrement. D'après l'ANRH ces oueds ont des débits très irréguliers, d'une façon générale, ils sont secs en été, et coulent très fort après chaque averse en hiver.

IV-2-4-2- Les eaux souterraines.

La zone de la Mitidja est constituée par des alluvions villafranchiens de faible perméabilité.

Après la sécheresse, l'alimentation des nappes est faible.

Le niveau aquifère se trouve à une profondeur de 20m en moyenne, Il est constitué de graviers, de sables, et d'une faible proportion d'argile. La nappe est libre et repose sur un substratum argileux imperméable, donc on peut dire que le problème de la remontée de la nappe est évité.

IV-2-4-2-1- La qualité de l'eau du bassin d'irrigation.

Tableau IV-11 : Caractéristiques de l'eau d'irrigation.

Caractéristiques	PH	CE mmhos/cm	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	SAR
Eau du bassin	8.1	0 5	29	44	22	5.08

D'après ce tableau :

SAR < 10, ce qui veut dire que le risque d'alcalinité est faible.

CE < 0,75, salinité de l'eau qualifiée moyenne.

Alors l'eau d'irrigation ne présente pas de risques de salinité, et le risque alcalin, est négligeable, de par la, elle est utilisable pour l'irrigation.

IV-2-5- la géomorphologie.

Du nord au sud de la région de la Mitidja, on peut définir trois unités géomorphologiques :

➤ Le sahel

Il correspond à un ensemble de collines, formant la limite nord de la plaine de la Mitidja où l'altitude moyenne est de 200 mètres. La pente moyenne est de 4,5%, ce qui favorise les ruissellements des eaux et empêche de ce fait une grande partie à s'infiltrer.

➤ **La plaine de la Mitidja**

Au sud du Sahel, s'étend la plaine de la Mitidja d'une superficie de 1450 km² orientée WSW - ENE. Elle est limitée par l'Atlas Blidéen au sud, son altitude moyenne varie de 50 à 100 mètres, la pente dans la plaine tend vers zéro, ce qui favorise l'infiltration des eaux, là où les conditions géologiques le permettent (formation de surface perméable).

➤ **L'atlas.**

La chaîne de l'Atlas forme sur 30 km environ, une barrière continue où l'altitude moyenne est de 1400 mètres, certains sommets peuvent atteindre 1600 mètres. Les reliefs y sont escarpés et les oueds très encaissés, la pente atteint par endroits 30% ce qui favorise surtout l'écoulement superficiel.

IV-2-6- La géologie.

La parcelle à étudier est une partie de la plaine de la Mitidja, vaste bassin sédimentaire, limité par deux barrières continues étirées suivant la direction ENE, WSW, il s'agit du bourrelet saharien au Nord et du massif de Blida au sud. De nombreux problèmes stratigraphiques et tectoniques restent posés dans cette région, ces problèmes se posent particulièrement dans l'Atlas qui présente peu d'intérêt hydrogéologique.

Conclusion.

Au terme de ce chapitre, on peut conclure que la région Guerouaou a un climat relativement humide, ce qui implique que l'irrigation est parfois utile. Cette région a des ressources en sol et en eau remarquables, qui pourront favoriser le développement de l'irrigation en général.

Introduction.

L'irrigation gravitaire est un moyen d'apporter aux cultures le complément d'eau nécessaire au développement normal, lorsque les conditions de pluviométrie naturelle sont insuffisantes.

V-1-1- Organisation de l'irrigation actuelle.

V-1-1-1- les cultures en place.

La zone où se situe la parcelle d'étude, est divisée en deux grandes parcelles :

- Une première parcelle qui est emblavée entièrement de pêchers.
- Une deuxième parcelle qui est semée avec une culture maraîchère (courgette).

Le mode de l'irrigation de ces deux parcelles est un système d'irrigation gravitaire, plus spécialement : des raies courtes pour la courgette et des cuvettes pour les pêchers.

Dans ce qui va suivre nous allons seulement s'intéresser à la parcelle où est semée la courgette puisque l'étude est menée sur cette partie.

V-1-1-2- Réseau de distribution

Il comporte dans son ensemble :

- Un forage.
- Une bêche d'eau.
- Une conduite liant le forage et la bêche.
- Une conduite de distribution.

V-1-1-2-1- Le forage.

Il constitue l'élément essentiel du réseau, car c'est la source d'eau.



Figure (V-1) : Le forage en place et la conduite qui lui est raccordée.

V-1-1-2-2- La bâche d'eau

Elle est de forme rectangulaire, construite en briques. Ses dimensions sont :

- Une longueur de 6 m.
- Une largeur de 4 m.
- Une hauteur de 1,60 m



Figure (V-2) : La bâche d'eau.

V-1-1-2-3- La conduite liant le forage et la bâche.

C'est une conduite en PEHD, de diamètre 60 mm, précédée par une conduite en fonte, de diamètre 90 mm, sortante directement du forage. Elles sont liées par un joint d'étanchéité.

V-1-1-2-4- La conduite de distribution.

Elle est en PEHD, de diamètre 60 mm, raccordée directement à une vanne de diamètre 80 mm, est qui sont liées par un joint d'étanchéité.



Figure (V-3) : La conduite liée à la bêche d'eau.

V-1-2- Irrigation de la parcelle.

Le mode d'irrigation de la parcelle est gravitaire, les agriculteurs acheminent de l'eau en tête de la parcelle à l'aide de la conduite de distribution, en ouvrant le robinet vanne.

Lorsque l'eau arrive en tête de la parcelle, ils ouvrent la diguette de la raie pour laisser couler l'eau jusqu'à atteindre le bout de la raie, puis passer à la suivante, jusqu'à irriguer toute la parcelle. Lorsque l'irrigation est terminée ils remplissent le bassin en pompant de l'eau du forage.

A signaler que l'irrigation se fait d'une manière arbitraire, (des fois, ils irriguent chaque quatre jours, des autres fois, chaque cinq).

V-2-1- Calcul des besoins en eau de la courgette.

Dans un premiers temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite :

1. La connaissance des divers paramètres concernant aussi -bien la plante elle-même que les données climatiques et pédagogiques de la région.
2. Les données climatiques donneront les indications concernant les besoins en eau des cultures.
3. Les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol, et les données culturales préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante.

V-2-2- Détermination de l'année de calcul.

La détermination de l'année de calcul à pour but de connaître la quantité de pluie qui peut être utilisée par la plante, elle est une fraction de la pluie efficace (pluie de probabilité de 80%).

∴

Pour trouver la pluviométrie moyenne mensuelle de probabilité 80% ; on utilise la loi suivante :

$$P_{80\%} = P_{moy} * \frac{P_{theorique80\%}}{P_{theorique50\%}} \quad (V-1).$$

V-2-3- Etude des précipitations annuelles.

L'ajustement est fait par rapport à la loi log normale qui consiste à :
Classer les valeurs des précipitations annuelles par ordre décroissant.
Classer les fréquences des valeurs observées par la formule :

$$F(x) = \frac{n-0.5}{N-1} \quad (V-2)$$

Avec : n : numéro d'ordre.

N : numéro d'année observée.

Puis calculer :

➤ **La moyenne arithmétique :** $\bar{X} = \sum \frac{x_i}{n}$ (V-3)

➤ **L'écart type :** $\delta = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ (V-4)

➤ **La variable réduite de Gauss :** $U = \frac{(x - x_i)}{\delta}$ (V-5)

➤ **Le coefficient de variation :** $C_v = \frac{\delta}{x}$ (V-6)

Tableau V -1 : Le classement des pluies et leurs fréquences.

Valeurs de pluies (mm)	Valeurs classées (mm)	Ordre de classement	Fréquence expérimentale
911,2	384,7	1	0,0143
717,9	386,1	2	0,0429
936,2	410,1	3	0,0714
999,4	416,9	4	0,1000
797,4	422,2	5	0,1286
684	443,9	6	0,1571
846,5	453,7	7	0,1857
574,5	470,2	8	0,2143
626	491,9	9	0,2429
609,7	520,4	10	0,2714
787,7	523,5	11	0,3000
617,8	523,8	12	0,3286
520,4	568,4	13	0,3571
596,7	574,5	14	0,3857
523,8	579,2	15	0,4143
938,4	596,7	16	0,4429
640,1	609,7	17	0,4714
783,9	617,8	18	0,5000
422,2	626	19	0,5286
579,2	640,1	20	0,5571
416,9	664,8	21	0,5857
491,9	675,9	22	0,6143
695,4	684	23	0,6429
443,9	695,4	24	0,6714
470,2	717,9	25	0,7000
568,4	756,6	26	0,7286
756,6	773,8	27	0,7571
386,1	783,9	28	0,7857
675,9	787,7	29	0,8143
453,7	797,4	30	0,8429
384,7	846,5	31	0,8714
523,5	911,2	32	0,9000
410,1	936,2	33	0,9286
664,8	938,4	34	0,9571
773,8	999,4	35	0,9857

∴

- la moyenne arithmétique : $\bar{x} = 635,11$ mm.
- l'écart type $\delta = 171,04$ mm.
- le coefficient de variation $Cv = 0.26$.

D'après la droite de probabilité ; on tire les valeurs de $P_{80\%}$ et $P_{50\%}$:

$$P_{50\%} = 635,11 \text{ mm} ; \quad P_{80\%} = 491,19 \text{ mm.}$$

Pour chaque mois les pluies moyennes mensuelles sont dans le tableau suivant :

Tableau V-2 : Pluies moyennes mensuelles.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
P (mm)	86,62	73,21	69,14	63,47	54,77	9,22	5,99	5,53	36,85	47,58	57,75	66,8

Ainsi suivant la formule citée plus haut les pluies mensuelles de probabilité 80% sont inscrites dans le tableau ci après.

Tableau V-3 : Précipitations mensuelles de l'année de probabilité 80%.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc.
$P_{80\%}$ (mm)	66,7	56,37	53,23	48,87	42,17	7,09	4,61	4,25	28,37	36,63	44,46	51,43

V-2-4- Calcul de l'évapotranspiration.

Le déficit hydrique, qui peut également s'exprimer sous le terme de besoins en eau (B), se définit comme la différence entre l'évapotranspiration réelle (ETR) de la culture considérée et les précipitations efficaces (P_{eff}).

V-2-4-1- L'évapotranspiration réelle

Elle s'obtient en multipliant l'évapotranspiration standard par le coefficient cultural (les données climatiques à fournir pour la déterminer sont ci –dessous)

$$ETR = ET_0 * K_c \quad (V-7).$$

Avec :

ET₀ : représente l'évapotranspiration standard définie par Penman (1956) comme étant la quantité d'eau transpirée par unité de temps pour une végétation courte et verdoyante, recouvrant complètement le sol ; de hauteur uniforme et qui ne manque jamais d'eau .Elle se calcule à partir de la formule de Penman –Monteith et des données climatiques de la région.

.

Kc : correspond au coefficient cultural, fonction du type de culture et de son état végétatif.

Tm : température maximum et minimale, exprimée en c°.

Hm : humidité de l'air, exprimée en %.

Vmax ; Vmin : vitesses du vent maximale et minimale, exprimée en m/s.

P : précipitations exprimées en mm.

Insol : durée d'insolation, exprimée en heure.

V-2-4-2- calcul de ET₀.

Pour calculer l'ET₀ au pas de temps journalier, on a utiliser le logiciel Cropwat 8.

Tableau V-4 : Calcul de ET₀.

Pays : ALGERIE		Station climatique : Soumaa.				
Altitude : 250 mètres						
MOIS	Temp-Moy C°	Humidité %	Vent m/s	Insolation heures	Radiation MJ/m ² .jour	ET ₀ Penman mm/jour
Janvier	11,3	74	3,0	4,43	8,3	1,48
Février	12,2	70	3,1	6,0	11,9	2,06
Mars	14,6	71	2,9	7,09	16	2,72
Avril	15,9	66	3,1	7,65	19,5	3,6
Mai	19,4	65	2,8	9,66	23,9	4,62
Juin	23,2	61	3,0	10,12	25	5,62
Juillet	26,3	60	3,2	11,29	26,3	6,40
Août	27,5	57	3,1	10,58	24	6,28
Septembre	24,7	66	2,5	9,29	19,8	4,43
Octobre	19,8	69	2,3	7,07	14	2,79
Novembre	15,7	71	2,5	5,32	9,6	1,86
Décembre	12,8	73	3,7	4,09	7,4	1,66
moyenne	18,65	67	2,9	7,7	17,1	3,63

V-2-5- Les besoins en eau de la courgette.

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETP - (P_{eff} + RFU) \quad (V-8).$$

Avec : B : besoin en eau d'irrigation (mm)
E.T.P : évapotranspiration (mm / jour)
RFU : réserve facilement utilisable

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}).Da.Z \quad (V-9).$$

Avec :

Y : degré de tarissement.

Da : densité apparente.

Z : profondeur d'enracinement.

Hcc : humidité à la capacité au champ.

∴

H_{pf} : humidité au point de flétrissement

P_{ef} : pluie efficace.

P_{ef} = A.pluie ; ou A = 0,8 à 0,9 (pour notre cas on a prendre A = 0,8).

Les besoins en eau mensuels de la courgette sont inscrits dans le tableau suivant.

Tableau V-5 : Besoins en eau de la courgette.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
ET₀ mm/j	4,43	2,79	1,86	1,66	1,48	2,06	2,72	3,6	4,62	5,62	6,4	6,28
ET₀ mm/mois	132,9	86,49	55,8	51,46	45,88	57,68	84,32	108	138,6	174,2	198	194,7
Pluie mm	28,37	36,63	44,46	51,43	66,7	56,37	53,23	48,87	42,17	7,09	4,61	4,25
P efficace mm	22,69	29,30	35,56	41,14	53,36	45,09	42,58	39,09	33,73	5,67	3,68	3,4
Kc	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5	1	0,8	0,8	-
ETM mm/mois	-	-	-	-	-	-	42,16	54	138,6	139,4	158,4	-
B (mm/ mois)	-	-	-	-	-	-	-0,42	14,91	104,8	133,7	154,7	-

Conclusion.

Au terme de ce chapitre on peut conclure les besoins en eau sont un paramètre déterminant dans le développement des cultures et leur rendement.

Introduction.

Le recueil des données expérimentales, repose sur la mesure des différentes dimensions de la raie, ainsi que de l'estimation de quelques paramètres essentiels pendant les différentes campagnes d'irrigation.

Ces données expérimentales une fois recueillies, nous permettront par la suite de déterminer les différents paramètres de l'équation de KOSTIAKOV ainsi établir l'équation d'infiltration qui nous permettra d'évaluer la lame d'eau infiltrée tout au long de la raie.

VI-1- Description de la raie.

L'étude est menée sur une raie courte, elle est fermée au bout, ses dimensions sont inscrites dans le tableau ci-dessus.

Tableau VI-1 : Dimensions de la raie.

L (m)	b (m)	B (m)	h (m)	I (%)
35	0,09	0,25	0,12	0,1

Avec :

L : longueur de raie.

b : largeur au fond.

B : largeur au plafond.

I : pente de la raie.

h : profondeur du sillon.

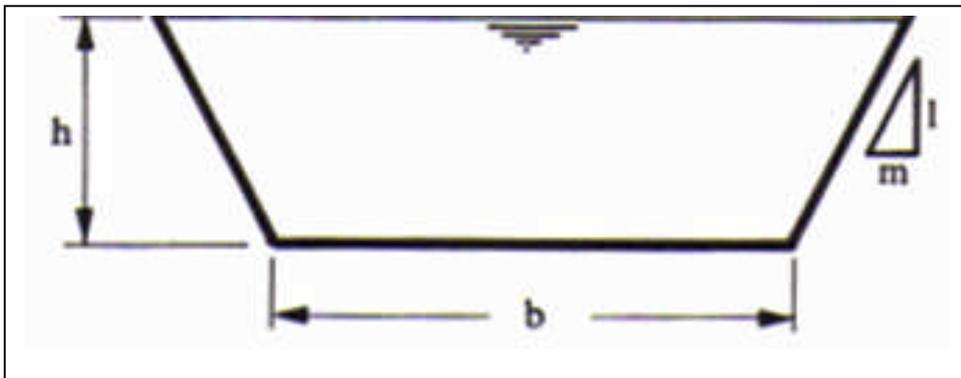


Figure (VI-1) : Forme de section de la raie.

VI-2- Description de l'irrigation.

Pendant chaque irrigation nous avons intéressé a plusieurs paramètres tel que : le débit en tête de raie, le temps de l'avancement et de la récession, et le temps d'infiltration.

VI-2-1- Le débit en tête de raie.

On a mesuré le débit d'une manière traditionnelle, en recueillons un volume avec la prise de temps pour avoir ce volume, et a l'aide de la formule de débit, on a fait le calcul de ce dernier.

VI-2-2- Le temps de l'avancement.

C'est entre l'instant où l'eau commence à s'écouler (t_0), et le moment où elle atteint chaque un des piquets qu'on a implanté. (Ces piquets sont implantés a : 1/4, 1/2, 3/4).

VI-2-3- La récession.

Correspond a la période pendant la quelle l'eau disparaît complètement a chaque piquet après le temps de coupure.

VI-2-4- L'infiltration.

C'est le temps qu'il faut pour que l'eau s'infiltré complètement dans la raie.

VI-3- Le déroulement des irrigations.

IV-3-2-La première irrigation.

Elle a été effectuer avec un débit de $Q = 0,88\text{l/s}$, on a relevé les mesures représentées dans le tableau suivant :

Tableau VI-2 : Résultats pour la première irrigation.

Distance (m)	temps d'avancement (min)	temps de Récession (min)
0	0,00	7
8,75	1,00	9
17,5	3	10.5
26,25	4,28	12
35	6,28	17

VI-3-3- La deuxième irrigation.

Elle a été effectuée avec le même débit, on a relevé les mesures représentées dans le tableau suivant :

Tableau VI-3 : Résultats pour la deuxième irrigation.

Distance (m)	temps d'avancement (min)	temps de Récession (min)
0	0,00	7
8,75	2	8
17,5	3,00	9,5
26,25	4	11
35	7,00	20

VI-4- Infiltration à partir des données d'avancement.

Les méthodes de mesure de l'infiltration, ne sont pas suffisantes pour simuler de manière satisfaisante l'avancée dans la raie.
 La méthode la plus efficace est la mesure de la vitesse d'avancement de l'eau dans la raie, la section d'écoulement et le volume de colature. De ces données, on peut en déduire une infiltration moyenne basée sur le calcul du bilan.

VI-5- Equation du bilan.

On utilise la fonction d'avancement pour évaluer les paramètres de l'infiltration. La résolution est basée sur les deux équations suivantes :

VI-5-1- Fonction d'avancement de l'eau.

$$X = p(t_a)_x^r \tag{VI-1}.$$

Avec :

t_a : temps d'avancement de l'eau.

p,r : paramètres d'ajustement.

X : distance le long de la raie.

Sachant que :

$$p = \frac{1}{r} \tag{VI-2}.$$

$$r = \frac{1}{r} \tag{VI-3}.$$

∴

Avec :

$$r' = \frac{\ln\left(\frac{t_{0,5L}}{t_L}\right)}{\ln(0,5)} \quad (\text{VI-4}).$$

$$p' = \frac{t_L}{L^{r'}} \quad (\text{VI-5}).$$

$t_{0,5L}$: temps d'avancement à $L/2$.

t_L : temps d'avancement à L .

VI-5-2- L'équation de Lewis-Kostiakov.

C'est une équation qui permet de calculer le volume infiltré dans la raie.

Elle est donnée par :

$$Z = K\tau^a + f_0\tau \quad (\text{VI-6}).$$

Avec :

Z : volume infiltré.

f_0 : taux d'infiltration.

a, k : paramètres d'ajustement.

L'équation du bilan s'écrit :

$$Q_0 \cdot t_x = \sigma_y \cdot A_0 \cdot x + \sigma_z \cdot k \cdot t^a \cdot x + \frac{f_0 \cdot t \cdot x}{1+r} \quad (\text{VI-7}).$$

Avec :

A_0 : surface d'écoulement au début de la raie.

Q_0 : débit en tête de raie (m^3/min).

t : temps depuis le début de l'irrigation (min).

σ_y : facteur de forme de stockage en surface ($\sigma_y = A_{\text{moy}}/A = 0,7$ à $0,8$). Ca sera $0,8$ pour notre cas.

σ_z : facteur de forme du sous-sol ($\sigma_z = \frac{a+r(1-a)+1}{(1+a)(1+r)}$).

VI-6- Evaluation des paramètres d'infiltration (k, a et f_0)

Par la méthode des deux points (Elliot et Walker, 1982), on écrit l'équation du bilan pour deux abscisses d'avancement ($L/2$ et L) en utilisant les mesures des vitesses d'avancement.

∴

En L/2 :

$$Q_0 \cdot (t_{0,5L}) = \sigma_y \cdot A_0 \cdot \frac{L}{2} + \sigma_z \cdot k \cdot (t_{0,5L})^a \cdot L + \frac{f_0 \cdot (t_{0,5L}) \cdot L}{2 \cdot (1+r)} \quad (\text{VI-8}).$$

En L :

$$Q_0 \cdot (t_L) = \sigma_y \cdot A_0 \cdot L + \sigma_z \cdot k \cdot (t_L)^a \cdot L + \frac{f_0 \cdot (t_L) \cdot L}{(1+r)} \quad (\text{VI-9}).$$

Les inconnus dans les équations précédentes sont : k et a. par linéarisation dans un diagramme logarithmique, On a :

$$a = \frac{\log\left(\frac{V_L}{V_{0,5L}}\right)}{\log\left(\frac{t_L}{t_{0,5L}}\right)} \quad (\text{VI-10}).$$

Avec :

$$V_L = \frac{Q_0 t_L}{L} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_L}{1+r} \quad (\text{VI-11}).$$

$$V_{0,5L} = \frac{2Q_0 t_{0,5L}}{L} - \sigma_y A_0 - \frac{f_0 t_{0,5L}}{1+r} \quad (\text{VI-12}).$$

$$k = \frac{V_L}{\sigma_z t_L^a} \quad (\text{VI-13}).$$

$$f_0 = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{L} \quad (\text{VI-14}).$$

Q_{in} : débit en tête de raie.

Q_{out} : débit de colature. (égal a zéro pour notre cas).

V_L : volume infiltré en $x=L$.

$V_{0,5L}$: volume infiltré en $X=0,5L$.

VI-7- Evaluation de l'irrigation par raie

Le volume total infiltré peut être trouvé en intégrant la distribution de l'humidité par la formule des trapèzes.

$$V_z = \frac{L}{2n} (Z_0 + 2Z_1 + 2Z_2 + \dots + Z_n) \quad (\text{VI-15}).$$

Avec :

L : longueur de la raie.

∴

Z_i : infiltration cumulée au point i.

n : nombre d'incrément.

La valeur de Z_i est donnée par :

$$Z_i = k[t_r - (t_a)_i]^a + f_0[t_r - (t_a)_i] \quad (\text{VI-16}).$$

Avec :

$(t_a)_i$: Temps d'avancement a la i^{ème} station.

t_r : Temps de récession

$[t_r - (t_a)_i]$: Temps pendant lequel l'eau est en contact avec le sol.

Quatre indices standard de performance peuvent être calculé :

VI-7-1-Pour une irrigation complète et sur irrigation.

➤ **Efficienc e de l'application**

$$E_a = \frac{Z_{req} L}{Q_0 t_c} * 100 \quad (\text{VI-17}).$$

Avec :

Z_{req} : profondeur infiltrée requise.

t_c : temps de coupure.

➤ **Taux de percolation profonde.**

$$DPR = \frac{V_z - Z_{req} L}{Q_0 t_c} * 100 \quad (\text{VI-18}).$$

➤ **Taux d'écoulement de colature.**

$$TWR = 100 - E_a - DPR \quad (\text{VI-19}).$$

➤ **Efficienc e par rapport aux besoins.**

$$E_r = 100 \% \quad (\text{VI-20}).$$

VI-7-2-Pour sous irrigation.

➤ **Efficienc e de l'application**

$$E_a = \frac{Z_{req} * X_d + V_{Zinad}}{Q_0 * t_c} \quad (\text{VI-21}).$$

➤ **Taux de percolation profonde.**

$$DPR = \frac{V_{Zadeq} - Z_{req} * X_d}{Q_0 * t_c} \quad (\text{VI-22}).$$

∴

➤ **Taux d'écoulement de colature.**

$$TWR = 100 - E_a - DPR \quad (VI-23).$$

➤ **Efficacité par rapport aux besoins.**

$$E_r = \frac{Z_{req} * X_d + V_{Zinad}}{Z_{req} * L} \quad (VI-24).$$

Lorsque la profondeur appliquée ne satisfait pas les besoins, le volume infiltré doit être divisé en deux parties. En premier lieu, définir la position X_d qui sépare $V_{z\text{adequat}}$ et $V_{z\text{inadequat}}$.

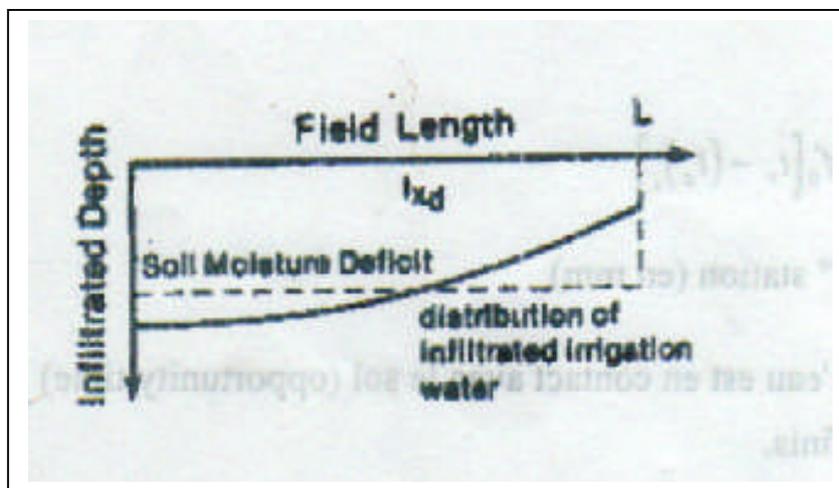


Figure (VI-2) : Courbe d'infiltration pour une sous irrigation.

VI-8- Calculs pratiques

Dans cette partie, on calculera les différents paramètres pour les deux irrigations.

VI-8-1- la première irrigation.

➤ **Données de calcul**

Les dimensions concernant la raie sont données dans le tableau VI-1.

Les données de l'avancement et de la récession sont données dans le tableau VI-2.

Le coefficient de rugosité : $n = 0,04$.

Espacement entre les raies : $E = 0,4$ m.

➤ **Recherche de la relation section-débit.**

Tableau VI-4 : Valeurs des sections et périmètres mouillés.

Hauteur y (m)	Distance T (m)	Section S (m ²)	Périmètre P (m)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,015	8,75	0,022	0,12
0,018	17,5	0,026	0,133
0,02	26,25	0,029	0,138
0,04	35	0,037	0,151

La relation de la section mouillée est :

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad \text{et} \quad \log A = \log \sigma_1 + \sigma_2 \log y$$

σ_1 et σ_2 sont déterminés à partir de y et T, et la relation : $T = a_1 y^{a_2}$

On démontre que : $\sigma_1 = \frac{a_1}{a_2 + 1}$ et $\sigma_2 = a_2 + 1$

Par la méthode de deux points, on a :

$$a_1 = \frac{0,037}{0,04^{0,86}} = 0,59$$

$$\sigma_1 = \frac{0,59}{0,86 + 1} = 0,31$$

$$a_2 = \frac{\log\left(\frac{35}{17,5}\right)}{\log\left(\frac{0,04}{0,018}\right)} = 0,86$$

$$\sigma_2 = 0,86 + 1 = 1,86$$

La relation du périmètre mouillée est :

$$P = \gamma_1 y^{\gamma_2}$$

$$\gamma_2 = \frac{\log\left(\frac{0,151}{0,133}\right)}{\log\left(\frac{0,04}{0,018}\right)} = 0,16$$

$$\gamma_1 = \frac{0,151}{(0,04)^{0,16}} = 0,25$$

∴

Par conséquent :

$$C_1 = \left(\frac{\sigma_1(\gamma_1^{0,67})}{(\sigma_1^{1,67})} \right)^{c_2} = 0,91$$

$$c_2 = \frac{3\sigma_2}{5\sigma_2 - 2\gamma_2} = 0,62$$

Par ailleurs :

$$A_0 = 0,91 \left(\frac{52,8 * 10^{-3} * 0,04}{60\sqrt{0,001}} \right)^{0,62} = 0,0134 m^2$$

➤ **Calcul de r et de p.**

Déterminer également par la méthode deux points.

$$r = \frac{\log\left(\frac{35}{17,5}\right)}{\log\left(\frac{6,28}{3}\right)} = 0,5$$

$$p = \frac{35}{6,28^{0,5}} = 13,9$$

➤ **Calcul de f₀, a et k.**

$$f_0 = \frac{0,0528}{35} = 0,0015 \frac{m^3}{m * \text{min}^{-1}}$$

On doit calculer : V_L et V_{0,5L}.

$$V_L = \frac{0,0528 * 6,28}{35} - 0,8 * 0,0134 - \frac{0,0015 * 6,28}{1 + 0,5} = 7,52 * 10^{-3} m^3$$

$$V_{0,5L} = \frac{0,0528 * 3}{17,5} - 0,8 * 0,0134 - \frac{0,0015 * 3}{1 + 0,5} = 4,66 * 10^{-3} m^3$$

$$a = \frac{\log\left(\frac{7,52 * 10^{-3}}{4,66 * 10^{-3}}\right)}{\log\left(\frac{6,28}{3}\right)} = 0,64$$

∴

$$k = \frac{7,52 * 10^{-3}}{0,33 * 6,28^{0,64}} = 0,00703$$

$$\sigma_z = \frac{0,64 + 0,5(1 - 0,64)}{(1 + 0,5)(1 + 0,64)} = 0,33$$

L'équation d'infiltration résultante est la suivante :

$$Z = 0,00703x^{0,64} + 0,0015\tau$$

Avec :

Z : sa valeur est en m³/m, de longueur de raie, par espacement des raies.

Le temps d'application de l'irrigation est : 17-6,28 = 10,72 min.

Z = 0,0481 m³/raie. Correspond a une profondeur uniforme de : 0,0481/0,75 = 0,0642 m

Tableau VI-5 : Résultats obtenus pour la première irrigation.

Distance (m)	Temps d'avancée (min)	Temps de récession (min)	Temps d'irrigation	Hauteur infiltrée (m)
0	0,00	7	7	0,0465
8,75	1,00	9	8	0,0514
17,5	3,00	10,5	6,5	0,0440
26,25	4,28	12	7,72	0,0501
35	6,28	17	10,72	0,0642

La courbe d'infiltration qui résulte est donnée dans la figure suivante.

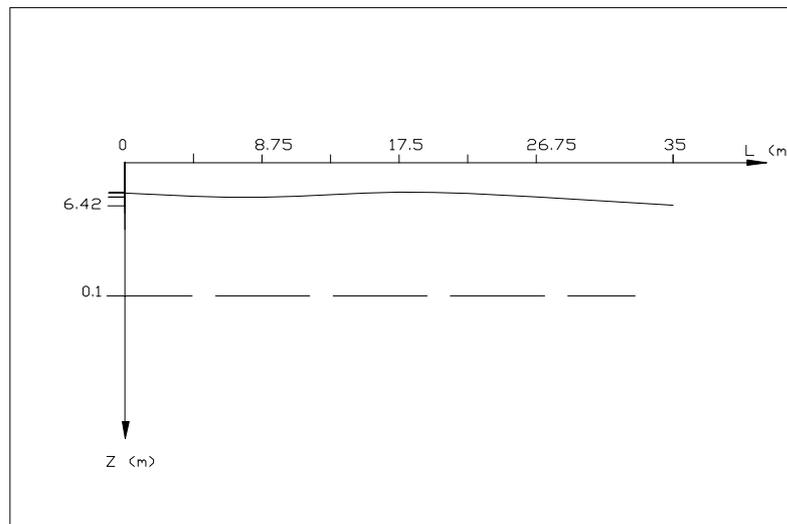


Figure (VI-3) : Courbe d'infiltration pour la pour irrigation.

VI-8-1-1- Interprétation des résultats.

D'après la courbe d'infiltration on constate que, l'infiltration le long de la raie varie d'un point à un autre.
L'irrigation est in uniforme et ne semble pas satisfaire les besoins en eau des cultures, car la hauteur d'eau requise qui est de 0,1m, n'est pas atteinte.

Dans le chapitre suivant, nous allons exécuter une simulation à l'aide du logiciel Sirmod, et qui nous permettra de procéder à une étude comparative.

VI-8-1-2- Calcul des indices de performance.

D'après la courbe d'infiltration, on voit que le déficit est uniforme alors :

On sait que :

$$\left. \begin{array}{l} 0,1 \rightarrow 100\% \\ 0,0642 \rightarrow E_a \end{array} \right\} \Rightarrow E_a = 64\%$$

DPR = 0%.

TWR = 36%.

VI-8-2- La deuxième irrigation.

➤ Données de calcul

Les dimensions concernant la raie sont données dans le tableau VI-1.
Les données de l'avancement et de la récession sont données dans le tableau VI-3.
Le coefficient de rugosité : $n = 0,03$.
Espacement entre les raies : $E = 0,4$ m.

➤ Recherche de la relation section-débit.

Tableau VI-6: Valeurs des sections et périmètres mouillés.

Hauteur y (m)	Distance T (m)	Section S (m ²)	Périmètre P (m)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,015	8,75	0,022	0,12
0,018	17,5	0,026	0,133
0,02	26,25	0,029	0,138
0,04	35	0,037	0,151

∴

La relation de la section mouillée est :

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad \text{et} \quad \log A = \log \sigma_1 + \sigma_2 \log y$$

σ_1 et σ_2 sont déterminés à partir de y et T , et la relation : $T = a_1 y^{a_2}$

On démontre que : $\sigma_1 = \frac{a_1}{a_2 + 1}$ et $\sigma_2 = a_2 + 1$

Par la méthode de deux points, on a :

$$a_1 = \frac{0,037}{0,04^{0,86}} = 0,59$$

$$\sigma_1 = \frac{0,59}{0,86 + 1} = 0,31$$

$$a_2 = \frac{\log\left(\frac{35}{17,5}\right)}{\log\left(\frac{0,04}{0,018}\right)} = 0,86$$

$$\sigma_2 = 0,86 + 1 = 1,86$$

La relation du périmètre mouillée est :

$$P = \gamma_1 y^{\gamma_2}$$

$$\gamma_2 = \frac{\log\left(\frac{0,151}{0,133}\right)}{\log\left(\frac{0,04}{0,018}\right)} = 0,16$$

$$\gamma_1 = \frac{0,151}{(0,04)^{0,16}} = 0,25$$

Par conséquent :

$$C_1 = \left(\frac{\sigma_1 (\gamma_1^{0,67})}{(\sigma_1^{1,67})} \right)^{c_2} = 0,91$$

$$c_2 = \frac{3\sigma_2}{5\sigma_2 - 2\gamma_2} = 0,62$$

∴

Par ailleurs :

$$A_0 = 0,91 \left(\frac{52,8 * 10^{-3} * 0,03}{60 \sqrt{0,001}} \right)^{0,62} = 0,0112 m^2$$

➤ **Calcul de r et de p.**

Déterminer également par la méthode deux points.

$$r = \frac{\log\left(\frac{35}{17,5}\right)}{\log\left(\frac{7}{3}\right)} = 0,5$$

$$p = \frac{35}{7^{0,5}} = 13,9$$

➤ **Calcul de f₀, a et k.**

$$f_0 = \frac{0,0528}{35} = 0,0015 \frac{m^3}{m * \text{min}^{-1}}$$

On doit calculer : V_L et V_{0,5L}.

$$V_L = \frac{0,0528 * 7}{35} - 0,8 * 0,0112 - \frac{0,0015 * 7}{1 + 0,5} = 5,4 * 10^{-3} m^3$$

$$V_{0,5L} = \frac{0,0528 * 3}{17,5} - 0,8 * 0,0112 - \frac{0,0015 * 3}{1 + 0,5} = 2,9 * 10^{-3} m^3$$

$$a = \frac{\log\left(\frac{5,4 * 10^{-3}}{2,9 * 10^{-3}}\right)}{\log\left(\frac{7}{3}\right)} = 0,73$$

$$k = \frac{5,4 * 10^{-3}}{0,33 * 7^{0,73}} = 0,00395$$

$$\sigma_z = \frac{0,73 + 0,5(1 - 0,73)}{(1 + 0,5)(1 + 0,73)} = 0,33$$

L'équation d'infiltration résultante est la suivante :

$$Z = 0,00395 \tau^{0,73} + 0,0015 \tau$$

.

Avec :

Z : sa valeur est en m^3/m , de longueur de raie, par espacement des raies.

Le temps d'application de l'irrigation est : $20-7 = 13$ min.

$Z = 0,0451 m^3/raie$. Correspond a une profondeur uniforme de : $0,0451/0,75 = 0,0602$ m

.

Tableau VI-7 : Résultats obtenus pour la deuxième irrigation.

Distance (m)	Temps d'avancée (min)	Temps de récession (min)	Temps d'irrigation	Hauteur infiltrée (m)
0	0,00	7	7	0,0346
8,75	2	8	6	0,0314
17,5	3,00	9,5	6,5	0,0336
26,25	4	11	7	0,0346
35	7,00	20	13	0,0602

La courbe d'infiltration qui résulte est donnée dans la figure suivante.

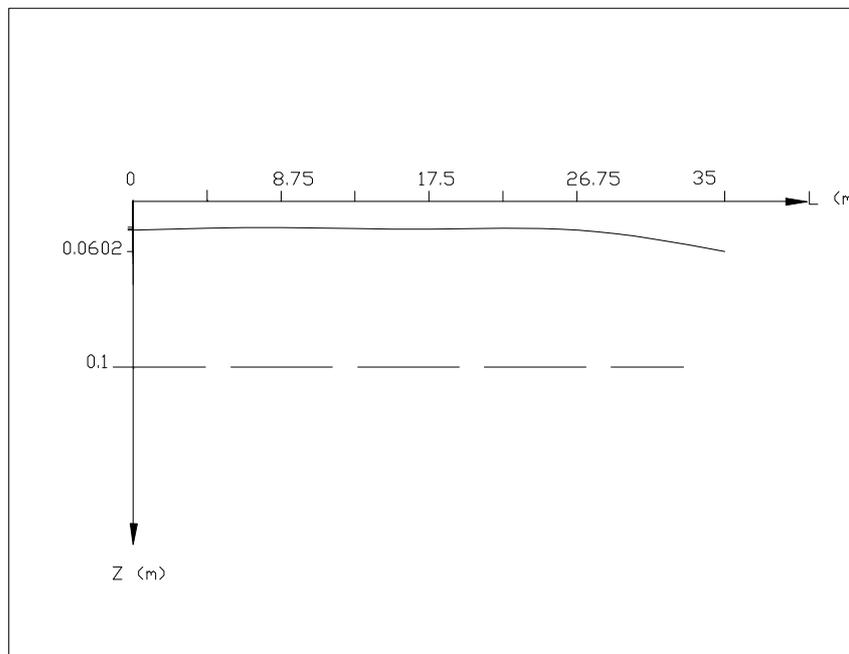


Figure (VI-4) : Courbe d'infiltration pour la deuxième irrigation.

VI-8-2-1- Interprétation des résultats.

D'après la courbe d'infiltration on constate que, l'infiltration le long de la raie varie d'un point à un autre. L'irrigation est in uniforme et ne semble pas satisfaire les besoins en eau des cultures, car la hauteur d'eau requise qui est de 0,1m, n'est pas atteinte.

VI-8-2-2-Calcul des indices de performance.

On sait que :

$$\left. \begin{array}{l} 0,1 \rightarrow 100\% \\ 0,0602 \rightarrow E_a \end{array} \right\} \Rightarrow E_a = 60\%$$

DPR = 0%

TWR=40%

Conclusion.

Au terme de ce chapitre, il vent à conclure que les quantités d'eau apportées sont insuffisantes car, la réserve facilement utilisable n'est pas remplie, ce qui implique que les cultures n'ont pas reçues les quantités d'eau suffisantes pour leurs développement. La cause de cette sous irrigation est semblablement, le temps de coupure qui est très court, et qui ne permet pas l'infiltration des quantités d'eau suffisantes pour satisfaire les cultures. Ajoutons à cela la non uniformité constatée au niveau de la largeur au fond et au plafond, tout au long de la raie.

Introduction.

Les mesures expérimentales au niveau de la raie représentent un stock de données concrètes qui nous serviront de repère afin de procéder à la simulation mathématique à l'aide du logiciel SIRMOD.

Ainsi dans ce qui suit, tout éloignement ou divergence avec les données concrètes seront observés et justifiés.

VII-1- Introduction des données dans SIRMOD.

Les données recueillies sur le terrain sont introduites dans Sirmod, en considérant que le régime de débit est continu, et qu'il n'y a pas de débit de colature, ainsi que l'extrémité de la raie est bloquée.

VII-2- Résultats de simulation.

VII-2-1- La première irrigation.

La première simulation a été faite avec un débit $Q = 0,88$ l/s, et les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII-1 : Lame d'eau infiltrée suivant la longueur de la raie.

Distance (m).	Lame infiltrée (m).
0	0,01431
8,75	0,01431
13,63	0,01399
17,5	0,01404
20,50	0,01414
23,73	0,01430
26,75	0,01399
29,92	0,01346
32,12	0,01391
33,74	0,01358
34,86	0,01325
35,00	0,01319

L'évolution de la lame infiltrée est représentée sur le graphe suivant :

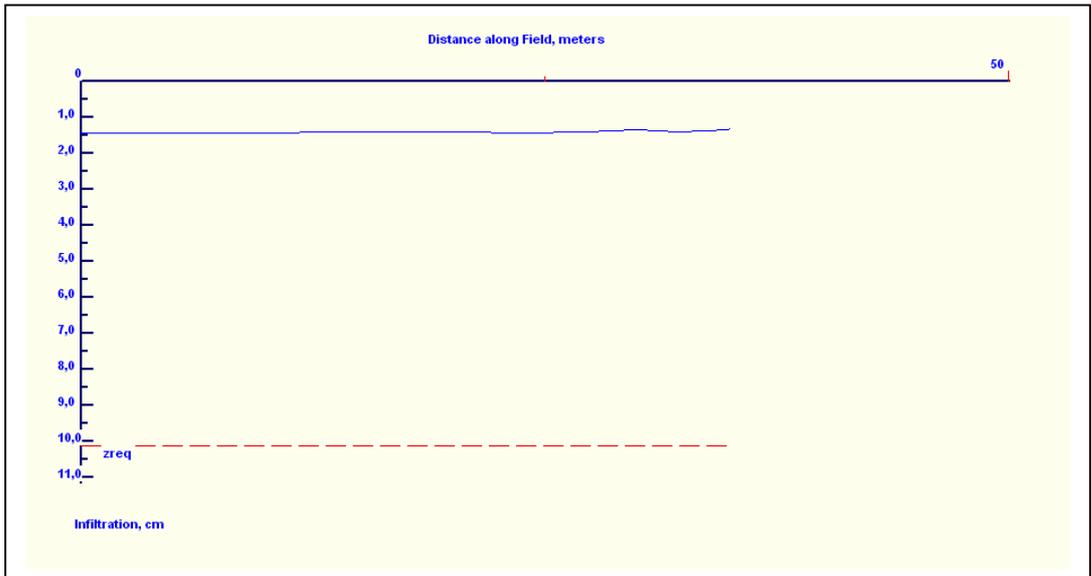


Figure (VII-1) : Courbe d’infiltration résultante de la simulation.

VII-2-2- Interprétation des résultats.

- La courbe d’infiltration résultante de la simulation nous renseigne sur :
- la lame d’eau maximale infiltrée est enregistrée au début de la raie (à 8,75m).
 - La lame d’eau minimale infiltrée est enregistrée au bout de la raie (à 35m).
 - La hauteur d’eau requise (Z_{req}), n’est pas atteinte.

D’après ces résultats, on déduit que la parcelle est sous irriguée, et cela est du au temps de coupure qui est trop court, et qui ne permet pas l’infiltration des quantités d’eau suffisantes pour satisfaire les cultures.

VII-3- La deuxième irrigation.

La deuxième simulation a été faite avec un débit $Q = 0,88$ l/s, et les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau VII-2 : lame d’eau infiltrée suivant la longueur de la raie.

Distance (m).	Lame infiltrée (m).
0,00	0,02531
5,78	0,02443
8,75	0,02351
11,45	0,02254
14,07	0,02150
16,46	0,01920
17,5	0,01789
20,99	0,01641
22,28	0,01470
22,74	0,00974

∴

L'évolution de la lame infiltrée est représentée sur le graphe suivant :

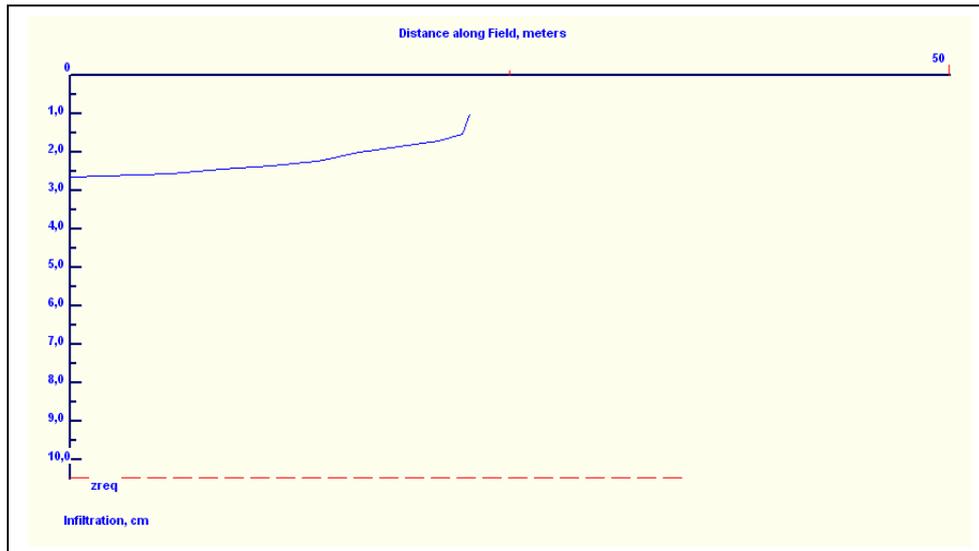


Figure (VII-2) : Courbe d'infiltration résultante de la simulation

VII-3-1-Interprétation des résultats.

La courbe d'infiltration résultante de la simulation nous renseigne sur :

- la lame d'eau maximale infiltrée est enregistrée au début de la raie (à 0m).
- La lame d'eau minimale infiltrée est enregistrée au bout de raie (à 22,74m).
- L'eau n'arrive pas au bout de raie (à 35m).

D'après ces résultats, la parcelle est sous irriguée.

VII-4- Etude comparative.

Dans cette partie, nous allons faire une comparaison entre les valeurs mesurées sur le terrain, et les valeurs simulées.

➤ **Pour la première irrigation.**

Tableau VII-3 : Résultats mesurés et simulés pour la première irrigation.

	Temps d'avancement (min).		Lame d'eau infiltrée (mm).	
	mesuré	simulé	mesurée	simulée
0,00	0,00	0,00	0,0465	0,01431
8,75	1,00	1,5	0,0514	0,01431
17,5	3	4,00	0,0440	0,01319
26,75	4,28	6,40	0,0501	0,01399
35	6,28	11,19	0,0642	0,01404

∴

➤ **Pour la deuxième irrigation.**

Tableau VII-4 : résultats mesurés et simulés pour la deuxième irrigation.

	Temps d'avancement (min).		Lame d'eau infiltrée (mm).	
	mesuré	simulé	mesurée	simulée
0,00	0,00	0,00	0,0346	0,01789
8,75	2,00	2,00	0,0314	0,02351
17,5	3,00	5,5	0,0336	0,02531
26,75	4,00	0,00	0,0346	0,00
35	7,00	0,00	0,0602	0,00

A la lumière de ces résultats, on déduit que les écarts entre les valeurs mesurées et simulés sont très importants.

Conclusion.

Au terme de ce chapitre, il vient à conclure que d'après la divergence constatée entre les valeurs expérimentales et issues du logiciel, on peut dire que ce dernier ne prédit pas de façon adéquate le temps mis par le front d'eau pour atteindre le bout de la raie, et la lame d'eau infiltrée le long de cette dernière. Ainsi, l'utilisation de SIRMOD dans ces conditions, ne s'avère pas très recommandée.

.

Conclusion générale.

Compte tenu des premiers résultats obtenus lors du calcul de l'infiltration (expérimentalement ou/et avec logiciel Sirmod), il a été révélé ce qui suit :

- L'allure de la lame infiltrée (donnée par Kostiakov) est variable, enregistrant une infiltration maximale en bout de raie, dues à diverses anomalies (irrégularité de la pente, section variable). Pour y remédier, on recommande fortement :
 - l'aménagement des raies (amélioration de la pente et de la section) ;
 - l'évaluation des besoins en eau des cultures, tout en maîtrisant le débit à la raie ;
 - de minimiser les pertes d'eau (au transport et à la distribution), et cela par une organisation d'une irrigation plus performante ;

- Par ailleurs, le modèle SIRMOD simule d'une manière inexploitable le processus d'infiltration de l'eau, vu que les écarts ; entre les valeurs d'avancement et de la lame infiltrée calculées et celles simulées ; sont très importants.

A la lumière de ce qui précède, l'utilité du modèle SIRMOD comme outil indispensable dans l'amélioration de la gestion de l'irrigation à la parcelle prouvé par plusieurs études dans le monde, s'avère inadaptable dans le cas de raies de courte longueur, mais tout laisse à dire qu'une nécessité s'impose de l'appliquer a nouveau à des parcelles importantes, voir des raies plus longues et bien améliorées, dans le but d'une bonne amélioration de l'efficience de l'irrigation de surface.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- (1).A. Bouaziz, B. Bouazzama, D. Xanthoulis, 2007. Validation du modèle SIRMOD pour améliorer les performances de l'irrigation de la luzerne par la robta au niveau du périmètre du Tadla
- (2).Jean-Robert-Tiercelin, Traité d'irrigation, 1998
Pp46-54, Pp59-62, Pp430-449.
- (3).JURRIENS, M., LENSELINK, K.J. and BOONSTRA, J. 2000. SURDEV: A computer Package for surface irrigation, Irrigation Association of Australia. 2000, Melbourne, Australia
- (4).Kostiakov, A. N. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of amelioration. Trans. Sixth Comm. Intern. Sot. Soil Sciences, Part A, 17-12.
- (5).Kruse, E. G., & Heermann, D. F. (1977). Implications of Irrigation system efficiencies. Journal of Soil and Water Conservation, 32(6), 465-470.
- (6).USDA. 1997. SRFR v3. US Department of Agriculture. US Water Conservation laboratory. Phoenix. AZ.
- (7).WALKER W.R. 2003. surface irrigation Simulation, Evaluation and design « course guide and technical documentation » Utah State University.
- (8).WALKER W.R. 1989. guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems. Bulletin FAO d'Irrigation et de Drainage, n°45, rome, 137 p.
- (9).WALKER, W. and SKOGERBOE, G. 1987. Surface Irrigation Theory and Practice. Prentice-Hall, New York.