

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

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'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 et Drainage

THEME :

**Etude de la réutilisation des eaux usées épurées de la
station d'épuration de la ville HADJOUT dans
l'irrigation agricole du sahel algérois**

Présenté par :
M^r : ZEMMOURI Redouane

Promotrice :
M^{me} : S. HOULI

Devant le Jury composé de :

Président : M^r T. KHETTAL
Examineurs : M^{me} D. DJOUDAR
M^{me} L.S BAHBOUH
M^r M. DJELLAB

..... 2011

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'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 et Drainage

THEME :

**Etude de la réutilisation des eaux usées épurées de la
station d'épuration de la ville HADJOUT dans
l'irrigation agricole du sahel algérois**

Présenté par :
M^r : ZEMMOURI Redouane

Promotrice :
M^{me} : S. HOULI

Devant le Jury composé de :

Président : M^r T. KHETTAL
Examineurs : M^{me} D. DJOUDAR
M^{me} L.S BAHBOUH
M^r M. DJELLAB

..... 2011

DEDICACES

C'est avec une très grande émotion que je me permets de dédicacer ce présent travail à :

Particulièrement, à la mémoire de mon père « Paix à son âme » qui a toujours cru en moi, et qui n'a cessé de me porter son soutien et son assurance ;

Ma chère mère, qui a beaucoup souffert pour moi, et qui sans elle je ne serais pas parvenu à grand-chose ;

Mes frères, Yazid et Karim, qui ont toujours été là pour moi, leurs femmes Hayet et Nadia ;

Mes sœurs, Fatiha, Farida, Rabiaa et Fadila ;
Mes beaux frères, Yahia, Hakim, Hachmi et said ;

Leurs enfants, Warda, Youba, Youcef, Younes, Kamilia, Ibrahim, Amin et Romaïssa ;

Comme je le dédie à la mémoire de mon ami d'enfance
TANSSAOUT CHAFIK « Paix à son âme » qui m'avait beaucoup aimé, et apprécié.

Redouane.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier du fond du cœur :

Ma promotrice M^{èmes} HOULI. S, qui m'a énormément aidé à achever ce travail, que ce soit par ses conseils, ses orientations, sa disponibilité, ou même avec sa sympathie qui nous redonnent à chaque fois la volonté et la force de travailler ;

M^{ème} BAHBOUH L.S, M^{ème} AZIEZ. W et M^{ème} Touaibia qui m'ont énormément aidé,

Les membres de jury qui ont accepté d'analyser et d'évaluer ce travail.

Mes copains de chambre, Samir, Namik, Nassim, Yacine et Daoud.

Mes amis d'enfance : Karim, Sofiane, Achour, Kiki, Hocine et Fares,

Ainsi que, Karima, Wahiba, Sabrina, Hakima et Samentha.

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

الملخص :

لقد قمنا في هذا العمل بدراسة عامة (مناخ، التربة و الماء...) حول المنطقة التي سننجز فيها مشروعنا.

هذا العمل يندرج في إطار دراسة و متابعة إستغلال مساحة مسقية، تقع ببلدية حجوط، ولاية تيبازة، و هذا بإستعمال أحسن تقنيات السقي للحصول على مردود جيد و كذا المحافظة على الثروات المائية، نوعية التربة و الماء.

نستعمل أحسن الطرق لحساب حاجة المزروعات من الماء مع الحفاظ على مردودية

جيدة في التوزيع من أجل الحصول على محصول زراعي و فير بأقل التكاليف

و في الأخير و لضمان تزويد المحيط الفلاحي بمياه السقي ابتداء من محطة التطهير قمنا بتحديد قياسات محطة الضخ .

Résumé

A travers ce mémoire de fin d'étude, on a fait une étude générale (climat, sol, eau,...) sur la région ou on a projeté notre réseau.

Donc ; le but de cette étude consiste à concevoir un réseau d'irrigation en system goutte a goutte sur une parcelle située dans la ville de HADJOUT W. TIPAZA.

Pour cela il a fallut d'évaluer les besoins en eau d'irrigation des cultures que contiennent cette zone

En fin, dans le but d'assurer l'acheminement de l'eau d'irrigation vers la parcelle depuis la station d'épuration, nous avons dimensionné une station de pompage.

Abstract

Through this dissertation study, we conducted a comprehensive study (climate, soil, water, ...) over the area where we planned our network.

Therefore, the purpose of this study is to develop a network of irrigation drip system on a parcel in the town of Hadjout W. TIPAZA.

For this he had to assess the water requirements of irrigated crops that contain this area

In the end, in order to ensure the delivery of irrigation water to the parcel from the treatment plant, we have sized pumping station

Sommaire

INTRODUCTION	1
--------------------	---

CHAP I : Situation et climat

I.1. Localisation de la zone d'étude	2
I.2. Climatologie.....	3
I.2.1. Température.....	3
I.2.2 Vitesse des vents.....	4
I.2.3 Evaporation.....	4
I.2.4 Humidité relative.....	5
I.2.5 Tension de vapeur.....	6
I.2.6 Ensoleillement.....	6
I.2.7 Phénomène météorologique.....	6
I.3. Indices climatiques.....	7
Indice d'aridité de Martonne.....	7
I.4. Pluviométrie.....	8
Conclusion.....	12

CHAP II : Etude hydrologique et pédologique

II.1.Géologie	13
II.2.Les formations géologiques	13
II.2.1.Les alluvions récentes.....	13
II.2.2.Les alluvions anciennes.....	13
II.2.3.Facies argileux.....	13
II.2.4.Pliocène inférieure.....	13
II.3.Réseau hydrographique.....	13
II.4.Hydrologie.....	14
II.4.1.Réseau hydrographique.....	14
II.4.2.Etudes des précipitations annuelles.....	14

II.4.3.Ajustement à la loi de Gauss.....	15
II.5. La pédologie du sol de la région.....	20
II.5.1.Etude agropédologique.....	22
II.6.Etat physique du sol.....	22
II.7.Perméabilité.....	23
II.8. Analyse chimique du sol.....	26
II.9. Description des profils.....	27
II.9.1.sols à sesquioxydes de fer.....	27
II.9.2.sols calcimagnésique.....	27
II.9.3.Sols peu évolués.....	27
Conclusion.....	28

CHAP III : Généralité sur la pollution et agronomie

III.1.2.Généralités sur la pollution.....	29
III.1.3.Origine des eaux usées.....	29
III.1.3.1. Les eaux usées domestiques.....	29
III.1.3.2. Les eaux usées industrielles.....	29
III.1.3.3. Les effluents agricoles.....	30
III.1.3.4. Les eaux de ruissellement.....	30
III.1.4 Les différents types de pollution.....	30
a. La pollution chimique.....	30
b. La pollution organique.....	31
c. La pollution microbienne.....	31
d. La pollution agricole.....	32
e. La pollution par les hydrocarbures.....	32
III.1.5. Les paramètre de pollution.....	32
a. Les paramètres physiques.....	32
b. Les paramètres chimiques.....	33
III.1.8. Avantages et inconvénients de la réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation.....	36
III.1.9. Lutte contre la salinité et la toxicité.....	40

III.1.10. Station d'épuration de Had.....	43
1. Localisation de la station d'épuration.....	43
2. Les débits de la station d'épuration de Hadjout.....	43
3. La pollution selon la conception.....	44
4. Mode de fonctionnement de la STEP de Hadjout.....	45
III.1.11. Qualité de l'eau d'irrigation.....	46
III.1.12. Interprétation des résultats.....	47
III.2. Agronomie.....	47
III.2.1. Choix des cultures.....	47
III.2.2. Aptitude culturale.....	48
Conclusion.....	49

CHAP IV : Régimes d'irrigation

IV.1. Définition.....	50
IV.2. Besoins en eau des cultures.....	50
IV.3. Détermination de l'évapotranspiration.....	50
IV.3.1. Définition.....	50
a)Evapotranspiration potentielle ETP.....	50
b) Evapotranspiration réelle ETR.	51
IV.3.2. Facteurs limitant l'évapotranspiration réelle ETR.....	51
IV.3.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration.....	51
a) les méthodes directes.....	51
b) les méthodes indirectes.....	52
IV.3.4. Calcul de l'évapotranspiration par la Formule de Penman.....	52
IV.3.5. la pluies efficaces.....	54
IV.4. Détermination des besoins en eau d'irrigation.....	55
IV.4.1. Définition.....	55
IV.4.2 Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures d'assolement.....	55
IV.5. Détermination des besoins en eau d'irrigation de l'arboriculture.....	56
Conclusion.....	59

CHAP V : Techniques d'arrosage

V.1. Généralités	60
V.2. Technique d'arrosage	60
V.3. Choix de la technique d'irrigation convenable	61
V.4. Mode d'irrigation.....	62
V.4.1. Irrigation par aspersion.....	62
1. Avantages.....	62
2. Inconvénients.....	62
V.4.2. Irrigation localisé.....	64
1. Avantages.....	64
2. Inconvénients.....	64
V.5. Projection du réseau d'irrigation localisée	67
V.5.1. La dose pratique.....	67
V.5.2. La fréquence des arrosages.....	68
V.5.3. La dose brute.....	68
V.5.4. La durée d'arrosage.....	68
V.5.5.L'irrigation journalière.....	68
a- Pour l'olivier	70
b-Pour le pêche.....	71
c- Pour Les agrumes.....	72
Conclusion	73

CHAP VI : Réseau de distribution

VI.1. Généralités	74
VI.2. Classification des réseaux d'irrigation.....	74
1-Selon la construction.....	74
2-Selon la réalisation.....	74
3-Selon la distribution de l'eau sur le périmètre.....	74
4-Selon le fonctionnement durant la période d'irrigation.....	74
VI.3. Choix du type de réseau d'irrigation.....	75
VI.4. Choix du type de matériau des conduites	75
VI.5. Réseau d'irrigation localisée	75
1. Les organes de distribution.....	75

a- Les goutteurs.....	75
b- Les mini-diffuseurs.....	76
c- Les ajustages calibrés (système Bas Rhône).....	77
2. Filtration en irrigation localisée.....	78
VI.6 Installation d'irrigation localisée.....	79
VI.6.1 la qualité de l'eau.....	79
VI.6.2 Type de sol.....	80
VI.6.3 Nature des cultures.....	80
VI.7 Taches d'exploitations d'un réseau d'irrigation.....	81
VI.8. Calculs hydrauliques.....	82
VI.8.1 Pour l'olivier.....	83
Porte rampe au milieu.....	83
Porte rampe sur le coté.....	84
VI.8.2. Pour le pêcher.....	85
Porte rampe au milieu.....	85
Porte rampe sur le coté.....	86
V.8.3. Pour les agrumes.....	87
Porte rampe au milieu.....	87
Porte rampe sur le coté.....	87
VI.9.Calcul du diamètre des conduites principales.....	88
Pertes de charges.....	89
Conclusion.....	90

CHAP VII : La station de pompage

Introduction.....	91
VII.1. Station de pompage.....	91
VII.1.1. Choix du type de bâtiment.....	91
VII.2.Les pompes.....	91
VII.2.1.Les turbopompes (pompes centrifuge).....	92
VII.2.1.1.Les pompes à écoulement radial.....	92
VII.2.1.2.Les pompes axiales.....	92
VII.2.1.3.Les pompes semi axiales.....	92

VII.2.2.Nombre de pompes principales.....	92
VII.2.2.1.Détermination du débit d'une pompe.....	93
VII.2.2.2. Hauteur manométrique total.....	93
VII.2.3.Vérification du risque de la cavitation.....	95
VII.2.4.Energie consommée par le pompage.....	96
VII.2.5.Dépense annuelle de l'énergie.....	97
VII.2.6.Amortissement annuel.....	97
VII.3.Choix d'équipement hydraulique.....	101
VII.3.1.Les équipements d'aspiration.....	101
VII.3.2. Les équipement de refoulement.....	103
VII.4.Bâtiment de la station de pompage.....	105
VII.4.1.Construction du bâtiment.....	105
VII.4.1.1.La partie souterraine.....	105
VII.4.1.2.Partie supérieure du bâtiment... ..	105
VII.5.Le système de levage	108
Conclusion	111
CONCLUSION GENERALE.....	112

Liste des Tableaux

Tableau I.1	3
Tableau I.2	4
Tableau I.3	4
Tableau I.4	5
Tableau I.5	6
Tableau I.6	6
Tableau I.7	7
Tableau I.8	8
Tableau I.9	8
Tableau I.10	9
Tableau II.1	15
Tableau II.2	17
Tableau II.3	18
Tableau II.4	20
Tableau II.5	23
Tableau II.6	24
Tableau II.7	25
Tableau II.8	25
Tableau II.9	26
Tableau III.1	35
Tableau III.2	39
Tableau III.3	40
Tableau III.4	42
Tableau III.5	44
Tableau III.6	44
Tableau III.7	44
Tableau III.8	47
Tableau IV.1	54
Tableau IV.2	55
Tableau IV.3	57
Tableau IV.4	57

Tableau IV.5	57
Tableau IV.6	58
Tableau IV.7	59
Tableau V.1.....	66
Tableau V.2.....	73
Tableau VI.1	85
Tableau VI.2	85
Tableau VI.3	86
Tableau VI.4.....	86
Tableau VI.5	88
Tableau VI.6	88
Tableau VI.7	90
Tableau VII.1	91
Tableau VII.2.....	97
Tableau VII.3.....	99

Liste des figures

Figure I.1	2
Figure I.2	5
Figure I.3	9
Figure I.4	10
Figure I.5	11
Figure II.1	19
Figure III.1	43
Figure III.2.....	46
Figure V.1.....	61
Figure V.2.....	64
Figure V.3.....	65
Figure V.4.....	69
Figure VI.1.....	78
Figure VI.2.....	79
Figure VII.1	95
Figure VII.2	98
Figure VII.3	100
Figure VII.4	102
Figure VII.5	108
Figure VII.6	109
Figure VII.7	110

INTRODUCTION :

La raréfaction des ressources en eau due à la sécheresse et la dégradation de leur qualité engendrée par le développement des industries et les activités humaines est un défi majeur pour le XXI^{ème} siècle. C'est pourquoi, il devient impératif de chercher des approvisionnements alternatifs afin d'une part de réserver la qualité des masses d'eau et d'autre part pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel.

La réutilisation des eaux usées épurées, ou REUE, peut constituer l'un de ces approvisionnements. En effet, la réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau.

Toutefois, en Algérie, l'utilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation agricoles est encore au stade expérimental, malgré la forte augmentation des besoins en eau en irrigation (le ratio entre les superficies irriguées et irrigables est de 0,20).

Il convient de préciser que notre pays possède, une superficie irriguée de l'ordre de 950 000 hectares sur une surface agricole utile de l'ordre de plus de 9 millions d'hectares d'où la nécessité de recourir aux eaux non conventionnelles, dont les eaux usées épurées. Ainsi cette stratégie permettra à contribuer non seulement à l'extension des terres irriguées, à l'augmentation de la production agricole mais aussi à la préservation de nos ressources hydrique superficielles et souterraines. Dans cette optique, l'objectif de notre travail est l'étude de la réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration de la ville Hadjout dans l'irrigation agricole du sahel algérois.

CHAP I :

Situation et climat

I.1. Localisation de la zone d'étude

Le périmètre d'étude couvre une superficie d'environ 1406 Ha; il est localisé dans la Wilaya de Tipaza, est situé à environ 60 Km à l'Ouest d'Alger. Il est limité :

- Au Nord par le Chef Lieu de Tipaza ;
- Au Sud, par l'Oued Bourkika ;

-À l'Est par le Douar Lagbala, la forêt de l'Oued Mellah et les piedmonts du Djebel El Bitri ;

-À l'Ouest par le périmètre « Sahel Algérois » et l'Oued El Nador.

Les exploitations agricoles touchées par le projet sont situées dans les communes de Hadjout et de Tipaza.

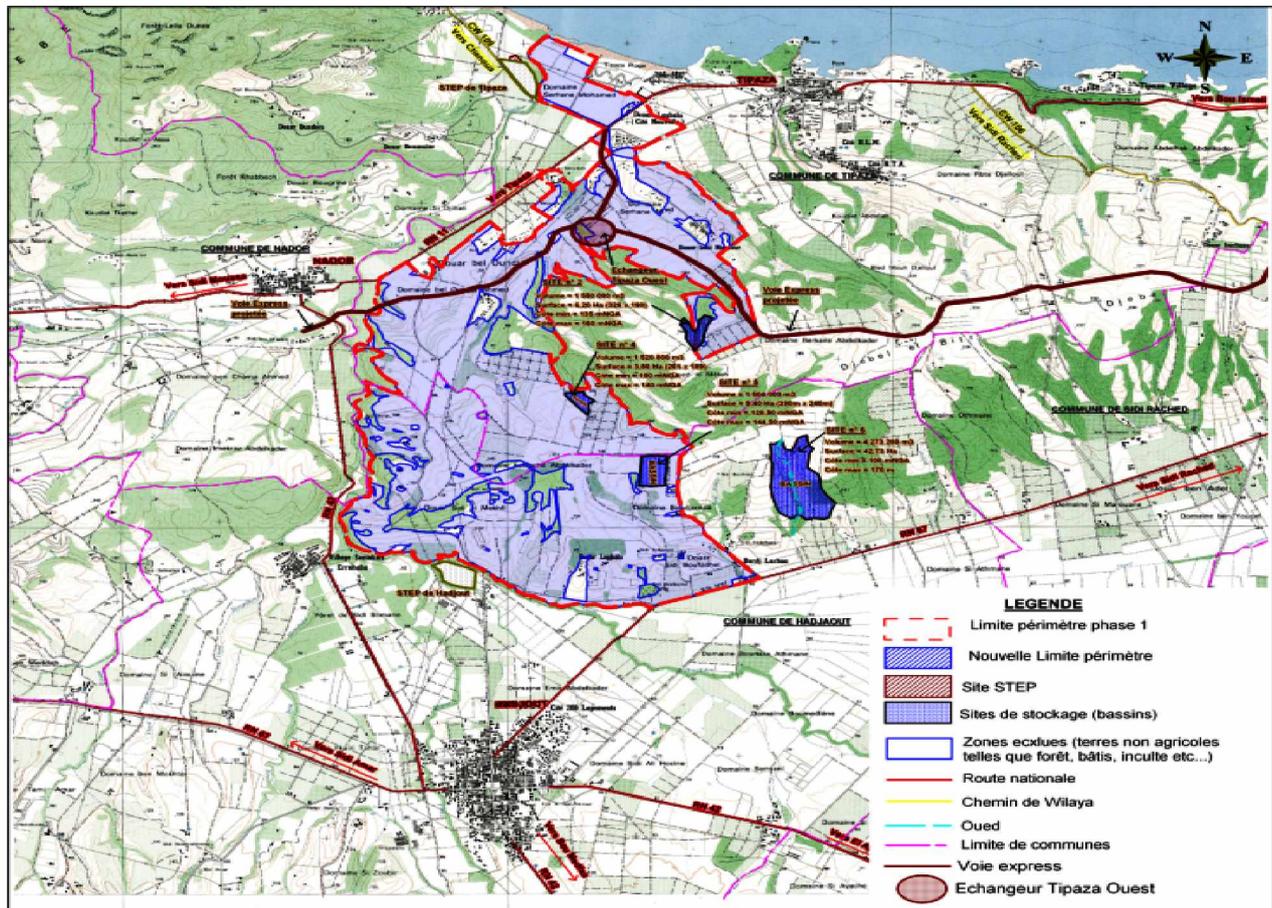


Fig I.1 : La localisation administrative de la zone d'étude.

- Zone de Hadjout

Le territoire de la zone de Hadjout est principalement situé entre l'oued Bouhardoun et l'oued Bouyarhsane. Sa superficie est de 739 Ha dont près du quart sont des collines relativement accidentées dont les pentes varient de 20 à 40 % (281 Ha).

I.2. Climatologie

Les facteurs climatologiques sont des paramètres très importants qui rentrent dans la détermination du régime hydrologique. Ils sont utilisés dans le calcul des formules empiriques.

L'estimation des différentes caractéristiques climatiques (température, vitesse du vent, humidité et évaporation.....), relative à la zone d'étude est faite sur la base des données relevées à la station climatologique du barrage de Boukourdene (X = 464,4 m; Y = 359,9 m et Z = 110 m), qui se situe assez proche de la région d'étude avec une altitude similaire.

Les données ont été collectées auprès des services de l'ANRH de Soumaa (Direction Régionale Centre).

I.2.1 Température

La distribution mensuelle de la température est donnée au tableau I.1

Tableau I.1 : Répartition mensuelle de la température de l'air en °C.

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Température Moyenne (° C)	23,5	19,9	15,6	12,2	10,8	11,6	13,5	15,1	19,3	23,2	26,7	27,0	18,2

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

D'après le tableau ci-dessus, on enregistre une température moyenne de 18,2 °C, et une moyenne minimale pendant le mois de Janvier 10,8 °C et une moyenne maximale pendant le mois d'aout avec 27 °C.

I.2.2 Vitesse des vents

Les valeurs moyennes de la vitesse du vent enregistrées au niveau de la station installée au niveau du barrage Boukourdene sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.2 : Vitesse du vent en Km/h.

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
Vitesse du vent (km/h)	3,5	3,1	3,2	3,6	3,8	3,7	3,5	3,6	6,1	3,1	3,1	3,0	3,6

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

Les vitesses du vent sont relativement faibles et homogènes durant toute l'année,
La moyenne annuelle est de 3,6 km/h.

Les vents dominants y sont de direction Ouest.

I.2.3 Evaporation

L'évaporation représente un paramètre essentiel dans l'analyse de la ressource en eau, c'est pourquoi une bonne estimation est nécessaire sur la base de l'évaporomètre classe A installé au niveau du barrage de Boukourdene.

La distribution moyenne mensuelle de l'évaporation est donnée au tableau I. 3.

Tableau I.3 : Répartition mensuelle de l'évaporation moyenne en mm.

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	totale
Evaporation moyenne (mm)	123,1	92,2	51,9	42,9	42,7	50,5	75,2	94,1	124,6	156,2	185,6	172,2	1211,2

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

L'examen de ce tableau montre que l'évaporation est importante pendant la période allant du mois de mai à septembre et elle est plus faible du mois de novembre à janvier.

Le cumul annuel est de 1211 mm.

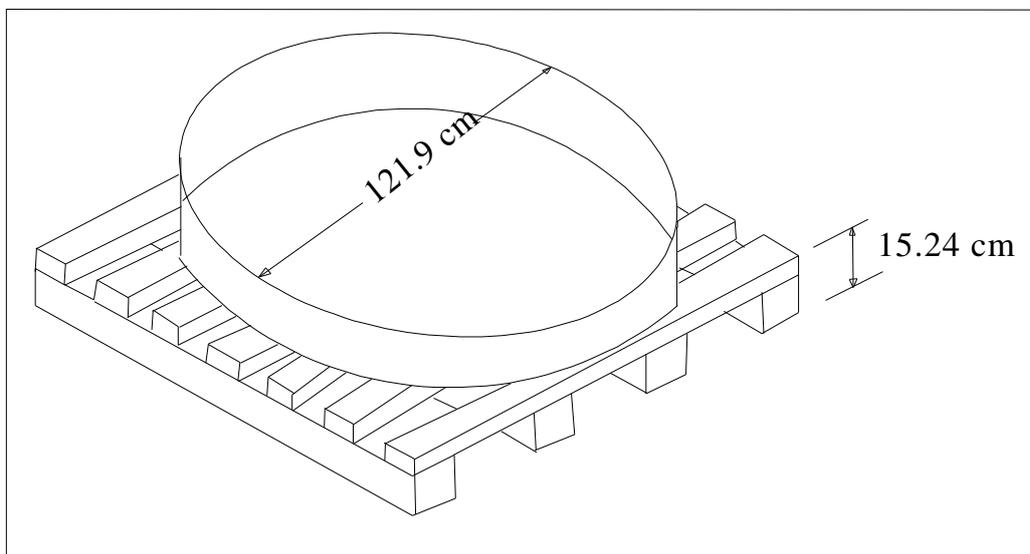


Fig I.2 : L'évaporomètre classe A

La station de Boukourdene est une station oscillaire gérée par l'ANRH pour cela elle n'enregistre pas toutes les caractéristiques climatiques. A cet effet, on a eu recours aux données enregistrées à la station de Dar El Beida qui est une station

professionnelle, cette dernière se localise à 75 Km à vol d’oiseau de la région d’étude. C’est la station la plus proche, qui enregistre toutes les caractéristiques climatiques pour la période (1993 – 2009).

I.2.4 Humidité relative

La distribution mensuelle de l’humidité de l’air est présentée dans le tableau 4.

Tableau I.4 : Répartition mensuelle de l’humidité relative de l’air en %.

paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Moy
H %	77,8	79,5	75,2	73,9	73,9	68,5	67,9	68,9	67,5	74,8	77,7	76,5	73,5

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

L’examen de la répartition mensuelle, montre que l’humidité relative de l’air est généralement plus élevée en saison automnale. Les valeurs maximales sont atteintes durant les mois d’automne (75 - 80%), lorsque les températures sont minimales.

Les valeurs d’humidité les plus faibles sont enregistrées en été.

I.2.5 Tension de vapeur

La distribution moyenne mensuelle de la tension de vapeur d’eau est donnée au tableau I.5.

Tableau I.5 : Répartition mensuelle de tension de vapeur d’eau en mbar.

Paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Tension de vapeur (mba)	19,7	17,1	13,2	11,2	10,1	10,5	11,7	12,8	16,3	19,1	22,2	22,7

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

Les valeurs moyennes mensuelles minimales et maximales de la tension de vapeur d’eau se situent respectivement en mois de Janvier (10 mbar) et au mois d’Août (22 mbar).

I.2.6 Ensoleillement

Nombre d'heure d'ensoleillement dans la région est assez élevée ; la moyenne annuelle est de 7,7 heures par jour. L'ensoleillement annuel total est de 2821 heures.

Tableau I.6 : Ensoleillement en heures.

Année/Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Année
Nbr d'heure	253	225	170	155	167	180	230	244	267	300	328	303	2821
Heure/jours	8,4	7,2	5,5	5,0	5,4	6,2	7,4	8,1	8,6	10	10,6	9,8	7,7

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

I.2.7 Phénomènes météorologiques :

Les différentes caractéristiques climatiques sont données dans le tableau suivant pour la période 1993 – 2009.

Tableau I.7 : Phénomènes météorologiques en jours.

paramètre	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	an
Géle	8	7	4	1	0	0	0	0	0	0	1	3	23
Sirocco	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	0	2	18
Grêle	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

Le Sirocco qui est un vent saharien violent, très sec et très chaud, souffle en moyenne pendant 18 jours par an.

I.3. Indices climatiques

- **Indice d'aridité de Martonne**

Il permet de connaître le degré de sécheresse de la région

$$I_A = \frac{P}{T+10}$$

I.1

Avec :

I_A : indice climatique

P : précipitation moyenne annuelle (mm)

T : température moyenne annuelle (°C)

A.N:

$$I_A = \frac{615}{18,2+10} = 21,81$$

$$I_A = 21,81$$

Tableau I.8 : Limite des climats d'après l'indice climatique de Martonne

Valeur 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

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

$I_A = 21,81$ donc $20 < I_A \leq 30$ d'où notre climat est relativement humide, alors l'irrigation est parfois utile

I.4. Pluviométrie

Les précipitations représentent un facteur essentiel dans le bilan hydrologique, sa quantification est faite au niveau de plusieurs stations pluviométriques implantées

à travers le territoire algérien dans le but d'avoir une information précise sur ce paramètre.

Pour notre cas, l'étude sera basée sur les données enregistrées au niveau de deux stations pluviométriques se localisant dans les environs immédiats de la région d'étude.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des deux stations pluviométriques prises en considération dans l'étude.

Tableau I.9 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

n°	Code	Nom	X (km)	Y (km)	Z (m)	Période de Fonctionnement
1	020325	Pont CW 7 Hadjout	475,8	358,8	59	1972 - 2009
2	020329	Boukourdene	464,3	359,9	110	1988- 2009

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

La répartition mensuelle de la pluie annuelle de la station (020329) est donnée dans le tableau suivant pour la période (1972 – 2009)

Ces données pluviométriques recueillies au niveau de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (Direction régionale Centre Soumaa) se présentent sous forme de totaux mensuels et annuels ainsi que des pluies journalières maximales

Tableau I.10 : Répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle à la station 020329.

Mois	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P(mm)	33,2	49,2	94,1	100,9	89,2	72	70,1	59,0	38,7	4,9	1,2	2,5	615
%	5,4	8,0	15,3	16,4	14,5	11,7	11,4	9,6	6,3	0,8	0,2	0,4	100

SOURCE: Dossier I-C Analyse Des Ressource En Eau Stucky-Enhyd 2009

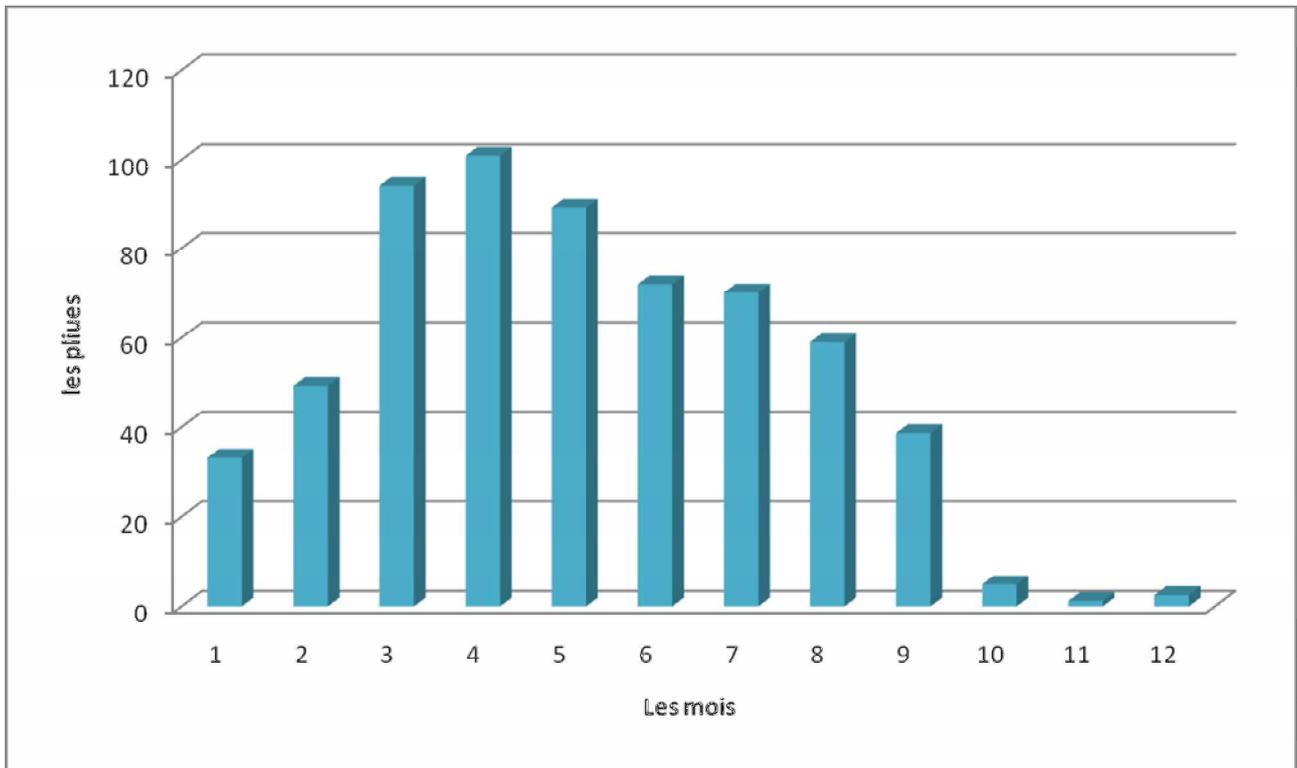


Fig I.3 : La répartition mensuelle de la pluie moyenne annuelle

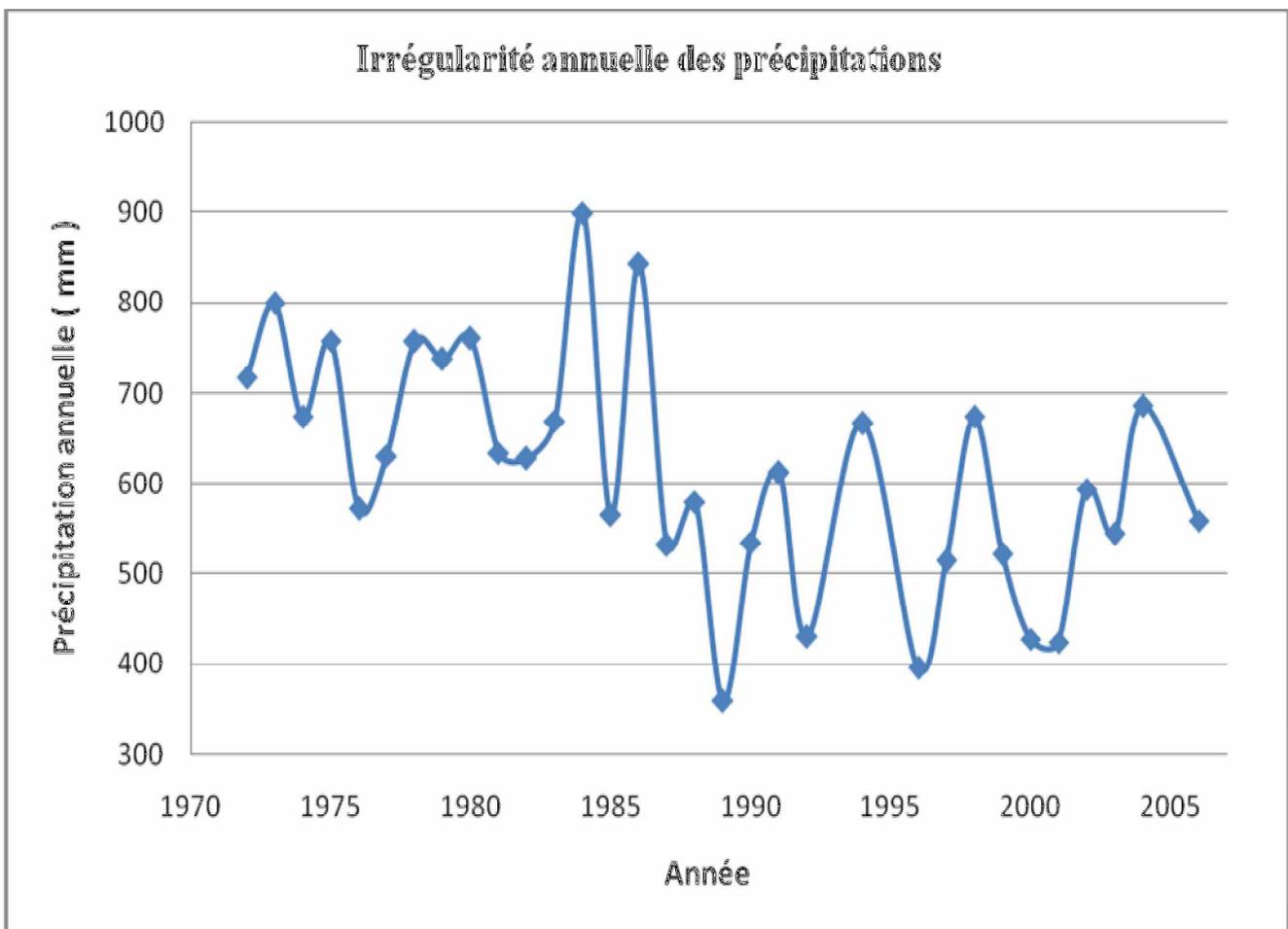


Fig I.4 : L'irrégularité annuelle des précipitations

Une variabilité de la pluie annuelle est enregistrée au cours de la période (1972 – 2009) ceci apparaît nettement sur le graphique ci dessous, ou on enregistre une valeur maximale annuelle de 899 mm pour l'année 1984 qui représente l'année la plus pluvieuse, et une valeur minimale annuelle de 358 mm enregistrée pour l'année 1989.

Ø **Diagramme ombrothermique**

Le diagramme Ombrothermique permet de définir les mois secs de l'année.

Lorsque les précipitations sont exprimées en mm, sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degrés centigrades ($P \leq 2T$).

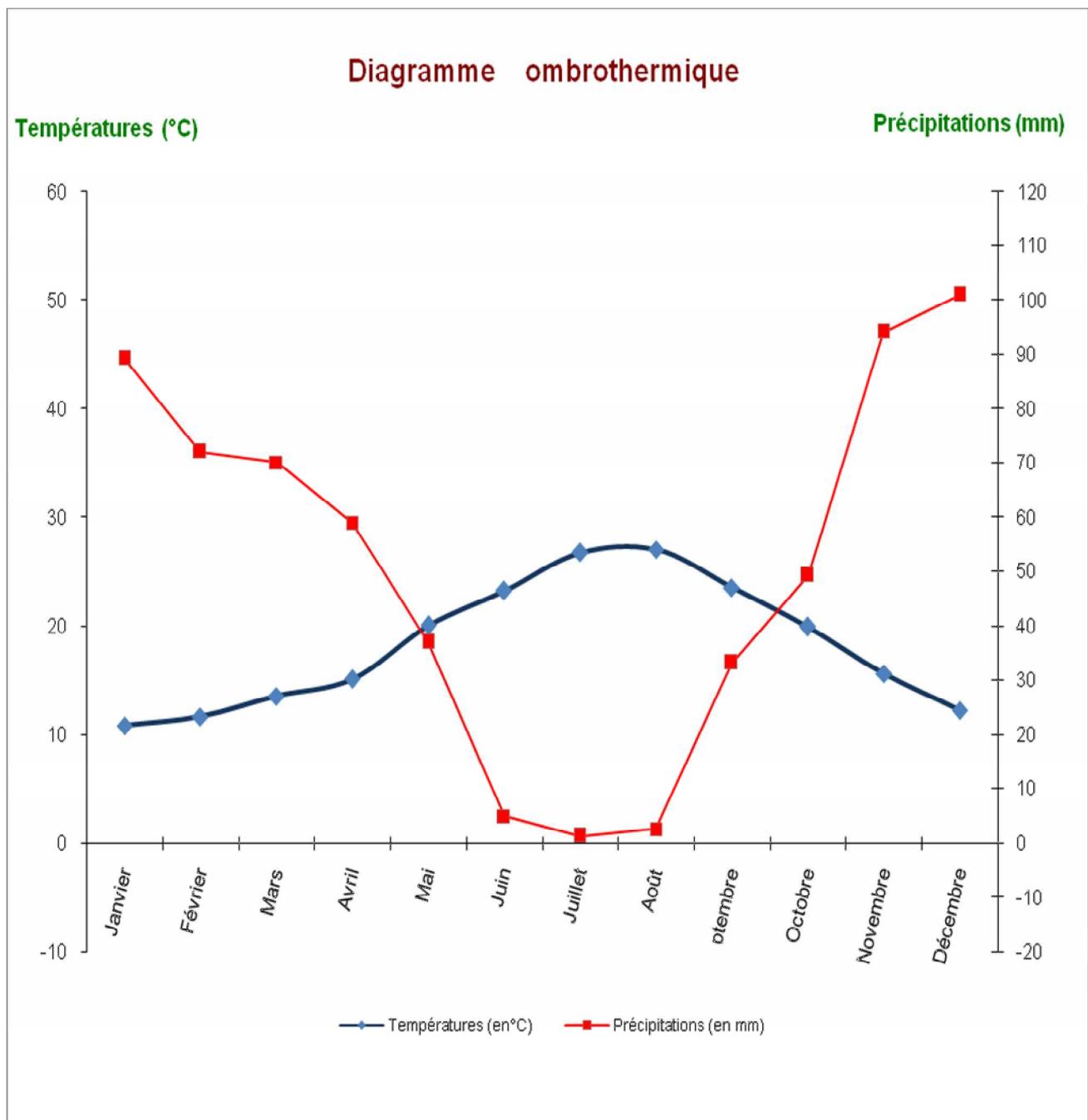


Figure I.5 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Conclusion :

Le diagramme Ombrothermique fait ressortir une période sèche qui s'étale sur environ 5 mois, allant du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

Avec ce régime pluviométrique les cultures printanières dépendent dans une large mesure de l'irrigation, et ne peuvent subsister que les plantes résistantes au stress hydriques et à forte densité racinaire et dont la période végétative est assez courte.

CHAP II :

**Etude hydrologique et
pédologique**

II.1.Géologie

La région d'étude est limitée à l'Est par le massif de Blida, à l'Ouest par le massif de Méliana, au Sud par les bassins miocène de Bou-Hallouane et de Hammam Righa et enfin au Nord par le sahel d'Alger.

II.2.Les formations géologiques

L'étude des documents géologiques relatifs à la zone d'étude à savoir les cartes géologiques de Marengo et de Tipaza au 1/50 000^{eme} font ressortir les formations géologiques suivantes :

II.2.1.Les alluvions récentes : constituées de dépôts Sable gravier avec limons argileux disposées par les crues des oueds.

II.2.2.Les alluvions anciennes : dépôt caillouteux et limoneux plus ancienne en bordures au flanc de montagne.

II.2.3.Facies argileux : Intercalés de lit caillouteux, dont le dépôt a précédé celui des alluvions précédentes.

II.2.4.Pliocène inférieure : Marnes jaunâtres et calcaire mollassique, occupent les périmètres en pentes du sahel algérois.

II.3.Réseau hydrographique

Les principaux oueds traversant la région sont :

- Oued Meured qui a une direction Sud Nord, prend naissance à 300 m d'altitude, il traverse le village de Meured par l'ouest.
- Oued Bourkika qui est formé par la confluence de plusieurs oueds dont oued Sidi moussa, Soumate et oued Azib, est de direction sud ouest.

La confluence de ces deux oueds à la sortie Nord de la ville de Hadjout donne naissance à l'oued Nador à une altitude de 50 m, et continue son cours jusqu'à la mer.

II.4.Hydrologie

II.4.1.Réseau hydrographique

L'étude hydrologique est indispensable pour la mise en œuvre des projets : de distribution d'eau, de protection contre les crues, drainage d'irrigation, d'assainissement, barrage et de navigation fluviale.

L'étude hydrologique dans notre cas à pour but de déterminer les précipitations mensuelles pour pouvoir dimensionner notre réseau d'irrigation.

Pour un observateur qui se place au point le plus haut de la région, 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 où par les eaux de ruissellement, la fonte des neiges, enfin les précipitations atmosphériques, quand ces dernières tombent régulièrement.

Parmi ces oueds on peut citer : Oued Bourkika, Oued Boudlel et Oued Ben Sadia. , 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.

II.4.2.Etudes des précipitations annuelles

Les lois d'ajustement sont nombreuses et ne peuvent être appliquées à un échantillon que si les conditions homogénéité-stationnarités sont réunies parmi les quelles:

- ü Loi de Laplace-Gauss, loi normal, et loi de Galton ou loi log-normale.
- ü Loi de Fuller ou loi Exponentielle.
- ü Loi Gamma, loi de Pearson I et III.
- ü Loi de Gumbel ou Loi doublement exponentielle.

Ces lois comportent deux à trois paramètres estimés par différentes méthodes:

- ü Méthode des moments.
- ü Méthode du maximum de vraisemblance.
- ü Méthode du maximum d'entropie.

Les critères de choix sont liés à un ajustement graphique d'abord, et ensuite à un test de dispersion. L'allure des points sur du papier à probabilités permet

d'accepter ou de rejeter la loi (mauvaise courbure ou cassure de pente est considérée comme un mauvais ajustement, toute sinuosité).

Le problème posé: quelle loi choisir lorsque plusieurs d'entre elles sont adéquates?

Donc les critères de choix pouvant être retenus sont:

- A qualité égale, la loi qui a le moins de paramètres est à retenir
- A qualité égale et nombre de paramètres égal, il faut comparer les estimations des deux lois; si ces estimations sont voisines, il faut retenir la plus simple; si elles sont nettement différentes, il faut prendre une nouvelle loi quitte à prendre un paramètre supplémentaire. (6)

Dans notre cas, nous choisissons la loi normale (loi de gauss)

Tableau II.1 : Caractéristiques de la station Boukourdene (020329).

Nom de la station	Code	Coordonnées rectangulaires		Coordonnées en degrés		Altitude (m)	Période d'observation	Nombre d'années observées
		X(Km)	Y(Km)	Latitude	Longitude			
Barrage Boukourdene	020329	464,3	359,9	02°17'59''	36°32'18''	110	1987-2008	22

Source: ANRH Blida

II.4.3. Ajustement à la loi de Gauss :

Le procédé de calcul consiste à:

-Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant

-Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées

< 7 > -Calculer la fréquence expérimentale par la formule de Hazen

$$F(x) = \frac{n-0.5}{N}$$

Avec:

F(x) : représente la fréquence

n: Numéro d'ordre

N : Numéro d'années observées

- Calculer les caractéristiques empiriques de l'échantillon:

Ø **La moyenne arithmétique :**

$$\sum_{i=1}^{i=n} \frac{X_i}{n} = \bar{X}$$

Ø **L'écart type :**

$$\text{Si } n < 30 \quad \delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\text{Si } n > 30 \quad \delta = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}$$

$$\text{La variable réduite de gauss : } U = \frac{X - \bar{X}}{\delta}$$

$$\text{Le coefficient de variation : } C_v = \frac{\delta}{\bar{X}}$$

L'équation de la droite de Henry sur papier de probabilité gaussien

$$X_{P\%} = \bar{X} + \delta * U_{P\%}$$

Avec:

$X_{P\%}$: précipitation de probabilité P%

$U_{P\%}$: variable réduit de Gauss = 1,28

\bar{X} : Moyenne arithmétique

δ : Écart type

La série des précipitations moyennes mensuelles de la station pluviométrique

Barrage *Boukourdene* est donnée dans le tableau ci-après :

Tableau II .2 : Précipitations moyennes mensuelles en (mm).

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1987	30.8	44.9	85.2	0.7	36.6	26.1	34.8	43.3	35.2	19.5	2.1	0	359.2
1988	59.9	19.5	66.8	161.1	28	31	96.1	89.1	10.9	11.1	0	6.3	579.8
1989	16.5	6	68.5	21.7	86.6	0	57.1	55.9	43.6	0	2.6	0.3	358.8
1990	2.3	17.2	48.5	102.2	131.3	68.4	102.9	21.5	27	6.9	2.2	3.8	534.2
1991	5.5	135.9	23.1	10.5	170.2	38	74.8	74	52.2	23.1	5.1	0	612.4
1992	0	73.2	74.6	87.6	5.5	85.4	28.9	65	8.3	2.2	0	0	430.7
1993	19.9	21.1	54.1	35.2	97.4	31.9	2.8	70.3	7.2	0	0	0	339.9
1994	107.1	76.4	55.1	52.7	140.9	89.6	106.4	11.6	7.2	19.8	2.1	2.7	671.6
1995	62	25	56.4	20	58.1	152.5	33.9	199.2	6.6	14.5	4.5	0.8	633.5
1996	41.4	91.3	35	20.4	50.7	44	6	69.1	26.2	0	2.8	8.8	395.7
1997	23.1	46.6	96.9	47.9	7.6	36	34.4	76.4	140.9	1.3	0	3.1	514.2
1998	37.5	26.2	114.9	69	126.7	168.8	115.5	11.6	0.9	0.7	0	1.5	673.3
1999	10.7	12.8	131.8	260	7.8	6.9	23	18.2	49.5	1.2	0	0	521.9
2000	6.3	86	74.8	29.6	107.8	50.5	0.8	60.7	11.5	0.3	0	0	428.3
2001	18	11.3	175.2	46.2	23.4	19.5	65.2	28.9	22.5	0	6.5	8	424.7
2002	26.5	24.5	90.5	74.1	155.1	124.9	13.3	43.3	39.8	0	0	1.8	593.8
2003	2.7	27.7	106.1	60.5	81.3	46.5	52.4	76.2	83.1	3.6	0	4	544.1
2004	27.7	27.7	120.3	143	98.9	145	95	24.1	3	0	0	0.6	685.3
2005	13.7	33.2	78.7	133.7	136.7	67.8	19.2	8.2	140.4	0	0	0	631.6
2006	71.4	2	19.1	210.8	12.4	44.8	103	92.5	2.8	0	2.1	0	560.9
2007	60.2	120.2	196.4	123	15.6	20.5	88.5	9.5	41.5	5	15.5	0	695.9
2008	34.9	59.5	103	81.4	75.2	61.8	55	86.5	0	0	0	17.5	574.8

Source: ANRH Blida

Pour les calculs, on a utilisé le logiciel hydrolab. Les résultats obtenus figurent au **Tableau II.3** et à la **figure: II.1**

Tableau II. 3 : Résultats d'ajustement de la station Boukourdene (020329) à la loi de Gauss.

Ajustement
à une loi de
Gauss

Taille n= 22 Moyenne = 543.61157
Ecart type= 105.526243 I.C. à(en%)= 95 U Gauss= 1.9604

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne supérieure
695.9	358.8	1	0.0227	-2.001	358.8	332.468443	228.533328	395.989317
685.3	359.2	2	0.0682	-1.490	359.2	386.402391	301.163598	441.55027
673.3	395.7	3	0.1136	-1.208	395.7	416.184264	340.442331	467.535739
671.6	424.7	4	0.1591	-0.998	424.7	438.278632	369.046342	487.349476
633.5	428.3	5	0.2045	-0.825	428.3	456.519036	392.229994	504.13797
631.6	430.7	6	0.2500	-0.674	430.7	472.466923	412.121019	519.195254
612.4	514.2	7	0.2955	-0.537	514.2	486.93053	429.811174	533.200746
593.8	521.9	8	0.3409	-0.410	521.9	500.394008	445.945788	546.570091
579.8	534.2	9	0.3864	-0.288	534.2	513.18006	460.946615	559.588706
574.8	534.8	10	0.4318	-0.171	534.8	525.523969	475.112726	572.473122
560.9	544.1	11	0.4773	-0.057	544.1	537.612347	488.672626	585.403775
544.1	560.9	12	0.5227	0.057	560.9	549.610794	501.819365	598.550514
534.8	574.8	13	0.5682	0.171	574.8	561.699171	514.750019	612.110415
534.2	579.8	14	0.6136	0.288	579.8	574.04308	527.634435	626.276525
521.9	593.8	15	0.6591	0.410	593.8	586.829132	540.653049	641.277352
514.2	612.4	16	0.7045	0.537	612.4	600.292611	554.022394	657.411967
430.7	631.6	17	0.7500	0.674	631.6	614.756218	568.027886	675.102122
428.3	633.5	18	0.7955	0.825	633.5	630.704105	583.08517	694.993146
424.7	671.6	19	0.8409	0.998	671.6	648.944509	599.873665	718.176798
395.7	673.3	20	0.8864	1.208	673.3	671.038876	619.687402	746.78081
359.2	685.3	21	0.9318	1.490	685.3	700.820749	645.67287	786.059542
358.8	695.9	22	0.9773	2.001	695.9	754.754698	691.233824	858.689812

Fréquence	U.Gauss	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.2	-0.841	454.815804	390.083739	502.55175	454.815804	0.200	1.3
0.5	0.000	543.611581	495.285039	591.938124	543.611581	0.500	2.0
0.8	0.841	632.407337	584.67139	697.139401	632.407337	0.500	2.0

Ajustement à une loi Normale

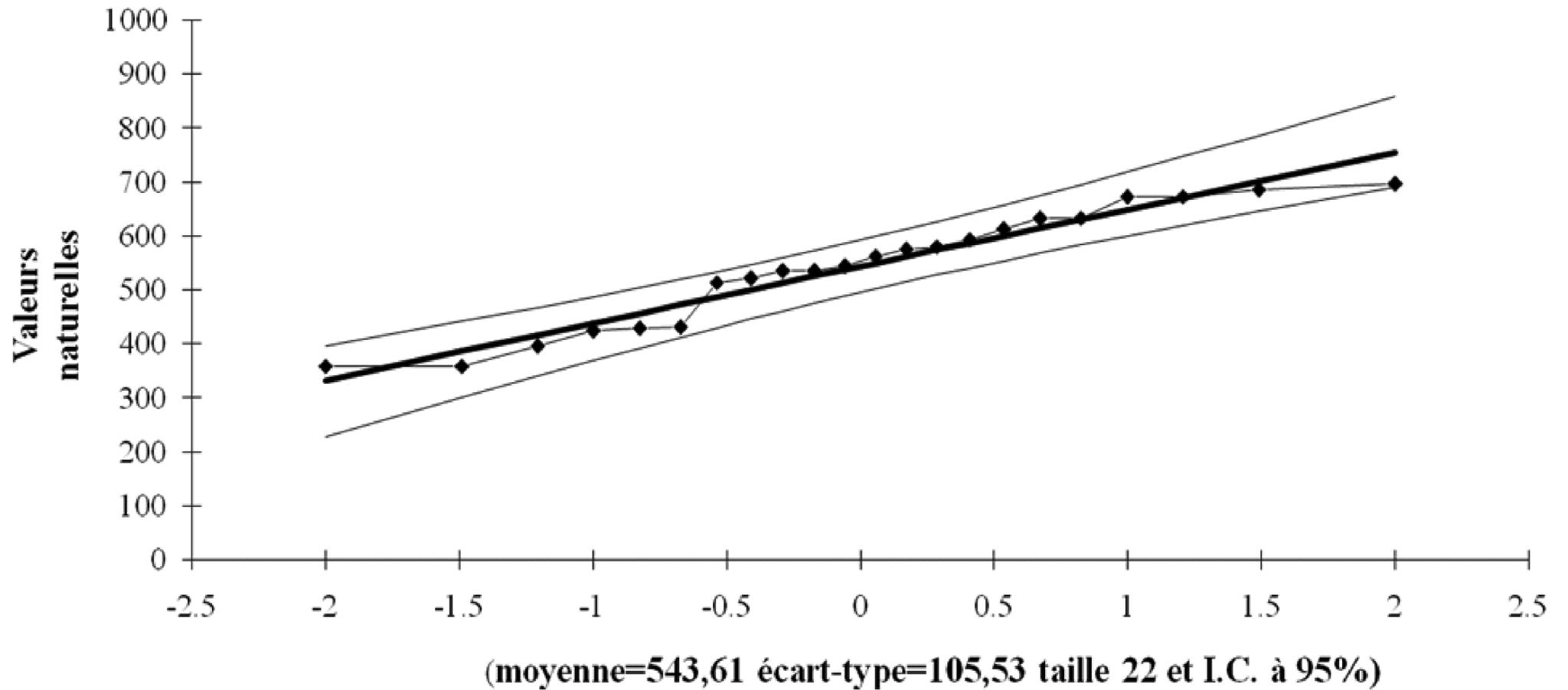


Figure II.1: Ajustement à la loi normal

Tableau II.4 : Calcul des pluies annuelles de 80%

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1987	30,8	44,9	85,2	0,7	36,6	26,1	34,8	43,3	35,2	19,5	2,1	0	359,2
1988	59,9	19,5	66,8	161,1	28	31	96,1	89,1	10,9	11,1	0	6,3	579,8
1989	16,5	6	68,5	21,7	86,6	0	57,1	55,9	43,6	0	2,6	0,3	358,8
1990	2,3	17,2	48,5	102,2	131,3	68,4	102,9	21,5	27	6,9	2,2	3,8	534,2
1991	5,5	135,9	23,1	10,5	170,2	38	74,8	74	52,2	23,1	5,1	0	612,4
1992	0	73,2	74,6	87,6	5,5	85,4	28,9	65	8,3	2,2	0	0	430,7
1993	19,9	21,1	54,1	35,2	97,4	31,9	2,8	70,3	7,2	0	0	0	339,9
1994	107,1	76,4	55,1	52,7	140,9	89,6	106,4	11,6	7,2	19,8	2,1	2,7	671,6
1995	62	25	56,4	20	58,1	152,5	33,9	199,2	6,6	14,5	4,5	0,8	633,5
1996	41,4	91,3	35	20,4	50,7	44	6	69,1	26,2	0	2,8	8,8	395,7
1997	23,1	46,6	96,9	47,9	7,6	36	34,4	76,4	140,9	1,3	0	3,1	514,2
1998	37,5	26,2	114,9	69	126,7	168,8	115,5	11,6	0,9	0,7	0	1,5	673,3
1999	10,7	12,8	131,8	260	7,8	6,9	23	18,2	49,5	1,2	0	0	521,9
2000	6,3	86	74,8	29,6	107,8	50,5	0,8	60,7	11,5	0,3	0	0	428,3
2001	18	11,3	175,2	46,2	23,4	19,5	65,2	28,9	22,5	0	6,5	8	424,7
2002	26,5	24,5	90,5	74,1	155,1	124,9	13,3	43,3	39,8	0	0	1,8	593,8
2003	2,7	27,7	106,1	60,5	81,3	46,5	52,4	76,2	83,1	3,6	0	4	544,1
2004	27,7	27,7	120,3	143	98,9	145	95	24,1	3	0	0	0,6	685,3
2005	13,7	33,2	78,7	133,7	136,7	67,8	19,2	8,2	140,4	0	0	0	631,6
2006	71,4	2	19,1	210,8	12,4	44,8	103	92,5	2,8	0	2,1	0	560,9
2007	60,2	120,2	196,4	123	15,6	20,5	88,5	9,5	41,5	5	15,5	0	695,9
2008	34,9	59,5	103	81,4	75,2	61,8	55	86,5	0	0	0	17,5	574,8
P ₀ (mm)	30,82	44,92	85,23	81,42	75,17	61,81	54,95	56,14	34,56	4,96	2	2,69	534,75
P ₀ en %	5,76	8,40	15,94	15,23	14,06	11,56	10,28	10,50	6,46	0,93	0,39	0,50	100,00
Pan 80%	25,8	37,6	71,3	68,1	62,9	51,7	46	47	28,9	4,2	1,7	2,3	

II.5.La pédologie du sol de la région

La carte de mise en valeur a dégagé quatre (04) catégories de sols qui sont:

Catégorie I : les sols couvrent 618 Ha, leur pente est inférieure à 3% sur le plateau du Nador. Ce sont des sols non fersiallitiques qui s'observent de part et d'autres de la route joignant Nador à Sidi Moussa.

Dans la vallée de l'oued Nador ce sont des sols peu évolués. Ils ne représentent que des contraintes mineures telles que la texture fine et localement des caractères peu accentués d'hydromorphie en profondeur. Pour de tels sols, le labour profond voir le sous solage, sont recommandés afin d'améliorer la structure et l'assainissement de surface.

Catégorie II : Ces sols sont principalement situés sur des versants à pente moyenne (3 à 5%), ils couvrent 323 Ha. Ce sont des sols de texture fine présentant souvent des caractères d'hydromorphie, leur charge caillouteuse est localement forte.

Pour améliorer la structure de surface et accroître la réserve utile, on pratiquera des labours profonds ou des sous solages ; les zones les plus caillouteuses seront épierrées. Un drainage retardé peut être envisagé dans les portions de parcelles les plus humides afin que leur hydromorphie ne pénalise pas les rendements de cultures sensibles.

Catégorie III : Ces sols s'observent sur des versants situés au sud de Tipaza ou au nord de la route Nador – Sidi Moussa. Ils occupent une superficie étendue de 1 038 Ha. Ce sont principalement des sols fersiallitiques situés sur des versants dont la pente varie de 5 à 12,5 %.

Ces sols présentent les mêmes contraintes que ceux de la catégorie II, en plus accentuées ; à savoir : la texture fine à très fine et le caractère d'hydromorphie qui sont associés aux caractères vertiques. A l'inverse des précédents, ils peuvent présenter des teneurs notables en calcaires actifs sur l'ensemble du profil ou bien en profondeur seulement.

Catégorie IV : D'une superficie de 155 ha, ce sont des sols bien caractérisés : situés dans des zones subhorizontales, légèrement dépressionnaires, ce sont des sols hydromorphes de texture fine à très fine. Ces sols seront valorisés par des cultures résistantes à l'hydromorphie, à moins qu'ils ne soient drainés.

✓ Selon l'intensité de ces facteurs limitant, il a été mis en évidence trois catégories de sols. La catégorie de sols I est la plus étendue (786 Ha). Elle ne nécessite que de légers travaux d'aménagement tels que le labour profond, l'épierrage, l'apport d'amendement organique et un drainage retardé. Ces sols sont localisés dans les vallées de l'oued Boharoun et de l'oued Yarhsane.

Les catégories des sols II et III couvrent une superficie limitée (28 et 43 ha respectivement). Les coteaux les plus accidentés occupent une superficie de 281 ha.

II.5.1. Etude agropédologique :

Science qui définit les caractères des sols et étudie leur relation avec l'environnement. Elle étudie les sols dans leur globalité, que ce soit leur formation et leur évolution (pédogenèse), leurs propriétés physiques, morphologiques, chimiques, biologiques et minéralogiques, ainsi que leur répartition à la surface du globe.

L'objectif de l'étude est la connaissance approfondie des sols à l'échelle de la parcelle, d'exploitation agricole, elle permet de :

- Classer les sols, notamment en fonction de leur texture.
- Choisir les techniques d'arrosage les plus adaptées aux conditions du sol et de culture (aspersion; goutte à goutte; submersion)

II.6. Etat physique du sol :

Les propriétés physiques du sol sont liées à deux notions fondamentales: la texture et la structure.

Texture:

La texture du sol caractérise la nature, la taille et la distribution des particules solides qui la constituent.

Qualitativement, elle peut s'apprécier par le "toucher" du matériau sol, qui peut être grossier et rugueux, en fin et moelleux. On parle aussi de "terres lourdes" ou de "terres légères" selon qu'elles sont plus ou moins difficiles à travailler.

Quantitativement, elle s'exprime par l'analyse granulométrique qui décrit les proportions relatives des diverses tailles des particules solides.

Les résultats de cette analyse permettent de classer un sol en utilisant, soit le triangle textural équilatéral, soit le triangle textural rectangulaire recommandé par le GEPPA (groupe d'étude des problèmes pédologie appliqué), soit enfin la courbe granulométrique.

- **Structure**

La structure du sol caractérise la façon dont sont associées les particules élémentaires solides en agrégats.

C'est de la structure du sol que découlent directement des propriétés telles que la porosité qui est le rapport du volume des vides du sol et volume total exprimé en %, la cohésion, l'ameublissement. La structure se prête moins facilement que la texture à des analyses quantitatives.

II.7.Perméabilité

La perméabilité c'est la faculté qu'a un sol pour laisser circuler l'eau plus ou moins facilement ou définie par sa vitesse d'infiltration qui est la quantité maximale d'eau qui peut traverser le sol dans un temps donné; on l'exprime en général en mm/h.

On peut définir en fonction de la valeur de K exprimée suivant diverses unités différentes classes de perméabilité

< 1 > **Tableau II.5** : Différentes classes de perméabilité

Nature de sol	K (mm/h)
Très argileux	> 1,2
Argileux	1.2 à 1.5
Limoneux	5 à 20

Tableau II.6 : Différentes classes de sol < 1 >

Type du sol	Vitesse d'infiltration k			
	cm/s	mm/h	m/s	m/j
Sols imperméables	10^{-5}	0.36	10^{-7}	0.00864
Sols peu perméables	10^{-4}	3.6	10^{-6}	0.0864
Sols moyennement perméables	10^{-3}	36	10^{-5}	0.864
Sols perméables	10^{-2}	360	10^{-4}	8.64
Sols très perméables	$>10^{-2}$	>360	$>10^{-4}$	>8.64

Les valeurs de vitesse d'infiltration obtenues sont faibles à moyenne soit **1,8 à 12,3 cm/h.**

L'étude agropédologique effectuée sur la zone de Hadjout couvre une superficie de 1 151 Ha.

L'étude concerne trois (03) classes de sols :

- ù Les sols peu évolués
- ù Les sols calcimagnésiques
- ù Les sols fersiallitiques

Les principales contraintes physico-chimiques observées dans les sols sont énumérées comme suit :

- ù Texture fine
- ù Structure généralement défavorable
- ù Hydromorphie
- ù Pente

Tableau II.7 : Pédologie du sol de la région

Classe	Sous classe	Groupe	Sous groupe	Famille	Series
Sesquioxides de fer	Sols rouges formes sous climat de type méditerranéen	Sols rouges peu lessives	vertique	Alluvion anciennes ou alluvions colluvions	sur encroutement calcaire
Calcimagnésiques	Sols carbonatés	Brun calcaire	modal	Alluvions colluvions	sur sol noircis enterré
Sols peu évolués	Sols peu évolués	D'apport alluvial	modal	Alluvions calcaires	profond

Tableau II.8: Fiche analytique du sol

N°	Type du sol	Profondeur (cm)	Granulométrie					Complexe absorbant (meq/100g de sol)			
			A %	L_f %	L_g %	S_f %	S_g %	Ca^{++}	Mg^{++}	K^+	Na^+
1	sesquioxides de fer	0-40	43	30	10	8	5	24	2	0.32	0.43
		40-75	38	34	10	8	5	22	3	0.23	0.43
		75-120	48	28	8	7	5	20	4	0.17	0.43
2	Calcimagnésiques	0-30	48	35	6	5	12	33	3	0.24	0.38
		30-70	49	36	6	5	1	34	3	0.20	0.43
		70-110	53	34	5	3	1	35	5	0.20	0.54
3	peu évolués	0-22	33	45	16	5	1	32	3	0.86	0.76
		22-53	33	43	17	4	0	31	3	1.14	0.64
		53-84	37	42	3	18	0	36	5	0.97	0.32
		84-115	40	54	3	0	0	29	4	1.52	0.15

Tableau II.9 : Caractéristique physique de la solution du sol.

Solution du sol		Caractéristiques physiques		
Profond	CE	PH	$pF_{4.2}$	$pF_{2.5}$
d	(mmhos/cm)			
0-35				
35-50	0.51	7.76	9.40	19.3
50-80	0.49	7.20	8.30	18.1
0-30	0.90	6.60	15.0	22.7
30-60	0.58	7.90	-	27.1
60-110	0.37	8.00	-	28.4
0-30	0.35	8.08	-	31.3
30-65	0.62	7.90	10.6	26.4
65-110	0.49	8.00	11.4	25.8
-	0.70	8.14	12.6	26.3
	0.65	8.02	-	-

A : argile

L_f et **L_g** : limon fin et grossier respectivement

S_f et **S_g** : sable fin et grossier respectivement

CE : Conductivité Electrique

pF_{2,5} : la capacité de rétention max, correspond a une succion matricielle de 0,33 bar (-3,3 m ou Pf_{2,5}), par analogie à l'échelle de pH, le pF est défini comme le logarithme décimal de la valeur absolue de la charge de pression matricielle.

pF_{4,2} : point de flétrissement, la plante absorbe l'eau difficilement, un potentiel matricielle moyenne de 16 bar (-160 m ou Pf_{4,2}).

II.8. Analyse chimique du sol

D'après l'analyse chimique faite par l'A.N.R.H on peut dire que:

- le sol n'est pas salin parce que C.E < 4 mmhos / cm
- le sol n'est pas vraiment riche en matière organique

- le rapport C/N est très faible (pour les sols sesquioxydes de fer) ; et atteint l'unité ce qui veut dire que la matière organique à été pratiquement lessivée .mais pour les sols calcimagnésiques le rapport est proche de l'unité 7 à 8 ce qui veut dire que la matière organique n'a pas été rapidement ou complètement minéralisée. ce rapport est faible et varie entre 7 et 10 pour les sols peu évolués.
-on a le SAR < 6, donc il n'y a pas de danger d'alcalinisation.

II.9. Description des profils

1) sols à sesquioxydes de fer

-0 à 40cm: sec, structure polyédrique grossière à moyenne, texture argilo-limoneux, rares radicelles, faible activité biologique.

-40 à 75cm: matériaux analogues au précédent, argilo-limoneux, porosité tubulaire assez faible, consistance et cohésion forte, structure massive, son structure polyédrique moyenne peu développée.

-75 à 120cm: structure massive, assez compact, argilo-limoneux.

2) sols calcimagnésiques:

-0 à 20cm: sec, texture limono-argileuse, structure tendance polyédrique, poreux, quelques radicelles en voie la décomposition.

-20 à 50cm: même matériaux, structure polyédrique en éclat, consistance et cohésion faible, porosité assez bonne, texture argileuse.

-50 à 140cm: texture argileuse, structure polyédrique anguleuse bien développé, bonne porosité, consistance et cohésion moyenne.

3) Sols peu évolués

-0 à 22: brun foncé, limono-argileux.

Activité biologique, poreuse, cohérente, nombreuses racines, effervescent.

-22 à 53: brun foncé, limono-argileux, polyédrique moyenne à grossière, racines en décomposition, activité biologique, poreux, cohérent effervescent.

-53 à 84: brun, limoneux, polyédrique poreux, quelque taches grisâtres d'hydromorphie temporaires, effervescent.

-84 à 115: brun calcaire, limono-argileux, polyédrique anguleuse moyenne à fine bien développée, à faces brillantes, poreux, effervescent, taches grisâtres d'hydromorphie temporaires.

Conclusion :

Afin de faire un bon choix du type de culture à mettre en place nous avons quelque paramètre à respecter.

Nous devons tenir compte de la qualité de l'eau ainsi de la quantité à acheminer sur la parcelle définie par les besoins de ces cultures en question en terme de ressources ainsi que du climat. Il y a aussi le type de sol, sa structure, sa texture et sa perméabilité qui jouent un très grand rôle dans le choix des cultures.

CHAP III :

**Généralité sur la
pollution e agronomie**

III.1 Généralités sur la pollution :

La pollution de l'eau est une dégradation de sa qualité naturelle provoquée par l'homme et ses activités.

Cette dégradation peut compromettre l'équilibre du milieu vivant aquatique et rendre plus difficile ou plus coûteuse son utilisation ultérieure. (9-10)

III.1.1 Origine des eaux usées :

Suivant l'origine des eaux polluantes ; on peut distinguer :

III.1.2 Les eaux usées domestiques :

Elles proviennent des habitations, et sont généralement véhiculées par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration.

Ces eaux se caractérisent par leur forte teneur en matières organiques, en sels minéraux (Azote, phosphore), en détergents et en germes fécaux.

Les eaux usées domestiques peuvent provenir de trois origines possibles :

a. Eaux de cuisine : Ce sont les eaux correspondantes à la préparation des aliments, aux vaisselles. Elles sont riches en matières grasses plus ou moins émulsionnées par les détergents.

b. Eaux de buanderie : Ce sont les eaux de lavage des locaux, elles contiennent des détergents, des savons plus ou moins émulsionnés avec des graisses.

c. Eaux de vannes : Ces eaux très riches en matières hydrocarbonées, en azote et en phosphore, représentent un substrat adapté aux procédés du traitement biologique, mais elles peuvent contenir des éléments pathogènes (bactéries, virus, et parasites divers).

III.1.3 Les eaux usées industrielles :

Provenant des usines, elles sont caractérisées par une grande diversité, suivant l'utilisation de l'eau. Tous les produits ou sous-produits de l'activité industrielle se retrouve concentrée dans l'eau :

- Matières organiques et graisses (industrie agroalimentaire, équarrissage, ...) ;
- Sels métalliques (traitement de surface, métallurgie) ;
- Acides, bases, produits chimiques divers (industrie chimique, tannerie ...) ;

- Eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

III.1.4 Les effluents agricoles :

Les effluents agricoles renferment diverses substances d'origine agricole ou animale. Il s'agit de solutions d'engrais lessivées par les sols fortement fertilisés, des produits phytosanitaires (pesticides) et des déjections animales (purins et lisier de bétail).

III.1.5. Les eaux de ruissellement :

Ce sont essentiellement les eaux de pluie et de lavage des chaussées. Les eaux de pluie sont caractérisées par un débit fortement variable, présentant des valeurs moyennes à fortes variations saisonnières à l'intérieur desquelles la répartition des débits est aléatoire.

La pollution entraînée est maximale en début de précipitation. Elle correspond au lavage des toits et chaussées. Elle décroît ensuite fortement en cas de pluie persistante.

Les polluants sont en majorité des matières en suspension d'origine minérale, mais aussi des hydrocarbures provenant de la circulation automobile. On y trouve aussi des polluants de l'atmosphère (poussière, oxyde d'azote NO₂, oxyde de soufre SO₂, du plomb, etc.).

III.1.6 Les différents types de pollution :

Les causes de la pollution se sont étendues avec l'accroissement de la population et le développement accéléré des techniques industrielles modernes. Selon leur nature, on distingue divers types de pollution :

a. La pollution chimique :

La pollution chimique de l'eau devient de nos jours une préoccupation de la santé publique, qui prend des formes multiples. Certaines formes de pollution chimique échappent souvent aux méthodes classiques de traitement de l'eau et posent par conséquent des problèmes complexes de pollution, tant au

niveau des eaux de surfaces, qu'au niveau des nappes souterraines. La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements des polluants organiques et des sels, des métaux lourds par les unités industrielles. Le plus souvent, ces industries rejettent vers le milieu naturel plusieurs catégories de polluants, dont les plus menaçants sont les métaux lourds.

L'enrichissement des sols pour intensifier l'agriculture, par diverses catégories d'engrais et de pesticides, est également à l'origine de la pollution chimique des nappes souterraines.

Les polluants chimiques sont classés à l'heure actuelle en quatre catégories :

- Les substances chimiques dites « indésirables » ;
- Les pesticides et produits apparents ;
 - Les substances toxiques ;
 - Les détergents et les colorants.

b. La pollution organique :

Elle est engendrée par le développement des eaux usées domestiques ou des eaux résiduaires provenant des industries textiles, papeteries, industrie de bois, de raffineries et d'abattoirs. Ces matières organiques qui se présentent aussi bien en suspension (Particules solides) qu'en solution dans l'eau sont appelées à devenir des polluants lorsqu'elles sont déversées en quantités massives ou de façon répétée dans les espaces limités

Les matières organiques peuvent être biodégradables c'est-à-dire susceptibles d'être détruites par autoépuration grâce aux micro-organismes présents dans l'eau qui se nourrissent de cette pollution, mais entraînent en contre partie une consommation importante d'oxygène dissous. D'autres matières peuvent être non biodégradables.

c. La pollution microbienne :

C'est une pollution d'origine humaine ou animale ; elle est engendrée par les rejets urbains. Elle est dangereuse surtout s'il y'a dans l'eau des micro-organismes pathogènes

(E-coli, streptocoque fécaux...) qui peuvent être à l'origine des maladies infectieuses.

d. La pollution agricole :

Elle est causée principalement par l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et de pesticides.

e. La pollution par les hydrocarbures :

Les hydrocarbures sont divisés en deux groupes de substances :

- Les composés organiques volatiles (C.O.V) sont représentés surtout par les alcènes, les benzènes, le toluène. Ce sont des produits qui peuvent être déversés accidentellement dans le milieu naturel (par exemple par les fissures des réservoirs de stockage, enfouis-en sous sol).

- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (H.A.P.), les hydrocarbures responsables de la pollution des eaux peuvent provenir de nombreuses sources :

Les effluents éliminés par l'industrie pétrolière, pétrochimie, les ateliers de sidérurgie, les usines à gaz, les citernes, les réservoirs et les navires pétrolières.

III.1.7. Les paramètres de pollution :

a. Les paramètres physiques :

a.1. La température : Il est indispensable de connaître la température exacte de l'eau, car c'est un facteur important dans la vie d'un cours d'eau. Un changement de température affecte les diverses propriétés de l'eau. La température joue un rôle dans la solubilité sels et des gaz en particulier la conductivité électrique et dans les variations du PH. **(9-10)**

La température optimale pour l'activité des micro-organismes, épurateurs est comprise entre 20°- 30°c, au-delà, la vitesse de réaction décroît rapidement et le floc bactérien se trouve rapidement épuisé en oxygène.

a.2. L'odeur : L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde.

a.3. La couleur : La couleur de l'eau d'égout d'origine domestique est normalement grisâtre ; une couleur noire indique une décomposition partielle ; les autres teintes indiquent un apport d'eau résiduaire industrielle.

a.4. Les matières en suspension (M.E.S) : Théoriquement, ce sont les matières qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale. Les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales. Toutes les MES ne sont pas décantables, en particulier les colloïdes retenus par filtration. En général les M.E.S se subdivisent en matières volatiles (M.V.S) et en matières minérales

(M.M). Les charges en matières solides apportées par les eaux brutes par habitant et par jour peuvent être estimées, en première approximation à :

- 60 à 80 g dont environ 70% de matières volatiles (réseau séparatif).

a.5. Matières minérales : On obtient la quantité des matières minérales par la soustraction des matières volatiles des matières en suspension. Elles représentent le résidu de la calcination et correspondent à la présence des sels, silice, poussière...

a.6. Matières décantables et non décantables : On appelle matières décantables les matières qui sont capables de se décanter au bout de deux heures, au-delà ce sont des matières non décantables ; ces dernières restent dans le surnageant et vont être dirigées vers le traitement biologique.

b. Les paramètres chimiques :

b.1. Le PH : La valeur du PH est très importante dans les procédés biologiques, le PH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en anhydrique de carbone lié à la minéralisation totale.

Le PH des eaux usées urbaines seules est généralement près de la neutralité, entre 7 à 7,5 environ. Un PH différent est l'indice d'une pollution industrielle.

L'épuration biologique est possible pour un PH compris entre 6,5 et 8 ; au-delà de ces valeurs, l'activité biologique décroît rapidement.

b.2. l'oxygène dissous : L'oxygène toujours présent dans l'eau, n'en est pas un élément constitutif. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. L'oxygène dissous conserve ses propriétés oxydantes, soit par une réaction purement chimique, soit par des phénomènes électrochimiques d'où son importance dans le phénomène de corrosion. la teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10mg/l. Elle est fonction de l'origine de l'eau : les eaux superficielles contiennent des quantités relativement importantes proches de la saturation ; par contre, les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre.

b.3. La demande biochimique en oxygène (DBO₅) : La demande biochimique en oxygène est la quantité d'oxygène exprimée en mg/l et consommée dans les conditions de l'essai d'incubation à 20°C et à l'obscurité, pendant 5 jours pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée. Pour être complète, l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée. Pour être complète l'oxydation biologique demande un temps de 21 à 28 jours. On obtient alors la DBO ultime.

Par convention, la DBO ultime, trop longue à aboutir, est remplacée par la DBO₅, c'est-à-dire par la quantité d'oxygène consommée après 5 jours d'incubation. La DBO₅ ne représente normalement que la pollution carbonée biodégradable.

b.4. La demande chimique en oxygène (DCO) : La DCO représente la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimiquement de toute matière contenue dans les eaux qu'elle soit biodégradable ou non.

L'oxydation est rendue maximale en utilisant un oxydant qui est très fort, c'est le $K_2Cr_2O_7$ et en présence d'un catalyseur ($AgSO_4$). Ce test est

particulièrement important pour apprécier le fonctionnement d'une station d'épuration. Il permet l'oxydation de 95% environ des matières organiques.

La notion de biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent aqueux à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par le rapport : DCO / DBO

Ce rapport est proche de 1,5 pour les eaux de vanne ; toute élévation de ce rapport indique qu'il y'a présence d'une pollution industrielle.

Ce rapport renseigne aussi sur le mode de traitement à suivre comme s'est indiqué dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : le mode de traitement en fonction du rapport (DCO/DBO)

Rapport : DCO/DBO	Mode de traitement
$1 < \text{DCO/DBO} < 2$	Traitement biologique
$2 < \text{DCO / DBO} < 3$	Traitement biologique avec adaptation De la couche microbienne
$\text{DCO / DBO} > 3$	Traitement physico-chimique

b.5. Les nutriments (Azote et Phosphore) :

Le phosphore :

Le phosphore se trouve dans l'eau sous deux formes :

- la forme minérale : orthophosphate, polyphosphate)
- la forme organique : dissoute et particulaire

L'origine du phosphore peut être urbaine, industrielle ou agricole. Les apports les plus importants sont ceux de la population ;

L'azote :

Il peut être d'origine :

- anthropique : rejets urbains et industriels.

- Naturelle : atmosphérique

Dans les eaux domestiques la concentration globale en azote total (NTK) est de l'ordre de 15 à 20% de la DBO₅.

b.6.Éléments toxiques :

La présence des métaux lourds (plomb, mercure etc...) et des substances toxiques (phénols) dans l'eau usée peut la rendre toxique, ils sont évalués par les tests biologiques

III.1.8. Avantages et inconvénients de la réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation :

F Avantage :

- Bénéfices environnementaux : l'utilisation de l'eau usée épurée dans l'irrigation présente les avantages :
 - Libération des ressources en eau douce pour l'approvisionnement domestique et autres usages prioritaires
 - Protection des milieux récepteurs tels que les oueds, les ouvrages de stockage (barrages), ainsi les eaux littorales des risques de pollution.
 - Exploitation des substances nutritives, contenues dans les eaux usées par les cultures agricoles qui impliquent une réduction des quantités d'engrais à apporter.

F Inconvénients :

1. Problèmes de salinité

L'eau d'irrigation doit être de bonne qualité parce qu'une eau de mauvaise qualité peut avoir des incidences graves sur le développement des plantes.

Ø Classification des eaux pour l'irrigation :

a. Classification mondiale (F.A.O)

La classification donnée en fonction de la concentration des sels

- 1 g/l bonne irrigation
- 1 – 3 g/l faiblement salée

- 3 – 5 g/l moyennement salée
- 5 – 10 g/l fortement salée
- > 10 g/l extrêmement salée < 2 >

b. Classification Russe

Elle distingue trois classes qui sont basées sur la concentration des sels

- 0.2-0.5g/l l'eau est de meilleure qualité
- 1.0-2.0g/ l'eau comportant des risques de salinité
- 3.0-7.0g/l l'eau ne peut être utilisée pour l'irrigation qu'avec
Un lessivage et un drainage

c. Classification Américaine

La classification est basée sur deux paramètres C.E (conductivité électrique) à 25°C et S.A.R (Sodium Adsorption Ratio) **annexe III.1**

Û Pour la conductivité électrique C.E.

- C1 : C.E < 0,250 mmhos/cm (< 0.2g/l): l'eau à faible salinité, elle ne posera aucun problème sur la plus part des sols et des cultures.
- C2 : 0,250 < C.E < 0,75 mmhos/cm (0.2-0.5g/l): l'eau à salinité moyenne
- C3 : 0,750 < C.E < 2,250 mmhos/cm (0.5-1.5g/l): l'eau à forte salinité, et dite inutilisable sur un sol faiblement drainé, elle n'est autorisée que sur un sol bien drainée et sur des cultures tolérantes.
- C4 : 2,250 < C.E > 5.00 mmhos/cm (1.5-3g/l): l'eau à très forte salinité et inutilisable pour les conditions normales ; elle n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- C5 : C.E > 5.0 mmhos/cm (> 3g/l): l'eau est inutilisable sauf sur sable drainé et pour les palmiers et dattiers.

Û Pour coefficient d'adsorption du sodium S.A.R :

S.A.R: Sodium Adsorption Ratio

S.A.R est calculé par la formule suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (4)$$

Avec : Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} en meq / l

Elle distingue quatre classes:

- S1 - $S.A.R < 10$: L'eau contenant une faible quantité de sodium, peut être utilisée pour l'irrigation de presque tous les sols sans qu'il y ait à craindre que des difficultés ne surgissent du point de vue alcalinisation.
- S2 - $10 < S.A.R < 18$: Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium, peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, à moins qu'il n'y ait du gypse dans le sol .ces eaux peuvent être utilisées sur des sols à texture grossière ou sur des sols organiques qui absorbent bien l'eau.
- S3 - $18 < S.A.R < 26$: Les eaux contenant une quantité de sel élevée, peuvent provoquer des difficultés dans la plupart des sols et ne peuvent être employées qu'avec des précautions spéciales : bon drainage, lessivage important et addition de matières organiques .S'il y a une forte quantité de gypse dans le sol, il peut ne pas surgir de difficultés pendant quelques temps. S'il n'y a pas de gypse, il faut ajouter un amendement chimique exerçant le même effet.

S4 - $S.A.R > 26$: Les eaux contenant une quantité très élevée de sodium, sont généralement impropres à l'irrigation, sauf pour un degré de salinité moyen ou faible, lorsque l'usage de gypse ou amendements analogues permettent l'utilisation.

La plante peut absorber l'eau de deux façons soit par les organes aériens (cas de l'irrigation par aspersion) soit par les racines, mais la quantité d'eau absorbée par les feuilles est toujours faible ; ce sont les racines qui assurent la quantité d'eau nécessaire à la plante.

La présence de sels dans le sol et l'eau d'irrigation pose trois groupes principaux de problèmes:

- a) un problème d'alimentation en eau des plantes:

-le passage de l'eau du sol à la plante est dû en partie à la pression osmotique développée par les cellules racinaires.

-la présence ou l'accumulation des sels dans la zone racinaire diminue le potentiel osmotique des plantes.

-l'augmentation de la concentration saline dans la solution du sol peut arriver à annuler la pression osmotique et entraîner pour la plante un phénomène de sécheresse physiologique fatale.

b) un problème lié à la dispersion des argiles et à l'imperméabilisation du sol ; l'imperméabilité peut être engendré par l'arrosage avec des eaux salées de sol bien structurés,

c) un problème de rendement et de toxicité.

Les éléments chimiques qui sont importants à considérer dans l'étude de la salinité sont:

-Cations: Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , k^+ , Li^+

-Anions: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^-

-autres éléments chimiques: Si, B, Se

On peut donner quelques seuils de tolérance de certaines cultures.

Tableau III.2 : Seuil de tolérance à la salinité des cultures arbustives (région méditerranéenne)

cultures	Limite de salinité (mmhos/cm)	cultures	Limite de salinité (mmhos/cm)
Avocatier	6	Vigne	12
Amandier	7	Figuier	14
Agrumes	8	Grenadier	14
Pommier	8	Olivier	14
Poirier	8	Palmier Dattier	32

La toxicité pose un problème différent de celui de la salinité, car elle se manifeste dans le végétal lui-même comme le résultat de l'absorption et de l'accumulation de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation.

Chaque élément présent dans les solutions salines peut avoir un effet toxique spécifique sur la plante, ainsi la plupart des ions sont toxiques à forte concentration

Généralement les problèmes de la toxicité accompagnent ceux de la salinité, parmi les principaux éléments toxiques il y'a le sodium (Na), le chlore (Cl) et le bore (B). Ce dernier est particulièrement l'élément essentiel pour déterminer la qualité d'eau destinée à l'irrigation, il présente une toxicité extrême pour certaines plantes.

Tableau III.3: Toxicité de certains ions pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation < 2 >

Elément	Type d'irrigation	unité	Restriction pour l'irrigation		
			Aucune	Légère à modéré	Forte
Sodium	Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
	Irrigation par aspersion	még/l	<3		
Chlore	Irrigation de surface	SAR	<4	4-10	> 10
	Irrigation par aspersion	még/l	<3	> 3	
Bore	Irrigation de surface	még/l	<0.7	0.7-3.0	> 3.0

III.1.9. Lutte contre la salinité et la toxicité :

a) Pour le problème de la salinité il faut :

- 1) Choisir des cultures tolérantes à une salinité existante ou éventuelle.

2) Prévision et surveillance de la dynamique des sels et de l'évolution des sols sous l'effet de l'irrigation avec une telle eau.

3) Irriguer plus fréquemment pour améliorer l'approvisionnement en eau de la culture.

4) Appliquer régulièrement un supplément d'eau pour satisfaire le besoin de lessivage.

5) Changer de méthode d'irrigation, en adopter une qui permette de mieux lutter contre la salinité.

6) Modifier les pratiques culturelles.

b) Pour le problème de la toxicité il faut :

1) Arroser plus fréquemment.

2) Prévoir un supplément d'eau pour le lessivage.

3) En cas de toxicité par le sodium, utiliser des amendements tels que le gypse et le soufre.

4) Faire des cultures moins sensibles.

∅ Les métaux lourds :

La pollution des eaux usées par les métaux lourds demeure à l'heure actuelle l'un des problèmes majeurs à résoudre dans les pays industrialisés et les pays en voie de développement dont l'Algérie fait parti.

Ainsi, l'accumulation des métaux lourds dans le sol est considérée comme l'un des facteurs limitant l'utilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation des cultures comestibles par l'homme ou par les animaux d'élevage.

Accumulés dans les horizons de surface, les métaux peuvent provoquer de troubles de métabolisme des végétaux et des animaux et ainsi contaminer les chaines topographiques.

Les seuils des rejets imposés en éléments traces sont donnés dans le tableau III.4

Tableau III.4 : Limites recommandées en éléments traces

Élément (symbole)	Long terme ^a mg/l	Court terme ^b mg/l
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic (As)	0,1	2,0
Béryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	0,75	2,0
Cadmium (Cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1,0
Cobalt (Co)	0,05	5,0
Cuivre (Cu)	0,2	5,0
Fluor (F)	1,0	15,0
Fer (Fe)	5,0	20,0
Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li)	2,5	2,5
Manganèse (Mn)	0,2	10,0
Mercure (Hg)	0,01	0,01
Molybdène (Mo)	0,01	0,05
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,1	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

Avec :

(a) : Pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

(b) : Pour l'eau utilisée pendant une période d'au plus 20 ans sur des sols de texture
< 2 > fine, neutres ou alcalins.

III.1.10. Station d'épuration de Hadjout

1. Localisation de la station d'épuration

La station d'épuration de Hadjout est située à 2 kilomètres de la ville de Hadjout dans la zone industrielle.

La date de sa mise en service est en juillet 2006.

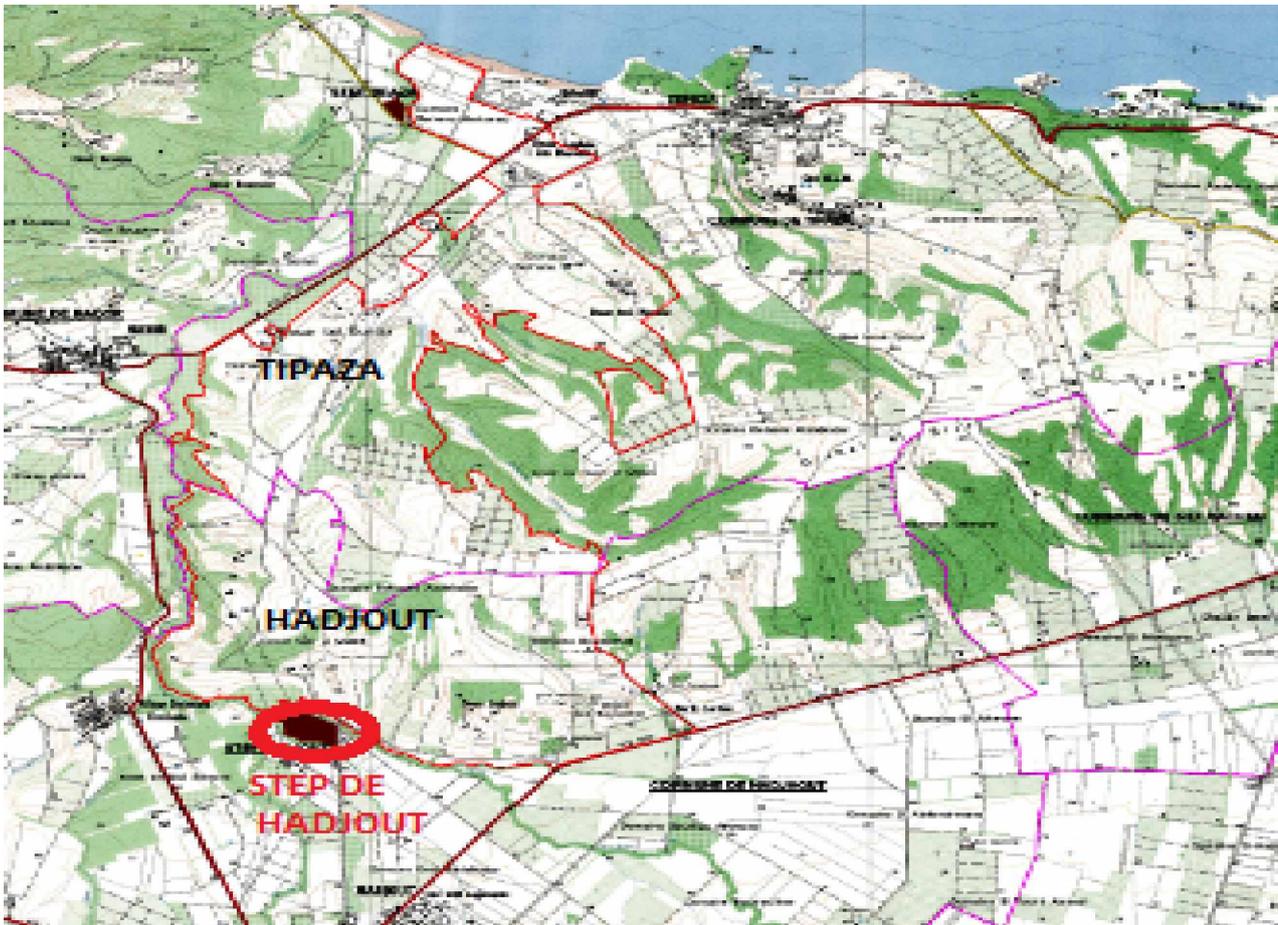


Figure III.1 : site de la STEP de HADJOUT

2. Les débits de la station d'épuration de HADJOUT :

Elle a été conçue pour permettre d'épurer les eaux usées d'une population de 70 000 en première étape (2010), et 105 000 en deuxième lieu (2020).

Les débits de dimensionnement de la station d'épuration de Hadjout pour différents horizons sont les suivants :

Tableau 5: Débits de dimensionnement de la STEP de Hadjout.

Désignation	HORIZON 2010	HORIZON 2020
Capacité de la STEP (EH)	70.000	105.000
Charge Hydraulique		
-Débit journalier (m ³ /j)	11 200	16 800
-Débit moyen horaire (m ³ /h)	467	700
-Débit de pointe au (m ³ /h)	803	1176

Tableau III.6 : Production des eaux épurées de la station de Hadjout

Horizon	Débit moyen journalier (m ³ /j)	Volume annuel (m ³)
2010	11 200	4 088 000
2020	16 800	6 132 000

3. La pollution selon la conception :

Elle est destinée à épurer les eaux résiduaires avant rejet dans l'oued Bourkika, Cette station prend en charge les rejets des villes de HADJOUT, MEURED, et ARRAHABA.

Tableau III.7 : Caractéristiques de l'eau brute de la STEP de Hadjout

Désignation	HORIZON 2010	HORIZON 2020
Charge organique		
*DBO	3780	5670
Charge journalière (Kg/j)	3237	337
Concentration (mg/l)		
*MES	4900	7350
Charge journalière (Kg/j)	437	437
Concentration (mg/l)	6,9	9,0
*PH		

4. Mode de fonctionnement de la STEP de Hadjout

Il s'agit d'un système d'épuration à boues activées fonctionnant en continu dans lequel des microorganismes sont mis en contact avec les eaux usées contenant les matières organiques. Le milieu est rendu favorable à la vie microbienne par apport d'air d'une part et par introduction des substances nutritives présentes dans l'eau à traiter d'autre part.

La station d'épuration de la ville Hadjout comprend en outre, un poste de relevage des eaux brutes :

4.1. Prétraitement

a.1 Dégrillage grossier

Les eaux brutes passent par une grille grossière qui retiendra les matières grossières pouvant occasionner des colmatages ou des difficultés de traitement.

a.2 Dégrillage fin

La grille fine à nettoyage automatique retient les objets volumineux au fur et à mesure de leur arrivée.

b. Dessablage – Deshuilage

Cette double opération se fait dans un ouvrage circulaire, à effet centrifuge. Un système By Pass permet d'isoler l'ouvrage lors des travaux de maintenance.

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, sables et toute particule grenue minérale de diamètre supérieur à 0,2 mm, qui peuvent provoquer le bouchage des canaux et conduites et l'abrasion des pompes.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide – liquide des huiles qui peuvent gêner le traitement biologique ultérieur.

4.2. Traitement biologique

Il permet la réduction de la pollution dissoute par l'action d'une masse bactérienne en suspension (culture libre).

Le bassin d'aération et le décanteur secondaire sont les ouvrages les plus importants dans une station d'épuration à boues activées.

Ils sont interdépendante et complémentaires ; l'opération d'élimination de la matière organique commence dans le bassin d'aération, formation de floccs biologiques, et s'achève dans le clarificateur, séparation de l'eau traitée des boues qui seront en partie recyclées dans le bassin d'aération pour en assurer le réensemencement et en partie extraire (boues en excès) dirigées vers le traitement des boues.

Traitement des boues

Toutes les boues avant d'être rejetée dans le milieu naturel ou d'être éventuellement réutilisées, elles sont dirigées vers l'épaississeur pour retirer toute l'eau qui reste et de la vers les filtres à bande pour une éventuelle déshydratation et évacuation, les boues produites peuvent être utilisées comme matières fertilisantes pour les plantes.

4.3. Traitement tertiaire des eaux (désinfection chimique) :

La désinfection se fait par injection de chlore, c'est la dernière action à entreprendre.

Le chlore est l'agent désinfectant le plus utilisé en raison de son pouvoir oxydant très important, son action bactéricide et sa présence sur le marché.



Figure III.2 : schéma de fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées

III.1.11. Qualité de l'eau d'irrigation :

L'analyse chimique de l'eau d'irrigation a été faite au niveau de laboratoire les résultats obtenus sont :

Tableau III.8 : qualité de l'eau a l'entrée et a la sortie de la STEP (2010)

ENTRE DE LA STEP		SORTIE DE LA STEP		unités	Rendement d'élimination (%)
DBO5	350,92	DBO5	6,73	mgO ₂ /l	97,88
DCO	647,43	DCO	63,28	mgO ₂ /l	91,75
MES	397,89	MES	11,85	mgO ₂ /l	96,09
MVS	240	MVS	9,64	mgO ₂ /l	95,81
NH4	50,75	NH4	2,23	mgO ₂ /l	95,6
NTK	59,66	NTK	8,67	mgO ₂ /l	84,16
PO4-P	12,89	PO4-P	9,3	mgO ₂ /l	27,56
DCO/DBO	1,83	DCO/DBO	11,58	-	
MVS/MES	60,04	MVS/MES	63,86	-	85,01

Conductivité électrique C.E = 1.41mmhos/cm

S.A.R (Hadjout)= 1.6

III.1.12. Interprétation des résultats :

D'après la classification de l'U.S.D.A, cette eau est de faible alcalinité mais de forte salinité. Donc elle ne peut être utilisée que sur des sols bien drainés en prenant des dispositions spéciales pour abaisser la salinité, et en doit choisir des plantes ayant une grande résistance au sel.

Les eaux usées épurées qui sont l'objet de notre étude, présentent les caractéristiques d'un effluent de qualité relativement bonne. Elles contiennent, en effet, peu de matière en suspension (MES : $\approx 7,50$ mg/l en moy. et leur demande chimique et biochimique en oxygène (O₂), représentative de la matière organique, sont plutôt basse (DCO = 96,00 mg/l) ; DBO₅ ($\approx 7,00$ mg/l. Elles sont faiblement chargées en azote (NTK ($\approx 12,04$ mg/l; la concentration en PO₄ (Ortho-phosphates) avoisine les 3,20 mg/l.

III.2. Agronomie :

III.2.1. Choix des cultures :

Dans cette étude qui nous amène au choix des cultures, on se basera sur plusieurs facteurs, qui sont :

1. Climat

La plante a des exigences climatiques telles que la quantité de chaleur nécessaire pour accomplir son cycle, températures critiques, minimale et optimales, besoins en eau et périodes critiques.

2. Sol

Les caractéristiques des sols ont une importance pour le choix des cultures. Telle que la texture, la structure, le PH, la profondeur de la nappe, et la profondeur de < 5 > la couche active.

3. Qualité des eaux d'irrigation

L'irrigation par des eaux fortement minéralisée à une action directe sur le rendement des cultures pour cela il faut choisir des cultures tolérantes à une salinité existante ou éventuelle.

III.2.2. Aptitude culturale :

L'aire d'étude est caractérisée par un climat relativement doux, les températures moyennes de l'aire d'étude varient de 10,8 °C au mois de janvier à 27,0 °C au mois d'août, ce pendant, nous enregistrons une température moyenne de 18,2°C

L'humidité relative de l'air est de (75 - 80%). La pluviométrie moyenne est de 760,6 mm / an.

L'analyse pédologique de la parcelle a montré que le sol a une conductivité électrique très faible, car les valeurs est de 1,41 mmhos/cm, le PH est légèrement basique, il est de 7,39 à 7,73 .le taux de matière organique est faible 1,7 à 2 %. Donc ce sol peut convenir pour toutes sortes de cultures après un apport d'engrais.

A partir des conditions déjà citées, on peut choisir les cultures qu'on peut planter dans notre parcelle

Dans notre cas la disponibilité de l'eau d'irrigation et sa qualité constituent des conditions favorables au développement d'une agriculture intensive et performante.

Les cultures les mieux adaptées sont :

- Û Les arbres fruitiers rustiques tels que l'olivier, l'amandier, et le figuier qui sont moins exigeants en matière de ressources en eau ;

- Û L'arboriculture sensible de type pommier, pêcher, prunier et abricotier, les agrumes tels que l'oranger et le citronnier qui sont cultivés depuis très longtemps sur les sols profonds de texture moyenne à fine ;

- Û Les céréales de climats tempérés telles que le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine ;

- Û Les légumineuses fourragères telles que le bersim et la vesce ;

- Û Les cultures industrielles à racines peu profondes (telles que le tournesol,) qui préfèrent des sols à textures moyennes qui offrent une meilleure valorisation du sol d'une part et constituent un bon précédent cultural pour les cultures céréalières.

Conclusion :

L'irrigation avec les eaux usées épurées engendre un bénéfice :

- au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais ;

- au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue.

Mais il faut faire attention à ne pas apporter ces éléments fertilisants en excès.

CHAP IV :

**Régimes
d'irrigation**

IV.1. Définition :

L'irrigation est l'ensemble du nombre de doses et des dates d'arrosage qu'il faut appliquer aux cultures cultivées, au cours de toute leur période de végétation, dans le but de compenser le déficit hydrique dans la couche active du sol.

IV.2. Besoins en eau des cultures :

La première étape de l'établissement d'un projet d'irrigation consiste à déterminer les besoins en eau des cultures.

En termes généraux, le besoin en eau d'une culture est équivalent au niveau d'évapotranspiration nécessaire à sa croissance optimale.

De façon précise, le besoin en eau est défini comme le niveau d'évapotranspiration d'une culture indemne de maladie et poussant dans une parcelle d'une surface supérieure à un hectare dans les conditions optimales de sol ; ces dernières consistent en une fertilité et une humidité suffisante pour atteindre le potentiel de production de la culture dans le milieu considéré <5>.

IV.3. Détermination de l'évapotranspiration :

IV.3.1. Définition

La quantité d'eau donnée à la plante n'est pas entièrement absorbée, l'eau qui constitue la plante est libérée par transpiration à travers l'appareil foliacé, le reste est évaporé par le sol dont l'ensemble de ces deux actions est l'évapotranspiration. Cette dernière représente la quantité d'eau perdue sous forme de vapeur à partir d'une surface couverte de végétation.

< 5 > On distingue deux types d'évapotranspiration:

a) Evapotranspiration potentielle ETP

L'évapotranspiration potentielle ETP définie comme l'ensemble des pertes en eau d'un couvert végétal abondant bien alimenté en eau lorsque l'énergie (évaporation de l'atmosphère) est le seul facteur qui limite cette évaporation.

On peut aussi définir l'ETP comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal présentant un développement foliaire maximum (un stade de pleine croissance) couvrant bien le sol ; ce dernier étant à la capacité au champ.

b) Evapotranspiration réelle ou de culture (ETC):

Pendant une période déterminée (jour, mois, cycle végétatif complet) chaque parcelle va perdre par transpiration et évaporation directe, une certaine quantité d'eau appelée évapotranspiration réelle ETR. Celle-ci peut être bien sur inférieure ou égal à l'ETP.

L'évapotranspiration d'une culture, ET_c , se calcule en multipliant l'évapotranspiration de référence ET_o par un coefficient cultural, K_c .

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Avec: K_c : Représente le coefficient cultural, dépendant du type de la culture et de son stade de développement et des conditions climatiques qui y règnent.

IV.3.2. Facteurs limitant d'évapotranspiration réelle ETR

L'ETR dépend principalement de trois facteurs:

a) **le climat** : la pluviométrie, insolation, luminosité, humidité relative et la température...

b) **la plante** : à savoir

- Nature de la plante (les espèces et les variétés de la plante)
- Phase de croissance de la plante
- Densité de la couverture végétale

c) **le sol** : principalement la texture.

IV.3.3. Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration

On distingue généralement deux méthodes:

a) les méthodes directes:

1. l'évapotranspiromètre ou cuve lysymétrique : l'appareil sert à mesurer l'évapotranspiration en un lieu donné du sol nu ou plus généralement d'un couvert végétal.

2. l'évaporomètre de piche: il s'agit d'un tube de verre rempli d'eau et fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier buvard ; la tranche d'eau évaporée à partir de celle-ci se lit directement sur les graduations du tube.

3. le bac évaporant : cet appareil très simple, permet de mesurer directement l'évapotranspiration d'une nappe d'eau libre. sous réserve qu'il soit correctement installé, il permet d'obtenir une bonne estimation de l'ETP.

b) les méthodes indirectes:

Ces méthodes permettent de calculer l'ETP à partir des formules ne comportant que des données climatiques. Celles-ci ont l'avantage d'être en général facilement applicable dans de nombreuses régions.

Par mis ces formules, on peut citer : la formule de turc, celle de blaney et criddle, formule de penman. Mais ces formules ne sont pas toutes équivalentes, elles variaient selon les paramètres utilisés et des régions climatiques ou elles ont été établies.

-les formules les plus utilisées en Algérie sont celles de:

turc (France 1960) et penman (Angleterre 1948), Blaney–criddle (U.S.A 1945) cette dernière est utilisée pour notre étude.

Formule de Blaney-Criddle :

$$ETP = (0,457T + 8,13) * K * P$$

Avec :

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm/jour)

P : Pourcentage de la durée mensuelle de l'éclairement rapporté à la durée annuelle et ne dépend que de la latitude.

K : Coefficient variant en fonction de la culture et de la zone climatique

T : Température moyenne mensuelle en (°c)

IV.3.4. PENMAN&MOTHEIT modifiée :

En Angleterre, précisément en 1948, *Penman & Motheit* ont proposé une étude théorique de l'évapotranspiration en reliant inséparablement l'énergie solaire incidente. Cette formule est limitée ou bien incomplète, du fait que cette

dernière ne prend pas en considération l'effet de quelques paramètres météorologiques.

Les expériences ont montré que la formule telle qu'elle est, s'applique mieux dans les régions humides, non loin de l'océan et essentiellement recouverte de végétation, que dans les zones arides ou semi-arides de faible humidité.

Pour cela, nous adoptons la nouvelle formule de *M^f Penman&Montheit* modifiée, qui prenne en compte l'effet du paramètre vent, ainsi que les corrections supplémentaires qui tiennent compte des conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

L'expérience a montré que l'expression obtenue, prédit de près, l'évapotranspiration de référence, non seulement dans des régions humides et fraîches comme en Angleterre, mais aussi dans des zones très chaude et semi-aride. La formule de *M^f Penman&Montheit*, modifiée, se présentant comme suit :

$$ET_0 = C * [W * R_n + (1 - W) * F(u) * (ea - ed)]$$

Où :

ET_0 : Représente l'évapotranspiration de référence, exprimées en mm/jour.

W : Facteur de pondération rendant compte de l'effet de rayonnement à différente température et altitude.

R_n : Rayonnement net en évaporation équivalente, exprimé en mm/jour.

$F(u)$: Fonction liée au vent.

ea : Tension de vapeur saturante à la température moyenne de l'air, en millibars.

ed : Tension de vapeur réelle moyenne de l'air, exprimée en millibars.

La différence $(ea - ed)$ constitue le facteur de correction, afin de compenser les conditions météorologiques diurnes et nocturnes.

Dans le tableau n°IV.1, nous représentons l'évapotranspiration de référence ET_0 , calculée à l'aide du logiciel *CROPWAT. 8*, selon la formule de *Penman&Monteith* modifiée

Tableau IV.1:Evapotranspiration de référence selon la méthode Penman&Monteith.

Station: Boukourdene Latitude: 02°17'59''N Longitude: 36°32'18''E Altitude=100m						
Mois	Temp. Moy	Humidité	Vent	Insol	Radiation	ET ₀ -penmon
	C°	%	Km/jour	heurs	MJ/m ² /jour	mm / jour
Janvier	10.8	73	91	5.4	16.9	2.38
Février	11.6	68	88	6.2	18.8	2.68
Mars	13.5	67	84	7.4	21.1	3.09
Avril	15.1	68	86	8.1	21.7	3.24
Mai	19.3	67	146	8.6	21.4	3.72
Juin	23.2	74	74	10	22.7	3.94
Juillet	26.7	77	74	10.6	23.9	4.58
Août	27	76	72	9.8	23.7	4.8
Septembre	23.5	77	84	8.4	22.3	4.31
Octobre	19.9	79	74	7.2	20.3	3.62
Novembre	15.6	75	74	5.5	17.1	2.85
décembre	12.2	73	84	5	16	2.44
MOYENNE	18.2	73	86	7.7	20.5	3.47

IV.3.5. la pluie efficace :

Pour tenir compte des pertes, le programme *CROPWAT.8*, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, ...etc.

Les valeurs de précipitations de probabilité de 80% ($P_{80\%}$) et la pluie efficace (P_{eff}) sont regroupées dans le tableau ci-après :

Tableau IV.2: Les précipitations efficaces dans la zone d'étude.

Mois	P _{80%} (mm)	P _{eff} (mm)
Janvier	62.9	50.3
Février	51.7	41.4
Mars	46	36.8
Avril	47	37.6
Mai	28.9	23.1
Juin	4.2	3.4
Juillet	1.7	1.4
Août	2.3	1.8
Septembre	25.8	20.6
Octobre	37.6	30.1
Novembre	71.3	57
décembre	68.1	54.5
TOTAL	447.5	358

IV.4. Détermination des besoins en eau d'irrigation : (4)

IV.4.1. Définition

Le besoin en eau d'irrigation B, est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour assurer la totalité de ses besoins en eau ou une fraction bien déterminée de ceux-ci. Si l'irrigation est la seule ressource en eau, le besoin en eau d'irrigation sera au moins égale au besoin en eau de la culture et il est souvent plus important en raison des pertes à la parcelle (besoin de lessivage, percolation profonde, inégalités de répartition, rendement du réseau etc.). <5>

VI.4.2 Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures d'assolement

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

$$B = ETP - (P_{eff} + RFU)$$

B : besoin en eau d'irrigation (mm)

ETP : évapotranspiration (mm / jour)

RFU : réserve facilement utilisable

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}).Da.Z$$

Y : degré de tarissement

Da : densité apparente

Z : profondeur d'enracinement mm

Hcc : humidité à la capacité au champ

Hpf : humidité au point de flétrissement

Pef : pluie efficace

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

L'irrigation est fait lorsque $B > 0$,

Pour notre travail on a utilisé le logiciel cropwat

IV.5. Détermination des besoins en eau d'irrigation de l'arboriculture :

Pour le calcul des besoins en eau de l'arboriculture on a déterminé :

1. Evaporation maximale de la culture

$$ETM \text{ (mm/j)} = Kc \cdot ETo$$

Avec : Kc: coefficient cultural

<4>

ETo : évapotranspiration de référence

2. Besoins en eau des cultures en irrigation localisée

$$ETM_{loc} \text{ (mm/j)} = ETM \cdot Kr$$

Avec : Kr coefficient de réduction

D'après Freeman et Garzoli $Kr = Cs + 0,5 \cdot (1 - Cs)$

Cs : taux de couverture de sol (%)

3. Besoin net en eau d'irrigation

Le besoin net d'irrigation B_{net} , est le volume (ou la hauteur) d'eau d'irrigation théorique nécessaire pour obtenir une production normale sur l'ensemble de la surface cultivée (à l'exclusion des pertes et de la contribution des autres ressources).

$$ETR = ETP * kc$$

$$ETR < ETM$$

Tableau IV.3 : Evapotranspiration de l'olivier

	ETP (mm/J)	K _C	ETR (mm/j)	P _{80%}	P _{eff} (mm/j)	B _{irri}
mars	3,09	0,5	1,55	46	1,19	0,36
avri	3,24	0,59	1,91	47	1,25	0,66
mai	3,72	0,74	2,75	28,9	0,75	2,01
juin	3,94	0,89	3,51	4,2	0,11	3,39
juillet	4,58	0,95	4,35	1,7	0,05	4,31
aout	4,8	0,95	4,56	2,3	0,06	4,05
sep	4,31	0,95	4,09	25,8	0,69	3,41
oct	3,62	0,89	3,22	37,6	0,97	2,25
nov	2,85	0,81	2,31	71,3	1,90	0,41
dec	2,44	0,73	1,78	68,1	1,76	0,02

Tableau IV.4: Evapotranspiration de pêche

	ETP (mm/J)	K _C	ETR (mm/j)	P _{80%}	P _{eff} (mm/j)	B _{irri}
mars	3,09	0,58	1,79	46	1,19	0,61
avri	3,24	0,73	2,37	47	1,25	1,11
mai	3,72	0,89	3,31	28,9	0,75	2,57
juin	3,94	0,95	3,74	4,2	0,11	3,63
juillet	4,58	0,95	4,35	1,7	0,05	4,31
aout	4,8	0,95	4,56	2,3	0,06	4,50
sep	4,31	0,91	3,92	25,8	0,69	3,24
oct	3,62	0,85	3,08	37,6	0,97	2,11
nov	2,85	0,78	2,22	71,3	1,90	0,32

Tableau IV.5 : Evapotranspiration de l'agrume

	ETP (mm/J)	K _C	ETR (mm/j)	P _{80%}	P _{eff} (mm/j)	B _{irri}
avril	3,24	0,75	2,43	47	1,25	1,18
mai	3,72	0,75	2,79	28,9	0,75	2,04
juin	3,94	0,72	2,84	4,2	0,11	2,72
Juillet	4,58	0,68	3,11	1,7	0,05	3,07
aout	4,8	0,65	3,12	2,3	0,06	3,06
Sep	4,31	0,65	2,80	25,8	0,69	2,11
oct	3,62	0,65	2,35	37,6	0,97	1,38

N.B : Pour les mois qui ne figurent pas aux tableaux précédents veuX dire que les besoin d'irrigation égal à zéro.

Le besoin d'irrigation brut, B_{brut} , est le volume (ou la hauteur) d'eau d'irrigation nécessaire en pratique (y compris les pertes et les besoins de lessivage mais à l'exclusion de la contribution des autres ressources), il est donné par les relations suivantes :

$$\text{si } R_p \text{ pratique } (>1) \quad B_{brut} = B_{net} \cdot R_p \text{ (mm/j)}$$

$$B_{brut} = \frac{B_{net}}{R_p} \quad \text{si } R_p \text{ theorique } (<1)$$

Avec : R_p : rendement de l'irrigation à la parcelle ; $R_p = \frac{E \cdot C_u}{100}$

E : coefficient qui exprime l'efficacité de l'arrosage dépend de la texture du sol déterminée à partir du tableau IV.6

C_u : coefficient d'uniformité

E: efficacité de l'arrosage est donnée par la relation suivante:

$$E = \frac{\text{eau stockée au niveau des racines}}{\text{eau donnée en moyen}}$$

et en prend $E=1$

Et le coeff d'uniformité $C_u=1.1$

$$R_p=1.1$$

$$R_p=1.1 \cdot 1 = 1.1;$$

Tableau IV.6 : Valeur de E pour diverses textures de sol

Type de sol	E (%)
Sable grossier, ou sol léger sur sous-sol gravier	115
Sableux	110
Limoneux	105
Argilo-limoneux ou argileux	100

(3) La dose de lessivage :

$$L_R = \frac{E \cdot C_w}{5 \cdot E \cdot C_{ES} - E \cdot C_w}$$

$E \cdot C_w$: Conductivité d'eau d'irrigation=1,35 mmhos/cm

$E \cdot C_{ES}$: Conductivité de la solution du sol.= 2,3 mmhos/cm

Donc $L_R=0.13$

$$ETM_{loc} \text{ (mm/j)} = ETM \cdot K_r$$

Tableau IV.7: Résultat des calculs

paramètres	olive	pêche	Agrumes
ET_0 (mm/j)	4,80	4,80	4,80
K_C	0.95	0.95	0,68
ETM (mm/j)	4,56	4,56	3,26
C_S	60	60	60
K_r	0.8	0.8	0,8
$ETM_{loc}=B_{net}$ (mm/j)	3,65	3,65	2,61
E%	100	100	100
CU	1.11	1.11	1,11
R_P	1.11	1.11	1,11
L_r	0.13	0.13	0,13
B_{brut} (mm/j)	4,35	4,35	3,19

Conclusion :

L'étude qui a été faite au niveau de notre région, dans le but de déterminer la méthode de calcul de l'évapotranspiration la plus favorable (méthode de Penman qui prend en considération les principaux facteurs climatiques), la connaissance des apports, des pertes d'eau et les besoins en eau des plantes, nous ont permis de déterminer les besoins en eau d'irrigation pour notre arboriculture.

CHAP V :

**Techniques
d'arrosage**

V.1. Généralités

L'irrigation est l'application de l'eau au sol dans le but de rafraîchir le sol et l'atmosphère par ce moyen réalisé les conditions les plus favorables pour la croissance des plantes.

Mais quelque soit l'origine de l'eau (cours d'eau naturel, nappe souterraine, eau de barrage), et son mode de transport (canaux, conduite sous pression), le problème qui se pose est comment répartir Cette eau sur le sol de façon que les plantes en tirent le maximum de profit ?

V.2. Technique d'arrosage :

Selon le caractère de l'exécution de l'arrosage, on distingue :

- a) irrigation de surface (par gravité): laisser couler l'eau à la surface, ou inonder le sol et le laisser saturer jusqu' à une certaine profondeur (submersion, par planches, à la raie).
- b) irrigation par aspersion : pulvériser de l'eau dans l'air et la laisser retomber en pluie sur les plantes et sur le sol.
- c) irrigation souterraine : élever la nappe d'eau par en dessous (dans les endroits ou la nappe d'eau souterraine est peu profonde et contrôlable) de façon à ce que la rhizosphère soit humidifiée par capillarité.
- d) irrigation goutte à goutte : qui nous intéresse dans notre étude. < 3 >

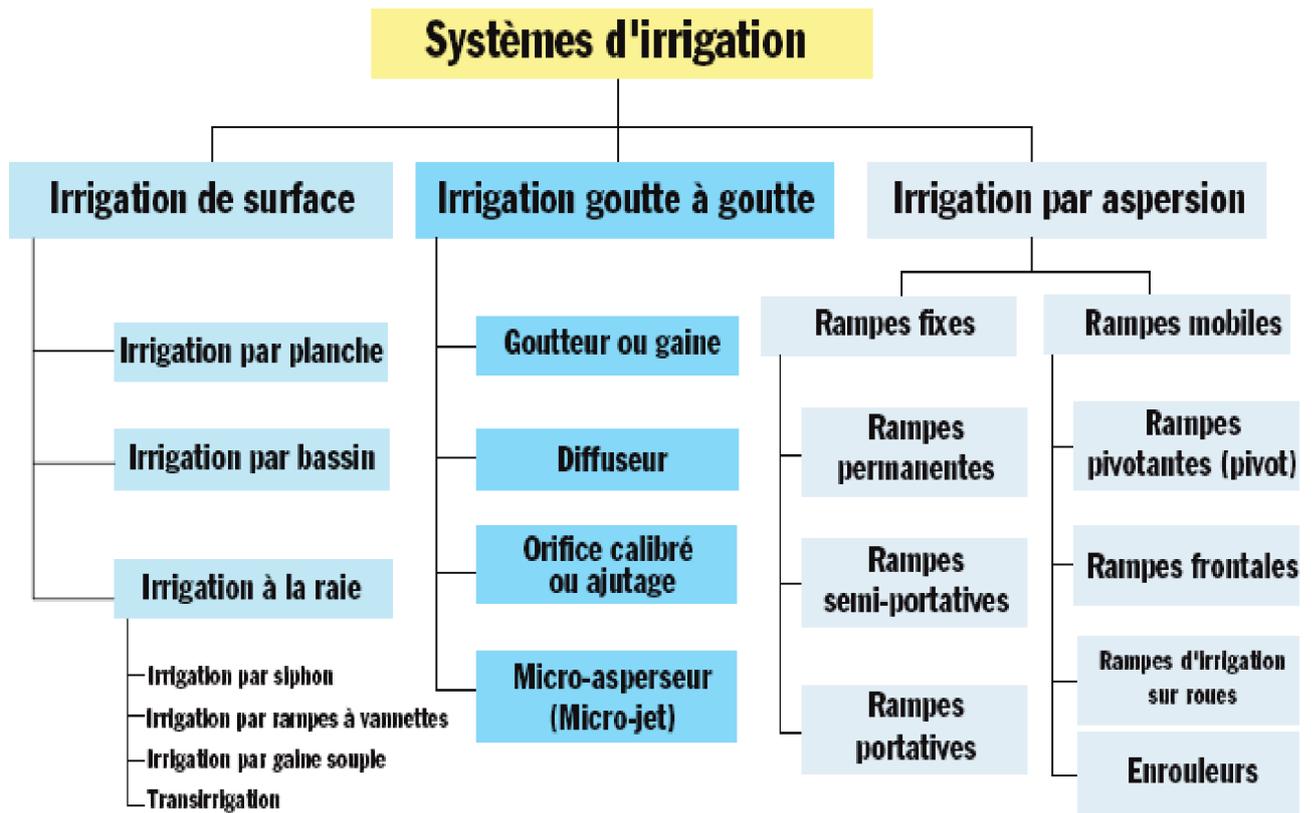


Fig V.1 : les différents systèmes d'irrigation

V.3. Choix de la technique d'irrigation convenable:

Le choix de la technique la plus convenable repose sur l'analyse d'un ensemble de critères et contraintes à savoir:

- la topographie (pente de terrain, relief géométrie de la parcelle...etc.)
- la ressource en eau (quantité, qualité, débit et pression disponible).
- la nature des cultures.
- la nature du sol (perméabilité).
- les facteurs socioculturels.
- les facteurs économiques.
- la rentabilité de l'opération.

< 3 >

N.B : Dans notre cas on a choisi le système d'irrigation localisé (goutte à goutte), pour l'arboriculture.

V.4. Mode d'irrigation :

Plusieurs modes d'irrigation sont envisagés sur le périmètre en raison de la diversité des sols et des cultures projetées et compte tenu de la nature des eaux (eaux usées épurées).

L'aspersion et l'irrigation localisée sont envisagées en priorité car elles s'adaptent aux types de cultures et la nature de l'eau. L'irrigation mécanisée (enrouleurs) devrait bien convenir pour toutes les grandes cultures en grand parcellaire ou on dispose de pression suffisante (de 4 à 6 bars).

V.4.1. Irrigation par aspersion :

Définition

L'irrigation par aspersion est une technique relativement récente qui consiste à reproduire sur le sol le phénomène naturel de la pluie, avec toutefois le contrôle de l'intensité et de la hauteur de l'averse. < 5 >

1. Avantages

- Ne nécessite en aucune manière le nivellement préalable des sols.
- Peut être employée quelle que soit la nature du sol arrosé.
- Elle provoque une forte oxygénation de l'eau projetée en pluie.
- Elle réalise une importante économie d'eau.
- Elle assure une bonne homogénéité de la répartition des apports.
- Possibilité de réaliser des installations mobiles, susceptibles d'être déplacées suivant la nature des cultures, ce qui facilite les rotations culturales.

2. Inconvénient

- Elle favoriserait l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttelettes sont plus fines et l'air plus sec.
- Difficultés d'utilisation et efficacité réduite en régions ventées.
- Obligation de multiplier les traitements phytosanitaires en raison du lavage des appareils foliaires.

- Mouillage des feuilles favorisant les maladies cryptogamiques chez certaines espèces végétales.
- Mauvaise adaptation aux sols « battants », susceptibles de tassement superficiel sous l'impact des gouttes d'eau.
- Possibilités réduites pour l'arrosage avec des eaux résiduaires (formation d'aérosols).
- Déplacement du matériel difficile dans les zones à culture hautes.
- Ne convient pas aux eaux salées sur beaucoup de cultures (risque de brûlure du feuillage, ou de dépôts inesthétique sur les fruits).

Recommandations pour l'utilisation de l'eau usée épurée dans le cas de l'aspersion

-Pour les eaux usées, l'irrigation par aspersion devra éviter deux types de risque :

-Le bouchage et le colmatage des installations ;

-La dispersion des germes dans l'atmosphère par les aérosols (et aussi la diffusion de mauvaises odeurs).

-Evidemment, il faut éviter les risques classiques de l'aspersion dans le cas de l'utilisation des eaux conventionnelles, à savoir :

-L'effet du vent sur l'efficacité et l'uniformité d'arrosage ;

-Les brûlures des feuilles, suite à l'utilisation d'eaux saumâtre ;

-Le phénomène de battance pour les sols présentant des structures fragiles ;

-Les pertes d'eau par ruissellement et l'érosion des sols, suite au dépassement de la capacité d'infiltration des sols.

-En cas d'irrigation par aspersion, les parcelles à irriguer sont à éloigner des habitations et des voies de communication publique. Elles doivent être entourées de rideaux de brise vent naturels ou artificiels afin d'éviter la propagation des aérosols. Cet éloignement doit prendre en compte l'ensemble

des paramètres (conditions atmosphériques, type de matériel, niveau de traitement,...).

V.4.2. Irrigation localisé :

1. Définition

En irrigation localisée, l'eau est transportée le long des rangs de culture et distribuée au voisinage des plantes. < 5 >

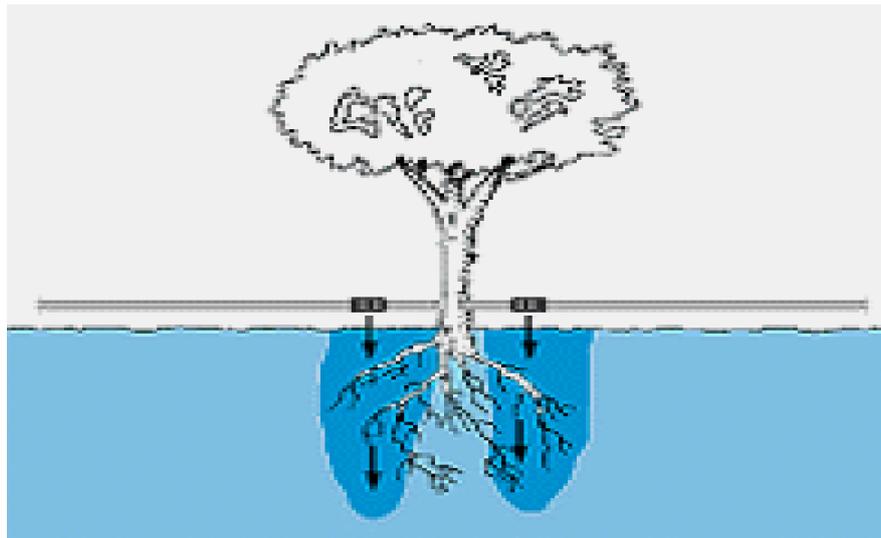


Fig:V.2 : Zone humidifié par le goutteur

2. Avantages

- Economie d'eau
- Réduction des adventices (mauvaises herbes)
- Contrôle de la fertilisation.
- Possibilité d'automatiser.
- Meilleure tolérance des cultures aux eaux salées.
- Très faibles besoins de main-d'œuvre.

1. Inconvénients

- Coût globalement élevé qui fait réserver cette technique aux cultures à forte valeur ajoutée.

- Exige un haut degré de compétence à tous les niveaux : études préliminaires agropédologique, conception de l'installation, conduite des arrosages par l'irrigant.
- Nécessite une maintenance rigoureuse, en raison des risques liés à une éventuelle interruption des arrosages.
- Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation.

Fonctionne avec du matériel délicat à durée de vie relativement faible.

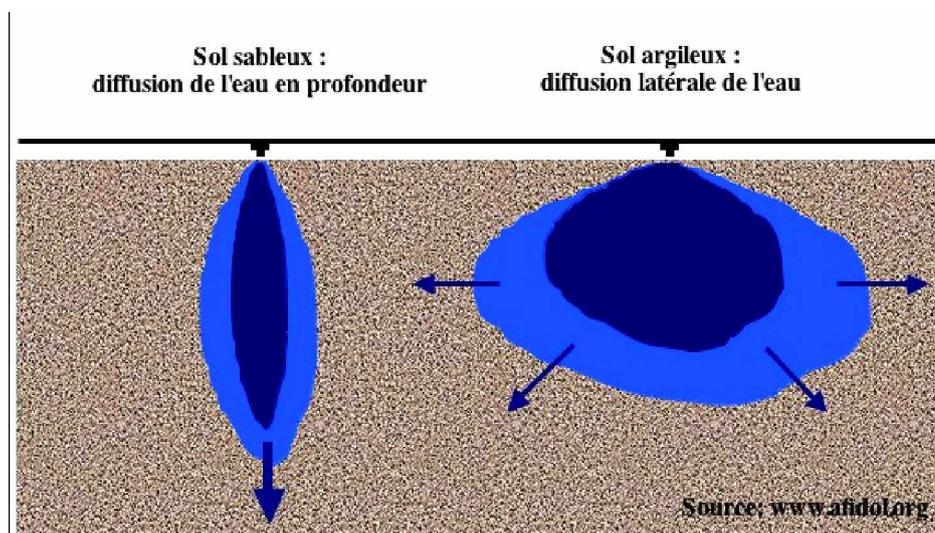


Fig V.3 : Bulbe humide sous les goutteurs

Recommandations pour l'utilisation des eaux usées dans le cas de l'irrigation localisée

Le risque majeur de cette technique est la sensibilité au colmatage et l'uniformité d'arrosage à la parcelle.

Afin de minimiser ce risque, il est important d'adopter les dispositions suivantes :

Ø Au niveau du distributeur :

- Les microjets sont les distributeurs les moins sensibles au colmatage.
- Les ajutages calibrés sont peu sensibles. Enfin, la gamme la plus sensible est celle des goutteurs où les auto-régulants sont avérés les moins sensibles ;

- Les distributeurs doivent avoir un diamètre égal ou supérieur à 1 mm.
- Les distributeurs à jet tournant sont déconseillés car l'élément tournant est parfois bloqué par les éléments organiques transportés par les eaux usées.
- Le diamètre critique pour un microjet est de 0,75 mm ;
- Les pressions élevées réduisent le pourcentage de colmatage dans la plupart des ; goutteurs et micro jets et en particulier ceux à faible diamètre.

Ø Au niveau du réservoir de stockage :

Le fond du réservoir doit être conçu de façon à faciliter les curages fréquents.

Ø Au niveau du filtre à sable :

Le diamètre moyen du sable doit être équivalent ou inférieur au diamètre des distributeurs utilisés, puisque le filtre à sable arrête toutes particules dont la dimension est supérieur au 1/10 du diamètre du granulat utilisé ;

Le nettoyage du filtre à sable doit s'effectuer lorsque la différence de pression entre l'amont et l'aval du filtre atteint 0,8 à 1 bar ;

Le sable doit être changé lorsque la perte de charge dans le filtre atteint 0,5 à 0,6 bar après son nettoyage.

Tableau V.1 : Type de filtration selon l'origine des eaux.

Origine de l'eau	Nature des impuretés	Filtration	Option
Eau de surface	Argile Limons Algues <u>Bactéries</u> <u>Particules grossières</u>	Filtre à sable + Filtre à tamis	Filtre flottant
Eau souterraine	Limons Sable Fer	Filtre à tamis seul (si plus de limon) Ou filtre à sable + filtre à tamis	Séparateur (si particules denses) Ou déferrisation (coût élevé)

Ø **Au niveau du filtre à tamis :**

- Le filtre à tamis doit être lavé lorsque la différence de pression entre l'amont et l'aval atteint 0,8 bar ;
- La taille des mailles du tamis doit être au plus égale à 80% du diamètre des particules qui s'échappent du premier filtre.

Ø **Au niveau de l'entretien :**

- Les rampes doivent être purgées régulièrement à une fréquence minimale hebdomadaire afin d'évacuer les particules qui se déposent sur le fond et aux extrémités.

V.5. Projection du réseau d'irrigation localisée :

V.5.1. La dose pratique :

La quantité d'eau parvenant effectivement au niveau du sol de la parcelle, et qu'il n'est pas tenu compte des pertes d'eau éventuellement liées au système utilisé.

$$D_{\text{net}} = (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \cdot Y \cdot Z \cdot P\%$$

Tel que : notre sol est argileux

H_{cc} : humidité à la capacité au champ ; H_{cc}

H_{pf} : humidité au point de flétrissement ; H_{pf}

Y : degré d'extraction de l'eau du sol ; Y = 0,66

Z : profondeur d'enracinement ; (mm)

P : volume de sol humidifié.

Il est en fonction de :

S_i: écartement entre les rampes (m)

Le débit d'un gouteur : 4 l/s

Ecartement des distributeurs sur la rampe et de la texture du sol.

Le pourcentage P de sol humidifié peut être déterminé du tableau qui se trouve en annexe V.1

V.5.2. La fréquence des arrosages

$$f_{\min i} = \frac{D_{brut}}{ETM_{\max}}$$

Tel que:

$f_{\min i}$: Espacement maximal entre arrosage.

ETM_{\max} : besoin net de pointe

V.5.3. La dose brute :

$$D_{brute} = D_{net} * E * Cu$$

Avec : E : Efficience en irrigation localisée en suppose=1.

Cu : coefficient d'uniformité = 1,1.

D_{net} : Dose nette en mm.

V.5.4. La durée d'arrosage :

La durée d'arrosage notée t est donnée par la formule suivante :

$$t = \frac{D_{brute} \times S_d \times S_r}{Q_d}$$

Avec :

D_{brute} : Dose brute.

S_d : Espacement entre les goutteurs en m.

S_r : Ecartement entre les rampes en m.

Q_d : Debit d'un goutteur en l/ h.

V.5.5.L'irrigation journalière

$$I_j = \frac{t}{f_{\min i}}$$

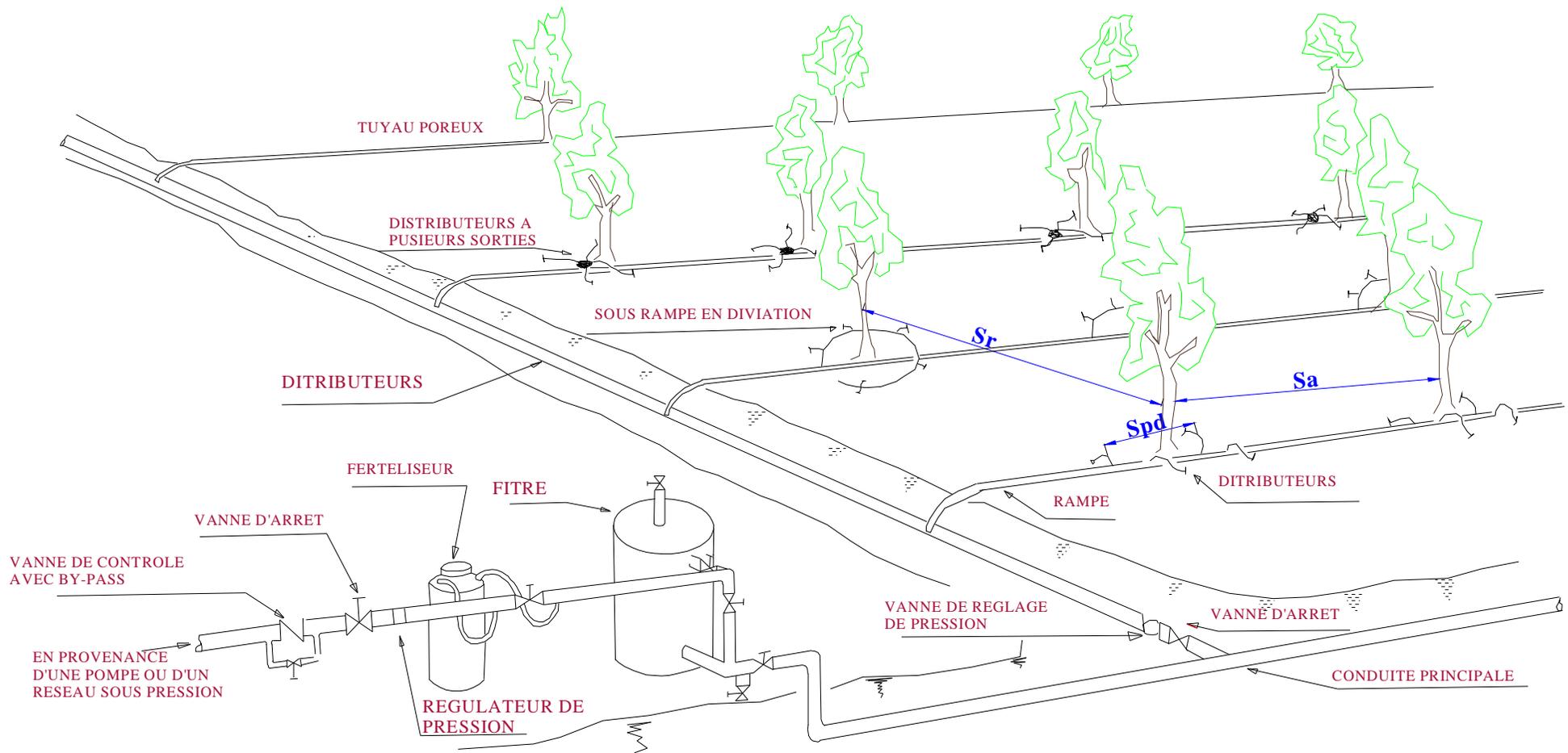


Fig V.4 : Schéma explicatif du réseau d'irrigation localisée

a- Pour l'olivier

La dose pratique :

$$D_{net} = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Y \cdot Z \cdot P\%$$

Tel que :

$$H_{cc} = 31 \% \text{ et } H_{pf} = 15 \% \text{ (d'après la textures du sol « FAO »)}$$

$$Z : 1400\text{mm}$$

$$Y : 2/3.$$

Avec :

S_{pd} : distance entre deux points de distribution voisine du même arbre = 1 m

S_a : espacement des arbres sur les rangs = 7 m

S_r : écartement entre rangs d'arbre = 7 m

P : pourcentage du sol humidifié (annéx V.1) = 25%

Donc :

$$D_{net} = (0,31-0,15) \cdot 1400 \cdot 2/3 \cdot 0,25 = 37,33 \text{ mm.}$$

$$\mathbf{D_{net} = 37,33 \text{ mm.}}$$

La dose brute :

$$D_{brute} = D_{net} * E * Cu$$

Avec : E : Efficience en irrigation localisée en suppose= 1.

Cu : Coefficient d'uniformité = 1,1.

$$D_{brute} = 37,33 * 1,1 = 41,06 \text{ mm.}$$

$$\mathbf{D_{brute} = 41,06 \text{ mm.}}$$

La fréquence :

$$f_{min} = \frac{41,06}{3,65} = 11 \text{ jours}$$

Intervalle entre les arrosages :

$$30/11 = 2 \text{ jours } 17 \text{ h} = 2 \text{ jours}$$

La durée d'arrosage :

$$t = \frac{D_{brute} \times S_d \times S_r}{Q_d} \quad (Q_d=4*2)$$

A, N :

$$t = \frac{41,06 \times 1 \times 7}{8} = 36 \text{ heures.}$$

t = 36 heures.

L'irrigation journalière

$$I_j = \frac{36}{11} = 3,27h, 3 \text{ h et } 16 \text{ min}$$

b-Pour le pêcher :

La dose pratique :

$$D_{\text{net}} = (H_{\text{cc}} - H_{\text{pf}}) \cdot Y \cdot Z \cdot P\%$$

Tel que :

$$H_{\text{cc}} = 31 \% \text{ et } H_{\text{pf}} = 15 \% \text{ (d'après la texture du sol « FAO »)}$$

$$Z : 1400\text{mm}$$

$$Y : 2/3.$$

S_{pd} : distance entre deux points de distribution voisins du même arbre = 1 m

S_{a} : espacement des arbres sur les rangs = 5 m

S_{r} : écartement entre rangs d'arbre = 5 m

P : pourcentage du sol humidifié (annexe V.I)

Donc :

$$D_{\text{net}} = (0,31 - 0,15) \cdot 1400 \cdot 2/3 \cdot 0,25 = 37,33 \text{ mm.}$$

$D_{\text{net}} = 37,33 \text{ mm.}$

La dose brute :

$$D_{\text{brute}} = D_{\text{net}} \cdot E \cdot Cu$$

Avec : EFF : Efficacité en irrigation localisée en suppose=1.

Cu : coefficient d'uniformité = 1,1.

$$D_{\text{brute}} = 37,33 \cdot 1,1 \text{ mm.}$$

$D_{\text{brute}} = 41,06 \text{ mm.}$

La fréquence :

$$f_{\text{min}} = \frac{41,06}{3,65} = 11 \text{ jours}$$

Intervalle entre les arrosages :

$$30/11 = 2 \text{ jours } 17 \text{ h} = 2 \text{ jours}$$

La durée d'arrosage :

$$t = \frac{D_{brute} \times S_d \times S_r}{Q_d}$$

A, N :

$$t = \frac{41,06 \times 1 \times 5}{8} = 26 \text{ heures.}$$

t = 26 heures.

L'irrigation journalière

$$I_j = \frac{26}{11} = 2,27h, 2 \text{ h et } 16 \text{ min}$$

c- Pour Les agrumes

La dose pratique :

$$D_{net} = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Y \cdot Z \cdot P\%$$

Tel que :

$H_{cc} = 31 \%$ et $H_{pf} = 15 \%$ (d'après la textures du sol « FAO »)

$Z : 1400\text{mm}$

$Y : 2/3.$

S_{pd} : distance entre deux points de distribution voisine du même arbre = 1 m

S_a : espacement des arbres sur les rangs = 5 m

S_r : écartement entre rangs d'arbre = 5 m

P : pourcentage du sol humidifié (annéx V.1) = 25%

Donc :

$$D_{net} = (0,31 - 0,15) \cdot 1400 \cdot (2/3) \cdot 0,25 = 37,33 \text{ mm.}$$

$D_{net} = 37,33 \text{ mm.}$

La dose brute :

$$D_{brute} = D_{net} \cdot E \cdot Cu$$

Avec : E : Efficience en irrigation localisée en suppose=1.

Cu : coefficient d'uniformité = 1,1.

$$D_{brute} = 37,33 \cdot 1,1 \text{ mm.}$$

$D_{brute} = 41,06 \text{ mm}$

La fréquence :

$$f_{min} = \frac{41,06}{2,61} = 16 \text{ jours}$$

Intervalle entre les arrosages :

$$30/16 = 1 \text{ jours } 21 \text{ h} = 2 \text{ jours}$$

La durée d'arrosage :

$$t = \frac{D_{brute} \times S_d \times S_r}{Q_d}$$

A, N :

$$t = \frac{41,06 \times 1 \times 5}{8} = 26$$

t = 26 heures.**L'irrigation journalière**

$$I_j = \frac{26}{11} = 2,27h, 2 \text{ h et } 16 \text{ min}$$

Tableau V.2 : Les résultats de calcul

paramètres	unites	OLIVIER	PECHER	AGRUME
D _{net}	mm	37,33	37,33	37,33
D _{brute}	mm	41,06	41,06	41,06
f _{min}	jour	11	11	16
E	jour	2	2	2
t	h	36	26	26
I _j	h	3,27	2,27	2,27

Conclusion :

Après avoir déterminé les besoins en eau d'irrigation, en se basant sur la topographie, le climat, et surtout la pédologie de la parcelle, nous avons pu trancher sur quel type d'arrosage qu'il faudrait pencher.

Bien entendu le plus convenable est l'irrigation localisée avec tout ce type d'irrigation apporte comme avantages au cours de ce chapitre nous avons aussi déterminé la façon de distribuer l'eau aux arbres, la durée d'arrosage, la fréquence et l'irrigation journalière.

CHAP VI :

Réseau de distribution

VI.1. Généralités

Un réseau d'irrigation est composé d'un l'ensemble d'organes, d'ouvrages et d'appareils qui assurent non seulement le transport, la répartition et la distribution d'eau à chaque exploitation agricole mais aussi, l'évacuation des eaux en excès.

VI.2. Classification des réseaux d'irrigation

1-Selon la construction

- **Réseau classique**

Dans ce type de réseau, le transport de l'eau est assuré gravitairement dans des canaux à ciel ouvert.

- **Réseau fermé**

Dans ce réseau, l'eau est transportée dans des conduites en charge.

- **Réseau mixte**

Dans ce réseau l'eau est transportée dans des canaux à ciel ouvert jusqu'aux parcelles alors que la distribution de cette eau se fait par des conduites sous < 5 > pression.

2-Selon la réalisation

- Réseau permanent : à longue durée
- Réseau temporaire : comme les réseaux à ciel ouvert en terre.
- Réseau stationnaire.
- Réseau mobile : le matériel est déplaçable d'une exploitation à une autre.
- Réseau semi-mobile : une partie du matériel est déplaçable.

3-Selon la distribution de l'eau sur le périmètre

- Soit par gravité (gravitaire).
- Soit par élévation mécanique (aspersion).

4-Selon le fonctionnement durant la période d'irrigation

- Réseau à service continu.
- Réseau à service discontinu.

VI.3. Choix du type de réseau d'irrigation

Le choix du type de réseau d'irrigation est conditionné par le relief et la technique d'arrosage adoptée. Pour des raisons citées ci dessous notre choix est porté sur le réseau fermé.

En effet, celui-ci présente les avantages suivants :

- Les pertes d'eau (par évaporation et infiltration) sont négligeables.
- Une utilisation rationnelle et économique de l'eau d'irrigation.
- Il peut être adopté pour n'importe quel relief.
- Possibilité d'automatisation.

Son inconvénient principal est le coût élevé. < 1 >

VI.4. Choix du type de matériau des conduites

Les conduites peuvent être réalisées par différents matériaux fonte, acier, amiante de ciment, béton armé, galvanisé et en pvc.

Le choix de l'un de ces matériaux est conditionne par :

- Le diamètre
- La pression de service
- Le critère économique
- Les conditions de pose des conduites
- La disponibilité dans le marché
- La technique d'arrosage

VI.5. Réseau d'irrigation localisée :

1. Les organes de distribution :

a. Les goutteurs :

Ils ont un faible débit compris entre 1 et 8 l/h sous une pression de 1 bar. Dans la pratique, on utilise 2 l/h pour les cultures maraîchères et 4 l/h pour les cultures pérennes.

< 5 > On distingue 2 types de goutteurs :

Les goutteurs à circuit long :

L'eau suit un long acheminement (0,1 à 1 m). La pression disponible est dissipée sous forme de perte de charge.

Il existe des goutteurs à circuit long uniforme (ancien) et non uniforme. Pour les premiers, la section de passage de l'eau est constante et les pertes de charge sont dues au frottement.

Pour les goutteurs à circuit long non uniforme dit à chicanes ou labyrinthe, des changements brusques de direction du filet liquide provoquent un effet de turbulence et s'ajoutent aux frottements pour engendrer les pertes de charge.

Les goutteurs à circuit court :

L'eau passe par un orifice de section réduite. La pression disponible au niveau de la rampe est transformée en vitesse, l'eau sort sous forme d'un jet très fin qui doit être brisé.

Les goutteurs de ce type sont sensibles à l'obstruction.

∨ Mode d'installation

Il existe 3 modes d'installation pour les goutteurs :

1- Les goutteurs en dérivation : ils sont insérés à la rampe par l'intermédiaire de deux embouts cannelés appelé tête de vipère.

2- Les goutteurs en ligne : ils sont insérés dans la rampe par l'intermédiaire de deux embouts cannelés.

3- Les goutteurs intégrés : L'élément portant le cheminement de l'eau est mis en place dans les tuyaux lors de son extrusion.

b. Les mini-diffuseurs :

Ils fonctionnent comme de petits asperseurs statiques placés entre 30 et 50 cm au dessus du sol. L'eau est diffusée sous forme de tache sur une partie du sol au voisinage de la culture.

✓ **Mode de fixation**

Ils sont soit fixés directement à la rampe soit reliés à cette dernière par un tube conducteur ou prolongeur, dans ce cas, le mini-diffuseur est placé sur un support.

c. Les ajustages calibrés (système Bas Rhône) :

Ils sont constitués d'orifices calibrés (1,2 à 2 mm de diamètre) fixés en dérivation sur la rampe à intervalles réguliers (2,5 à 6,5 m) et recouverts d'un manchon brise-jet.

L'eau distribuée ne s'infiltre pas directement, elle s'écoule dans de petites rigoles cloisonnées constituant une série de petits bassins au fond desquels est posée la rampe.

Le débit varie entre 35 et 100 l/h sous une pression de 1 bar.

d. Les gaines

Elles sont constituées de tuyaux en plastique qui assurent simultanément les fonctions de distribution et de transport, leur débit est compris entre 1 et 8 l/h par mètre linéaire suivant l'écartement des orifices (20 à 120 cm) et la pression (0,15 à 1 bar).

Il existe trois types de gaines :

- les gaines à doubles parois;
- les gaines à cheminement long;
- les gaines autorégulatrices.

e. Les tubes poreux

Ils sont constitués par des tuyaux de petits diamètres dont la paroi à structure poreuse laisse suinter l'eau le long des tuyaux.

Ils sont, en général, enterrés entre 20 et 50 cm de profondeur. Leur utilisation est difficile par suite de la variation difficilement contrôlable de leur débit.

2. Filtration en irrigation localisée

On distingue deux types de filtres :

- Les filtres à sable

C'est une cuve à pression remplie d'une épaisse couche de sable calibré. Le sable peut être roulé ou concassé. Le sable roulé d'une seule granulométrie permet une filtration plus homogène.

On choisit des sables dont la taille effective est d'environ 10 fois la dimension des particules à éliminer.

Le coefficient d'uniformité est défini par : $C_u = T_{60\%} / T_{10\%}$

L'efficacité de la filtration est fonction de la vitesse de passage de l'eau. Elle doit être inférieure à 100 cm/h.

Les filtres à grande section sont à préférer aux filtres à forte épaisseur de sable (plus de 60 cm).

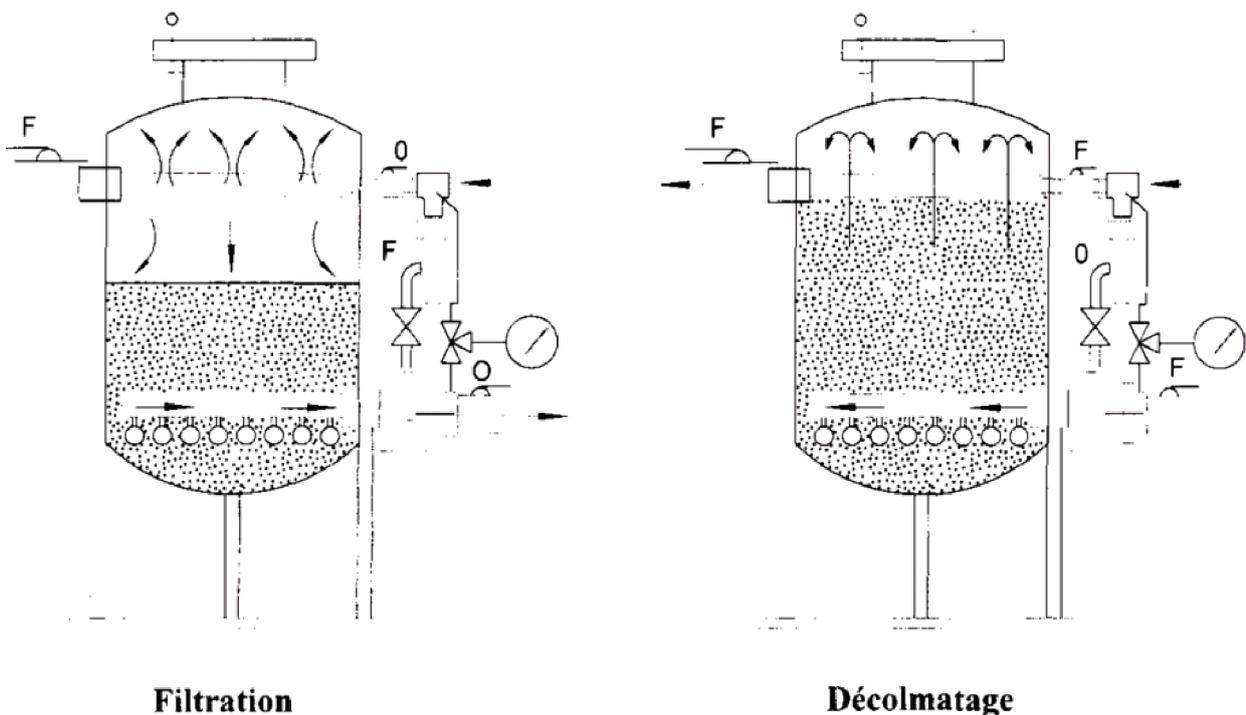


Fig VI.1:Filtre à sable

- Les filtres à tamis

C'est une cuve à pression contenant des parois filtrantes ou tamis en plastique ou en acier inoxydable dont les mailles varient entre 80 et 150 microns. Pour une bonne filtration, la vitesse de passage de l'eau à travers le tamis doit être de l'ordre de 3 cm/s.

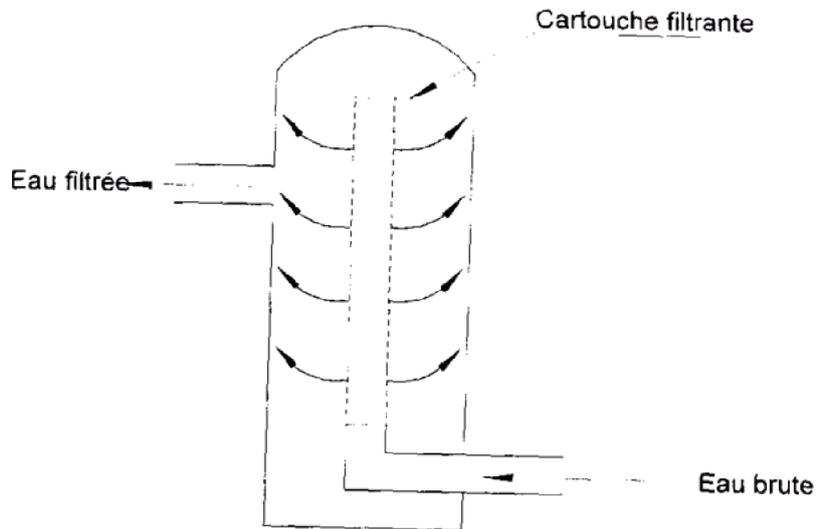


Fig VI.2:Filtre à tamis

VI.6 Installation d'irrigation localisée

La conception d'une installation d'irrigation localisée est conditionnée par :

- Qualité de l'eau
- Nature du sol
- Type de culture
- Le coût global de l'installation.

VI.6.1 la qualité de l'eau :

Un élément essentiel dont vont dépendre les risques de colmatage des distributeurs, on distingue : < 6 >

a. les eaux de mauvaise qualité: sont généralement des eaux de surface (rivière, canaux lacs, bassins) riches en impuretés sous forme minérale ou organique. Si les éléments les plus gros sont retenus par une filtration efficace,

les éléments très fins par contre traversent les filtres et se déposent à l'intérieur des distributeurs entraînant peu à peu une diminution de leur débit.

Dans ce cas, on utilisera essentiellement des goutteurs en ligne à cheminement long non uniforme, ayant un débit de 4 l/h.

De même, si l'on doit utiliser des goutteurs autorégulants, on choisira préférentiellement ceux qui sont à chicanes avec la longueur de cheminement la plus grande possible.

En effet, après un certain temps de fonctionnement, il se produit un effet d'empreinte de la membrane au contact au relief de cheminement entraînant une diminution de la section de passage.

b. les eaux de bonne qualité: sont généralement des eaux de nappe ni ferrugineuses (rouillée), ni entartrantes.

Dans ce cas, tous les goutteurs peuvent être utilisés à condition d'adapter la finesse de filtration à chacun d'eux

VI.6.2 Type de sol

La nature du sol permet de choisir entre mini diffuseurs et goutteurs.

Dans certains sols très filtrants, sableux ou caillouteux comportant une nature grossière, pour lesquels la diffusion latérale de l'eau est faible, ainsi que dans certains sols argileux comportant des argiles gonflantes dont la dessiccation entraîne la formation de fentes retraites.

Pour tous les autres types de sol, des goutteurs de 2 ou 4 l/h conviennent, d'autant que les investissements nécessaires sont dans ce cas plus faibles.

VI.6.3 Nature des cultures

Pour les cultures pérennes, telles que arbres fruitiers, vignes, ou l'installation est fixe les distributeurs en ligne ou en dérivation sur la rampe peuvent être envisagés.

Par contre, dans le cas des cultures annuelles ou les rampes doivent être enroulées ou déroulées lors de la mise en place de la culture et pour la récolte,

on évitera les goutteurs en dérivation faisant saillie sur la rampe, au bénéfice des goutteurs en ligne, des goutteurs intégrés dans la rampe, des gaines souples.

VI.7 Taches d'exploitations d'un réseau d'irrigation

L'exploitation du réseau comprend un ensemble d'opérations périodiques qui doivent être effectuées par l'exploitant pour assurer la pérennité de son installation ; surveillance du fonctionnement, nettoyage des filtres, lutte contre les risques de colmatage, purge régulière du réseau et contrôle des distributeurs.

1-Lutte contre le colmatage organique

Le développement des algues et des dépôts créés par les bactéries, cause de bouchages importants, peut être contrôlé de façon peu coûteuse en maintenant une concentration de chlore tel que :

- Pour les algues une concentration de chlore de 1 à 5 mg / l de façon continue ou de 10 à 20 mg / l pendant 20 minutes à la fin de chaque irrigation
- Pour les bactéries ferrugineuses 1 ppm de Cl au-dessus du nombre de ppm de fer présent (ceci peut varier en fonction de la quantité de bactéries).

L'efficacité de l'injection de Cl dépend de la valeur du PH de l'eau, il est nécessaire d'utiliser plus de Cl pour des valeurs élevées de PH.

La quantité de Cl à injecter par heure est déterminée par la formule suivante :

$$\text{en g} \quad \frac{C.Q}{1000} P_{Cl} =$$

Avec : Q : Débit de l'installation à traiter ; (l / h)

C : la concentration désirée dans le réseau ; (mg / l)

2-Lutte contre le colmatage chimique

Les principaux risques de colmatage chimique ont pour origine des dépôts de calcaire dans ou à la sortie du distributeur. L'injection dans le réseau d'une solution d'acide du commerce (36° baumé, densité 1,33) à une concentration de 2 à 5 ‰ en volume (2 à 5 litres d'acide par m³ d'eau) permet généralement une lutte efficace.

3-Purge des canalisations

Les purges des canalisations sont un élément important dans la maintenance des réseaux. Elles sont effectuées de l'amont vers l'aval en commençant par la canalisation principale puis les canalisations secondaires et les rampes. IL est nécessaire de purger:

- Lors de la première mise en eau et après chaque réparation;
- En début et en fin de campagne;
- En cours de campagne;

VI.8. Calculs hydrauliques : (4)

Les calculs hydrauliques consistent à déterminer les paramètres suivants :

- Les débits au niveau de chaque tronçon et à la tête du réseau.
- Les diamètres des conduites.
- Les vitesses d'écoulement de l'eau dans les conduites.
- Les pertes de charges totales. < 5 >

✓ Perte de charges :

Pour la détermination des pertes de charges pour les différents tronçons on a :

$$j_{PVC} = 0,452.D^{-4,76}.Q^{1,75}$$

$$j_{PEBD} = 0,478.D^{-4,75}.Q^{1,75}$$

$$J = \frac{L}{2,75} j$$

Ou : L : la longueur de la conduite ; (m)

Q : débit (l/h)

D : diamètre intérieur de la canalisation (mm)

Conditions hydrauliques :

Variation maximale de débits entre goutteurs

$$\Delta q / q = 10\%$$

Variation maximale de la pression

$$q = K \times H^x$$

$$\frac{\Delta q}{q_g} = x \times \frac{\Delta H}{H_n}$$

Avec q_g : débit d'un goutteur

H_n : Pression nominale

X_n : Coefficient de régularisation

$$0.1 = 0.5 \times \frac{\Delta H}{10} \quad \Delta H = 2 \text{ mce} \underline{\hspace{2cm}}$$

La valeur de pertes de charges singulière est estimée à 10% de la variation maximale de pression.

$$h(\text{sing}) = 0.2 \text{ mce}$$

$$h(\text{linéaire}) = 1.8 \text{ mce} \quad h(\text{linéaire}) = 2 - 0.2 = 1.8 \text{ mce}$$

La répartition de la perte de charge est:

$$1/3 \text{ sur le porte rampe} \quad \text{pdc}(\text{pr}) = 0.6 \text{ mce}$$

$$2/3 \text{ sur les rampes} \quad \text{pdc}(\text{r}) = 1.2 \text{ mce}$$

VI.8.1 Pour l'olivier:

Notre ilot est sous forme d'un rectangle :

- Sa surface : 37951,93 m²
- Sa longueur moyenne : 300 m
- Sa largeur moyenne : 125,66 m
- L'espacement entre les arbres est de 7 m,

Besoins en eau journaliers max :

$$B_{\text{max}} = \text{ETM}_{\text{local}} = 3,65 \text{ mm/ jour.}$$

Surface correspondant à une rampe

Al = longueur moyenne de la rampe × espacement entre les rampes

$$Al = 150 \times 7 = 1050 \text{ m}^2$$

$$Al = 1050 \text{ m}^2.$$

VI.8.1.1. Calcul hydraulique :

a. Débit de la rampe et porte rampe :

♣ porte rampe au milieu :

$$Q_r = Q_g * N_g / r$$

$$Q_{pr} = Q_r * N_r$$

Avec : Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur 4l/h

N_g/r : Nombre des goutteurs par rampe **44**

N_r : Nombre des rampes **36**.

Q_{pr} : Débit de porte rampe

$$Q_r = 176 \text{ l/h}$$

$$Q_{pr} = 3168 \text{ l/h}$$

b. Diamètre de la rampe et porte rampe :

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) d'environ 1 m/s tel que :

$$D = \sqrt{\frac{4.Q}{\pi.V}}$$

Avec : Q : débit de la conduite considérée

V : vitesse d'écoulement.

Formule de LABRESSE :

$$D = 1,5 \sqrt{Q} ; (\text{m}) \quad Q \text{ en m}^3 / \text{s}$$

Formule de BONIN :

$$D = \sqrt{Q}$$

Formule de MUNIER :

$$D = (1+0,22 n) Q^{0,5}$$

n : nombre d'heures de pompage/jour

♣ Porte rampe sur le coté :

$$Q_r = Q_g N_g / r$$

$$Q_{pr} = Q_r \cdot N_r$$

Avec : Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur **4l/h**

N_g/r : Nombre des goutteurs par rampe **88**

N_r : Nombre des rampes **18**.

Q_{pr} : Débit de porte rampe

$$Q_r = 352 \text{ l/h}$$

$$Q_{pr} = 6336 \text{ l/h}$$

Tableau VI.1 : Tableau des résultats obtenus pour les oliviers.

	Q_g (l/h)	N_g/r	N_r	Q_r (l/h)	Q_{pr} (l/h)	L_r (m)	L_{pr} (m)
Porte rampe au milieu	4	44	36	176	3168	150	126
Porte rampe sur le coté	4	88	18	352	6336	300	126

Tableau VI.2 : résultats des pertes de charges

Paramètres	D_r (mm)	D_{pr} (mm)	Pdc_r (m)	Pdc_{pr} (m)
Porte rampe au milieu	14	40	0,73	0,6
Porte rampe sur le coté	14	50	0,73	0,76

VI.8.2. Pour le pêcher:

Notre ilot est sous forme d'un rectangle :

- Sa surface : 43622.89 m²
- Sa longueur : 346 m
- Sa largeur : 125,89 m
- L'espace entre les arbres est de 5 m,

Besoins en eau journaliers max :

$$B_{max} = ETM_{local} = 3,65 \text{ mm/ jour.}$$

- **Surface correspondant à une rampe**

A_l = longueur moyenne de la rampe × espacement entre les rampes

$$A1 = 173 \times 5 = 865 \text{ m}^2$$

$$A1 = 865 \text{ m}^2.$$

1. Calcul hydraulique :

a. Débit de la rampe et porte rampe :

♣ porte rampe au milieu :

$$Q_r = Q_g N_{g/r}$$

$$Q_{pr} = Q_r \cdot N_r$$

Avec : Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur **4l/h**

$N_{g/r}$: Nombre des goutteurs par rampe **58**

N_r : Nombre des rampes **21**.

Q_{pr} : Débit de porte rampe

$$Q_r = 232 \text{ l/h}$$

$$Q_{pr} = 4872 \text{ l/h}$$

♣ Porte rampe sur le coté :

$$Q_r = Q_g N_{g/r}$$

$$Q_{pr} = Q_r \cdot N_r$$

Avec : Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur **4l/h**

$N_{g/r}$: Nombre des goutteurs par rampe **116**

N_r : Nombre des rampes **21**.

Q_{pr} : Débit de porte rampe

$$Q_r = 464 \text{ l/h}$$

$$Q_{pr} = 9744 \text{ l/h}$$

Tableau VI.3 : Tableau des résultats obtenus pour le pêche.

	Q_g (l/h)	$N_{g/r}$	N_r	Q_r (l/h)	Q_{pr} (l/h)	L_r (m)	L_{pr} (m)
Porte rampe au milieu	4	58	42	232	4872	175	126
Porte rampe sur le coté	4	116	21	464	9744	346	126

Tableau VI.4 : résultats des pertes de charges

Paramètres	Dnr (mm)	Dn pr (mm)	Pdc r (m)	Pdc pr (m)
Porte rampe au milieu	16	50	0,72	0,48
Porte rampe sur le coté	25	63	0,58	0,6

VI.8.3. Pour les agrumes:

Notre ilot est sous forme d'un rectangle :

- Sa surface : 45005.26 m²
- Sa longueur : 358,80 m
- Sa largeur : 125,43 m
- L'espace entre les arbres est de 5 m,

Besoins en eau journaliers max :

$$B_{\max} = ETM_{\text{local}} = 2,61 \text{ mm/ jour.}$$

- **Surface correspondant à une rampe**

Al = longueur moyenne de la rampe × espace entre les rampes

$$Al = 179 \times 5 = 895 \text{ m}^2$$

$$Al = 895 \text{ m}^2.$$

Calcul hydraulique :

a. Débit de la rampe et porte rampe :

- ♣ **porte rampe au milieu :**

$$Q_r = Q_g N_g / r$$

$$Q_{pr} = Q_r \cdot N_r$$

Avec : Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur **4l/h**

N_g / r : Nombre des goutteurs par rampe **60**

N_r : Nombre des rampes **42**.

Q_{pr} : Débit de porte rampe

$$Q_r = 240 \text{ l/h}$$

$$Q_{pr} = 10080 \text{ l/h}$$

♣ **Porte rampe sur le coté :**

$$Q_r = Q_g N_{g/r}$$

$$Q_{pr} = Q_r \cdot N_r$$

Avec : Q_r : Débit de rampe

Q_g : Débit de goutteur **4l/h**

$N_{g/r}$: Nombre des goutteurs par rampe **120**

N_r : Nombre de rampe **21**.

Q_{pr} : Débit de porte rampe

$$Q_r = 480 \text{ l/h}$$

$$Q_{pr} = 10080 \text{ l/h}$$

Tableau VI.5 : Tableau des résultats obtenus pour les agrumes.

	Q_g (l/h)	$N_{g/r}$	N_r	Q_r (l/h)	Q_{pr} (l/h)	L_r (m)	L_{pr} (m)
Porte rampe au milieu	4	60	42	240	10080	180	125,43
Porte rampe sur le coté	4	120	21	480	10080	358,8	125,43

Tableau VI.6 : résultats des pertes de charges

Paramètres	D_{nr} (mm)	D_{npr} (mm)	$P_{dc r}$ (m)	$P_{dc pr}$ (m)
Porte rampe au milieu	16	75	0,80	0,25
Porte rampe sur le coté	25	75	0,64	0,25

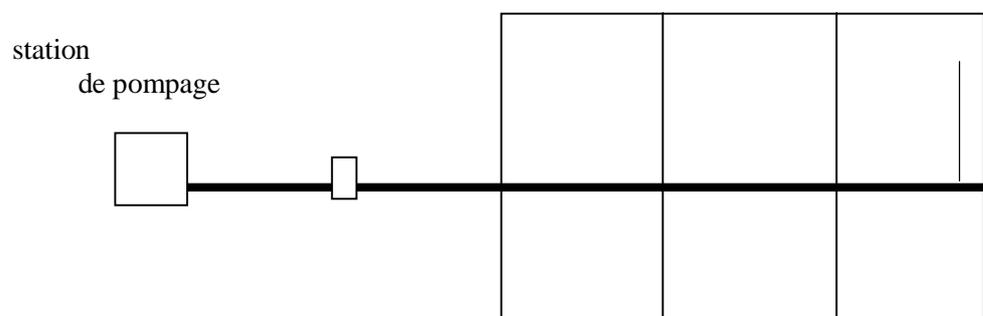
VI.9. Calcul du diamètre de la conduite principale :

La conduite principale est celle qui ramène l'eau du bassin a notre parcelle, et le débit qui transporte est la somme des débits des porte rampe.

$$Q_{cp} = 2 \cdot Q_{pr \text{ olive}} + 2 \cdot Q_{pr \text{ pêche}} + Q_{pr \text{ agrum}}$$

$$Q_{cp} = 2 \cdot 3168 + 2 \cdot 4872 + 10080 = 24960 \text{ l/h}$$

$$D_n = 110 \text{ mm} \quad D = \sqrt{\frac{4 \cdot 24960 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 1 \cdot 3600}} = 93,98 \text{ mm}$$



Basin
de stockage

✓ **Pert de charge:**

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 * \lambda * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^{5,3}}$$

Avec :

g : Accélération de la pesanteur (m/s^2)

L : longueur géométrique de la conduite (m) ;

λ : Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement,

Avec :

$$\lambda = (1,14 - 0,86 Ln \frac{\varepsilon}{D})^{-2} \quad (\text{Formule de Nikuradzé})$$

ε : Rugosité absolue de la conduite

$$L_{cp} = 4000 \text{ m}$$

$$Q = 2\,4960 \text{ l/h} = 0,0069 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\varepsilon = 0.0002 \text{ m}$$

D : diamètre de la conduite = **110 mm**

$$\tilde{\lambda} = 0.0166$$

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 * \lambda * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^{5,3}} = 30,88 \text{ m}$$

Les pertes de charge du point le plus loin de la parcelle jusqu'à la tête :

$$h_p = 0,8 + 0,25 + 0,48 + 0,65 = 2,18 \text{ m}$$

La pression a ce point est :

$$P = 215 - 54 - 30,88 - 2,18 = 127,94 \text{ m} = 12,79 \text{ bar}$$

Une pression énorme au niveau du goutteur, pour ce la on a besoin d'un régulateur de pression a la tête de la parcelle.

Tableau VI.7: Résultats de calculs

paramètres	unité	Olive	pêcher	agrume
B_{max}	mm/j	3,65	3,65	2.61
I_j	h/j	3,20	2,74	1,96
T_{max}	h	4	3	2
S (p)	ha	3,80	4,36	4,50
L_{pr}	m	126	126	126
L_r	m	150	175	180
AL	m ²	1050	1038	1074
D_{nr}	mm	14	16	16
D_{n pr}	mm	40	50	75
P_{dcr}	m	0,73	0,72	0,80
P_{dc pr}	m	0,65	0,48	0,25
N(r)/poste	rampes	36	42	42

Conclusion :

D'après la détermination des différentes compositions du réseau; le dimensionnement de ces composantes est nécessaire pour chaque projet d'irrigation.

Donc on a déterminé les débits, les diamètres et les pertes de charge qui nous assurent l'écoulement dans ces conduites à des diamètres normalisés.

D'après la comparaison de la position de la porte rampe (accoté ou au milieu) on a conclu que sa position au milieu est plus efficace.

Si on installe la porte rampe sur le coté de la parcelle on aura des rampes qui sont supérieur a 250m de longueur, et la on aura des problèmes de pression et de mal irrigation.

CHAP VII

**La station de
pompage**

Introduction :

L'eau est acheminée de la bêche d'eau de la station d'épuration qui est dimensionné pour recevoir des débits journaliers de **16 800 m³/j** et un débit horaire de **700 m³/h**, qui est acheminé vers la station de pompage qui refoule a sont tour cet eau vers un bassin de stockage qui est a **215 m** et un volume de **1150000 m³** qui a sont rôle d'alimenté les périmètres de Hadjout et Tipaza gravitairement.

Tableau VII.1 : Situation du bassin de stockage

Coordonnées du bassin (X-Y) (Km)	Côte (m NGA)	Volume d'eau (m ³)
451,633 - 404,575	215	1 150 000

VII.1. Station de pompage :

C'est un ouvrage génie civil, elle abrite le bureau du chef d'exploitation, bureau de personnel, le magasin, salle d'équipement, moteur électrique, toilette et la machine la plus importante dans la station : les pompes, qui ont pour rôle <4> de refoulé les eaux vers le réservoir.

VII.1.1. Choix du type de bâtiment :

Le type du bâtiment de la station de pompage dépend des conditions suivantes :

1. De la façon du raccordement du bâtiment a la prise d'eau (séparé ou assemblé)
2. Du type de pompe et moteur électrique
3. De la variation du plan d'eau d'aspiration
4. Des conditions hydrologiques et géologiques
5. Du matériau utilisé pour la construction du bâtiment et sa disponibilité

VII.2. Les pompes :

Pompe, dispositif utilisé pour aspirer, pour déplacer ou pour comprimer des liquides et des gaz. Dans toutes les pompes, il faut éviter la *cavitation* (formation des poches gazeuses), ce qui réduirait le débit et endommagerait le corps de la pompe.

Il existe deux grands types de pompes : les pompes volumétriques qui sont utilisées pour pomper les eaux usées et les turbopompes, on s'intéresse à cette dernière puisque c'est les eaux épurées.

VII.2.1. Les turbopompes (pompes centrifuge) :

Il existe trois classes de turbopompes : les pompes centrifuges, à écoulement radial ; les pompes axiales, à écoulement axial ; les pompes semi axiales.

VII.2.1.1. Les pompes à écoulement radial :

Ce sont les pompes centrifuges au sens strict. Elles permettent de relever des faibles débits sur de fortes hauteurs. La hauteur de refoulement croît avec le diamètre extérieur de la roue. Dans ce cas, l'écoulement est radial et les aubages sont des surfaces planes.

VII.2.1.2. Les pompes axiales :

Ce sont les pompes hélices où les pales sont constituées par des surfaces gauches. Ces pompes conviennent pour relever de forts débits sur de faibles hauteurs.

VII.2.1.3. Les pompes semi axiales :

Pour relever de forts débits sur de faibles hauteurs on montre que les vitesses d'entrée doivent être faibles. La hauteur de refoulement étant faible le diamètre de sortie est relativement faible d'où la construction d'une pompe hélico-centrifuge avec des dimensions importantes. Les diamètres d'entrée et de sortie sont comparables.

VII.2.2. Nombre de pompes principales :

Notre station de pompage est dimensionnée à partir d'un débit max, donc il faudra choisir un nombre de pompes qui assure un débit total égal à ce débit maximum.

Il faut prévoir une, ou deux pompes de secours, pour les utiliser en cas de panne.

Le nombre de pompe doit être plus restreint possible, voir les recommandations ci-dessous : (catalogue des pompes « assainissement et liquides chargés »)

$$Q < 1 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow (1 \div 2) \text{ pompes.} \quad <4>$$

$$Q = 1 \div 5 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow (3 \div 5) \text{ pompes.}$$

$$Q > 5 \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow (4 \div 6) \text{ pompes.}$$

Dans notre cas le débit ($Q = 0.180 \text{ m}^3/\text{s}$) est inférieure à $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Donc on a Deux pompes principales fonctionnant en parallèle et une autre pompe de secours.

VII.2.2.1. Détermination du débit d'une pompe :

Débit brut :

Le débit de pompage indiqué correspond aux besoins en eau des cultures, en service continu de 20 heures /jour.

$$Q_p = \frac{Q}{N_p} \quad \text{le débit d'une pompe :}$$

Avec :

Q_p : le débit calculé d'une pompe.

Q : le débit global de la station (180 l/s).

N_p : nombre de pompe ($N_p=2$).

Donc :

$$Q_p = 180/2 = 90 \text{ l/s}$$

VII.2.2.2. Hauteur manométrique total :

La hauteur manométrique est donnée par la formule

$$HMT = H_g + \sum h_p$$

Avec :

HMT : Hauteur Manométrique Total en (m).

H_g : Hauteur géométrique en (m). $H_g = h_a + h_r$

Avec :

h_a : hauteur d'aspiration où le niveau d'aspiration est égale à : 2 m

h_r : hauteur de refoulement où le niveau de refoulement qui égale : 163 m.

donc : $H_g = 163 + 2 = 165 \text{ m}$

$$HMT = 165 + 25 = \mathbf{190 \text{ m}}$$

On a travaillé avec le logiciel CAPRARI qui nous a donné plusieurs types de pompes, en fonction du débit et de la hauteur manométrique.

La pompe a les caractéristiques suivantes :

Pompe : MEC-A4/125D.

Diamètre de la roue de la pompe : $D_r = 125 \text{ mm}$.

Diamètre d'aspiration : $d_a = 150 \text{ mm}$

Débit : $Q = 324 \text{ m}^3/\text{h}$

Hauteur manométrique totale : $H = 190 \text{ m}$

La vitesse de rotation : $n = 2620 \text{ tr/min}$

Puissance absorbée : $P_a = 232 \text{ Kw}$

$NPSH_r = 4,36 \text{ m}$

Le rendement : $\eta = 72,4 \%$

Poids : 731 kg

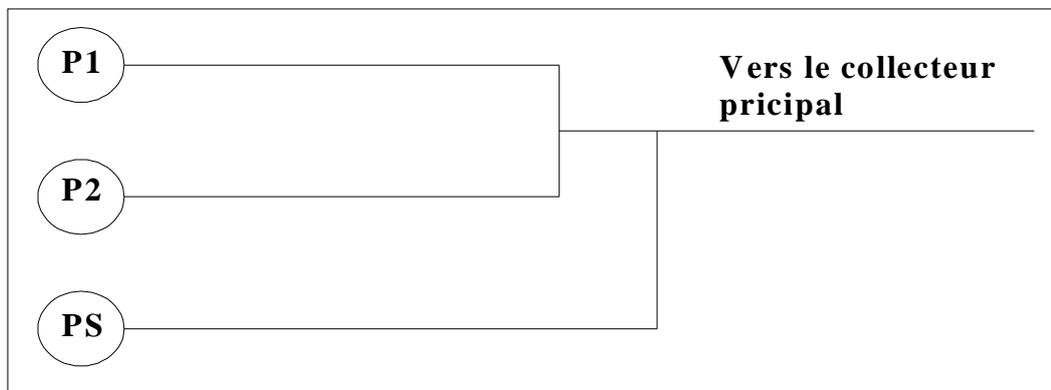


Fig VII.1 : schéma de branchement des pompes

VII.2.3. Vérification du risque de la cavitation :

Pour cela on doit déterminer la hauteur admissible d'aspiration.

Nous avons : **<4>**

$$(NPSH)_d = (NPSH)_r + 0,5$$

$$(NPSH)_d = \frac{P_{at}}{\varpi} - \frac{P_v}{\varpi} - \sum h_p^{asp} - \frac{V_{asp}^2}{2g} - h_{adm}^{asp} = (NPSH)_r + 0,5$$

$$\Rightarrow h_{adm}^{asp} = \frac{P_{at}}{\varpi} - \frac{P_v}{\varpi} - \sum h_p^{asp} - \frac{V_{asp}^2}{2g} - (NPSH)_r - 0,5$$

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 * \lambda * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^{5,3}}$$

$$H_{pL} = 0,04 \text{ m}$$

Et :

$$\sum h_p^{sin g} = (0,10 \div 0,15) * \sum h_p^{lin}$$

$$\sum h_p^{sin g} = 0,15 * 0,04 = 0,006 \text{ m}$$

$$\sum h_p^{asp} = 0,04 + 0,006 = 0,046 \text{ m}$$

$$V_{asp} = \frac{4.Q}{\pi.D_a^2} = \frac{4.0,09}{3,14.0,15^2} = 5,09 \text{ m/s}$$

$$\frac{V_{asp}^2}{2.g} = \frac{5,09^2}{2.9,81} = 1,32 \text{ m}$$

$$\frac{P_v}{\omega} = 0,26 \quad \text{à } 18^\circ \text{ c}$$

$$h_{adm}^{asp} = 10,33 - 0,26 - 0,046 - 1,32 - 4,36 - 0,5 = 3,84 \text{ m}$$

Donc :

$$(NPSH)_d = 10,33 - 0,26 - 0,046 - 1,32 - 3,84 = 4,80 \text{ m}$$

NPSH_d = 4.80 m

VII.2.4.Énergie consommée par le pompage :

L'énergie consommée par la station de pompage le long d'une année est le produit de la puissance de pompage et d'heures de pompage par année.

$$E = P * t * 365$$

E : énergie consommée pendant une année (Kwh) ;

P : puissance de pompage (Kw) ;

t : temps de pompage par jour (h).

VII.2.5.Dépense annuelle de l'énergie

Les dépenses annuelles de l'énergie sont le produit du prix unitaire du Kwh et de l'énergie consommée par année. $K = \delta * E$

K : Dépenses annuelles d'énergie (DA) ;

E : Energie consommée par année (Kw) ;

δ : Prix du Kwh, varie trois fois par jour

Tableau VII.2: Variation journalière des tarifs de l'énergie

Périodes	Horaires	Nombre d'heure (H)	Prix du KWh d'énergie (DA)
Heures pleines	06h-17h	11	1,34
Heures de pointes	17h-21h	4	6,06
Heures creuses	21h-06h	9	0,74

Vu la variation journalière des tarifs du KWh d'énergie, on recommande un régime de fonctionnement des stations de 20h/24 heures avec arrêt lors des heures de pointes pendant lesquelles l'énergie électrique est plus chère.

Le prix moyen du KWh pendant les 20 heures de pompage est tel que :

$$\delta = \frac{1,34 * 11 + 0,74 * 9}{20} \Rightarrow \delta = \mathbf{1,07 \text{ DA}}$$

VII.2.6. Amortissement annuel

Les frais d'amortissement sont en fonction de la durée d'amortissement de la conduite et du taux d'annuité. Il est déterminé par la relation suivante :

$$A = \frac{i}{(1+i)^n - 1} + i$$

A : Frais d'amortissement (DA) ;

i : Taux d'annuité ; i = 8 % ;

n : Durée de l'amortissement de la conduite, n = 30 ans.

$$\text{A.N : } A = \frac{0,08}{(1+0,08)^{30} - 1} + 0,08 \Rightarrow \mathbf{A = 0,0888}$$

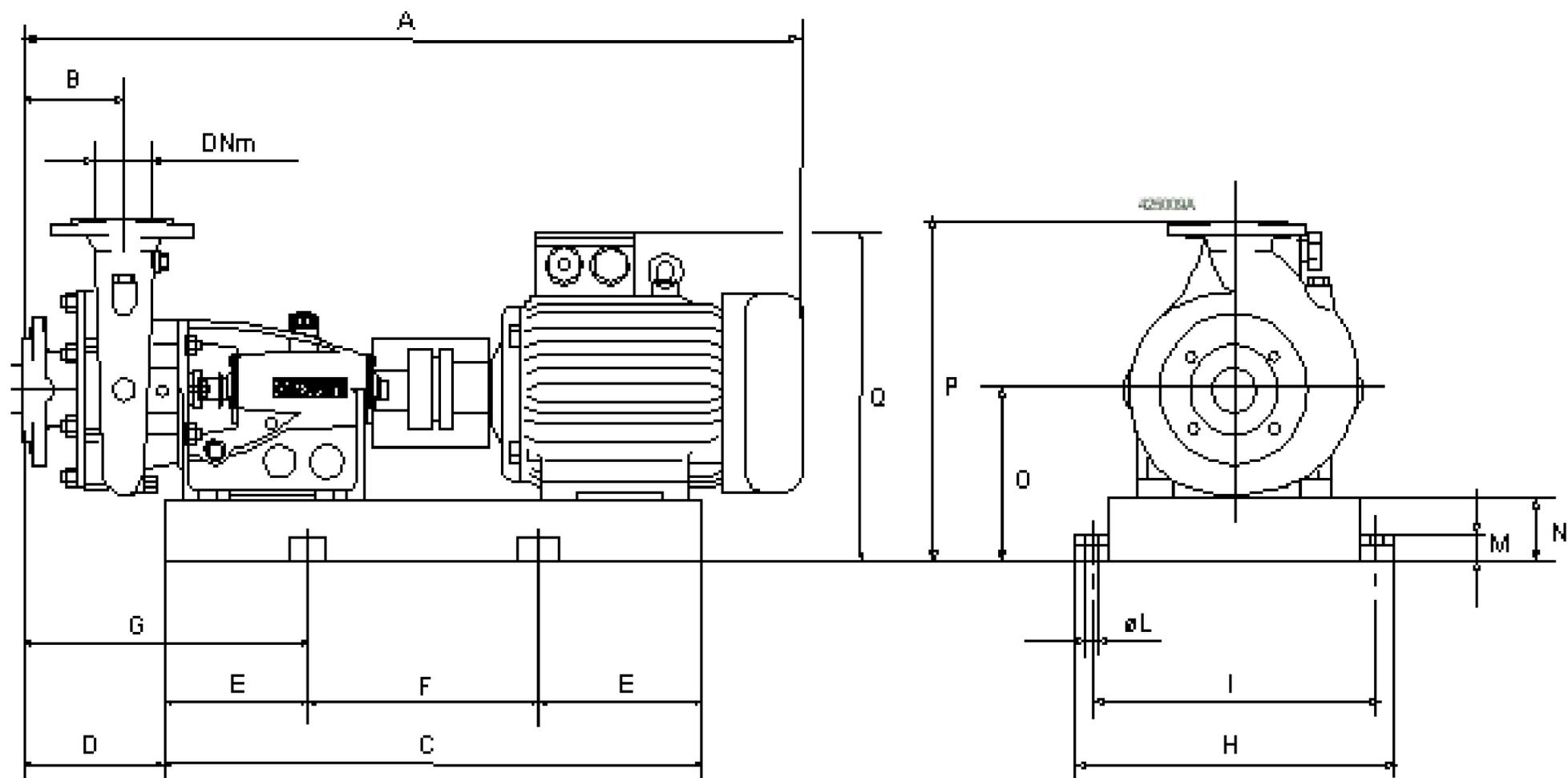


Fig VII.2 : Les dimensions de la pompe

Tableau VII.3: Les dimensions de la pompe.

Les indices	Les dimensions (mm)
A	1729
B	165
C	1320
D	250
E	250
F	820
G	500
H	630
I	580
L	20
M	42
N	140
O	420
P	845
Q	861

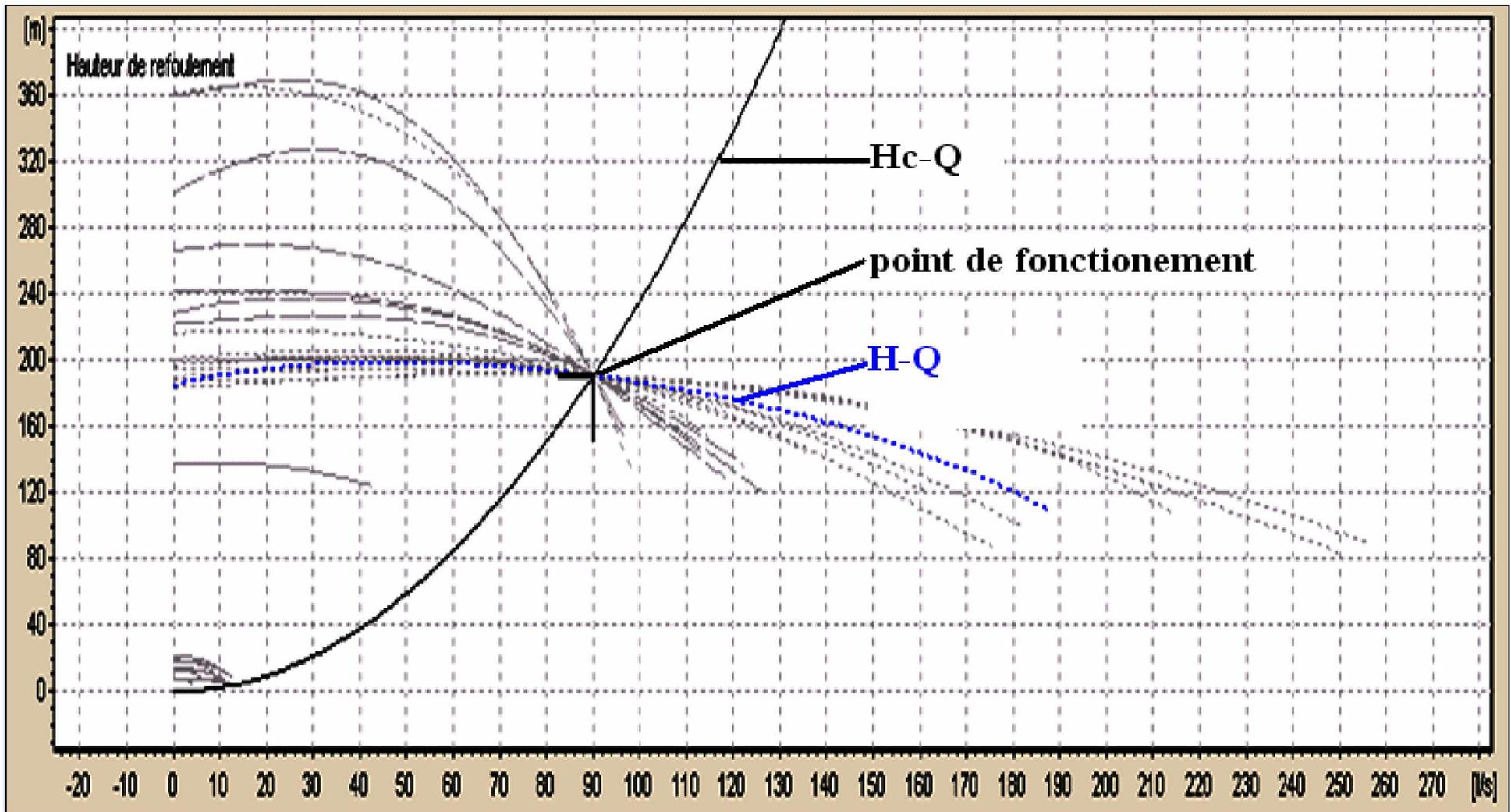


Fig VII.3 : courbe caractéristique de la pompe

VII.3.Choix d'équipement hydraulique :

L'installation de pompage doit assurer le débit demandés avec sécurité de service plus au moins importante.

Alors pour garantir cette sécurité ou doit étudier le bon choix et le bon fonctionnement des équipements hydrauliques en amont et en aval de la pompe.

VII.3.1.Les équipements d'aspiration :

Ces équipements se différencient selon que l'aspiration se fait dans une <4> bache ou sur une conduite.

Ø Bâches d'aspiration des pompes :

L'eau est aspirée directement dans la bache d'aspiration qui se trouve a la sortie de la station de pompage, pour éviter de réaliser un autre bassin dans la station de pompage.

Ø Crépine :

Tout comme la grille, la crépine évite l'entrée accidentelle de corps solides qui refuse le passage à des objets nettement plus petits que la grille.

En eau brute, la crépine peut s'obturer rapidement, créant ainsi une perte de charge additionnelle à l'aspiration de la pompe.

Ø Joints

Une attention particulière sera donnée aux joints afin de supprimer toutes possibilités d'entrée d'air et éventuellement d'agents polluants, en général on préfère les joints soudés. Pour les raccordements sur des appareillages (vannes, pompes, etc....) on utilisera les joints à brides pour l'entretien ou réparation des appareillages.

Ø La vanne :

La vanne montée à l'aspiration de la pompe permet d'isoler la pompe pour les travaux d'entretien ou de démontage sans arrêter les autres pompes. Elle sert aussi au réglage des débits.

Ø Convergent

Le convergent permet d'avoir une accélération progressive de l'écoulement favorisant ainsi la bonne répartition des vitesses à l'entrée de la pompe au lieu d'une variation brusque du diamètre qui engendre une perte de charge singulière ; donc le convergent est l'organe destiné à servir de liaison entre deux conduites de diamètres différents.

Sa longueur est déterminée par la formule suivante : $L_c = (3,5-4) \times (D_a - d_a)$

D_a : Diamètre de la conduite d'aspiration Où

d_a : diamètre de la tubulure d'aspiration (entrée)

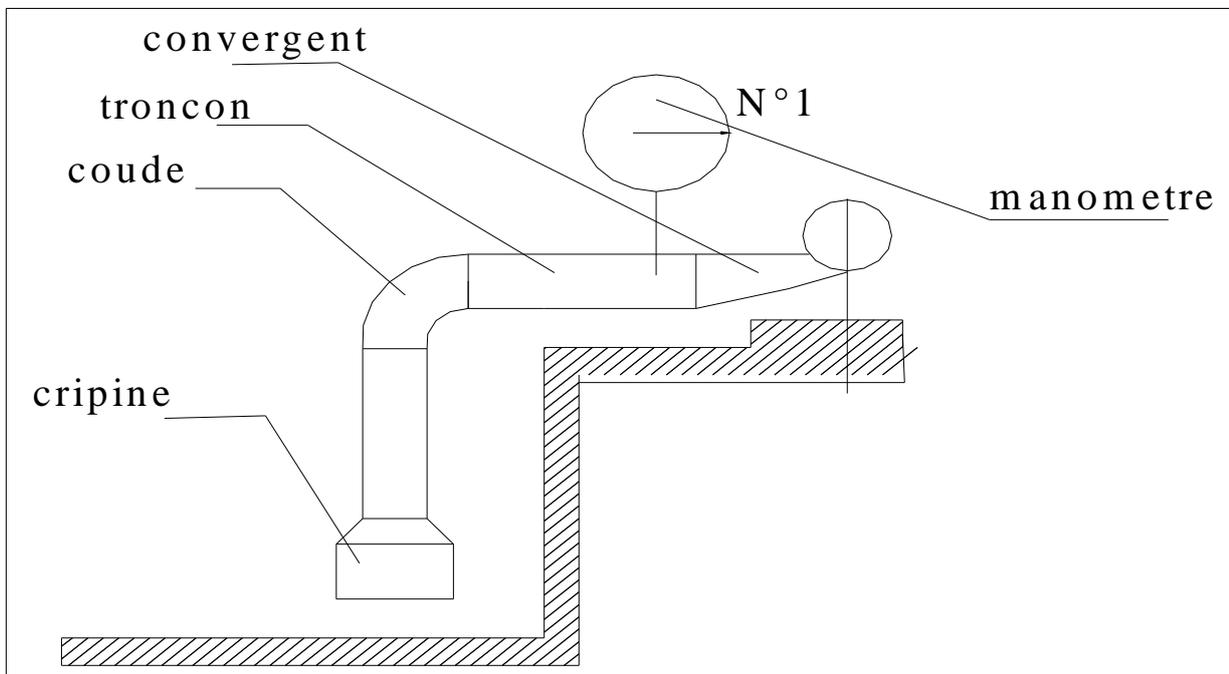


Fig VII.4 : équipement d'aspiration

VII.3.1.1. Conduite d'aspiration :

Le nombre de conduites d'aspiration est égal au nombre des pompes installées.

-Le nombre de conduites d'aspiration = 3 conduites.

- $D_a = (1,2 \text{ à } 1,5)d_a$; nous on prend 1,2.

Avec: D_a : diamètre de la conduite d'aspiration.

d_a : diamètre de la tubulure d'aspiration

et comme on a $d_a=150$ mm on aura

$$D_a=150.1,2= 180 \text{ mm}$$

$$D_a=180\text{mm}$$

-**d**: la distance entre la génératrice inférieure de la conduite d'aspiration et la surface du sol Tel que:

$$d= 0,3\text{m pour } D_a \leq 500\text{mm}$$

$$d= 1\text{m pour } D_a \geq 500\text{mm}$$

comme on a $D_a=180\text{mm} \leq 500\text{mm}$, donc on prend

$$d=0,3\text{m}$$

- **Convergent:**

$$l_c = (3,5 - 4)(D_a - d_a)$$

Comme on a $D_a = 180\text{mm}$

Prenons: $l_c = 3,5 (D_a - d_a)$ on aura:

$$l_c = 3,5 (180 - 150) = 105\text{mm} = 0,105\text{m}$$

$$l_c=0,105\text{m}$$

- **Tubulure:**

C'est la longueur entre la tubulure d'aspiration et le convergent

$l_{tr} \geq 2 D_a$ prenons $l_{tr} = 2.D_a$ on aura:

$$l_{tr} = 2*180 = 360\text{mm} = 0,36\text{m}$$

$$l_{tr}=0,36\text{m.}$$

-Pour éviter toute contre pente il faut prendre $I_{asp} > 0,005$ de la conduite d'aspiration vers la pompe.

VII.3.2. Les équipement de refoulement :

Ø **Joint de raccordement :**

La conduite de refoulement sera raccordée à la pompe de manière à ne transmettre aucun effort parasite sur la pompe.

Les joints facilite le démontage des pièces (vanne, clapet...) avec les différent accessoires.

Ø **Vanne papillon :** Elle est utilisée faire isoler la pompe pour le démontage en cas d'une panne, ou bien pour l'entretien et la maintenance de le pompe.

Ø Le divergent :

A la sortie de la pompe, il est évident que la vitesse de l'eau dans la conduit de refoulement est très grand, alors il est nécessaire de ralentir cette vitesse pour la maintenir dans une plage raisonnable, pour ce la on prévoit un divergent qui pourra être un cône.

Ø Clapet de refoulement :

A la sortie de la pompe, il pourra être placé un clapet dont le rôle sera d'empêcher l'inversion du débit lors de l'arrêt de la pompe. Donc permet de ne pas soumettre la conduite d'aspiration à la pression de refoulement.

La longueur entre la tubulure de refoulement et le divergent

$$l_{tr} \geq 2 \text{ dr} \text{ et on a } dr=125 \text{ mm}$$

Longueur de divergent

$$l_d = (3,5 - 4)(D_r - dr)$$

$$D_r = 150 \text{ mm}$$

D'où :

$$l_{tr} = 2 * 120 = 250 \text{ mm} = \mathbf{0,25m.}$$

$$l_d = 3,5 (D_r - dr) = 3,5. (150 - 125) = 87,5 \text{ mm} = \mathbf{0,09m.}$$

Ø Calcul de la vitesse :

$$Q = V * S \Rightarrow Q = V * \frac{\pi * D^2}{4} \text{ Ainsi: } V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

Avec :

Q : débit véhiculé par l'adduction (m³/s) ;

S : section de la canalisation (m²) ;

V : vitesse d'écoulement (m/s) ;

D : diamètre nominal de la conduite (m).

$$\text{A.N: } V = \frac{4 * 180 * 10^{-3}}{3,14 * 0,44^2} \Rightarrow \mathbf{V = 1,18 \text{ m/s}}$$

VII.4.Bâtiment de la station de pompage :

VII.4.1.Construction du bâtiment :

La construction de bâtiment dépend de plusieurs facteurs dont on cite :

- La façon du raccordement bâtiment prise d'eau (type séparé ou bien assemblé)
- Type de pompes et de moteur électrique.
- Variation de plan d'eau dans l'Oued.
- Condition géologiques et hydrologiques.
- Type de matériaux de construction et sa disponibilité sur le marché. <4>

VII.4.1.1.La partie souterraine :

La partie souterraine est projetée en béton armé.

VII.4.1.2.Partie supérieure du bâtiment :

a. Locaux de service de la station :

Afin de faciliter les travaux d'exploitation et de control des équipements de la station, le bâtiment est équipé de locaux de personnel. Les dimensions sont déterminées selon l'importance de la station, comme notre station est de moyenne importance on trouve :

Bureau de chef d'exploitation :

$$H = 3\text{m} \quad S = 4 \times 3 = 12 \text{ m}^2$$

Avec H : hauteur de locale S = surface approximative intérieure

Poste de garde :

$$H = 3\text{m}, S = 2.25 \times 2.25 = 5.06 \text{ m}^2$$

Salle électrique (Armoires des puissances et de contrôle) :

$$H = 3\text{m} \quad S = 2 \times 2.25 = 4.5 \text{ m}^2$$

Salle sanitaire :

$$H = 3\text{m} \quad S = 2.25 \times 1.5 = 3.37 \text{ m}^2$$

b. Hauteur du bâtiment

elle est en fonction de la hauteur du système de levage

$$H_b = h_p + h_s$$

h_p : Hauteur du système de levage ($h_p = 3$ m)

h_s : Hauteur de sécurité = 0,8 m

$H_b = 4$ m. D'où $H_b = 3 + 0,8 = 3,8$ m, on prend

c. Longueurs recommandés pour les bâtiments :

La longueur du bâtiment est calculée par la formule suivante :

$$L_b = n_p \cdot L + L_{int} + L_{pf} + L_r$$

Avec :

n_p : nombre de pompes

L : largeur de pompe. (0,63m)

L_{int} : Distance entre deux pompes voisines = 1m

L_{pf} : Longueur de la plate forme = 1,5m

L_p : Longueur du bureau du personnel (4m)

L_r : longueur de l'armoire électrique. (2m)

Longueurs recommandées pour les bâtiments sont de :

6m, 9m, 14m, 21m, 24m

$$L_b = 3 \cdot (0,63) + 2 + 1 + 1,5 + 4 = 9,58 \text{ m}$$

D'après les longueurs recommandées de la station de pompage :

$$L_b = 14 \text{ m}$$

d. Largeur du bâtiment :

La largeur du bâtiment est donnée par la relation suivante :

$$L_b = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + 2 \cdot l_s$$

l_s : épaisseur de mur, 20cm.

l_1 : La distance entre le mure et le premier organe avec : $l_1 = (20 \text{ à } 30)$ cm, nous on va prendre $l_1 = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$.

l_2 : La distance entre les tubulures > 15 à 20cm, $l_2 = 18 \text{ cm} = 0,18 \text{ m}$

l_3 : Longueur des accessoires en aspiration.

l_4 : Longueur des accessoires au refoulement.

Tel que : $(l_3 + l_4) = l_p + l_{tr} + l_{tra} + l_c + l_j + l_d$.

Avec :

l_p : longueur de la pompe = 1729 mm, 1,729 m

l_{tr} : longueur de la tubulure de refoulement = 0,25 m

l_{tra} : longueur de la tubulure d'aspiration = 0,36 m

l_c : longueur de convergent = 0,105 m

l_j : longueur du joint = 0,25 m

l_d : longueur de divergent = 0,09 m

l_r : réserve (0,8 – 1,2) m : = 1,2 m

La distance entre les pompes est de : 0,8 à 1,2 m = 1,2 m

$(l_3 + l_4) = l_p + l_{tr} + l_{tra} + l_c + l_j + l_d$

$(l_3 + l_4) = 1,729 + 0,25 + 0,36 + 0,09 + 0,105 + 0,25 = 2,7$ m

$L_b = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_{2s} = 0,25 + 0,18 + 2,7 + 2 * 0,02 + 2,4 = 5,55$ m

On prend $L_b = 6$ m

e. Nombre de fenêtre :

$\sum S_{fenetre} = (10 \div 15) \% \text{ Salle des machines.}$

Avec : $S_{salle des machines} = 6 * 14 = 84 \text{ m}^2$ donc

$\sum S_{fenetre} = 0,15 * 84 = 12,6 \text{ m}^2$

$-S_{fenetre} = 2 * 1 = 2 \text{ m}^2$

$$\text{-Nombre de fen\^etre} = \frac{\sum S_{fenetre}}{S_{fenetre}} = \frac{12,6}{2} = 6,3$$

Et on va prendre le nombre de fen\^etres \^egales \^a **6 fen\^etres**.

f. Dimensions de la Porte :

3×3 ; 3,6×3,6 ; 4×3 ; 4,2×3,2 ; 4,8×5,4

g. Marches d'escaliers :

Hauteur : soit (15- 16,5- 17,3) cm, on va prendre 16,5 cm.

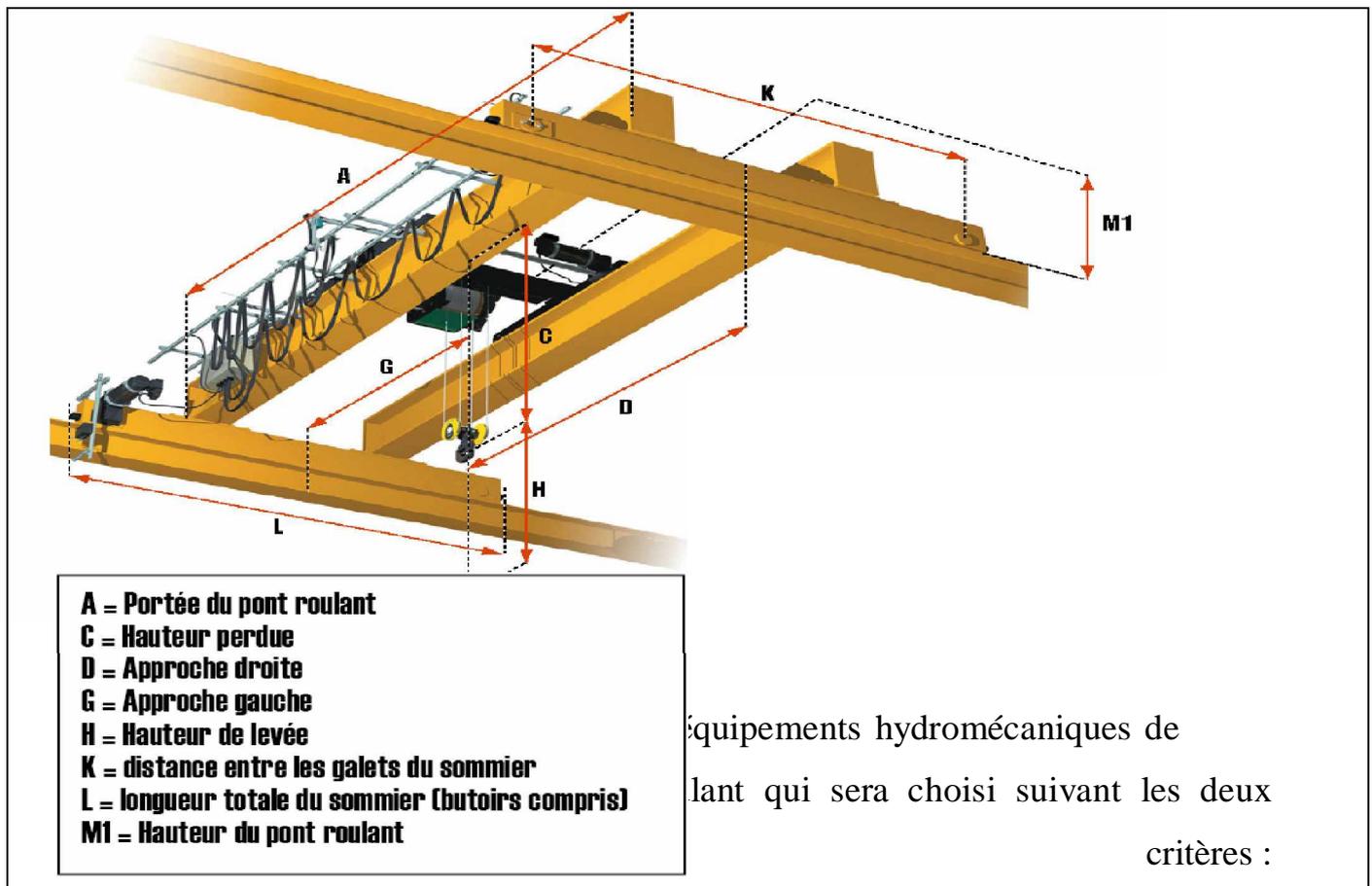
Largeur : soit (30- 29,26) cm, on va prendre 30 cm.

Longueur : varie (90 ÷ 220) cm, on va prendre 150 cm.

Pente : soit 1/1,75 ; 1/1,15, nous on prend 1/1,75

VII.5.Le système de levage :

Ce système est installé dans le bâtiment de la station afin de permettre de surélever et de transporter à l'intérieure de la station les groupes de pompage tels que : les pompes, les vannes, les moteurs, ... etc. sur la plate forme de démontage, le choix du dispositif se fait en fonction des pièces lourdes à <4> déplacer et des dimensions du bâtiment.



équipements hydromécaniques de
lant qui sera choisi suivant les deux
critères :

Dimensions du bâtiment.

Le poids de l'élément le plus lourd dans la salle des machines.

La capacité du pont roulant se détermine par :

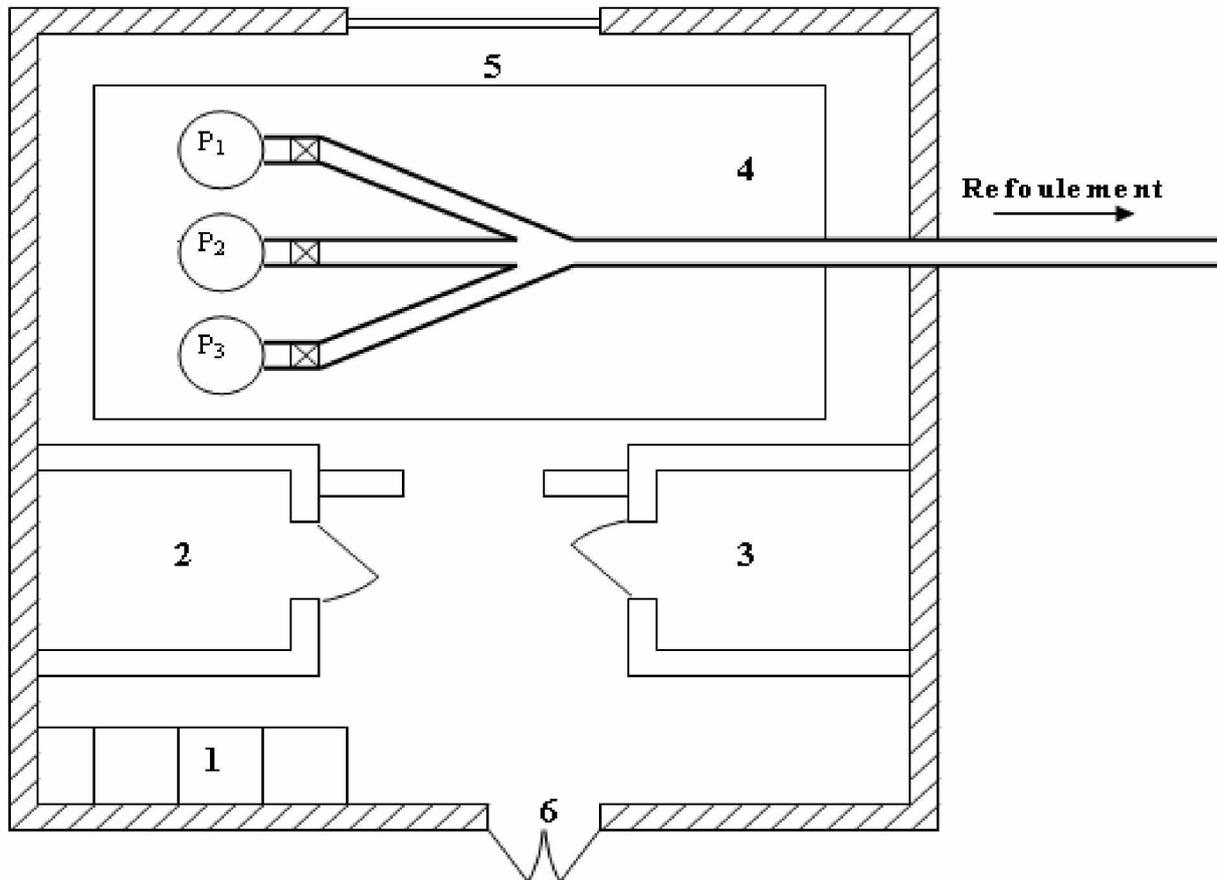
$$C = P + 20 \% P \quad (\text{kg})$$

P : poids de l'élément le plus lourd, dans notre cas c'est la pompe P = 731 kg

$$C = 877,2 \text{ kG} \quad C = 1,2 \cdot 731 = 877,2 \text{ kg}$$

Remarque :

Dans les grandes stations de pompage et lorsque le poids de la pièce à soulever dépasse une tonne on fera appel au portique (palan à commande automatique).



Légende

- 1- Armoires électriques
- 2- Bureau du chef d'exploitation ;
- 3- Magasin d'entretien et de stockage ;
- 4- Salle des pompes ;
- 5- Porte principale (accès des engins du transport) ;
- 6- Porte d'entrée du personnel.

Fig VII.6 : schéma du bâtiment de la station de pompage.

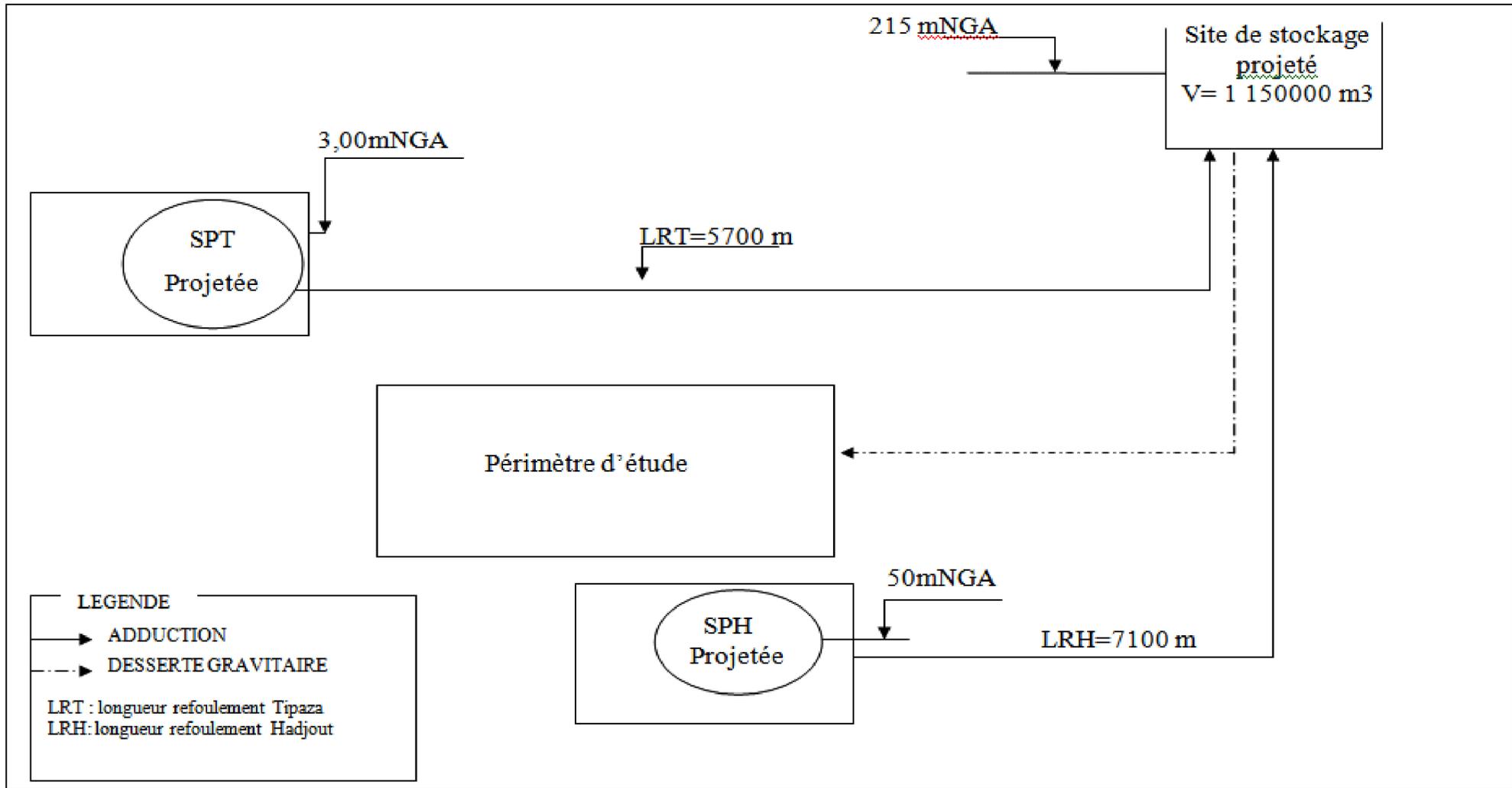


Fig VII.7.Schéma d'adduction.

Conclusion :

Une station de pompage et l'ouvrage de stockage dans notre projet est indispensables, car on ne peut acheminer l'eau d'un point plus bas vers un point plus haut sans pompage.

COCLUSION GENERALE :

La réutilisation agricole des eaux usées épurées offre aujourd'hui une alternative très intéressante comme moyen d'économiser la ressource.

Il convient de préciser que dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, ...etc) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement.

Notre travail a donc porté sur l'étude de la réutilisation des eaux usées épurées de la station d'épuration de la ville Hajout dans l'irrigation agricole du sahel algérois.

En effet, les résultats obtenus nous amènent aux conclusions suivantes :

- D'après le diagramme ombothermique, les campagnes d'irrigation débutent en mai à partir du moment où les précipitations ne couvrent plus l'évapotranspiration potentielle (ETP) et se terminent en septembre ; elles durent donc 5 mois.
- Les eaux épurées présentent de faibles teneurs en matières organiques exprimées en DBO₅ et DCO et sont conformes aux normes de rejet des stations d'épuration par boues activées.
- Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels. En effet, la valeur obtenue en salinité exprimée en conductivité électrique montre que notre eau d'irrigation est fortement saline ce qui se répercute sur le choix du mode d'irrigation ainsi que les cultures à planter.
- D'après l'étude de la structure du sol et la qualité de l'eau d'irrigation, il ressort que les cultures les mieux adaptées sont les arboricultures.
- La technique d'arrosage choisie est le système d'irrigation localisée (goutte à goutte) qui semble le plus avantageuse comparée aux autres techniques d'irrigation (meilleure tolérance des cultures à la forte salinité)

En addition aux résultats obtenus, il conviendrait de préciser que les concentrations en éléments traces (métaux lourds) dans les eaux résiduaires ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation.

En effet, l'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration. Cependant, l'aspect sanitaire nécessite une analyse microbiologique de l'eau pour éviter les maladies dues à l'irrigation avec les eaux usées épurées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **BAHBOUH L.S** : Cours et travaux pratiques d'agro-pédologie, 3^{ème} Année ENSH, Blida ; **2005**
2. **BULLETIN DE FAO N°36** :l'irrigation localisée, calcul, mise en place, exploitation, contrôle du fonctionnement, FAO.Rome ; **1983**
3. **JEAN ROBERT TIERCELIN** : Traité d'irrigation, technique et documentation .France, **1978**
4. **M^{em} MOKRANE. W et M^r Khodjet. K. O. 2009** : cours de pompe et station de pompage
5. **MESSAHEL MEKKI** : Irrigation goutte à goutte (Régime d'irrigation) Edition O.P.U. Alger ; **1988**
6. **MICHEL DUCROCQ** : Les bases de l'irrigation, technique et documentation, Lavoisier, Paris. Editions scientifiques universitaires. Liban ;
7. **Touibia.B** : Manuel pratique d'hydrologie; **2006**
8. **Ollier.CH et Poirée. M**:Irrigation, les réseaux d'irrigation théorie, technique et économie des arrosages, Eyrolles ; **1981**

SITES INTERNET

9. [http :// www.ec.gc.ca/water/fr/mang/poll/f_prob/n.htm](http://www.ec.gc.ca/water/fr/mang/poll/f_prob/n.htm)
10. [http ://www.oieau.fr/Re FEA/module 2d.htm/](http://www.oieau.fr/Re_FEA/module_2d.htm/)
www.fndae.com

ANNEXES

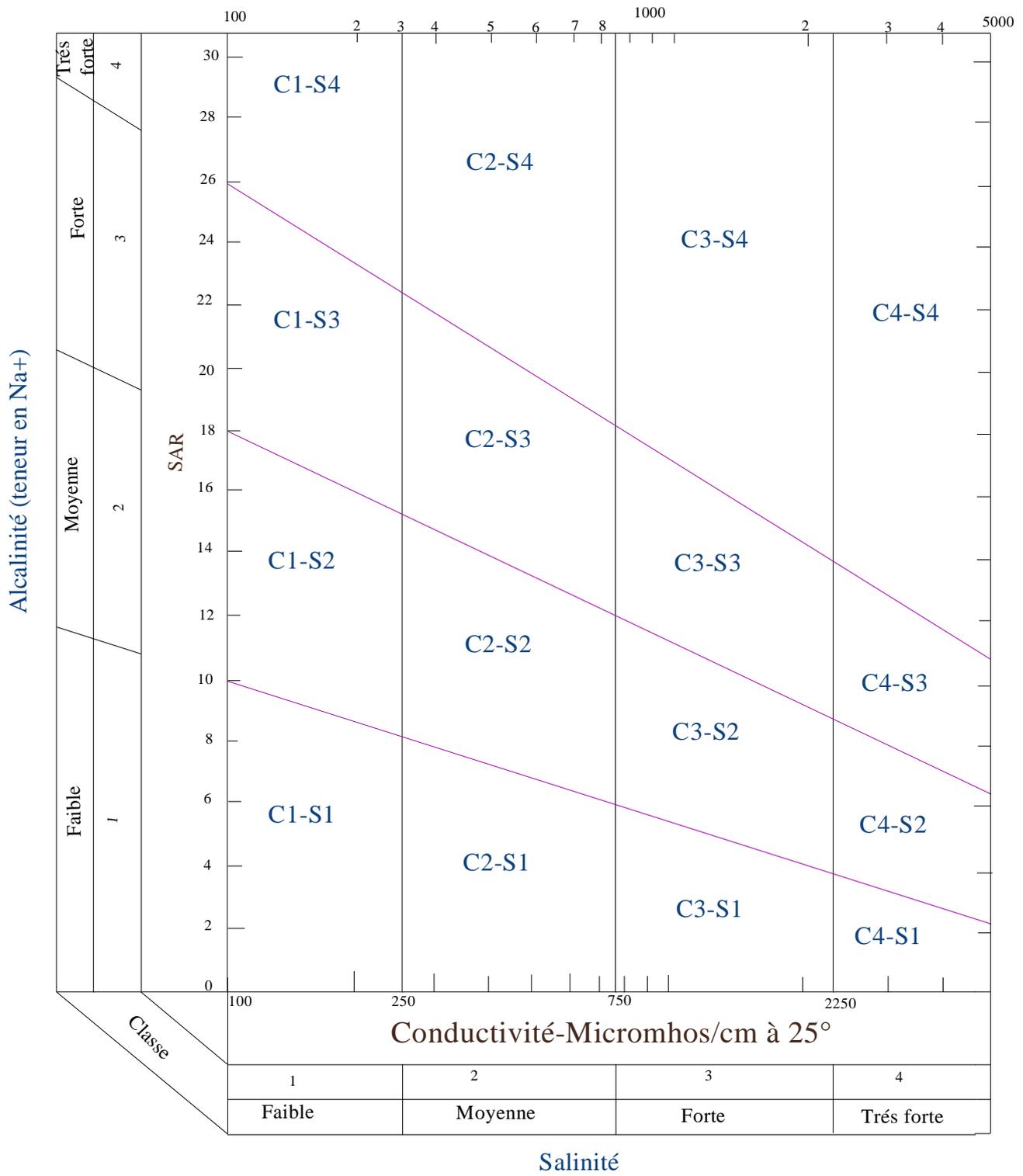


Fig III.1 :Diagramme de Riverside

ANNEX V.I
GUIDE D'ESTIMATION DE P

(P = pourcentage de sol humidifié pour divers débits de distributeurs et divers espacements
- entre rampes et entre distributeurs - dans le cas d'une seule rampe, rectiligne, équipée
de distributeurs uniformément espacés délivrant une dose de 40 mm par arrosage

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

