



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

Département Hydraulique Urbaine

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique*

### **OPTION : IRRIGATION ET DRAINAGE**

**THEME :**

# **DIMENSIONNEMENT D'UN RESEAU D'IRRIGATION DE PERIMETRE DE MOUILAH A PARTIR D'UN FORAGE (W.KHENCHELA)**

**Présenté par :**

M : ZEROUALI KHaoula

### **DEVANT LES MEMBRES DU JURY**

	Nom et Prénom	Grade	Qualité
M <sup>r</sup>	RASSOUL ABDELAZIZ	M.C.A	Président
M <sup>eme</sup>	AZIEZ WAHIBA	M.A.A	Examinatrice
M <sup>r</sup>	YAHIAOUI SAMIR	M.A.A	Examineur
M <sup>r</sup>	KERID RACHID	M.A.A	Examinatrice
M <sup>r</sup>	BENKACI TARIK	M.C.B	Promoteur

Septembre 2015

## *Dédicace*

*Je dédie ce Modeste mémoire qui est l'accomplissement de longues années  
d'études, en premier lieu à :*

*D'abord à mon très cher père « ZEROUALI KAMEL », pour ces conseils, son  
soutien matériel et moral et pour tous ses efforts et les faveurs qu'il m'a accordé  
et qui m'ont donné la volonté de réaliser et de finir ce travail*

*À ma très chère mère à qui je dois beaucoup pour ces sacrifices,*

*Son aide et son soutien et me voir ainsi arriver à ce que je suis devenu  
aujourd'hui.*

*À mes frères Amir, Badr el dine, Souleimene, Mohamed Rabai*

*À mes sœurs Ismahane, et Kenza*

*À mes amis d'enfance Mohamed, Zeineb et Soumia*

*À mes chères amis : kacimo, Houria et Zahra*

*ZEROUALI KHAOULA*

*« La réussite est l'accumulation d'échecs, d'erreurs, de faux départs, de  
confusions et la volonté de continuer malgré tout »*

## REMERCIEMENT

*Avant tout nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce modeste travail. En second à nos parents qui n'ont épargné aucun effort pour nous éduquer et nous fournir tous les moyens nécessaires pour présenter devant vous ce mémoire.*

*Je tiens à remercier du fond du cœur :*

*Mon encadreur Mr **BENKACI T**, qui m'a énormément aidé à achever ce travail, que ce soit par ses conseils, ses orientations, sa disponibilité, et sa gentillesse qui nous redonnent à chaque fois la volonté et la force de travailler ;*

*Tous les membres de jury qui ont accepté d'apprécier ce travail ;*

*Mr **MESAHAL M**, pour ses précieux conseils qui m'ont beaucoup aidé à avancer dans mes travaux ;*

*M<sup>me</sup> **MAZARI C**, qui m'a aidé pour continuer mes études et pour toute sa confiance qu'elle a mise en moi ;*

*M<sup>me</sup> **AZIEZ W**, qui rien qu'avec son sourire, sans parler de ses conseils et ses encouragements, me rendent la joie et le bonheur de travailler ;*

*Mr **RASSOUL. S**, d'avoir présidé le jury*

*Mr **YAHIAOUI. S** qui m'a énormément aidé par ses précieux conseils*

*Mr **KHALFI. A** qui ma beaucoup aidé pour à accomplir ce travail*

*Mr **MIHOUBI**, ainsi que le directeur Adjoint Mr **KHODJET K. O**, et LE Chef de département Mr **HABOUCHE** qui m'ont facilité un tas de procédures et qui ont veillé à ma réussite*

*M<sup>me</sup> **CHARNOUH .Y**, qui m'a beaucoup aidé ;*

*M<sup>me</sup> **BENSAAD S**, Mr **DJLAB M**, et Mr **BENSALÉM***

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

## ملخص

قمنا بانجاز هذا المشروع لدراسة حاجيات المزروعات من الماء للمساحة المسقية (مويلاح) الواقعة بولاية خنشلة وذلك لضمان نموها بشكل ملائم وفعال دون ضياع في المياه .

ولهذا قمنا بدراسة شاملة (مناخ-تربة-ماء) للمنطقة التي نريد فيها تنفيذ مشروعنا. ومن ثم قمنا باختيار انجع الطرق لتوصيل الماء من الابار الى المساحة المسقية .

وهكذا وبعد تحليل متعدد المعايير لانظمة السقي جهزنا قطعة الارض بتقنيات الري الاكثر كفاءة: الرش المحوري. و التقطير .

و التي تسمح بزيادة المرودية خاصة في المناطق شبه الجافة مثل منطقة ولاية خنشلة.

## Résumé

Dans ce mémoire, nous avons étudié **les besoins en eau des cultures** du périmètre de Mouilah situé dans la wilaya de Khechchela.pour assurer leur croissance correctement et efficacement **sans perte d'eau**.

En effet, après avoir analysé les conditions naturelles de la zone : (**climat-sol-eau**) nous avons projeté un système d'adduction à partir des eaux souterraines des forages de Mouilah.

De ce fait, après une analyse multicritères sur les systèmes d'irrigation , nous avons projeté deux techniques d'irrigation les plus performantes : **l'aspersion** et **le goutte a goutte** :

Ces deux techniques permettent une meilleure efficacité d'irrigation et l'intensification des rendements des cultures, en particulier en zones semi-arides telles que la wilaya de Khenchela.

## Abstract

In this paper , we studied the **water needs** of the perimeter of Mouilah cultures located in the province of Khechchela.pour their growth properly and efficiently without loss of water

In fact, after analyzing the natural conditions of the area ( **soil-water- climate**) we planned a supply system from groundwater drilling Mouilah .

Thus, after a multi-criteria analysis on irrigation systems , we planned two most efficient irrigation techniques, **sprinkling** and **drip** .

Both techniques improved efficiency of irrigation and increased crop yields , especially in semi-arid areas such as the province of Khenchela .



# SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## *Chapitre I : Présentation de la zone d'étude*

Introduction.....	2
I-1) Caractéristiques géographiques de la wilaya de Khenchela.....	2
I.2) Cadre socio-économique.....	4
I.3) Réseau hydrographique.....	5
I.4) Les reliefs.....	5
I-5 ) Localisation du périmètre de Mouilah.....	7
I-6) Caractéristiques climatologiques de la zone d'étude.....	10
I-7) Classification du climat .....	17
Conclusion.....	20

## *Chapitre II : Ressources en sol*

Introduction .....	21
II-1) Typologie et Classification des sols .....	21
II.2) Classification des sols.....	21
II-3) Analyses physico-chimiques des sols .....	23
II.4) Caractéristiques hydrodynamiques des sols .....	26
II-5) Etude des aptitudes culturales .....	28
Conclusion.....	31

### ***Chapitre III : Ressources en eau- Hydrologie***

Introduction.....	32
III.1) Alimentation en eau du périmètre de M'toussa.....	32
III.2) Géologie de la zone d'étude.....	34
III.3 )Cadre hydrogéologique de la zone d'étude.....	36
III.4) Lutte contre la salinité.....	43
III.5) Qualité de l'eau d'irrigation des eaux des forages.....	40
III.6) Etude Hydrologique.....	44
Conclusion.....	53

### ***Chapitre IV : Calcul des besoins en eau***

Introduction.....	54
IV-1) Besoins eau d'une culture.....	54
IV -2) Les besoins en eau d'irrigation .....	54
IV -3) L'évapotranspiration .....	55
IV-4) Occupation du sol .....	58
IV-5) Répartition des surfaces en fonction de l'assolement proposé.....	60
IV-6) Détermination des Besoins en eau des cultures pour les cultures d'assolement...	68
IV-7 ) Evaluation du débit caractéristique .....	70
Conclusion.....	71

## ***Chapitre V : Dimensionnement du réseau d'adduction***

Introduction.....	72
V.1) Variantes d'aménagement du périmètre.....	72
V.2) Organisation du périmètre de Mouilah.....	72
V.3) Implantation des bornes (Plan de bornage).....	72
V.4) Tracé du réseau .....	73
V.5) Caractéristiques des forages .....	75
V.6) Dimensionnement de la station de pompage .....	75
V.7) Protection anti-bélier.....	85
V.8) Dimensionnement du réservoir de distribution .....	87
V.9) Dimensionnement du réseau de distribution.....	87
Conclusion.....	93

## ***Chapitre VI : Techniques d'irrigation***

Introduction .....	94
VI-1) Les techniques d'irrigation .....	94
VI-1-1) Irrigation de surface .....	94
VI-1-2) Irrigation par aspersion .....	95
VI-1-3) Irrigation localisée .....	98
Conclusion.....	102



## ***Chapitre VII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation***

Introduction.....	103
VII.1) Facteurs déterminant les performances d'un arroseur par aspersion.....	103
VII.3 )Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par Aspersion .....	104
VII.5) Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte.....	111
Conclusion.....	120

## ***Chapitre VIII : Calcul technico-économique***

Introduction.....	121
VIII-1) Différents travaux à entreprendre .....	121
VIII-2) Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution.....	123
VIII-3) Estimation de cout total de projet .....	126
VIII-4) Devis estimatif de projet .....	127
Conclusion.....	129
Conclusion générale.....	130



## LISTE DES TABLEAUX

	Pages
<b>Tableau 1</b> : Caractéristiques des bassins versants de la plaine de la Mitidja.....	6
<b>Tableau. 2</b> : Paramètres géométriques.....	11
<b>Tableau. 3</b> : Répartition hypsométrique du sous bassin de l'Oued Mazafran.....	12
<b>Tableau. 4</b> : Répartition hypsométrique du sous bassin de l'Oued el Harrach.....	12
<b>Tableau. 5</b> : Répartition hypsométrique du sous bassin de Réghaia et Hamiz.....	13
<b>Tableau. 6</b> : Paramètres altimétriques des sous bassins versants.....	15
<b>Tableau. 7</b> : Indice des pentes globales des sous bassins versants. ....	16
<b>Tableau. 8</b> : Indice des pentes moyennes des sous bassins versants. ....	17
<b>Tableau. 9</b> : Densités de drainage des sous bassins versants. ....	18
<b>Tableau. 10</b> : Temps de concentration des sous bassins versants. ....	18
<b>Tableau. 11</b> : Vitesse de ruissellement des eaux dans les sous bassins versants. ....	20
<b>Tableau. 12</b> : Tableau général. ....	21
<b>Tableau. 13</b> : Caractéristiques des stations hydrométriques et postes pluviométriques ...	23
<b>Tableau. 14</b> : Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (1974-2005) .....	24
<b>Tableau. 15</b> : Vitesse moyenne des vents dans la station de Dar EL Beida (1974-2005)...	25
<b>Tableau. 16</b> : Précipitations moyennes mensuelles (1974-2005) .....	26
<b>Tableau. 17</b> : Précipitations moyennes annuelles (1974/2005) .....	26
<b>Tableau. 18</b> : Précipitations dans les stations.....	30
<b>Tableau. 19</b> : Résultats de la méthode de Thiessen. ....	31
<b>Tableau. 20</b> : Détermination de l'indice d'humidité dans la station de Dar EL Beida.....	32
<b>Tableau. 21</b> : Détermination de l'ETP par la méthode de THORNTHWAITE.....	34
<b>Tableau. 22</b> : Bilan de Thornthwaite pour la détermination de l'ETR.....	36
<b>Tableau. 23</b> : Evapotranspiration réelle.....	37
<b>Tableau. 24</b> : Valeurs des différents termes du bilan hydrologique. ....	38
<b>Tableau. 25</b> : Distribution générale des formations du remplissage de la Mitidja. ....	56
<b>Tableau 26</b> : Paramètres statistiques.....	86
<b>Tableau 27</b> : Coefficient de corrélation entre les variables initiales. ....	88
<b>Tableau 28</b> : Valeurs propres et pourcentages des axes principaux. ....	89
<b>Tableau 29</b> : Corrélations des variables aux axes principaux.....	93
<b>Tableau. 30</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	97
<b>Tableau. 31</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	98
<b>Tableau. 32</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	99
<b>Tableau. 33</b> : Paramètres statistiques du groupe D.....	100
<b>Tableau. 34</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	101
<b>Tableau. 35</b> : Paramètres statistiques du groupe B .....	102
<b>Tableau. 36</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	103
<b>Tableau. 37</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	104
<b>Tableau. 38</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	106
<b>Tableau. 39</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	107
<b>Tableau 40</b> : Paramètres statistiques.....	110

<b>Tableau 41</b> : Coefficient de corrélation entre les variables initiales. ....	111
<b>Tableau 42</b> : Valeurs propres et pourcentages des axes principaux. ....	112
<b>Tableau 43</b> : Corrélations des variables aux axes principaux.....	113
<b>Tableau. 44</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	118
<b>Tableau. 45</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	119
<b>Tableau. 46</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	120
<b>Tableau. 47</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	121
<b>Tableau. 48</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	122
<b>Tableau. 49</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	123
<b>Tableau. 50</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	125
<b>Tableau. 51</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	126
<b>Tableau. 52</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	127
<b>Tableau 53</b> : Paramètres statistiques.....	131
<b>Tableau 54</b> : Coefficients de corrélation entre les variables initiales. ....	132
<b>Tableau 55</b> : Valeurs propres et pourcentages des axes principaux. ....	133
<b>Tableau 56</b> : Corrélations des variables aux axes principaux.....	134
<b>Tableau. 57</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	139
<b>Tableau. 58</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	140
<b>Tableau. 59</b> : Paramètres statistiques du groupe C .....	141
<b>Tableau. 60</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	142
<b>Tableau. 61</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	143
<b>Tableau. 62</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	144
<b>Tableau. 63</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	146
<b>Tableau. 64</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	147
<b>Tableau. 65</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	148
<b>Tableau 66</b> : Paramètres statistiques.....	151
<b>Tableau 67</b> : Coefficient de corrélation entre les variables initiales.....	152
<b>Tableau 68</b> : Valeurs propres et pourcentages des axes principaux.....	153
<b>Tableau 69</b> : Corrélations des variables aux axes principaux.....	154
<b>Tableau. 70</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	159
<b>Tableau. 71</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	160
<b>Tableau. 72</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	161
<b>Tableau. 73</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	162
<b>Tableau. 74</b> : Paramètres statistiques du groupe A.....	164
<b>Tableau. 75</b> : Paramètres statistiques du groupe B.....	165
<b>Tableau. 76</b> : Paramètres statistiques du groupe C.....	166
<b>Tableau 76</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des cations... ..	173
<b>Tableau 77</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des anions.....	174
<b>Tableau 78</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental de la CE.....	176
<b>Tableau 79</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental du SAR.....	176
<b>Tableau 80</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des cations... ..	190
<b>Tableau 81</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des anions.....	191
<b>Tableau 82</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental de la CE.....	193
<b>Tableau 83</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental du SAR.....	194
<b>Tableau 84</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des cations... ..	207
<b>Tableau 85</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des cations... ..	208

<b>Tableau 86</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental de la CE.....	210
<b>Tableau 87</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental du SAR.....	210
<b>Tableau 88</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des cations...	223
<b>Tableau 89</b> : Paramètres d'ajustement des variogrammes expérimentaux des anions.....	224
<b>Tableau 90</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental de la CE.....	226
<b>Tableau 91</b> : Paramètres d'ajustement du variogramme expérimental du SAR.....	226

## LISTE DES FIGURES

	Pages
<b>Fig. 01</b> : Situation géographique générale de la plaine de la Mitidja.....	1
<b>Fig.02</b> : Carte de situation de la plaine de Mitidja.....	2
<b>Fig. 03</b> : Situation de la plaine et de ses sous bassins versants.....	4
<b>Fig.04</b> : Courbe hypsométrique du sous Bassin versant de l'Oued Mazafran.....	13
<b>Fig.05</b> : Courbe hypsométrique du sous bassin versant de l'Oued el Harrach.....	14
<b>Fig.06</b> : Courbe hypsométrique du sous bassin versant de Hamiz et Reghaia	15
<b>Fig.07</b> : Réseau hydrographique de la plaine Mitidja.....	19
<b>Fig.08</b> : Variation de la température mensuelle minimale, maximale et moyenne.....	24
<b>Fig.09</b> : Variation de la vitesse moyenne du vent.....	25
<b>Fig.10</b> : Précipitations moyennes mensuelles (1974-2005).....	28
<b>Fig.11</b> : Précipitations moyennes annuelles (1974/2005).....	28
<b>Fig.12:</b> Aperçu géologique de la plaine de la Mitidja (Bennie and Partner, 1983).....	42
<b>Fig.13</b> : Affleurement des roches volcaniques cal co-alcalines du Miocène (Bennie and Partner, 1983)	43
<b>Fig.14</b> : Coupes géologiques au niveau de la Mitidja ( Bennie and partners,1983).....	47
<b>Fig.15</b> : Les différents stades de l'évolution de la Mitidja pendant le Plia-quaternaires (L.Glanceaud, 1932).....	51
<b>Fig.16</b> : Situation de la plaine étudiée dans l'Orogène Alpin (M. Durand Delga, 1969).....	54
<b>Fig.17</b> : Le variogramme expérimental.....	65
<b>Fig.18</b> : Comportement à l'origine des différents variogrammes.....	67
<b>Fig.19</b> : Principaux modèles de variogrammes utilisés (d'après Delhomme, 1976).....	67
<b>Fig.20:</b> Modèles croissants d'ajustement à des variogrammes : linéaire, pépitique et fonction puissance de l'ordre 1.8, 0.5 et 0.2.....	69
<b>Fig.21</b> : Modèles d'ajustement aux variogrammes bornés: Modèle expérimental et sphérique.....	69
<b>Fig.21</b> : Plan d'échantillonnage de la période des basses eaux de l'année 2005.....	74
<b>Fig.22</b> : Plan d'échantillonnage de la période des hautes eaux de l'année 2005.....	75
<b>Fig.23</b> : Plan d'échantillonnage de la période des basses eaux de l'année 2008.....	75
<b>Fig.24</b> : Plan d'échantillonnage de la période des hautes eaux de l'année 2008.....	76
<b>Fig.25</b> : Illustration de l'accumulation de variance « scree test » de Cattell (1966).....	91
<b>Fig.26</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2.....	94
<b>Fig.27</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3.....	95
<b>Fig.28</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3. ....	96
<b>Fig.29</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2.....	97
<b>Fig.30</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3.....	101
<b>Fig.31</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 3.....	104
<b>Fig.32</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2. ....	114
<b>Fig.33</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3. ....	115
<b>Fig.34</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3.....	116

<b>Fig.35</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2.....	117
<b>Fig.29</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3.....	121
<b>Fig.36</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 3.....	125
<b>Fig.37</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2. ....	135
<b>Fig.38</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3. ....	137
<b>Fig.39</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3. ....	137
<b>Fig.40</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2.....	138
<b>Fig.41</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3.....	142
<b>Fig.42</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 3.....	145
<b>Fig.43</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2. ....	155
<b>Fig.44</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3. ....	156
<b>Fig.45</b> : Cercle de corrélation des variables dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3. ....	157
<b>Fig.46</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 2.....	160
<b>Fig.47</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 2 et l'axe 3.....	161
<b>Fig.48</b> : Répartition des individus dans le plan formé par l'axe 1 et l'axe 3.....	164
<b>Fig.49</b> : Variogramme ajusté de Mg (Période des basses eaux de l'année 2005).....	173
<b>Fig.50</b> :Variogramme ajusté de NO <sub>3</sub> (Période des basses eaux de l'année 2005).....	175
<b>Fig.51</b> : Variogramme ajusté de CE (Période des basses eaux de l'année 2005).....	176
<b>Fig.52</b> :Variogramme ajusté de SAR (Période des basses eaux de l'année 2005).....	177
<b>Fig.53</b> : Carte krigée de Ca (Période des basses eaux de l'année 2005).....	174
<b>Fig. 54.</b> Carte krigée de Mg (Période des basses eaux de l'année 2005).....	179
<b>Fig. 55.</b> Carte krigée de Na (Période des basses eaux de l'année 2005).....	180
<b>Fig.56</b> : Carte krigée de Cl (Période des basses eaux de l'année 2005).....	181
<b>Fig. 57.</b> Carte krigée de NO <sub>3</sub> (Période des basses eaux de l'année 2005).....	182
<b>Fig. 58.</b> Carte krigée de SO <sub>4</sub> (Période des basses eaux de l'année 2005).....	183
<b>Fig.59</b> : Carte krigée de la CE (Période des basses eaux de l'année 2005).....	184
<b>Fig.60</b> : Carte krigée du SAR (Période des basses eaux de l'année 2005) .....	185
<b>Fig.61</b> : Carte krigée de la CE selon les normes USDA (Période des basses eaux de l'année 2005).....	186
<b>Fig.62</b> :Carte krigée de SAR selon les normes USDA (Période des basses eaux de l'année 2005).....	186
<b>Fig.63</b> : Carte krigée de la CE selon les normes Ayers (Période des basses eaux de l'année 2005).....	187
<b>Fig.64</b> : Carte krigée de SAR selon les normes Ayers (Période des basses eaux de l'année 2005).....	188
<b>Fig.65</b> :Variogramme ajusté de Mg (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	190
<b>Fig.66</b> : Variogramme ajusté de SO <sub>4</sub> (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	192
<b>Fig.67</b> : Variogramme ajusté de CE (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	193
<b>Fig.68</b> : Variogramme ajusté de SAR (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	194
<b>Fig. 69.</b> Carte krigée de Ca (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	195
<b>Fig.70</b> : Carte krigée de Mg (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	196
<b>Fig. 71.</b> Carte krigée de Na (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	197
<b>Fig.72</b> : Carte krigée de Cl (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	198
<b>Fig. 73.</b> Carte krigée de NO <sub>3</sub> (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	199
<b>Fig. 74.</b> Carte krigée de SO <sub>4</sub> (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	200
<b>Fig.75</b> : Carte krigée de la CE (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	201
<b>Fig.76</b> : Carte krigée du SAR (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	202

<b>Fig.77</b> : Carte krigée de la CE selon les normes USDA (Période des hautes eaux de l'année 2005) .....	203
<b>Fig. 78</b> : Carte krigée de SAR selon les normes USDA (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	203
<b>Fig.79</b> : Carte krigée de la CE selon les normes Ayers (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	204
<b>Fig.80</b> : Carte krigée de SAR selon les normes Ayers (Période des hautes eaux de l'année 2005).....	205
<b>Fig.81</b> : Variogramme ajusté de Ca (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	207
<b>Fig.82</b> : Variogramme ajusté de SO <sub>4</sub> (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	209
<b>Fig.83</b> : Variogramme ajusté de CE (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	210
<b>Fig.84</b> : Variogramme ajusté de SAR (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	211
<b>Fig. 85.</b> Carte krigée de Ca (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	212
<b>Fig. 86.</b> Carte krigée de Mg (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	213
<b>Fig. 87.</b> Carte krigée de Na (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	214
<b>Fig. 88.</b> Carte krigée de Cl (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	215
<b>Fig.89</b> : Carte krigée de NO <sub>3</sub> (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	216
<b>Fig. 90.</b> Carte krigée de SO <sub>4</sub> (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	217
<b>Fig.91</b> : Carte krigée de la CE (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	218
<b>Fig.92</b> : Carte krigée du SAR (Période des basses eaux de l'année 2008) .....	219
<b>Fig.93</b> : Carte krigée de la CE selon les normes USDA (Période des basses eaux de l'année 2008).....	220
<b>Fig.94</b> : Carte krigée de SAR selon les normes USDA (Période des basses eaux de l'année 2008).....	220
<b>Fig.95</b> : Carte krigée de la CE selon les normes Ayers (Période des basses eaux de l'année 2008).....	221
<b>Fig.96</b> : Carte krigée de SAR selon les normes Ayers (Période des basses eaux de l'année 2008).....	222
<b>Fig.97</b> : Variogramme ajusté de Mg (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	223
<b>Fig.98</b> : Variogramme ajusté de NO <sub>3</sub> (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	225
<b>Fig.99</b> : Variogramme ajusté de CE (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	226
<b>Fig.100</b> : Variogramme ajusté de SAR (Période des hautes eaux de l'année 2008).....	227
<b>Fig. 101.</b> Carte krigée de Ca (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	228
<b>Fig. 102.</b> Carte krigée de Mg (Période des hautes eaux de l'année 2008)	229
<b>Fig. 103</b> : Carte krigée de Na (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	230
<b>Fig.104</b> : Carte krigée de Cl (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	231
<b>Fig. 105.</b> Carte krigée de NO <sub>3</sub> (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	232
<b>Fig. 106.</b> Carte krigée de SO <sub>4</sub> (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	232
<b>Fig.107</b> : Carte krigée de la CE (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	233
<b>Fig.108</b> : Carte krigée du SAR (Période des hautes eaux de l'année 2008) .....	233
<b>Fig.109</b> : Carte krigée de la CE selon les normes USDA (Période des hautes eaux de l'année 2008).....	235
<b>Fig.110</b> : Carte krigée de SAR selon les normes USDA (Période des hautes eaux de l'année 2008).....	235
<b>Fig.111</b> : Carte krigée de la CE selon les normes Ayers (Période des hautes eaux de l'année 2008).....	236
<b>Fig.112</b> : Carte krigée de SAR selon les normes Ayers (Période des hautes eaux de l'année 2008).....	237



## **LISTE DES PLANCHES**

**Planche1** :Plan de situation de périmètre de Mouilah (W.Khenchela).

**Planche2** :Réseau d'adduction et de distribution du périmètre de Mouilah (W.Khenchela)

**Planche3** :Profil en long de la conduite principale du réseau d'irrigation du périmètre de Mouilah (W.Khenchela)

**Planche4** :Plan de réseau goutte goutte de la parcelle (18) du périmètre Mouilah (W.Khenchela)

## **Introduction**

Dans le domaine agricole, l'eau est indispensable pour garantir une sécurité socio-économique à moyen et long terme. Cependant, la conception d'un système d'irrigation nécessite en premier lieu la quantification des besoins en eau de toutes les cultures mises en place, et la mobilisation des ressources en eau nécessaires au bon développement de ces cultures.

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, en particulier dans les zones arides et semi-arides.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre mémoire de fin d'étude. Il s'agit de revaloriser le périmètre de l'oued Mouilah, en réhabilitant le réseau d'irrigation alimenté à partir des eaux du forage du périmètre de M'toussa dans la wilaya de Khenchela.

En effet, la wilaya de Khenchela est reconnue pour ses terres fertiles et ses cultures très variées. Cependant la plupart des cultures exploitées connaissent des rendements très faibles faute d'un système d'irrigation adéquat.

A ce propos, les techniques d'irrigation modernes répondent aux objectifs d'un système d'irrigation, une gestion précise de l'eau et la prise en considération de sa qualité.

Dans ce mémoire, on propose de dimensionner le réseau d'irrigation du périmètre de M'toussa dans la wilaya de Khenchela, qui est caractérisé par une agriculture extensive, et de remplacer les systèmes d'irrigation classiques (système gravitaire), par des systèmes modernes afin d'optimiser les ressources en eau et d'augmenter ainsi les rendements des cultures mises en place.

# Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

---

## *Chapitre I : Présentation de la zone d'étude*

### *Introduction :*

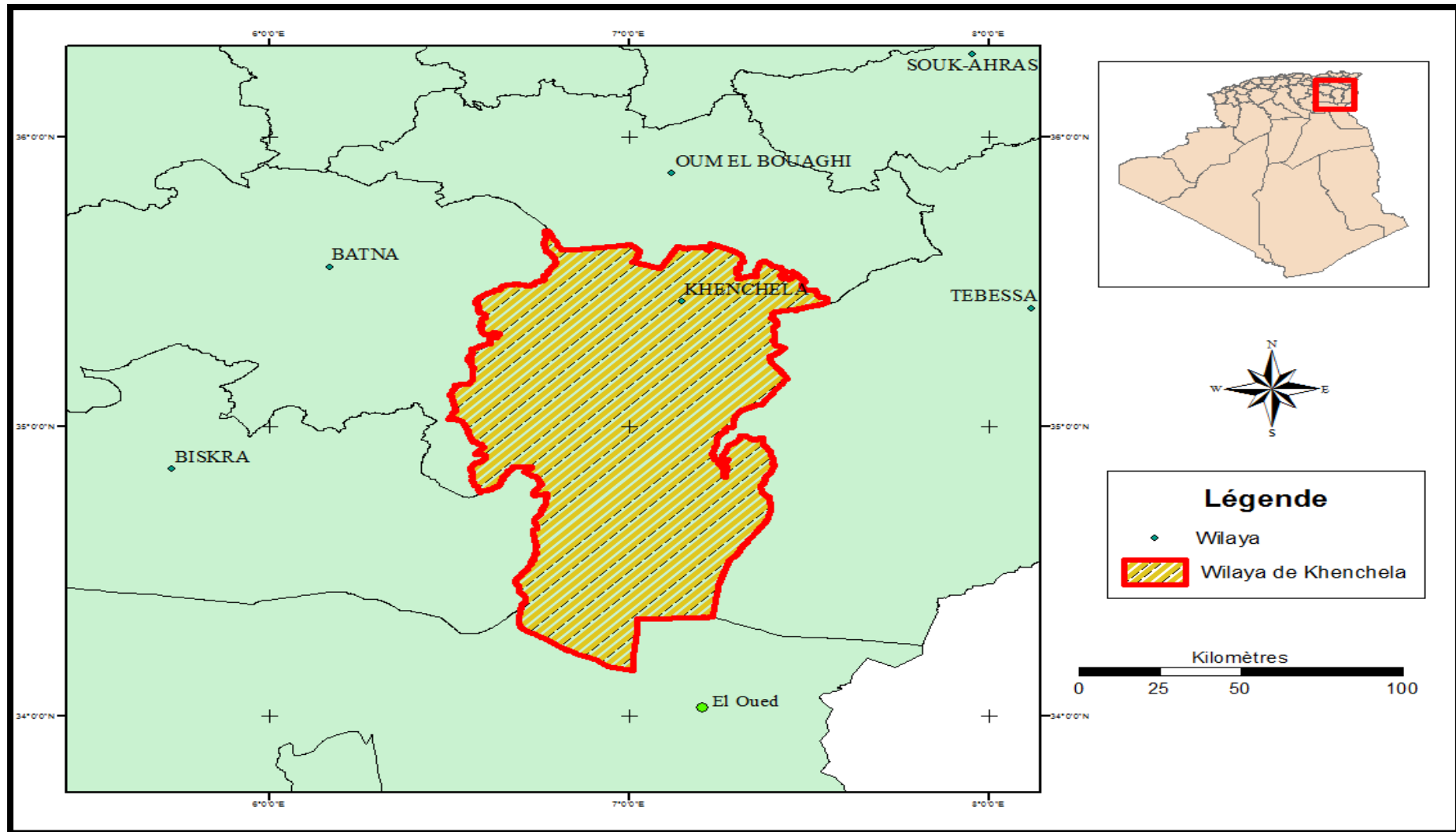
Avant tout projet d'irrigation, l'étude du site est nécessaire pour connaître toutes les caractéristiques du milieu notamment le périmètre irrigué, et les facteurs qui influent sur la conception du projet, parmi eux, nous citons : les données climatiques, ainsi que les paramètres agronomiques de la zone d'étude qui vont nous permettre de prendre les dispositions nécessaires lors de la réalisation du réseau d'irrigation. Le site d'étude est situé dans la wilaya de Khenchela qui est une région à vocation agricole.

### *I-1) Caractéristiques géographiques de la wilaya de Khenchela :*

La wilaya de Khenchela est située à l'Est du pays, au Sud-Est du constantinois; et au contrefort du Mont des Aurès, elle s'étend sur une superficie de  $9\,811\text{Km}^2$ .

Sur le plan administratif, la wilaya est subdivisée en 21 communes réparties dans 08 daïra; elle est limitée par :

- Au Nord par la wilaya d'Oum El Bouaghi ;
- Au Sud par la wilaya d' El Oued ;
- A l'Est par la wilaya de Tébessa ;
- A l'Ouest et au Sud-Ouest par les wilaya de Batna et de Biskra.



*Figure I.1* : Situation géographique de la wilaya de Khenchela.  
(Réalisée sous ARC-GIS).

## I.2) Cadre socio-économique :

La région de khenchela est réputée être une zone à vocation agro-pastorale l'activité principale au niveau de la région demeure l'agriculture avec une superficie de **231768ha**, la couverture forestière occupe **231768 ha**.

Les terres à haute valeurs agricole sont de **39000ha**, les terres improductives sont de **150155ha** (terres improductives **78900ha**, terres urbanisés **7236ha**).

Le secteur de l'industrie est faiblement représenté dans la wilaya. Il est constitué de deux unités de production du secteur public et une trentaine de petites entreprises privées.

La population de la wilaya a évolué au rythme de la croissance nationale, avec une population estimée à 414 550 habitants au 2011 Taux de croissance de la population : 1,7 %;

- Population active (2011): 136.800 habitants soit 33%.
- Population occupée (2011): 123.660 habitants soit 90,4%.
- Population en chômage (2011): 13.140 habitants soit 9,6%.
  
- Agriculture : 35,7% ;
- Industrie : 7,2 ;
- BTPH : 1120,4% ;
- Autres : 36,7%.



Figure I.2 : Répartition des activités socioprofessionnelles de la wilaya de Khenchela.

(Source DPAT)

### ***1.3) Réseau hydrographique :***

La wilaya de Khenchela recèle des potentialités hydriques importantes, le réseau hydrographique est caractérisé par deux principaux réseaux de drainages:

- Au Nord vers le Chott de Garaet-Tarf.
- Au Sud vers le Chott Melghir.

Le réseau hydrographique du Nord n'est pas important et influe faiblement dans la vie économique de la région.

Le réseau hydrographique de la partie Sud est composé de trois bassins essentiels:

- Bassin d'Oued El- Ma,
- Bassin d'Oued El-Areb,
- Bassin d'Oued Beni Barber.

### ***1.4) Les reliefs :***

Le relief de la wilaya de Khenchela, est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques  
***-Les montagnes :***

On les rencontre essentiellement dans la zone Ouest de la wilaya (les Aurès) ; dans la zone centrale (les monts des Nememchas) et au Nord - Est (Ain -Touila)

***-Les plateaux :***

Ils sont situés au Nord /Est (plateau de O.Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et d'Ouled Rechache.

***-Les plaines :***

Situées au Nord et Nord -Ouest de la wilaya, elles comprennent les plaines de Remila, Bouhmamas et M'toussa. Il est à noter que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.

***-Les parcours steppiques et les dépressions :***

Ils sont situés dans la partie méridionale de la wilaya, et se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts .Ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des oueds drainant le Sud de la wilaya.

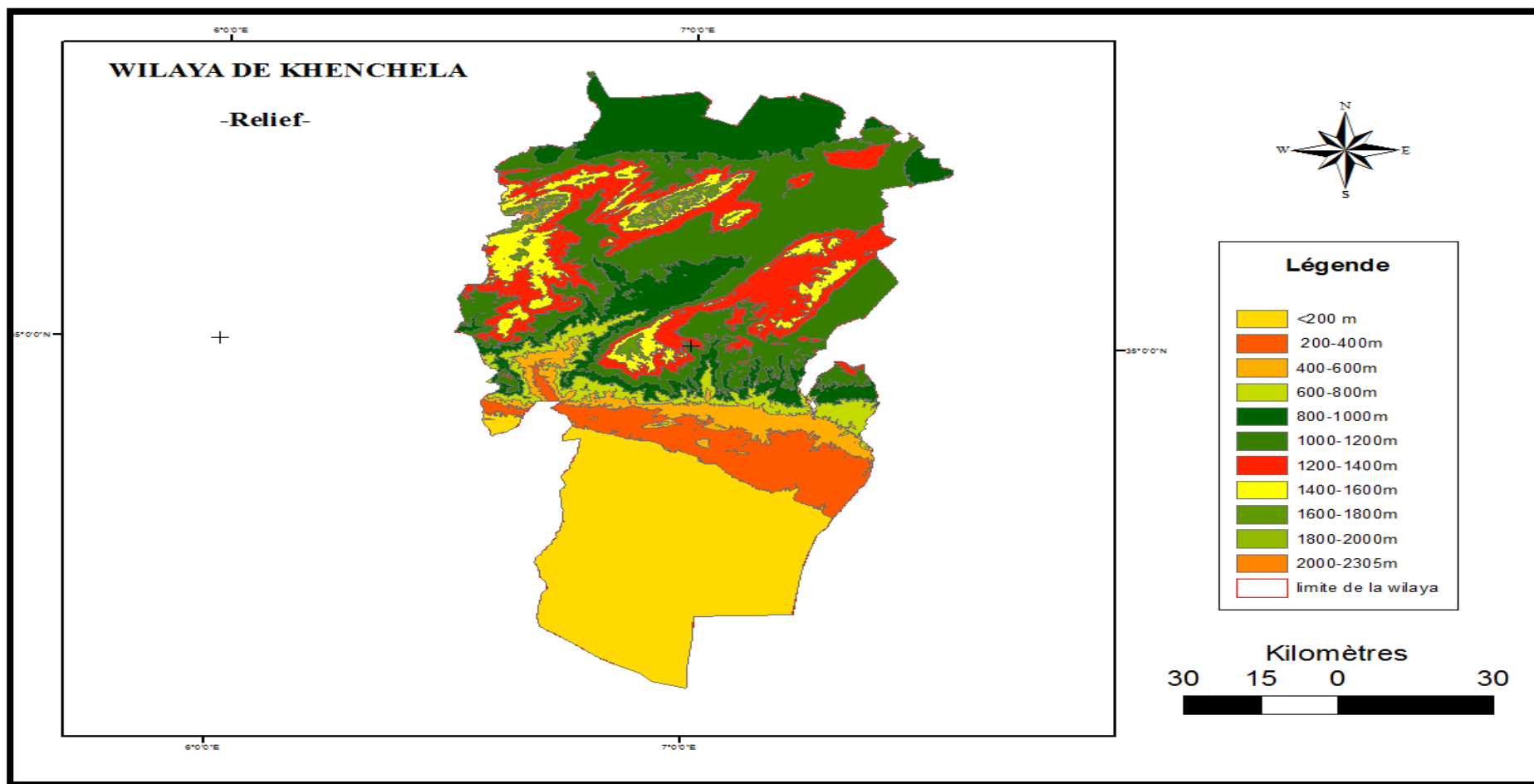


Figure I.3 : Carte des reliefs de la wilaya de Khenchela.

(Réalisée sous ARC-GIS).



### I-5) Localisation du périmètre de Mouilah :

Le périmètre d'étude est situé à une distance de 05 kilomètres à l'Ouest de la commune de M'Toussa, et de son chef lieu, au Nord de la wilaya de Khenchela. La commune est délimitée à :

- L'Est par Oued El Mouillah.
- L'Ouest par la limite administrative entre les communes de M'toussa et de Baghia.
- Au Nord par le chemin communal reliant M'toussa à Baghia.
- Au Sud par la route Nationale Ain Beida- Khenchela.

Le périmètre de Mouilah est divisé en deux secteurs 1 et 2. Dans notre étude on s'intéresse à l'aménagement du **secteur 1** qui présente une superficie de l'ordre de 100 ha.



*Figure I.4* : Plan de situation de la zone d'étude (Image satellitaire par Google).

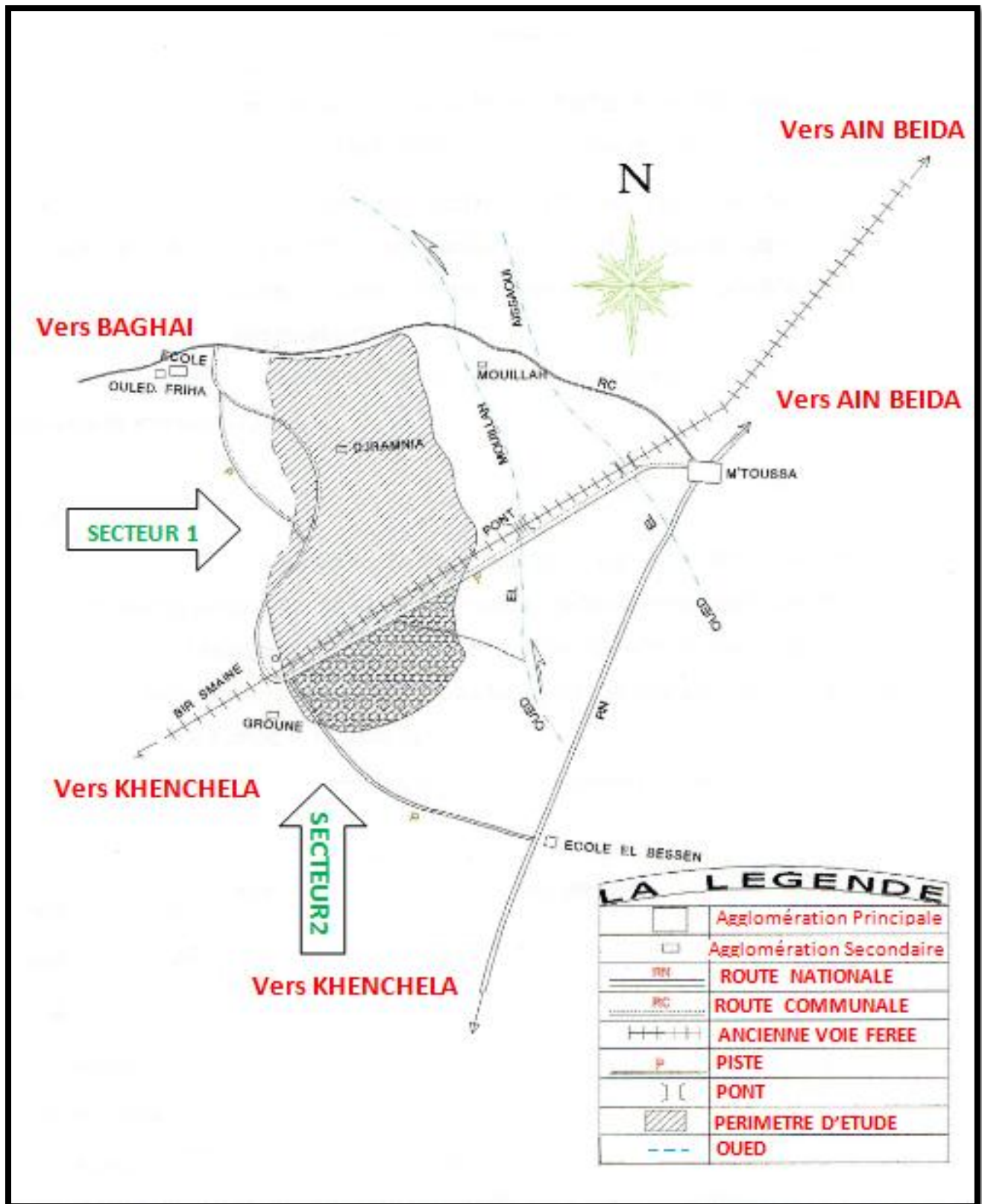


Figure I.5 : Carte de délimitation de l'aire d'étude.

(Source DHW)

### I.5.1) Topographie :

La région de M'toussa présente un relief, généralement quasi –plat très peu accidenté. Les pentes sont très faibles, régulières et d'exposition : SE-NO permettant un écoulement lent des eaux de surface vers la sebkha avoisinante le périmètre.

### I.5.2) Hydrographie :

La zone d'étude est drainée par l'oued El Mouilah qui constitue la limite naturelle Ouest du périmètre. Cet oued prend naissance dans les hauteurs de Djebel Knif et Djebel Aouf et se jette dans GareatTaref.

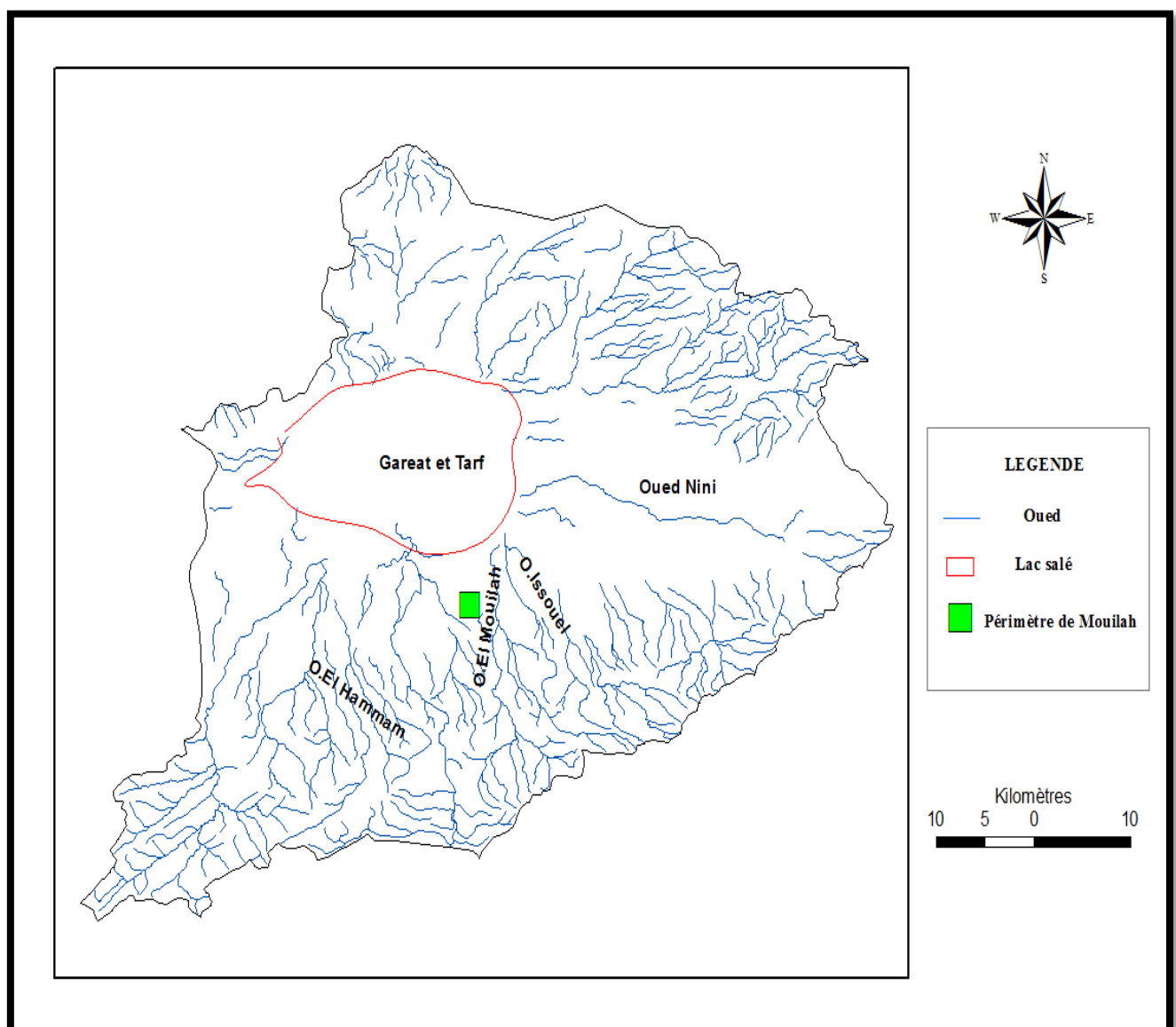


Figure I.6 : Réseau hydrographique de la zone d'étude.

(Réalisée sous ARC-GIS).

**I-6) Caractéristiques climatologiques de la zone d'étude :**

Les conditions climatiques de la zone étudiée sont conditionnées par la situation géographique, le caractère de la circulation de l'atmosphère, le relief environnant et sont formées sous l'influence des masses d'air marines et continentales.

L'étude du climat, est une étape primordiale dans les projets hydro-agricoles, puisqu'elle permet de quantifier les paramètres intervenant dans le choix des cultures et le dimensionnement des réseaux d'irrigation. Les différents éléments caractérisant le climat, sont principalement : les précipitations, la température, le vent, l'humidité relative de l'air, l'insolation.

**-Présentation de la station météorologique :**

Les données climatiques nécessaires à l'analyse du climat de la région sont collectées, auprès de la station d'Ain Beida, gérée par l'ANRH, dont le code est 070707.

Le tableau suivant donne les coordonnées géographiques de la station météorologique :

**Tableau I-1** : Coordonnées de la station météorologique d'Ain Beida

Nom de la station	X (km)	Y (km)	Altitude (Z) (m)	Période
AIN BEIDA	924.15	288	1004	27 ans

(Source ANRH)

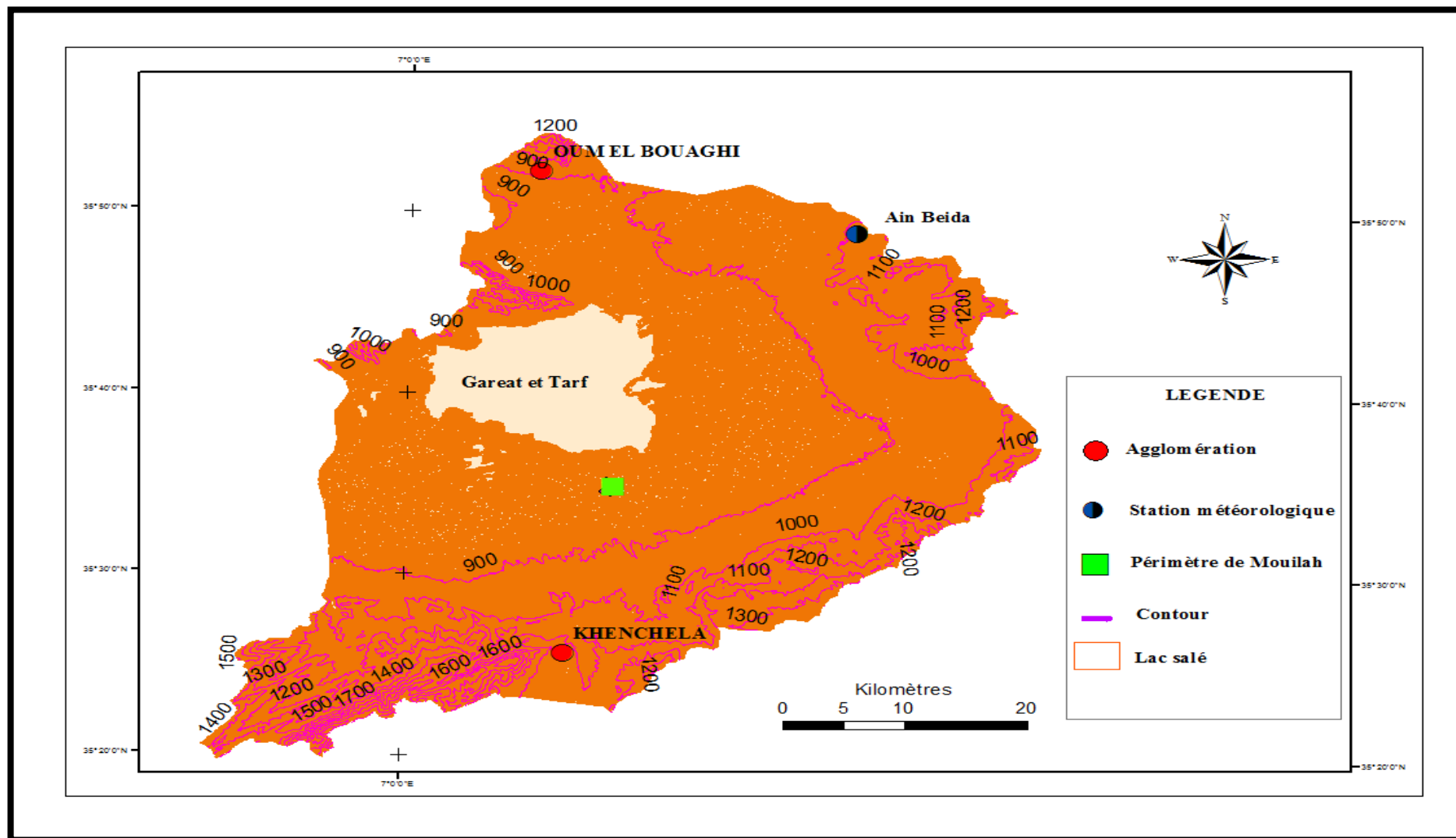


Figure I.7: situation géographique de la station météorologique.  
(Réalisée sous ARC-GIS).

**I.6.1) Les précipitations :**

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, quatre aspects sont discutés; Il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles. Le calcul de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré sur un grand nombre d'années (précipitation moyenne mensuelle) donne un aperçu sur les variations mensuelles et pluriannuelles des précipitations.

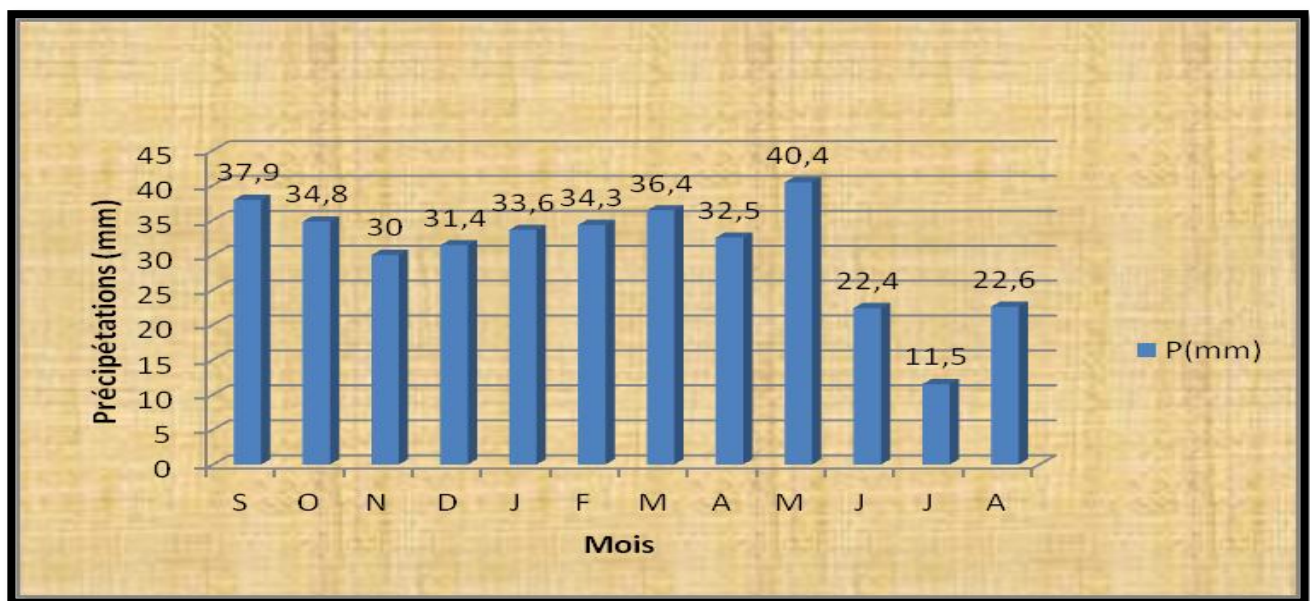
Le tableau suivant I.4 donne la répartition mensuelle des pluies.

**Tableau I-2 :** précipitations mensuelle moyenne (1985-2011)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
P(mm)	37,9	34,8	30	31,4	33,6	34,3	36,4	32,5	40,4	22,4	11,5	22,6	367,71

(Source ANRH )

A partir du tableau **I-2** en trace les graphes des précipitations :



**Figure I.8 :** Graphe des précipitations

➤ **Interprétation :**

La figure **I-8** représente la répartition annuelle des moyennes mensuelles des précipitations, on constate que :

Les variations saisonnières entre les trois (03) saisons pluvieuses (Automne-Hiver-printemps) ne sont pas importantes.

La majeure partie des précipitations annuelles, soit 86% est enregistrée entre Septembre et Mai avec 14% seulement pour la période estivale.

Toute production végétale nécessite par conséquent durant cette dernière période un apport d'eau sous forme d'irrigation.

La pluviosité mensuelle est elle aussi irrégulière.

**I-6-2) Température de l'air :**

La température est un facteur climatique très important qui joue un rôle dans les projets d'irrigation, car elle conditionne l'évapotranspiration des cultures, et donc le développement des plantes.

Les températures de l'air moyennes et extrémales sur le territoire envisagé sont données par le tableau ci-dessous :

**Tableau I-3 :** Températures mensuelles moyennes (1985-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	moyenne
T max (°C)	27,4	22,6	15,6	12,9	10,8	12,6	17,4	19,3	25,4	30,7	34,6	31,5	21.73
T min (°C)	15,5	12,3	6,7	4,1	2,7	2,4	3,9	7,4	11,6	15,8	18,9	16,8	9.84
T moy (°C)	21,4	17,5	11,1	8,5	6,8	7,5	10,6	13,4	18,5	25,9	26,8	24,2	15.8

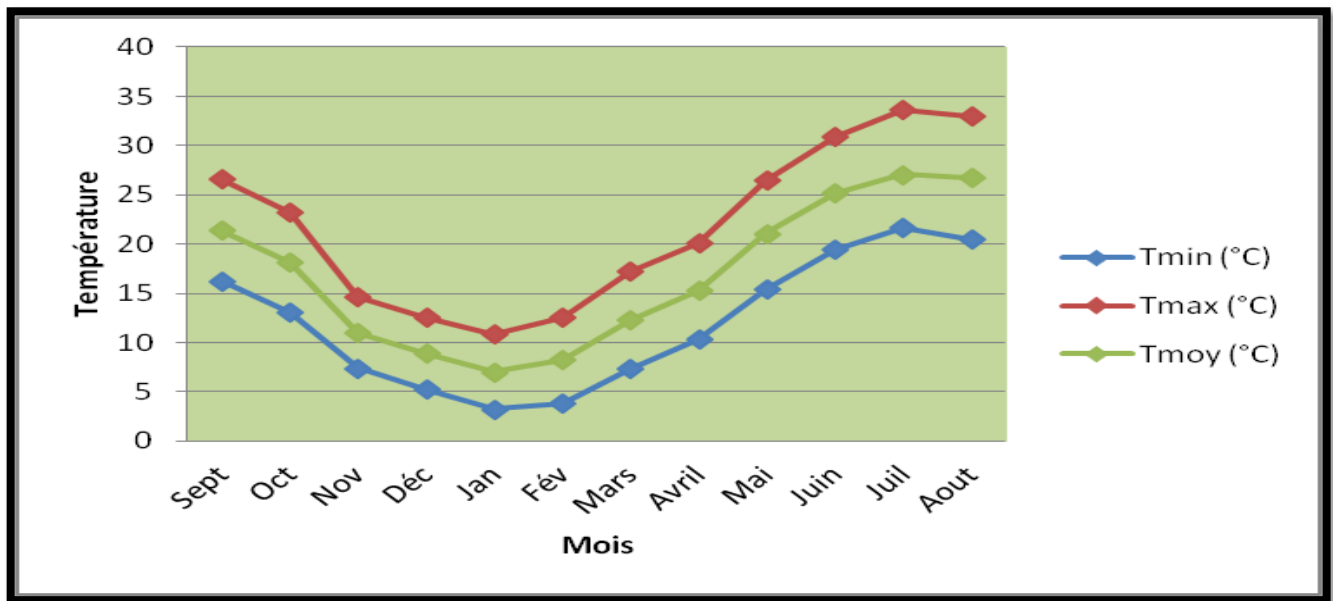
(Source : ANRH)

**Avec : T max (°C) :** Moyenne de tous les maxima observés pour chaque mois.

**T min (°C) :** Moyenne de tout les minima observés pour chaque mois.

**T moy (°C) :** Moyenne mensuelle

A partir du tableau *I-3* en trace les graphes de températures :



*Figure I.9* : Graphe des températures.

➤ **Interprétation :**

On constate que :

- La température moyenne annuelle est de 15,8 °C.

- L'amplitude thermique est énorme d'où les risques de gelées sont à craindre.

- Les températures sont variables, le minimum étant enregistré au mois de Janvier 6,8°C, et le maximum pendant le mois de Juillet avec 26,8°C.

- L'été est chaud, les températures moyennes sont de 22 à 25 °C. Certaines années les températures extrêmement hautes peuvent dépasser 40°C.

- L'hiver est relativement doux, les températures moyennes sont de 6 à 7°C

Certaines années la température de l'air tombe jusqu'à (-4), (-5) °C.

**I-6-3) L'humidité relative de l'air :**

C'est un élément important du cycle hydrologique, contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale et qui représente la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à celle que l'air pourrait contenir s'il était saturé à la même température.

L'humidité relative mensuelle moyenne est présentée au tableau suivant :



**Tableau I.4:** Les moyennes mensuelles de l'humidité relative (1985-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Années
H(%)	58,4	60,6	67,1	71,1	73,3	67,9	62,6	62,7	58,8	49,4	43,1	44,9	60.0

(Source : ANRH)

D'après le tableau ci-dessus, le maximum d'humidité relative moyen est observé en Décembre et Janvier, tandis que le minimum se produit en Juillet et Aout.

**I-6-4) Les vents :**

Le vent est l'un des composants du climat, il influe directement sur le rendement végétatif par l'augmentation ou la diminution de l'évapotranspiration du couvert végétal.

La vitesse du vent est mesurée par l'anémomètre (Km/h) ou (m/s), et sa direction est indiquée par la girouette.

La répartition mensuelle du vent durant l'année est représentée dans le tableau suivant :

**Tableau I.5 :** Données des vitesses du vent de la zone d'étude (1985-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Vitesse m/s	3,1	2,8	2,9	2,1	2,7	3,0	2,6	3,0	3,1	3,0	3,0	2,7	2.5

(Source : ANRH)

L'Analyse du tableau I.5 montre des vitesses relativement homogènes tout le long de l'année avec une moyenne annuelle oscillant autour de 2.5 m/s, cette valeur est relativement faible.

**I-6-5) Le Sirocco :**

C'est un vent chaud et sec qui souffle du Sahara vers le littoral. Il est très néfaste pour les végétaux car il peut provoquer le flétrissement de la plante ainsi que des chutes de rendement, donc sa connaissance est primordiale pour le choix des espèces à préconiser dans le périmètre.

Le nombre de jours de Sirocco est présenté dans le tableau suivant :

**Tableau I.6 :** Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de sirocco (1985-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	année
N. de jours	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.0	1.0	4

(Source : ANRH)

**I-6-6) Insolation :**

L'insolation dépend de la latitude, du mois de l'année, de l'exposition solaire et de la nébulosité, ce qui explique les variations des valeurs d'un site à l'autre.

Le tableau **I.7** présente les valeurs moyennes mensuelles et annuelles de la durée d'insolation journalière. Les valeurs moyennes mensuelles varient régulièrement pendant l'année : les valeurs les plus élevées correspondent au mois d'été, avec comme valeur maximale 11.3 h par jour pour le mois de juillet et les valeurs minimales pendant le mois de Février (5.4h par jour).

Les valeurs mensuelles moyennes observées sont présentées au tableau suivant :

**Tableau I.7:** Moyennes mensuelles d'insolation en heures (1985-2011).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
H/jour	8,8	7,2	6,0	5,7	5,5	5,4	7,9	9,1	8,9	9,3	11,3	9,8	7,9

(Source : ANRH)

**I-6-7) Gelée blanche :**

La gelée blanche est nuisible pour les cultures et peut causer des dégâts mécaniques et biochimiques vis à vis des rendements agricoles.

Les valeurs moyennes des gelées sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau I-8 :** Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de gelée. (1985-2011).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
N.de Jour	7	8	3	1	0	0	0	0	0	0	2	4	25

(Source : ANRH)

Pour notre zone d'étude, ce phénomène est fréquent en hiver (Novembre-Avril) avec un maximum qui varie de 7 à 10 jours au mois de Janvier et février, donc un grand risque de gelée se posé.

**I-7) Classification du climat :**

Pour la classification du climat, on utilise généralement les paramètres agro-météorologiques, qui se basent essentiellement sur la température et la pluviométrie de la zone.

**I-7-1) Indice de Martonne :**

L'indice d'aridité de Martonne est un paramètre qui permet la classification du climat en fonction d'un rapport de température sur la pluviométrie annuelle, cet indice nous renseigne sur la nécessité d'introduction de l'irrigation par rapport au climat :

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

**Avec :**  $I_A$  : indice climatique.

**P** : précipitation moyenne annuelle (mm).

**T** : température moyenne annuelle (°C).

**Tableau I.9 :** Classification de climat selon Mr Martonne.

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

➤ A.N:  $P=367.71\text{mm/an}$  et  $T=15.8^\circ\text{C}$

$$I_A = \frac{367.71}{15.8 + 10} \approx 14.25$$

$$I_A=14.25 \quad \text{donc : } 10 < I_A \leq 20$$

D'où notre climat est sec, donc l'irrigation est souvent indispensable.

### ***I-7-2) Classification du climat selon le diagramme d'Emberger :***

Le quotient pluviométrique d'Emberger s'exprime par la formule suivante

$$Q = \frac{P}{M^2 - m^2}$$

**Avec :**

**Q** : coefficient pluviométrique d'Emberger.

**P** : précipitation moyenne annuelle (mm).

**M** : maximum des températures maximales (Kelvin).

**m** : minimum des températures minimales (Kelvin).

**Pour** :  $P=367.71$  ;  $M=34.6^\circ\text{C}$  et  $m=2.4^\circ\text{C}$ , on trouve :  $Q= 39$

D'après le diagramme bioclimatique d'Emberger (voir Annexe I), on peut dire que le climat de notre région est un climat semi-aride.

### ***I-7-3) Classification du climat selon l'indice de Bagnouls et Gaussen :***

Dans cet indice, on considère qu'un mois est sec quand le cumul des précipitations exprimées en millimètre est inférieur au double de la température, c'est-à-dire quand le rapport  $P/T < 2$ , ce diagramme ombrothermique permet la détermination de la période sèche.

Lorsque la courbe des précipitations passe au-dessous de la courbe des températures, la période qui s'étale entre les points d'interactions des deux courbes correspond à la durée de la période sèche.

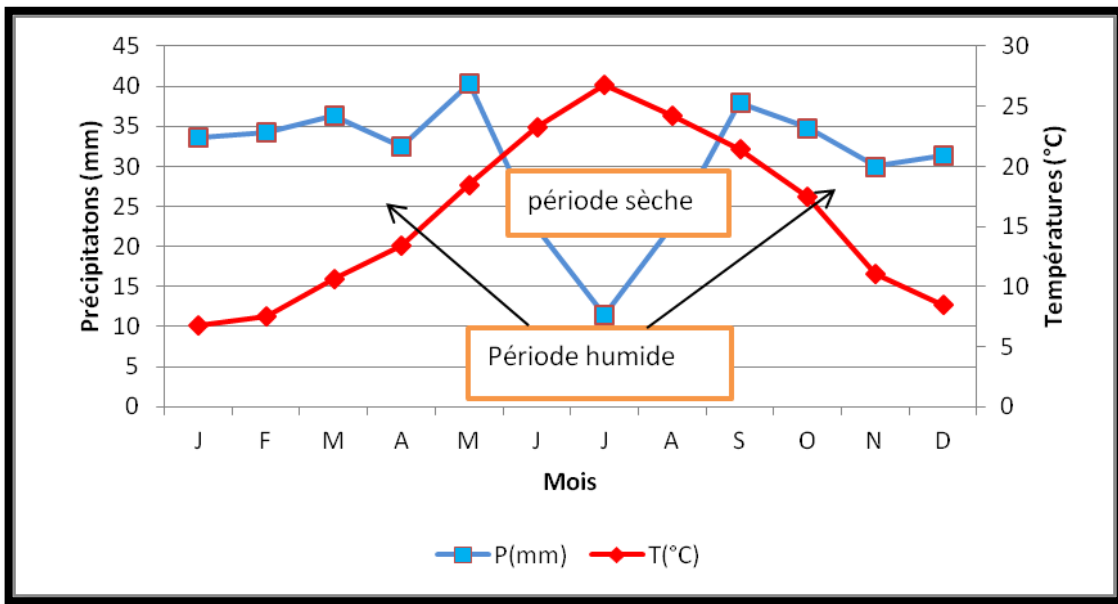


Figure I-10 : Diagramme Ombrothermique de Guassen.

➤ **Interprétation :**

-la période sèche s'étale commence au milieu du mois de Mai jusqu'au début de la fin du mois de Aout.

***Conclusion :***

La wilaya de Khenchela représente une riche entité agricole, et recèle d'importantes surfaces agricoles qui doivent être exploitées dans le développement de la wilaya.

Dans ce chapitre nous avons étudié les conditions naturelles de la zone d'étude qui nous ont amenés aux conclusions suivantes :

La zone d'étude concerne le périmètre d'irrigation de M'toussa, et qui présente des potentialités hydro-agricoles importantes.

Les paramètres climatiques et agro-météorologiques indiquent que la zone d'étude est relativement semi-aride. L'introduction de l'irrigation est donc indispensable pour un développement des cultures et une intensification de l'agriculture dans cette zone rurale.

# Chapiter II :

## Ressources en sol

---

## *Chapitre II : Ressources en sol*

### *Introduction :*

Avec le climat, le sol constitue le milieu dans lequel la plante se développe. Le sol est le support de la plante, les racines en occupent un volume plus ou moins important et y fixent la plante. Il est également son réservoir alimentaire; les racines y puisent l'eau et les sels minéraux indispensables.

L'étude pédologique du périmètre a pour objectifs:

-d'apprécier les potentialités des terres vis-à-vis de l'irrigation; en mettant l'accent sur les aptitudes des différentes zones et sur l'existence de contraintes pour l'aménagement.

-de fournir à l'ingénieur d'irrigation les données fondamentales caractérisant les relations entre le sol et l'eau telles que la dose d'irrigation et l'organisation des arrosages.

### *II-1) Typologie et Classification des sols :*

Les processus pédogénétiques prédominants sont fortement liés à la nature des matériaux originels des sols, à la morphologie générale du périmètre et au contexte climatique et aux activités humaines très anciennes.

### *II.2) Classification des sols :*

L'étude pédologique du périmètre d'étude ainsi que les cartes pédologiques et en se basant sur la classification française (CSPS, France 1967) ont permis de distinguer une seule classe de sol. Il s'agit des sols peu évolués d'origine non climatique, d'apport alluvial modaux. Les sols peu évolués sont formés d'apports d'origine mixte alluviaux et localement d'origine éolienne. Leur profil caractéristique est du type AC. L'horizon A, a une épaisseur très variable évoluant directement sur des matériaux.

#### *II.2.1) Les sols peu évolués d'origine non climatiques d'apport alluvial modaux :*

Ces sols occupent la majorité des terres du périmètre. Ils sont caractérisés par une profondeur moyenne et un manque d'encroûtement dans le profil.



**II.2.2) Prospection pédologique :**

Cette prospection ayant porté sur toute la zone d'études est effectuée à l'aide d'une tarière et la description des carottes in situ ainsi que l'analyse de douze échantillons au laboratoire. L'analyse a porté sur cinq (5) profils pédologiques uniformément répartis sur le périmètre.

**II.2.3) Levé pédologique :**

Une tranche de sol est appelée profil du sol et chaque couche du profil est appelée horizon. Les changements de couleur et d'apparence générale du sol peuvent être utilisés pour déterminer les différents horizons du sol.

**PROFIL N° 01****Géomorphologie :** plaine**Lithologie :** alluvions**Relief :** plat**Charge en éléments grossiers :** nulle**Drainage :** nul à faible**Occupation actuelle :** culture de céréales**Description des horizons :**

**0 à 40 cm :** frais ; limon sablonneux ; structure grumeleuse ; débris organiques ; porosité importante ; présence de racines ; non plastique ; friable ; transition nette.

**40 à 100 cm :** sec ; argilo-limoneux ; structure polyédrique grossière ; matière organique non décelable ; porosité faible ; quelques racines ; non friable ; peu compact ; transition diffuse.

**100 à 150 cm :** frais, argileux ; structure massive ; matière organique non décelable ; porosité faible ; non friable ; compact.

**Classification :****Classe :** Sol peu évolué**Sous classe :** D'origine non climatique**Groupe :** D'apport alluvial**Sous groupe :** Vertique**Famille :** Sur glacis polygéniques.**Série :** avec niveau compact.

### **II-3) Analyses physico-chimiques des sols :**

#### **II-3-1) Texture du sol :**

La texture du sol se définit par ses proportions relatives en argile, limon, sable fin, sable grossier. Ces particules plus ou moins fines interviennent sur les propriétés physiques du sol. On dit d'un sol qu'il est plus ou moins lourd ou léger, selon qu'il se compacte facilement (il colle en cas de pluie) ou qu'il se délite.

#### **II-3-2) Calcaire total et calcaire actif :**

Le calcaire actif est la fraction fine du calcaire total lorsqu'il est présent à des taux élevés peut provoquer le blocage et l'assimilation du fer qui entraîne un jaunissement des feuilles (chlorose), une fragilité des cultures aux différentes maladies et par la même une réduction des rendements, c'est un facteur très important dans le choix des cultures il est la cause de la chlorose de plusieurs espèces.

- Teneur faible :  $0 < \text{CaCO}_3 < 7 \%$ .
- Teneur moyenne :  $7 < \text{CaCO}_3 < 12 \%$ .
- Teneur riche :  $12 < \text{CaCO}_3 < 25 \%$ .
- Teneur très riche :  $\text{CaCO}_3 > 25 \%$ .

#### **II-3-3) Le pH et la Conductivité électrique :**

##### ➤ **La conductivité électrique :**

Est aussi un facteur très important dans le choix des espèces, les sels par leurs pouvoir asphyxiant blocs les espaces poreux des sols, ni l'eau ni l'air ne peuvent y circuler ils doivent être constamment irrigués il donc préférable d'avoir des sols salé que des sols sodique ou l'ion Na démantèles complètement la structure et la rend poudreuse son estimation a été faite sous la base de l'échelle de l'extrait aqueux rapport 1/5

C E : conductivité électrique :

- Non salé :  $\text{CE} < 0.6 \text{ mmhos/cm}$ .
- Peu salé :  $0.6 < \text{C E} < 1.2 \text{ mmhos/cm}$ .
- Salé :  $1.2 < \text{C E} < 2.4 \text{ mmhos/cm}$ .
- Très sale :  $2.4 < \text{C E} < 6 \text{ mmhos/cm}$ .
- Extrêmement salé :  $\text{C E} > 6 \text{ mmhos/cm}$

➤ *Le pH :*

Il exprime l'acidité actuelle qui est définie par la concentration des ions H<sup>+</sup> libre existant dans la solutions du sol, les pH supérieur à 7 est considéré comme basique inférieur acide est égale a 7 neutre .dans notre cas, est variable compris entre 7.9 et 8.6.

L'analyse physico-chimique et biologique est donnée pour certains profils, les résultats sont résumés dans le tableau **II.1** :

*Tableau II.1* : Analyses physico-chimiques des sols.

<b>BORDEREAU DES DONNEES</b>			
<b>Granulométrie</b>			
A (%)	46	43	40
LF (%)	34	41	41
LG (%)	3	4	5
SF (%)	10	5	8
SG (%)	6	3	1
<b>Matières Organiques</b>			
MO %	1.38	1.53	1.63
C (mg/Kg de sol)	8.1	9.1	9.6
N (mg/Kg de sol)	0.77	0.94	1.0
C /N	1.1	1.0	1.0
<b>Réserve minérales</b>			
CaCO3 total (%)	27.95	31.82	32.25
CaCO3 actif (%)	14.26	14.13	14.88
P Total (mg P/Kg de sol)	1.65	1.39	1.58
P 205	28	24	28
K20 (mg/Kg sol)	1.44	1.21	1.06
<b>Solution de sol</b>			
PH eau (1/5)	7.62	7.76	7.96
<b>Complexe Absorbant</b>			
Ca	42	35	34
Mg	9	7	6
K	0.6	0.6	0.8
Na	1.13	1.52	0.87
T	21	20	23

(Source INSD)

➤ *Interprétation des résultats :*

-D'après l'analyse au laboratoire (tableau II.1), et en se basant sur le triangle USDA on voit nettement que la texture des sols est argileuse à argileux-limoneuse.

- le pH des horizons est toujours supérieur à 7.2 sans dépasser 8.8 .

-La matière organique joue un rôle essentiel dans la structure du sol et dans la nutrition de la plante. La teneur optimale en matière organique est fonction des teneurs en argile et en calcaire du sol. Elle s'exprime en pourcentage de la matière sèche de l'échantillon de terre. Pour le cas de nos sols, elle se situe aux environs de 1.5 %.

-Le taux de calcaire fluctue entre 27 et 33 % avec un calcaire actif compris entre 14 et 15 %.

**II.4) Caractéristiques hydrodynamiques des sols :**

L'étude hydrodynamique a porté sur les profils types, elle concerne la perméabilité en surface, la conductivité hydraulique sur 1.20 m, la porosité du sol, les densités réelles et apparentes.

**II.4.1) La densité apparente et la densité réelle :**

➤ La densité apparente se mesure comme suit :

$$Da = \frac{M_{sec}}{V_{tot}}$$

**Avec :**

$M_{sec}$  : masse du sol en place séché à 105 °C (g) (corrigée par l'humidité résiduelle).

$V_{tot}$  : volume du sol et des pores (ml) = volume du cylindre.

➤ La densité réelle traduit le poids spécifique moyen des particules solides, elle est mesurée comme suit :

$$Dr = \frac{m_{sec}}{V_{sec}}$$

**Avec :**

$V_{sec}$  : est le volume du sol excluant l'air qui s'y trouve.

**II.4 .2) Définition de la porosité -Valeur de la porosité :**

Entre les éléments structuraux subsistent des pores qui assurent le stockage et la circulation de l’air, de l’eau et des racines. La porosité est le volume de vide en % du volume total.

La porosité est calculée à partir des densités apparentes et réelles par la formule :

$$P\% = \frac{Dr - Da}{Dr} . 100$$

➤ **Résultats et interprétation :**

**Tableau II.2 :** Récapitulatif des mesures hydrodynamiques.

Profils	Profondeur Cm	da	dr	p (%)	Conductivité m/j	Perméabilité (cm/h)
<b>01</b>	0 - 40	1,50	2,12	29,25	<b>0.20</b>	<b>0.7</b>
	40 - 100	1,51	2,21	31,67		
	100 - 150	1,42	2,45	42,04		
<b>02</b>	0 -20	1,51	2,21	31,67	<b>0.20</b>	<b>0.69</b>
	20 - 80	1,52	2,24	32,14		
	80 - 150	1,48	2,51	41,04		
<b>03</b>	0 - 30	1,50	2,18	31,19	<b>0.21</b>	<b>0.68</b>
	30 - 80	1,33	2,36	43,64		
	80 - 150	1,48	2,48	40,32		

(Source INSID)

➤ **Interprétation :**

D’après le tableau II.2, on remarque :

-Les valeurs de la perméabilité en surface varient entre 0,68 et 0,7 cm/h. Ces valeurs caractérisent un sol peu perméable.

-Les valeurs de la densité réelle varient de 2,12 à 2,51. Leur fluctuation dans le profil résulte du caractère alluvial des sols.

-Les valeurs de la densité apparente varient de 1,33 à 1,50 g/cm<sup>3</sup> et caractérisent les sols argileux et limoneux.

-La porosité totale passe de 44% dans le profil 03 à 29% dans le profil 01. En général jusqu’à 100 cm de profondeur la porosité reste bonne à très bonne.

### **II-5) Etude des aptitudes culturales :**

Les aptitudes culturales des différentes unités pédologiques définies ont été établies en tenant comptes des paramètres édaphiques suivants :

- La profondeur du sol
- La texture du sol (selon la profondeur des racines de la culture)
- La structure des horizons en fonction de l'enracinement de la culture
- Présence d'éléments grossiers dans le profil
- L'hydromorphie
- La salinité du sol
- Le calcaire
- La réaction du sol (pH).

#### **II.5.1) Les aptitudes définies :**

Étant donné la nature des sols représentée par des sols peu évolués d'apports alluviaux argileux et calcaires, les aptitudes culturales ont été analysées comme suit :

**a) Cultures céréalière et fourragères :** Le sol convient bien pour certaines céréales (blé dur, blé tendre, orge...), de même pour les fourrages (avoine, ray-grass, fétuque...), mais deviennent moyennement pour la luzerne, bersim, sorgho, maïs.

**b) Culture maraichères :** Les sols conviennent moyennement pour les cultures d'artichaut, le chou et le chou-fleur qui paraissent plus indiqués et, à un degré moindre, l'ail, l'oignon, la tomate, le piment, le poivron et les cucurbitacées. La texture fine et le mauvais drainage dans ces sols participe fortement à la prolifération des maladies fongiques racinaires .

**c) Cultures industrielles :** Ces des sols qui convient moyennement aux cultures industrielles (tomate, tabac,...) pouvant rencontrées les mêmes contraintes édaphiques notés pour les cultures maraichères, les travaux du sol : de labours profonds et d'amendements organiques s'imposent.

**d) )Cultures arboricoles :** l'aptitude culturale arboricole est indiquée en quatrième position pour ces sols, la texture lourde et le taux de calcaire actif élevé associé au mauvais drainage limitent fortement les possibilités d'installation de vergers. L'olivier peut être cultive avec des aptitudes moyennes.

Pour les autres cultures arboricoles fruitières, seules les variétés de pommier greffées sur porte greffe résistant au calcaire peuvent s'adaptées moyennement sur sols dont la profondeur dépasse 1.4 m. Notant bien que la pourriture des racines et le chancre du collier par les genres *Armillaria* et *Phytophthora* seraient considérables causant le dépérissement plus ou moins rapide de l'arbre.

**Tableau II.3 :** Les espèces culturales.

N°	Espèces:	N°	Espèces:	N°	Espèces:	N°	Espèces:
	Arboriculture		Cultures maraichères		Céréales et fourrages		Cultures industrielles
1	agrumes	1	Artichaut	1	Luzerne	1	Betterave sucrière
2	Pêcher/Franc	2	Tomate	2	Bersim	2	coton
3	Pêcher/Amandier	3	Oignon	3	Sorgho	3	Tournesol
4	Pêcher/Prunier	4	Pomme de terre	4	Mais	4	Tabac
5	Abricotier/Franc	5	Carotte	5	Féтуque	5	Lin
6	Abricotier/Prunier	6	Navet	6	Vesce avoine		
9	Olivier	7	Chou-fleur	7	Ray gras		
10	pommier/Franc	8	Chou pommé	8	Blé dur		
11	pommier/Doucine	9	Epinaрд	9	Blé tendre		
12	pommier/Pa radja	10	Laitue	10	Orge		
13	Poirier/Franc	11	Ail				
14	Poirier/Cognassier	12	Aubergine				
15	Figuier	13	Pastèque				
		14	Melon				
		15	Piment poivron				
		16	Haricot vert				
		17	Concombre				
		18	Pois				



Les espèces culturales préconisées dans le périmètre en fonction de leur aptitude sont indiquées comme suit :

*Tableau II. 4 : Degré d'aptitude culturale.*

Type de sol	cultures	Degré d'aptitude culturale	
		Bonne pour	Moyenne pour
les sols peu évolués	Arboriculture: (B43)		9,15
	Cultures maraichères: (M11)	2, 3, 4, 7, 8, 9, 10,11 15,16, 17,18	1, 5,6
	Céréales et fourrages:(C10)	6, 7, 8, 9,10	1, 2, 3, 4,5
	Cultures industrielles:(I13)		1, 2, 3,5 ,6

***Conclusion :***

Lasse Ce chapitre a été consacré à l'analyse agro-pédologique de la zone d'étude. Les sols appartiennent à la classe des sols peu évolués.

Les analyses physico-chimiques des sols ont mis en évidence des propriétés adéquates. En effet, la majorité des sols présentent les caractéristiques suivantes :

- La texture argileuse à argileux-limoneuse.

- Les sols présentent une bonne activité biologique avec un taux de matières organiques décelables, avec cependant un taux de calcaire relativement élevé.

De façon générale les sols présentent de bonnes aptitudes culturales à diverses spéculations agricoles les plus cultivées dans la région, ce qui constitue un avantage agronomique.

L'aménagement du périmètre de Mouilah représente une opportunité socio-économique importante, il permettra le développement de l'agriculture dans la commune de M'toussa dans la wilaya de Khenchela.

# Chapitre III

## Ressource en eau

---

## *Chapitre III : Ressources en eau*

### *Introduction :*

Avant d'entamer une étude d'aménagement hydro-agricole, il est indispensable de localiser et de quantifier l'eau nécessaire à l'irrigation. Pour cela on va présenter les ressources en eau qui peuvent alimenter notre zone d'étude.

Il est à noter que deux types de sources en eau sont généralement utilisés : les ressources en eau superficielles, et les ressources en eau souterraines.

### *III.1) Alimentation en eau du périmètre de Mtoussa :*

La wilaya de Khenchela est une wilaya à vocation agricole. Cependant, vu le caractère semi-aride de la région, on doit noter la faible mobilisation des ressources en eau superficielles (il s'agit d'un barrage envasé, quelques retenues collinaires, et un Oued à faible débit). De ce fait, l'irrigation dans cette région est basée essentiellement sur les eaux souterraines.

Le périmètre de M'toussa sera alimenté entièrement par le champ de captage de Mouilah, les coordonnées et les différentes caractéristiques des forages et l'eau d'irrigation sont détaillées comme suit :

**Tableau III.1** : Coordonnées et caractéristiques des forages.

<b>forage</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Niveau statique (m)</b>	<b>Niveau dynamique (m)</b>	<b>Débit de forage L /S</b>
<b>(W5)</b>	<b>Z =869.5</b>	<b>-20.41</b>	<b>-24.5</b>	<b>60</b>
<b>(W6)</b>	<b>Z = 870.80</b>	<b>-20.82</b>	<b>-24.1</b>	<b>60</b>

(Source INSID)

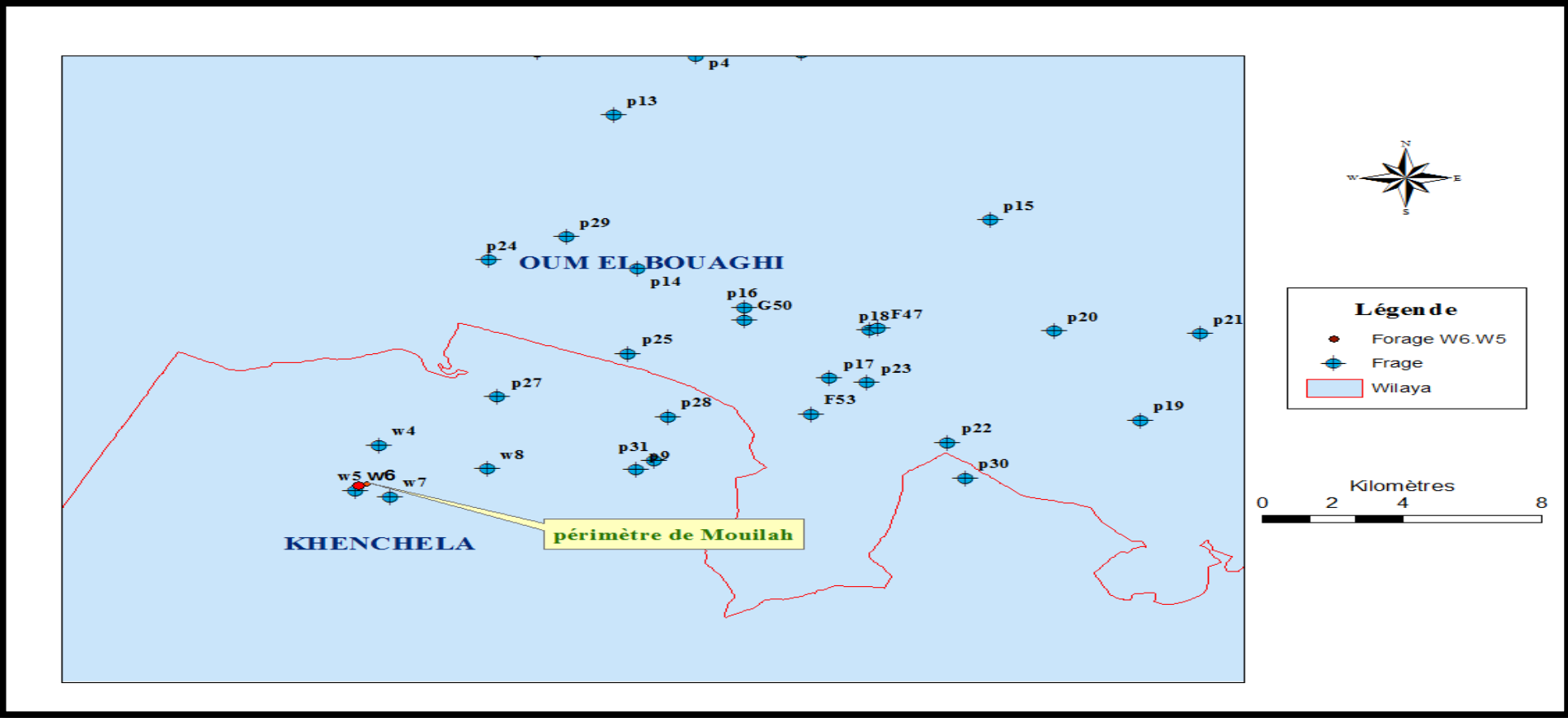


Figure III.1 : Localisation des forages de la zone d'étude  
(Réalisee sous ARC-GIS)

### **III.2) Géologie de la zone d'étude:**

Conformément à la disposition physico-géographique de l'Algérie, le territoire étudié est situé dans la zone des chaînes montagneuses de l'Atlas Sahrien, dans sa région la plus haute et compliquée -le massif montagneux- plissé de l'Aurès. Au Nord-ouest, la dépression étroite Batna- El-kantara sépare le massif d'Aurès des monts de Hodna. Au Nord, des montagnes d'Aurès est située la cavité de Timgade dont la partie centrale est occupée par l'écran de Garaet et Taref.

Selon la structure le massif d'Aurès présente une série des crêtes plissées parallèles orientées du sud-ouest au nord-est. la hauteur de certains sommets de l'Aurès dépasse 2000 m (le point le plus haut de la région est la montagne Chélia dont l'altitude absolue est de 2328 m).

Dans le plan géologique, le massif montagneux d'Aurès est constitué de couches massives du Jurassique, des formations du crétacé et du paléogène dont la puissance sommaire dépasse 6000 m.

Dans la coupe géologique de la région on distingue des complexes importants des sédiments :

- Terrigéno-carbonatés (jurassique supérieur-crétacé inférieur) ;
- Carbonatés (crétacé supérieur, paléocène, éocène inférieur) ;
- Gypsifère (éocène moyen) ;
- Molasse (éocène supérieur-olygocène).

**Lithostratigraphie** : D'après l'inventaire stratigraphique dressé par plusieurs géologues, les terrains les plus anciens sont attribués au Trias et les plus récents au Quaternaire.



### III.3) Cadre hydrogéologique de la zone d'étude :

Trois systèmes aquifères sont distingués dans la wilaya de Khenchela : le Quaternaire, le Crétacé, et le Miocène. On dénombre quatre nappes aquifères, l'une est superficielle, il s'agit de nappes phréatiques hétérogènes et le reste sont des nappes profondes représentées par la nappe des plaines d'effondrement, la nappe des calcaires fissurés et la nappe des formations continentales.

La profondeur de ces formations aquifères varie de **5 à 600 m**. Le volume total prélevé à partir de l'ensemble des aquifères est de 34 millions de m<sup>3</sup>/an .

Dans cette région il existe également une nappe aquifère encaissée dans les formations alluviales du quaternaire et dans les formations que l'on a conventionnellement désignées comme diluviennes.

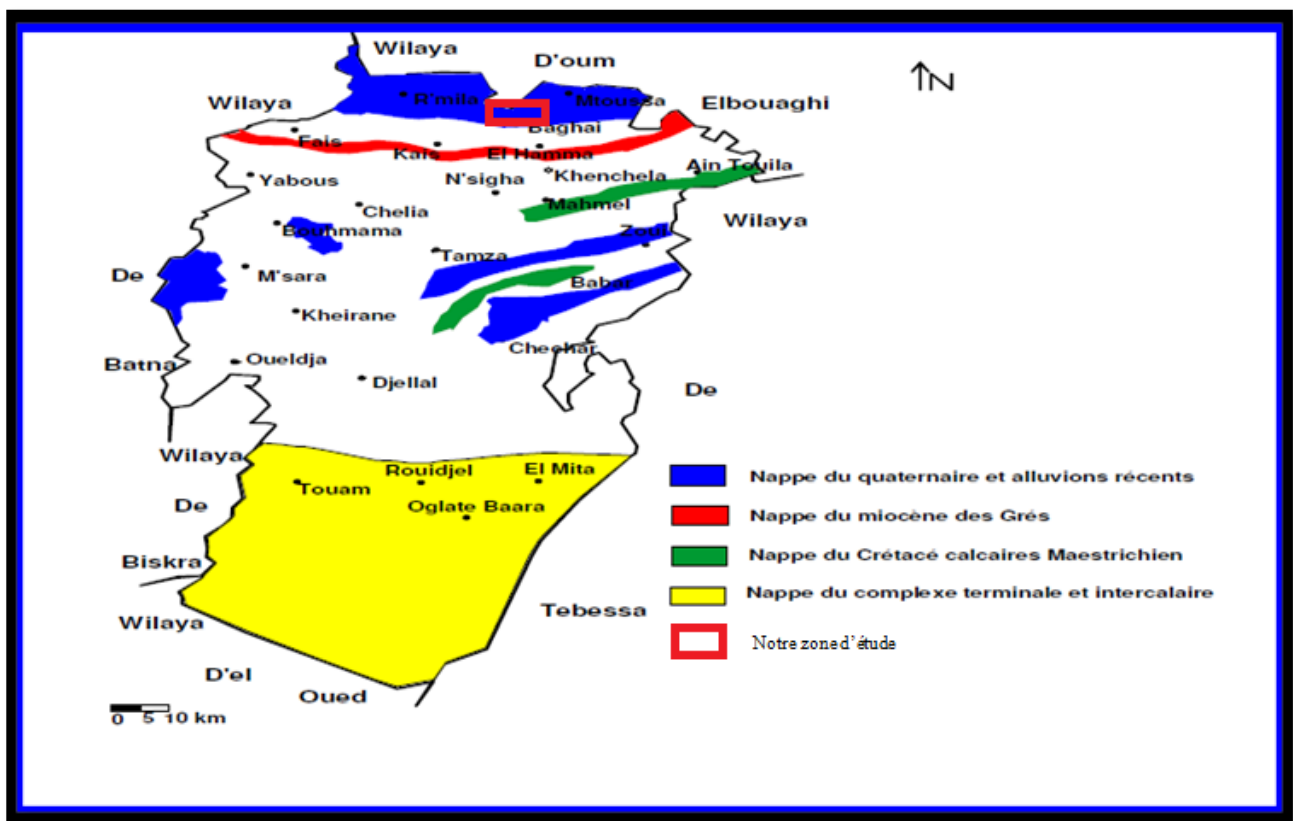


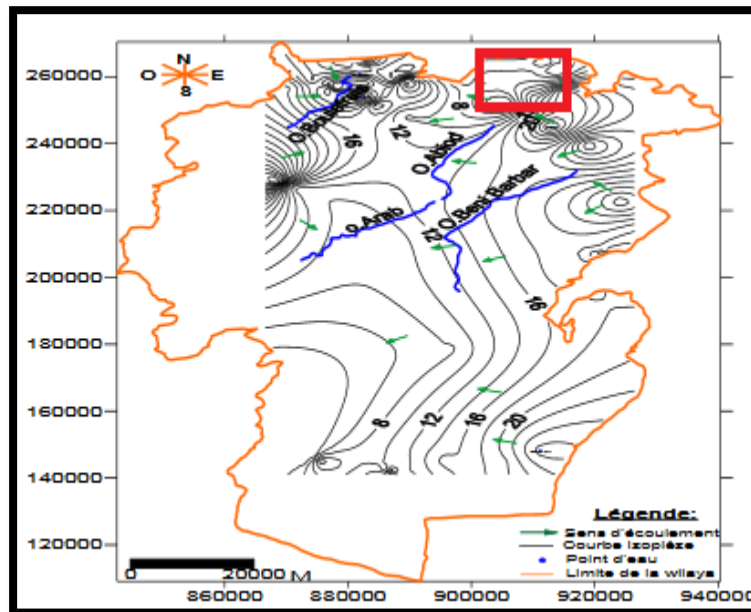
Figure III.3 : Carte de délimitation des zones aquifères de la région de Khenchela.

[BOUBELIS, 2009]



### III.3.1 Piézométrie des aquifères :

L'exploitation des cartes piézométriques en particulier des quaternaires qui englobe notre zone d'études, montre que la formation du Quaternaire caractérisée par un sens d'écoulement de direction Sud Ouest -Nord Est dans le secteur Ouest, Nord Est -Sud Est dans le secteur Est, et Nord- Ouest dans le secteur Sud.



*Figure III.4* : Carte piézométrique du Quaternaire  
[H.CHAFAI & al, 2013]

### III.3.2) Propriétés physiques et chimiques des nappes :

#### ➤ Paramètres physiques :

- La température:

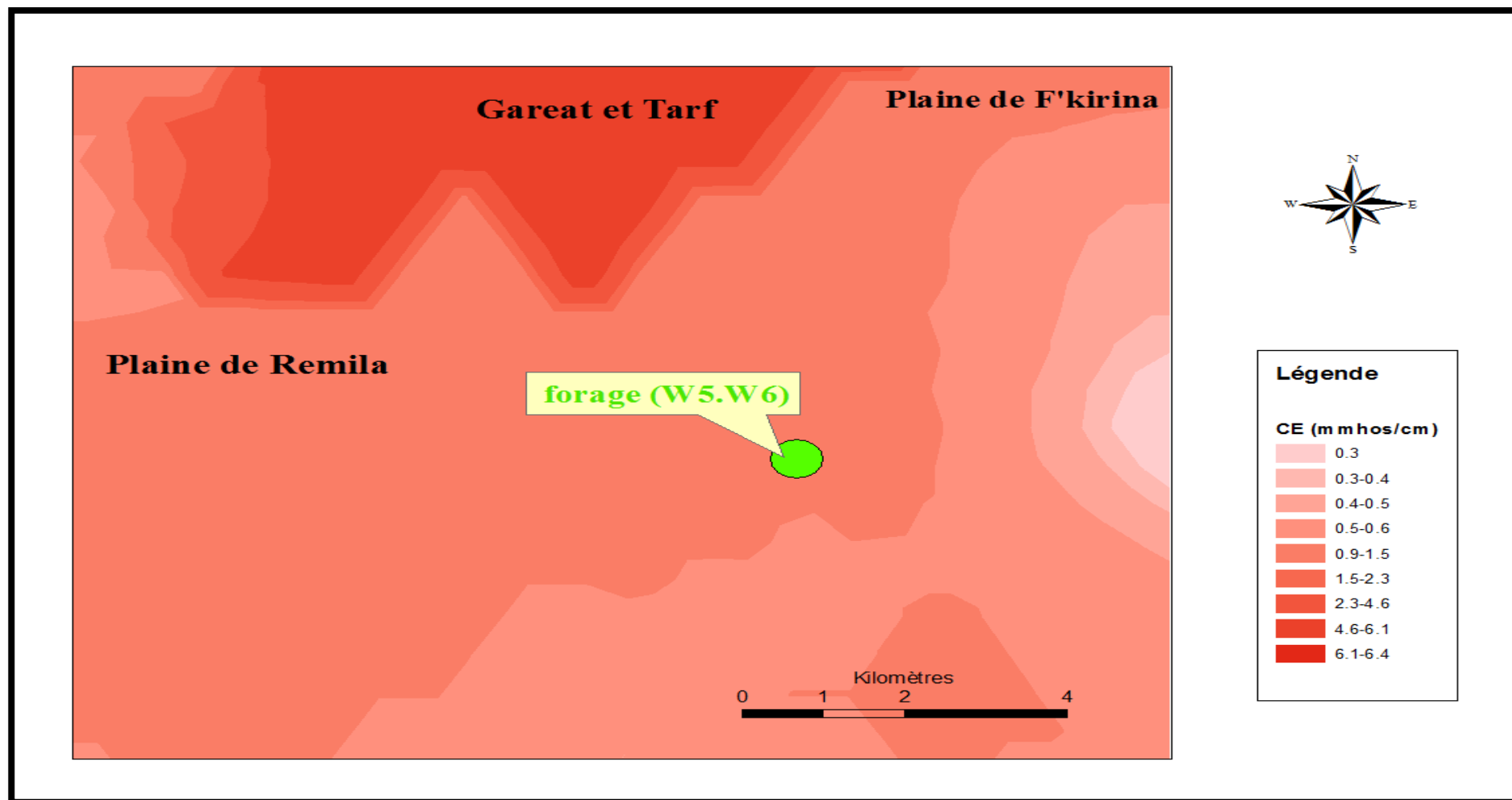
La température est un paramètre intéressant dans l'étude des eaux elle joue un rôle très important dans la solubilité des minéraux. Les températures prélevées des puits varient de 9°C à 19°C.

- Le pH :

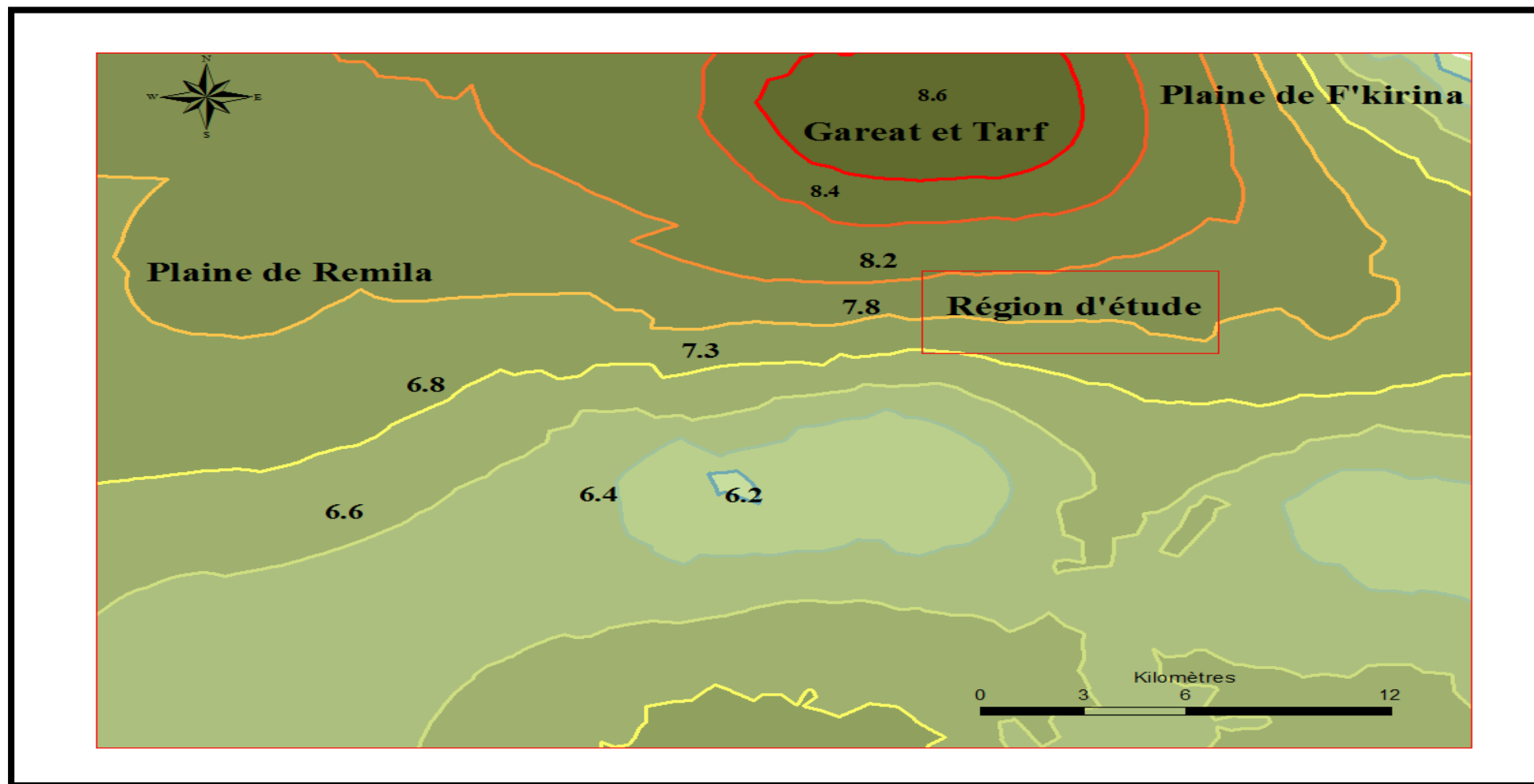
Le pH mesuré dans la région d'étude au niveau des points de prélèvements varie entre 6.67 et 8.6 pour les puits.

- La conductivité :

La région d'étude marquée par des conductivités allant de 352.44 à 1930.28  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .



**Figure III.5:** Carte de distribution Spatiale de la conductivité électrique en mmhos/cm  
 (( Réalisée sous ARC-GIS.(méthode d'interpolation spatial)).



**Figure III.6:** Carte de distribution Spatiale de PH.  
 (Réalisée sous ARC-GIS.(méthode d'interpolation spatiale)).

➤ *facies chimiques des eaux :*

Le faciès chloruré calcique occupe une grande partie de la plaine de Gareat El Tarf, la teneur en  $Ca^{++}$  est liée aux formations calcaireuse du Crétacé et à la croûte calcaire du Quaternaire.

Le calcium est remplacée par le  $Na^+$  en s'approchant du lac salé pour donner un faciès chloruré sodique.

Le faciès Bicarbonaté calcique s'observe dans la partie Sud-Est de la plaine de F'kirina et la partie Sud de la plaine de Remila où il existe des formations riches en bicarbonate (calcaire du Crétacé supérieur).

Le faciès Bicarbonaté magnésien apparaît uniquement dans les eaux de la nappe profonde. la teneur en  $Mg^{++}$  provient des calcaires dolomitiques du Trias.

Le faciès sulfaté calcique se met en place au centre de la plaine de F'kirina et se disperse dans la plaine de Remila. Vu la largeur du secteur d'étude ; sa présence peut être due à plusieurs raisons.

On pourrait y avoir l'influence des éléments gypsifères du trias, la pollution provenant du gisement de la Baryte ( $BaSO_4$ ) situé dans la partie Sud-Ouest du bassin de Gareat et Tarf, la présence d'inclusions évaporitiques riches en gypses (CGG.70.Vila 77) dans un terrain inondable. Cette zone est une superficie agricole et contribue à l'enrichissement du milieu, par concentration et infiltration des sulfates, apporté par l'utilisation des fertilisants.

-Le faciès sulfaté sodique se met en place autour de la (Sebkha), ce qui ne laisse pas un doute sur l'influence de cette dernière sur la composition physico-chimique de ces eaux. [DALIN, 2009]

### **III.5) Classification des eaux d'irrigation :**

L'analyse des échantillons prélevés à partir des deux forages représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III.2:** Analyses physico-chimiques des eaux des forages

Eau de :		Ca	Mg	N	SAR	PH	CE
Forage W5	Echantillon1	80	50	83	1.78	7.8	1.49
	Echantillon2	76	44	87	1.96	7.9	1.4
Forage W6	Echantillon1	96	50	80	1.65	7.82	1.49
	Echantillon2	79	60	84	1.72	7.84	1.4

(Source INSID)

**Classification américaine :**

La classification américaine des eaux d'irrigation est basée sur deux paramètres : la Conductivité électrique CE, et le rapport d'absorption du Sodium SAR.

**a) Pour la Conductivité électrique (CE) :**

La conductivité électrique est une propriété associée à la mobilité des ions, elle est mesurée à 25°C et exprimée en mmhos/cm.

On distingue quatre classes de danger de salinité de l'eau en fonction de la conductivité électrique :

**Tableau III-3 :** Classification des eaux en fonction de la conductivité électrique

Classe	Conductivité électrique (CE) (mmhos/cm) à 25°C	Qualité des eaux
C1	$CE \leq 0,25$	Eau de risque faible (salinité)
C2	$0,25 < CE \leq 0,75$	Eau de risque moyen
C3	$0,75 < CE \leq 2,25$	Eau de risque élevé
C4	$CE > 2,25$	Eau de risque très élevé

**➤ Remarque :**

- **C1** : convient pour toutes les cultures.
- **C2** : convient pour les plantes moyennement tolérantes.
- **C3** : ne convient qu'à des sols bien drainés et des plantes tolérantes.
- **C4** : eau difficilement utilisable sur sol bien drainé.

**b) Pour le coefficient d'adsorption du Sodium (Sodium Absorption Ration S.A.R) :**

Le SAR est définie comme étant une mesure de pouvoir de remplacement des ions  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  par le sodium dans les argiles et les colloïdes, il est exprimé par la relation suivante :

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

**Avec :** S.A.R : Sodium Adsorption Ratio

$Mg^{++}, Ca^{++}, Na^+$  en méq/l.

Elle distingue quatre classes :

**Classe S1** : SAR de 10 et moins, avec un bas taux de sodium : l'eau peut être utilisée sur pratiquement n'importe quel type de sol avec un risque minimal d'accumuler du sodium à un niveau dommageable.

**Classe S2** : SAR de 10,1 à 18 taux moyen de sodium : l'eau présente un danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Par contre, l'eau peut être utilisée dans les sols sableux ayant une bonne perméabilité.

**Classe S3** : SAR de 18,1 à 26 haut taux de sodium : peut produire des niveaux dommageables de sodium dans pratiquement tous les types de sols. L'utilisation d'amendements tels que le gypse pourraient être nécessaires pour échanger les ions Sodium. De plus, les pratiques culturales augmentant le drainage seront requises plus fréquemment.

**Classe S4** : SAR au-dessus de 26,1 très haut taux de sodium : cette eau est généralement inadéquate pour l'irrigation.

➤ **Interprétation des résultats des analyses :**

D'après les résultats qu'on a, on peut dire que :

1-Notre eau qui a une C.E =1.44 mmhos /cm fait partie de la classe C3, elle ne convient qu'à des sols bien drainés.

2-Notre eau a un S.A.R =1.78 ; c'est-à-dire appartient à la classe S1.ce sont des eaux faiblement alcalines et peuvent être utilisées du point de vue alcalin pour tous les sols avec peu de danger de donner un taux de Na échangeable qui est nocif pour les sols et pour les plantes.

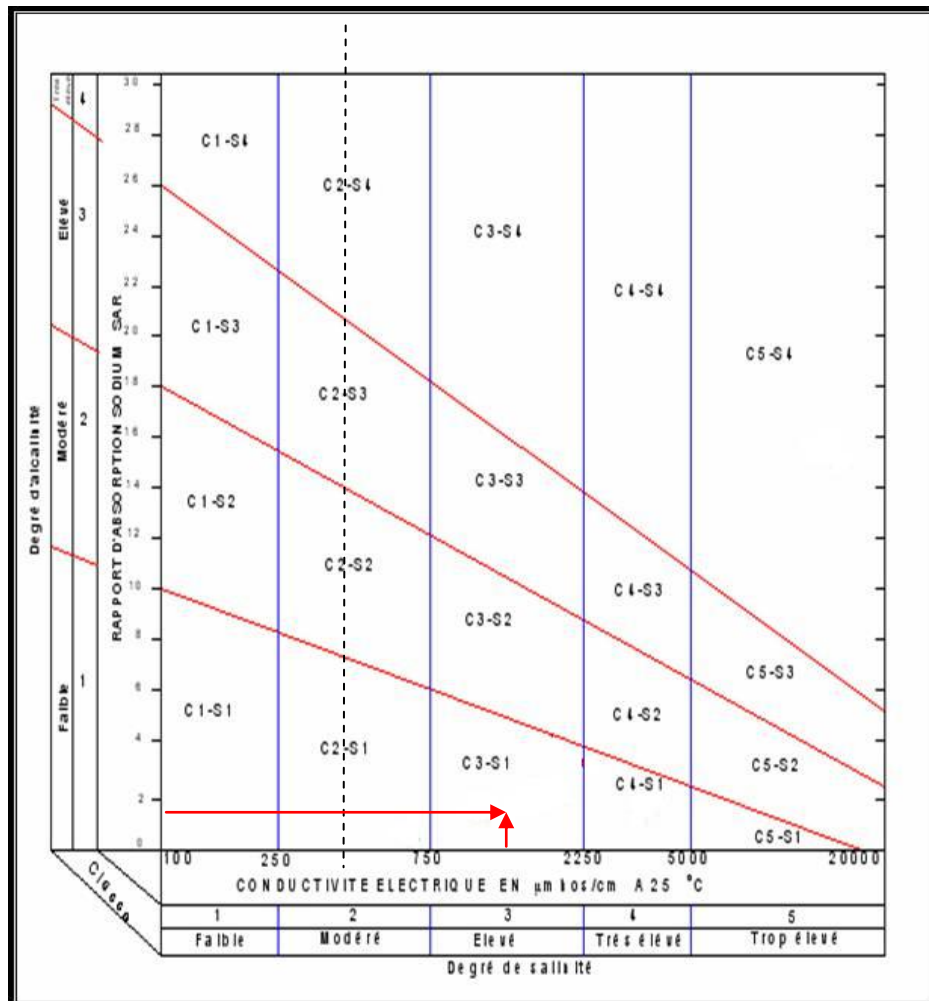


Figure III-7: Diagramme de Riverside.

#### III.4) Lutte contre la salinité :

➤ 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 culturales.

### **III.5) Hydrologie :**

L'hydrologie est la science de la terre qui s'intéresse au cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol.

Au titre des échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre, l'hydrologie s'intéresse aux précipitations (pluie et neige), à la transpiration des végétaux et à l'évaporation directe de la couche terrestre superficielle.

L'étude hydrologique est nécessaire dans les projets d'irrigation, elle permet de déterminer les pluies de fréquences données, qui conditionnent l'étude de notre projet d'aménagement hydro-agricole, tels que :

- Le calcul des besoins des cultures projetées dans le périmètre.
- Le dimensionnement du réseau de distribution.

#### ***III.5.1) Répartition de la pluie moyenne annuelle :***

La précipitation est un facteur climatique très important, elle nous permet de connaître la période où les cultures ont besoin d'être irriguées ou pas.

Les observations des précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station pluviométrique d'Ain Beida (la période 1985-2011) sont résumées dans le tableau **III-1**:



Tableau III.4: Pluies moyennes mensuelles observées (1985-2011).

année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel
1985	29.6	36.9	6.4	12	4	54.1	98.5	8.3	14.5	14.4	25	28.2	331.9
1986	68.1	47.6	9.7	9.9	6.5	42.9	48.8	14.7	15.3	27.4	27.2	29.8	347.9
1987	32.5	36.5	11.9	37.8	20.7	7.8	35.1	2.1	48.3	61.5	0	37.2	331.4
1988	0	0	25.2	51.8	0	0	0	0	10.9	52.4	56.5	89.5	286.3
1989	54.3	0	0	30.3	64.9	0	61.6	32.9	130.2	23.1	0	110.6	507.9
1990	112.3	20.5	61.8	22.1	23.7	17.1	45.8	38.4	18	26	16.6	0	402.3
1991	15.8	66.8	21.1	23.2	18.4	27.3	34.6	33.5	37.5	0	13	19.1	310.3
1992	29.9	21.3	20.9	12.3	8.5	51.8	36.7	12.1	39.4	1.4	7.7	11.5	253.5
1993	6	0	30.2	20.3	19	19.1	27.6	12.5	6.7	7.6	41.5	0	190.5
1994	63.5	41.2	9.4	4.4	44.5	0	36.1	26.3	5.4	5.7	69.3	22.2	328
1995	76.8	28.8	13.2	14.3	58.5	49.8	67.5	26.8	21.5	82.7	0	32.2	472.1
1996	17.3	0	15.7	8.3	9.5	9.6	26.8	30.3	0	0	48	17.7	183.2
1997	110.3	50.4	34.1	17.8	17.7	32.2	13	57.6	19.4	43.7	0	19.6	415.8
1998	14	19.1	9.5	5.9	48.5	4.5	3.5	0	10.2	6.5	23.2	19.5	164.4
1999	51.1	47.7	76.5	28.1	3.5	1	14.5	11.3	19.5	12	0	0	265.2
2000	18.5	32	4.3	17.2	5.1	5.6	0	4	30.8	2.1	8	2.1	129.7
2001	108.6	16.6	49.1	13.8	8.1	0.5	1.5	24	10.2	13.7	20.1	51.5	317.7
2002	4.9	42.5	61.5	18	77.7	43.5	18	60	17.7	49.6	8.6	12	414
2003	16.8	100.1	40.6	17	6.5	27.5	86	76	98	38	7.5	17	531
2004	19	20.5	64.5	106	3.5	93	46	18	35.4	20.8	42.5	38.5	507.7
2005	70	57	64.5	12	40	14.5	3.5	37.5	49	14.5	9	20.5	392
2006	47.5	58	46.5	106.5	17.5	14	22.5	101.5	19.5	0	0	16.5	450
2007	43.5	18	30.5	24.5	8.5	15	48.5	13.5	119	36	30	20	407
2008	102	108.5	14.5	46.5	123.5	24.5	84	131	47.5	12.5	0	57.5	752
2009	130	19.5	4.5	13	23	33	29.5	34	66.5	28	16.5	23	420.5
2010	33	24	36	27	43.5	44.5	84.5	41.5	164.5	4.0	15.5	27.5	545.5
2011	19	26.5	47	12.5	13.5	23	9	29.9	35.4	20.8	13	21	270.6
Moyennes	37.9	34.8	30	31.4	33.6	34.3	36.4	32.5	40.4	22.4	11.5	22.6	367.7

(Source ANRH)

➤ **Interprétation :**

D'après les données enregistrées dans ce tableau pendant la période (1985 –2011), On remarque une irrégularité dans la répartition des précipitations et aussi une variabilité mensuelle et annuelle. Ces pluies sont nettement insuffisantes pour les mois de juin, juillet et août, la moyenne annuelle des précipitations est de 367.7 mm.

**III.5.2) Etude de l'homogénéité de la série pluviométrique :**

« Qu'est que l'homogénéisation des données? pour répondre à cette question qui n'est pas aussi simple que l'on ne croit, il faut saisir et mesurer l'importance des dégâts que l'on peut avoir suite à une information fautive. Pour dimensionner un ouvrage hydrotechnique et à ce moment là ,il faut revenir et se poser la question au fait à partir de quelle information de base suis-je parti pour faire mes calculs, est elle fiable? Tout le problème est là.

L'homogénéisation des données est une analyse statistique de l'information aidant à une prise de décision conséquente. ». (extrait du livre :Manuel pratique d'hydrologie .Prof :Touaibia Bénina).

Pour vérifier l'homogénéité de la série pluviométrique on procède au Test de Wilcoxon. La vérification de l'homogénéité d'une série pluviométrique par cette méthode repose sur le procédé suivant:

➤ On divise la série complète en deux sous séries : X et Y tel que :  $N_1$  et  $N_2$

Représentant respectivement les tailles de ces deux sous séries considérant généralement  $N_1 > N_2$

➤ On constitue par la suite, la série X union Y après avoir classé la série de pluie d'origine par ordre croissant, on attribue à chaque valeur de la série pluviométrique classée, son rang tout en précisant à quelle sous série appartient elle.

Wilcoxon a montré que la série est homogène avec une probabilité de 95% (Touaibia, 2004), si la relation ci-dessous est vérifiée.

$$W_{\min} < W_X < W_{\max}$$

**Avec :**

$$W_X = \sum \text{Rang}_x$$

$W_X$  : Somme des rangs de sous-séries.

$$W_{\min} = \left( \frac{(N_1 + N_2 + 1)N_1 - 1}{2} \right) - 1.96 \left( \frac{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}{12} \right)^{1/2}$$

$$W_{\max} = [(N_1 + N_2 + 1).N_1 - W_{\min}]$$

Les résultats du test de Wilcoxon sont détaillés comme suit :

*Tableau III.5:* Test d'homogénéité.

RANG	Série d'origine	X	Y	Trie	X union Y
1	331.9	415.8	331.9	753,2	Y
2	347.9	164.4	347.9	752	Y
3	331.4	265.2	331.4	720,7	Y
4	286.3	129.7	286.3	545,5	Y
5	507.9	317.7	507.9	531	Y
6	402.3	414	402.3	517,7	Y
7	517.7	531	1027	507,9	X
8	253.5	879.8	253.5	472,1	X
9	190.5	392	190.5	450	Y
10	328	450	328	420,5	Y
11	472.1	407	472.1	415,8	Y
12	183.2	752	183.2	414	Y
13	415.8	420.5		407	Y
14	164.4	545.5		402,3	X
15	265.2	720.7		392	Y
16	129.7			347,9	X
17	317.7			331,9	X
18	414			331,4	X
19	531			328	X
20	753.2			317,7	Y
21	392			286,3	X
22	450			265,2	Y
23	407			253,5	X
24	752			190,5	X
25	420.5			183,2	X
26	545.5			164,4	Y
27	720.7			129,7	Y

➤ A la fin des calculs on obtient :

$$W_x = 192 ; \quad W_{\min} = 169.33 ; \quad W_{\max} = 250.67$$

Donc  $169.33 < W_x < 250.67$

La condition de **M<sup>f</sup> Wilcoxon** est vérifiée, donc la série des précipitations moyennes annuelle de la station d'**Ain Beida** est homogène.

### **III.5.3) Ajustement statistique des pluies :**

Les données de pluies annuelles sont souvent ajustables à des lois statistiques nombreuses, ceci est dû à la faible variabilité interannuelle pour certaines stations. Dans notre cas, on utilise pour celle qui garantit le meilleur ajustement possible. Les lois d'ajustement les plus communément employées dans le cas de pluies annuelles sont les suivantes :

- Loi de Gauss ou loi normale
- Loi de Galton ou loi log–normale

#### **III.5.3.1) Ajustement des pluies annuelles à la loi de Gauss ou loi normale :**

Le procédé de calcul consiste à:

- Classer les valeurs de l'échantillon par ordre croissant.
- Affecter un numéro d'ordre aux valeurs classées.
- Calculer la fréquence expérimentale (par la formule de Hazen par exemple).

- Variable réduite de gauss :  $U = \frac{X - \bar{X}}{\delta}$

- Calcul des caractéristiques empirique de loi ( $\bar{X}$  ;  $\delta$  ;  $C_v$  ;  $CS=0$ ).

- Calculer le coefficient de variation :  $C_v = \frac{\delta}{\bar{X}}$

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

$$XP\% = \bar{X} + \delta * U_{p\%}$$

**Avec :**  $XP\%$ : précipitation de probabilité  $P\%$ .

$U_{p\%}$ : variable réduit de Gauss.

$\bar{X}$  : Moyenne arithmétique.

$\delta$  : Écart type

### III.5.3.2) Ajustement a la loi log-normale (Galton) :

L'ajustement par la loi log-normale se fait comme suit :

-Les données statistiques des pluies sont rapportées à une autre échelle à savoir l'échelle du log normale.

Nous avons l'équation de la droite de Galton qui s'écrit comme suit :

$$\text{Ln}(X_p \%) = \overline{\text{Ln}(\mathbf{X})} + \delta \text{Ln} * U_p \%$$

$X_p\%$  : précipitation probable à  $P\%$ .

$\overline{\text{Ln}(\mathbf{X})}$  : Moyenne arithmétique du log des précipitations observées.

$\delta \text{Ln}$ : la variance calculée pour les précipitations observées sous l'échelle logarithmique sa formule s'écrit comme suit :

$$\delta \text{Ln} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} [\text{Ln}(X_i) - \overline{\text{Ln}(\mathbf{X})}]^2} \quad \text{Si } n < 30$$

$$\delta \text{Ln} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^{i=n} [\text{Ln}(X_i) - \overline{\text{Ln}(\mathbf{X})}]^2} \quad \text{Si } n \geq 30$$

$U_p\%$ : variable réduite de Gauss.

### III.5.3.3) Test de validité d'un ajustement :

La loi choisie pour ajuster la distribution statistique de l'échantillon, ne représente qu'approximativement l'échantillon étudié, l'erreur commise en adoptant une loi donnée est une erreur d'adéquation. Il convient par conséquent de comparer l'adéquation de ces lois afin d'adopter le meilleur ajustement. L'un des tests le plus employé, est le test du Khi carré ( $\chi^2$ ).

Soit un échantillon de  $N$  valeurs, classées par ordre croissant ou décroissant à étudier, et pour le quel une loi de répartition  $F(X)$  a été déterminée :

On divise cet échantillon en un certain nombre de classes  $K$  contenant chacune  $n_i$  valeurs expérimentales. Le nombre  $V_i$  est le nombre théorique de valeurs sur un échantillon de  $N$  valeurs affectées à la classe  $i$  par la loi de répartition, donnée par la relation suivante :

$$v_i = N \int_{x_{i+1}}^x f(X) dX = N [F(X_i) - F(X_{i+1})]$$

$f(X)$  : étant la densité de probabilité correspondant à la loi théorique. La variable aléatoire  $\chi^2$ , dont la répartition a été étudiée par Pearson, est définie par l'expression suivante :

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} \text{ et } \lambda = K - 1 - P$$

Avec :

P : Nombre de paramètres, dont dépend la loi de répartition (P=2).

On calcule  $\chi^2$ , en fonction du nombre de degré de liberté  $\gamma$  :

On détermine  $\chi^2$  théorique sur la table de Pearson :

La loi est adéquate pour un risque  $\alpha$  si et seulement si :  $\chi^2_{\text{calculé}} < \chi^2_{\text{théorique}}$

Pour les calculs nous avons utilisé le logiciel HYFRAN.

**Tableau III.6:** Test de validité des deux ajustements

<i>Loi normale (<math>\alpha=0.05</math>)</i>	<i>Loi log normale (<math>\alpha=0.05</math>)</i>
$\chi^2_{\text{calculé}} = 1.78$	$\chi^2_{\text{calculé}} = 3.85$
<i>Degré de liberté <math>\gamma=5</math>.</i>	<i>Degré de liberté <math>\gamma=5</math>.</i>
$\chi^2_{\text{théorique}} = 11.07$	

D'après le tableau **III.3**, on voit nettement que les pluies annuelles de notre station s'ajustent mieux à la loi Normale. Les quantiles extrapolés pour des périodes de retour allant de 1.25 à 10 ans sont comme suit :

**Tableau III-8 :** Résultat d'ajustement de la loi normal

T	q	Xt	écart type	intervalle de confiance (95%)
10	0.9	543	35.8	473-613
5	0.8	483	30.8	422-543
2	0.5	368	26.3	316-419
1.25	0.2	253	30.8	192-313

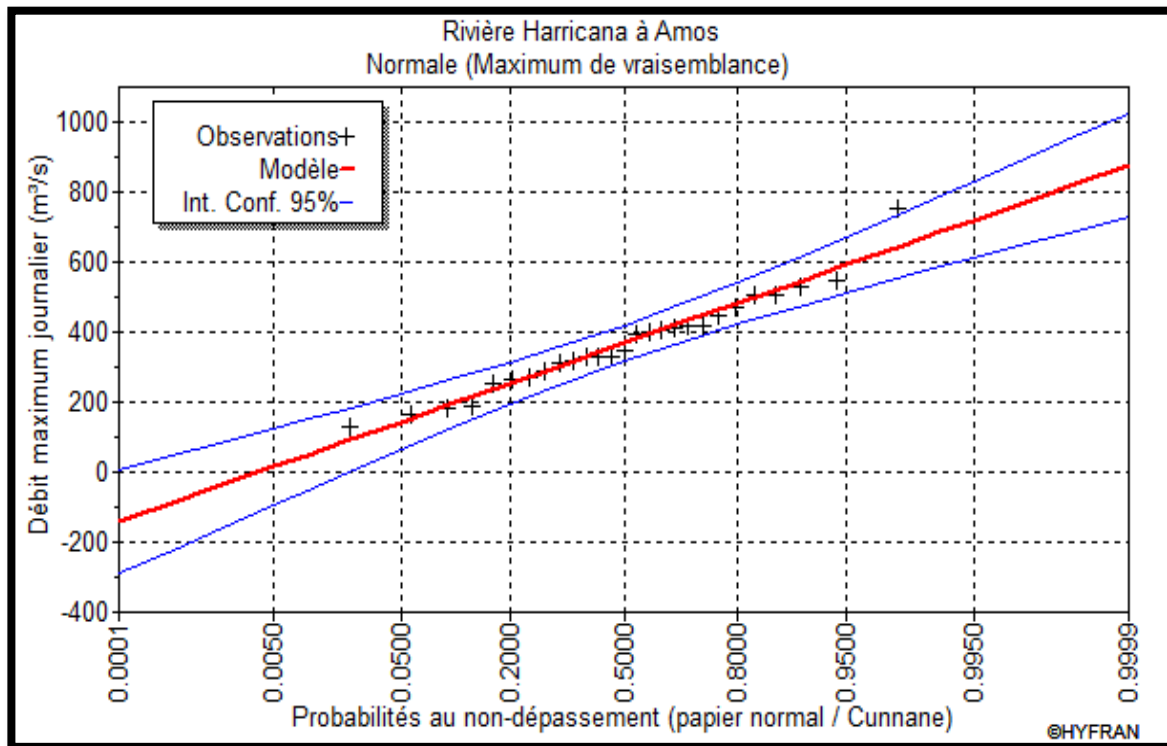


Figure III.8: Ajustement à loi de Gauss

#### III.5.4) Détermination de l'année de calcul :

Puisque la loi normale est la plus adéquate, alors nous la retenons pour l'estimation de la pluviométrie moyenne mensuelle représentative de la région.

Tableau III-9 : Résultat d'ajustement de la loi normale

T	q	Xt	écart type	intervalle de confiance (95%)
10.0	0.9	543	35.8	473 – 613
5.0	0.8	483	30.8	422 – 543
2.0	0.5	368	26.3	316 – 419
1.25	0.2	253	30.8	192-313

➤ L'estimation de l'année sèche de fréquence 80%; on utilise la formule suivante :

$$P_{\text{sec } 80\%} = P_{\text{moy de chaque mois}} \times \frac{P_{\text{théorique (80\%) Annuelle}}}{P_{\text{théorique (50\%) Annuelle}}$$

$P_{\text{théorique de 50\%}} = 368\text{mm}$

$P_{\text{théorique de 80\%}} = 253\text{mm};$

- On déduit :  $P_{\text{moy}80\%} = 0.687 * P_{\text{moy-mensuelle}}$

Les résultats se trouvent dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III-10** : pluviométrie moyenne pour chaque mois en (mm)

Mois	sep	Oct	nov	Dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juillet	Aout
P(mm)	47.93	34.81	29.96	26.38	26.60	24.28	36.41	32.50	40.38	22.38	18.47	27.56
$P_{\text{moy}80\%}$ (mm)	26.03	32.91	20.61	21.57	23.08	23.56	25	22.33	27.75	15.39	7.9	15.52



**Conclusion :**

A partir des études faites, on peut dire que Ces eaux qui alimentent notre périmètre appartiennent à la classe C3-S1, ce sont des eaux de faible alcalinité, et de salinité moyenne, avec un pH normal qui est donc compatible pour l'irrigation, les ions toxiques sont de restrictions faibles, ce qui ne constitue pas un inconvénient.

L'irrigation du périmètre à partir des eaux du forage est donc sans contraintes, elle permettra l'intensification de l'agriculture dans cette région.

[TAPEZ LE NOM DE LA SOCIETE]

# Chapitre IV

## Besoin en eau d'irrigation

---

## *Chapitre IV : Besoin en eau d'irrigation*

### *Introduction*

Dans tout projet d'aménagement hydro-agricole, l'estimation des besoins en eau d'irrigation du périmètre est une étape indispensable, afin d'évaluer les besoins en eau pour irrigation, ce qui permet une meilleure planification. Les besoins en eau des cultures seront estimés sur la base d'informations définies auparavant, conditionnant la conception de notre projet tels que : les conditions climatiques, systèmes agronomiques, potentialités des sols, l'eau disponible, fertilité des sols.

### *IV-1) Besoins en eau d'une culture :*

D'après **Doorenbos et Pruitt** (1976), la notion de besoins en eau des cultures sont définis comme étant la quantité d'eau (mm) nécessaire pour compenser l'évapotranspiration d'une culture en bon état sanitaire, établie dans un champ de grande superficie, dans des conditions de sol non limitantes du point de vue de la disponibilité de l'eau et de la fertilité, conduisant au rendement cultural potentiel dans des conditions climatiques données.

Cette notion prend en compte divers processus influençant la consommation en eau d'une culture mais exclut l'influence de l'advection, du stress hydrique, de l'insuffisance de fertilité du sol ou de sa mauvaise gestion, ou de pratiques culturales incorrectes [**Tiercelin.J, 2006**]. C'est dans ce contexte qu'on introduit la notion de l'évapotranspiration des cultures.

### *IV -2) Les besoins en eau d'irrigation :*

Le besoin en eau d'irrigation (IWR), défini comme la hauteur d'eau nette (mm) devant être apporté à une culture pour satisfaire ses besoins en eau spécifiques. Ceci correspond à la part des besoins en eau de la culture non satisfaite par les précipitations, la réserve en eau du sol exploré par les racines ou la contribution de la nappe phréatique par ascension capillaire. son calcul exige le recours au bilan hydrique.

C'est la quantité d'eau totale utilisée par cette culture (par une plante au cours de son cycle végétatif). Cette quantité comprend aussi les apports naturels (pluie, réserve du sol). Pour déterminer l'évapotranspiration de la culture (ETc) on utilise l'évapotranspiration de référence (ETo) d'une culture de référence conduite dans des conditions de référence, de telle sorte que le taux d'évapotranspiration (mm/j) représente les conditions climatiques locales.

### ***IV -3) L'évapotranspiration :***

Cette notion introduite par **Penman** (1948) désigne la somme de deux volumes d'eau qui sont :

- utilisés par les plantes (eau de constitution, eau de végétation).
- évaporés par la surface du sol, par la transformation de l'état de l'eau en vapeur (phénomène d'évaporation).

#### ***IV.3.1) L'évapotranspiration potentielle (ETP) :***

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est définie comme l'ensemble des pertes en eau d'un couvert végétal abondant bien alimenté en eau lorsque l'énergie ( évaporation de l'atmosphère ) et le seul facteur qui limite cette évaporation. Elle correspond à double hypothèse du maintien du taux d'humidité du sol à une valeur très voisine de sa capacité de rétention et d'un développement végétatif optimum.

#### ***IV.3.2) Evapotranspiration maximale ou de culture (ETM)***

C'est la valeur maximale de l'évapotranspiration d'une culture exempte de maladies, poussant dans un champ jouissant de conditions agronomiques, pédologiques, et climatiques optimales, suivant un stade végétatif donné.

Pour déterminer l'évapotranspiration de la culture (ETM) on utilise l'évapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>) d'une culture de référence conduite dans des conditions de référence, de telle sorte que le taux d'évapotranspiration (mm/j) représente les conditions climatiques locales.

Le passage de (ET<sub>o</sub>) à(ETM) s'effectue par les coefficients culturaux (k<sub>c</sub>) qui sont les rapports entre l'évapotranspiration d'une culture quelconque et l'évapotranspiration de la culture de référence,  $K_c = ET_c / ET_o$ .

#### ***V-3-3) Détermination de L'évapotranspiration de référence (ET<sub>o</sub>) :***

Pour prédire l'évapotranspiration de référence on utilise des méthodes basées sur des variables climatiques, parmi les plus employés sont:

- Méthodes de lysimètre
- Méthodes des stations expérimentales
- Méthodes directes de l'évaporation
- Méthodes empiriques

En ce qui concerne les méthodes empiriques, il existe des formules de calcul dont les principales sont:

- Prinstley- Taylor
- Makkink
- Turc
- Hargreaves
- Blaney – Cridle
- Thornthwaite
- Penman et Monteith modifiée.

Sur la base des résultats de plusieurs études, notamment celle de (**Jensen, 1990**), la consultation d'experts menée par la FAO sur les méthodologies d'estimation des besoins en eau des cultures , a conduit à recommander la méthode de Penman Monteith (PM) modifiée comme méthode privilégiée l'estimation de ETo.

La détermination de l'évapotranspiration de référence (ET<sub>0</sub>) est calculée en se basant sur la formule de Penman-Monteith modifiée :

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_{ste}}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

**Avec:**

ET<sub>0</sub> : évapotranspiration de référence [mm jour-1],

R<sub>n</sub> : rayonnement net à la surface de la culture [MJ m-2 jour-1],

G : densité de flux de chaleur dans le sol [MJ m-2 jour-1],

T : température journalière moyenne de l'air à une hauteur de 2 m [°C]

u<sub>2</sub> : vitesse du vent à une hauteur de 2 m [m s-1],

e<sub>s</sub> : pression de vapeur saturante [kPa],

e<sub>a</sub> : pression de vapeur réelle [kPa],

e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> : déficit de pression de vapeur saturante [kPa],

D : pente de la courbe de pression de vapeur saturante [kPa °C-1],

γ : constante psychrométrique [kPa °C-1].

Pour l'exécution des calculs, nous avons appliqué le logiciel CROPWAT, où nous avons introduit les données mensuelles de la station météorologique d'Ain\_Beida

- Température : Les températures minimales et maximales mensuelles.
- Humidité de l'air : l'humidité relative de l'air exprimée en pourcentage (%).
- Insolation journalière : donnée en heures d'insolation.
- Vitesse de vent : La vitesse du vent peut être introduite en km/jour.

Les résultats de l'évapotranspiration de référence  $E_{To}$  calculés à l'aide du logiciel CROPWAT 8.0 sont récapitulés dans le tableau ci-après.

**Tableau IV-1:** Evapotranspiration de référence ( $E_{To}$ ) en mm/mois.

Mois	Temp.		Humidité	Vent	Insola	Radiation	E <sub>To</sub> -
	Min	Max					
	°C	°C	%	Km/jour	heurs MJ/ m <sup>2</sup> .jour	mm / mois	
Janvier	2.7	10.8	73	233	5.5	9.5	<b>43.18</b>
Fevrier	2.4	12.6	68	255	5.4	11.5	<b>53.6</b>
Mars	3.9	17.4	63	225	7.9	17.2	<b>90.81</b>
Avril	7.4	19.3	63	259	9.1	21.5	<b>114.38</b>
Mai	11.6	25.4	59	268	8.9	22.8	<b>155.85</b>
Juin	15.8	30.7	49	259	9.3	23.8	<b>190.94</b>
Juil	18.9	34.6	43	259	11.3	26.4	<b>236.47</b>
Aout	16.8	31.5	45	233	9.8	23.0	<b>197.9</b>
September	15.5	27.4	58	268	8.8	19.2	<b>147.55</b>
October	12.3	22.6	61	242	7.2	14.2	<b>105.73</b>
November	6.7	15.6	67	251	6.0	10.4	<b>62.67</b>
Décember	4.1	12.9	71	181	5.7	9.0	<b>42.69</b>
moyenne	9.8	21.7	60	245	7.9	7.9	<b>120.15</b>

#### ***IV-4) Occupation du sol :***

L'aire d'étude est occupée par des cultures céréalières (blé dur et orge) et maraichères cultivées en sec. Les cultures sont conduites d'une manière extensives. Les rendements demeurent faibles car ils sont tributaires des quantités et de la répartition des précipitations enregistrées. Ceci est dû essentiellement au manque d'eau et aux capacités limitées d'investissement.

Avant d'évaluer les besoins en eau des d'irrigation de la zone d'étude, il faut d'abord définir l'occupation et la répartition culturelle dans le périmètre, en tenant compte des différentes contraintes d'ordre climatique, sociale et agropédologique.

##### ***IV.4.1) Rotation et assolements :***

Le retour fréquent des cultures de la même famille sur la même parcelle, favorise nettement la prolifération et le développement des maladies et parasites spécifique, telles que les Nématodes chez les Solanacées ainsi que l'apparition de certaines espèces de mauvaise herbes.

L'assolement est la division des terres d'une exploitation agricole en parties distinctes, appelées soles consacrées chacune à une culture donnée pendant une saison culturale. Dans chaque sole, les cultures peuvent varier d'une année à l'autre.

La rotation est la succession culturale ou rotation, qui est une notion différente. Donc L'assolement est la diversité géographique des cultures à un moment donné.

La rotation culturale est un élément important du maintien ou de l'amélioration de la fertilité des sols et donc un atout pour l'augmentation des rendements. On peut ainsi avoir des rotations biennales, triennales, quadriennale... .

##### ***IV.4.2) Choix des cultures à mettre en place :***

Pour les affectations des cultures du périmètre, nous sommes référés aux études pédologiques, afin de pouvoir choisir un certain nombre de cultures à mettre en place.

Le choix des cultures à mettre en place doit concilier entre les critères suivants :

- Les conditions climatiques de la région étudiée.
- La qualité et disponibilité de l'eau d'irrigation.
- L'aptitude culturale des sols basée sur l'étude pédologique.

Choisir le maximum de cultures (familles et espèces) qui correspondent le mieux aux réalités des exploitations agricoles.

➤ **Les cultures céréalières et fourragères**

Deux espèces céréalières ont été retenues dans la nomenclature des plantes que nous proposons : le blé et l'orge en vert. Pour les cultures fourragères nous retiendrons deux spéculations : il s'agit de la vesce avoine, et de la luzerne.

➤ **Les cultures maraîchères**

Les cultures maraîchères présentent la principale production du périmètre. Les cultures maraîchères retenues sont : la tomate , l'oignon, et l'ail, l'haricot, et le poivron.

➤ **L'arboriculture**

Etant donnée la nature du sol représentée par les sols peu évolués, l'olivier a été retenu, ceci vu les contraintes pédologiques et édaphiques.

**IV.4.3) Répartition des surfaces en fonction de l'assolement proposé :**

Nous avons pris en considération un assolement biennal, nous avons tenu compte :

- De la vocation agro-alimentaire de la région.
- Du choix des services agricoles de la wilaya qui tendent vers la diversification et l'intensification des cultures pratiquées dans la région. L'assolement proposé est comme suit :

**Tableau IV.2:** L'assolement biennal des cultures en plein champ en irriguées

<b>SOLE I (Modèle 1)</b>		<b>SOLE II (Modèle 2)</b>	
Culture	Superficie	Culture	Superficie
Blé – Avoine	32.15 Ha	Orge en vert	32.15 Ha
Luzerne	7.87 Ha	haricot	7.87 Ha
Ail + Oignon vert	18.1 Ha	Tomate (s)	18.1 Ha
Pomme de terre AS	16.5 Ha	Oignon (s)	16.5 Ha
Poivron	14,84 Ha	Petit pois	14,84 Ha
Olivier	10.57 Ha	Olivier	10.57 Ha
<b>Total</b>	<b>100 Ha</b>	<b>Total</b>	<b>100 Ha</b>

N/B : (s) : saison



a/s : arrière saison

#### **IV-5) Détermination des Besoins en eau d'irrigation pour les cultures d'assolement:**

Le besoin en eau d'irrigation (B) est calculé par le bilan hydrique pour toute la saison végétative, B (mm) est calculé par:

$$B = \frac{ETM - P_{eff} - RFU_{I-1}}{(1 - LR)}$$

**Avec:**

ETM: Evapotranspiration maximale de la culture (mm);

P<sub>eff</sub>: Précipitation efficace, calculée en retirant à la précipitation totale les pertes par ruissellement ou par percolation profonde.

RFU: réserve facilement utilisable.

LR: fraction de lessivage : dose supplémentaire qui permet de lessiver les sels contenus dans les sols.

##### **IV-5-1) Calcul de la pluie efficace:**

La pluie efficace est définie comme étant la fraction des précipitations qui contribuent effectivement à la satisfaction des besoins de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, et par percolation en profondeur etc....

Plusieurs méthodes permettent de calculer ces pluies, mais ici nous retenons la méthode de pourcentage détaillée comme suit :

$$\text{Pluies efficaces (en mm/mois)} = A \times \text{Pluies totales (mm/mois)}$$

**Avec :** A : coefficient estimé à 0,8.

Les valeurs moyennes mensuelles de P<sub>eff</sub> sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.3 :** Les besoins en eau mensuels sont déterminés par le bilan hydrique suivant :

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
<i>P<sub>sec80%</sub></i> (mm)	26.03	32.91	20.61	21.57	23.08	23.56	25	22.33	27.75	15.39	7.9	15.52
<i>P<sub>eff</sub></i> (mm)	20.82	26.33	16.48	17.26	18.46	18.48	20	17.86	22.2	12.3	6.32	12.41

##### **IV-5-2) Réserve facilement utilisable (RFU):**

La définition de la RFU est très importante car elle équivaut, en gros, à la quantité d'eau maximale qui peut être apportée dans un sol irrigué puisque c'est la quantité maximale d'eau que le sol peut stockée. Elle correspond donc à la dose qui est apportée lors d'un arrosage.

La RFU est calculée comme suit :

$$RFU = (H_{cc} - H_{pf}) \cdot Y \cdot D_a \cdot Z$$

Avec :

$H_{cc}$  : humidité à la capacité au champ (27%);

$H_{pf}$  : humidité au point de flétrissement (16%);

Y : degré de tarissement (généralement 2/3 et 1/3 pour les cultures sensibles);

$D_a$  : densité apparente (1.35);

Z : profondeur d'enracinement mm ;

#### *IV-5-3) Calcul des doses de lessivage :*

Pour les sols salés, ou dans le cas où l'eau d'irrigation présente une salinité pouvant affecter les cultures, on ajoute une fraction de lessivage aux besoins d'irrigation ces besoins sont estimés comme suit : **[Rhoads et Merrill, 1976]**.

$$LR = ECW / 5 (ECE) - ECW$$

**Avec :**

LR : Fraction de lessivage

ECW : Conductivité électrique des eaux d'irrigation des eaux du forage de Mouilah:

ECE' : Conductivité électrique de l'eau du sol (pâte saturée) et tolérée par les cultures dans (1.25 mm hos/cm) pour (0-85cm), (6.1 mm hos/cm) pour (85-150 cm).

➤ On trouve : **LR = 0.052=5.2%**.

#### *IV-5-4) Efficience de l'irrigation :*

L'efficience d'irrigation est définie par le rapport entre le besoin d'eau strictement nécessaire à la culture et le volume d'eau à introduire dans le réseau d'irrigation. La différence entre les deux volumes indique les pertes.

La formule utilisée pour l'estimation de l'efficacité d'un réseau d'irrigation est donnée par l'expression suivante:

$$E_i = E_t \cdot E_d \cdot E_u$$

Avec:

$E_i$ : Efficacité d'irrigation en (%)

$E_e$ : Efficacité de transport (%)

$E_d$ : Efficacité de type de distribution en (%)

$E_u$ : Efficacité de l'uniformité de la distribution

L'évaluation exacte des pertes est très difficile et même presque impossible, suite des multiples variables qui interviennent.

On considère une efficacité globale, produit entre les trois efficacités décrites ci-dessus égalé à 0,75

Pour chaque culture on calcule les besoins suivant le stade végétatif

**Tableau IV-4:** Calcul des besoins en eau du Blé /avoine

Blé/Avoine								
Mois	Pluie eff(mm)	ET <sub>o</sub>	z	RFU the	RFU	KC	ET <sub>c</sub>	B
Janvier	14,6	43,18	0,5	49,5	16,50	0,85	36,70	5,88
Février	13,4	53,6	0,6	59,4	16,50	0,95	50,92	22,22
Mars	20,0	90,81	0,6	59,4	19,80	1,05	95,35	58,57
Avril	17,9	114,38	0,6	59,4	0,00	1,05	120,10	107,83
Mai	22,2	155,85	0,6	59,4	0,00	0,9	140,27	124,53
Juin	12,3	190,94	0,6	59,4	0,00	0,6	114,56	107,86
Juillet	10,2	236,47						
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73						
Novembre	16,5	62,67	0,3	29,7	0,00	0,5	31,34	15,67
Décembre	14,5	42,69	0,5	49,5	9,90	0,7	29,88	5,77

Tableau IV-5: Calcul des besoins en eau de luzerne

luzerne								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0	z	RFU the	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18	1	99,00	29,70	0,90	38,86	0,00
Février	13,4	53,6	1,2	118,80	33,00	0,95	50,92	4,81
Mars	20,0	90,81	1,5	148,50	39,60	1,05	95,35	37,68
Avril	17,9	114,38	1,5	148,50	0,00	1,10	125,82	113,86
Mai	22,2	155,85	1,5	148,50	0,00	0,90	140,27	124,53
Juin	12,3	190,94	1,5	148,50	0,00	0,75	143,21	138,07
Juillet	10,2	236,47						
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73	0,4	39,60	0,00	0,65	68,72	52,30
Novembre	16,5	62,67	0,7	69,30	0,00	0,70	43,87	28,89
Décembre	14,5	42,69	0,9	89,10	23,10	0,80	34,15	0,00

Tableau IV-6: Calcul des besoins en eau de l'Ognion/Ail

Ognion/Ail								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	z	RFU the	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18	0,8	79,2	26,40	0,95	41,02	0,00
Février	13,4	53,6	0,8	79,2	26,40	0,75	40,20	0,47
Mars	20,0	90,81						
Avril	17,9	114,38						
Mai	22,2	155,85						
Juin	12,3	190,94						
Juillet	10,2	236,47						
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73	0,5	49,5	0,00	0,70	74,01	57,87
Novembre	16,5	62,67	0,7	69,3	0,00	0,80	50,14	35,50
Décembre	14,5	42,69	0,8	79,2	23,10	0,95	40,56	3,10

Tableau IV-7: Calcul des besoins en eau de Pomme AS

Pomme AS								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	z	RFU the	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18						
Février	13,4	53,6	0,4	2,3328	4,88	0,45	24,12	6,21
Mars	20,0	90,81	0,6	3,4992	0,00	0,80	72,65	55,51
Avril	17,9	114,38	0,6	3,4992	0,00	1	114,38	101,79
Mai	22,2	155,85	0,6	3,4992	0,00	0,75	116,89	99,87
Juin	12,3	190,94						
Juillet	10,2	236,47						
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73						
Novembre	16,5	62,67						
Décembre	14,5	42,69						

Tableau IV-8: Calcul des besoins en eau du poivron

POIVRON								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	z	RFU	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18						
Février	13,4	53,6						
Mars	20,0	90,81						
Avril	17,9	114,38	0,7	69,3	0,00	0,7	80,07	65,60
Mai	22,2	155,85	1,1	108,9	0,00	0,9	140,27	124,53
Juin	12,3	190,94	1,1	108,9	0,00	0,9	171,85	168,28
Juillet	10,2	236,47	1,1	108,9	0,00	0,7	165,53	163,89
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73						
Novembre	16,5	62,67						
Décembre	14,5	42,69						

Tableau IV-9: Calcul des besoins en eau d'Orge vert.

Orge en vert								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	z	RFU	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18	0,5	49,5	16,50	0,85	36,70	5,88
Février	13,4	53,6	0,6	59,4	16,50	0,95	53,71	25,16
Mars	20,0	90,81	0,6	59,4	19,80	0,65	62,26	23,67
Avril	17,9	114,38	0,6	59,4	0,00	0,55	66,36	51,14
Mai	22,2	155,85						
Juin	12,3	190,94						
Juillet	10,2	236,47						
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73						
Novembre	16,5	62,67	0,3	29,7	0,00	0,5	33,05	17,48
Décembre	14,5	42,69	0,5	49,5	0,00	0,7	31,52	17,94

Tableau I V-10: Calcul des besoins en eau de l'Haricot.

Haricot								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	Z	RFU	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18	0,5	49,5	4,84	0,50	21,59	2,24
Février	13,4	53,6	0,5	49,5	16,50	0,85	45,56	16,56
Mars	20,0	90,81	0,7	69,3	16,50	0,95	86,27	52,47
Avril	17,9	114,38	0,7	69,3	0,00	0,90	102,94	89,73
Mai	22,2	155,85	0,7	69,3	0,00	0,70	109,10	91,65
Juin	12,3	190,94						
Juillet	10,2	236,47						
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73						
Novembre	16,5	62,67						
Décembre	14,5	42,69						

**Tableau IV-11:** Calcul des besoins en eau de la tomate

Tomate								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	Z	RFU	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	39,37						
Février	13,4	53,94						
Mars	20,0	84,01	0,7	69,3	6,68	0,75	63,01	38,29
Avril	17,9	107,7	0,9	89,1	23,10	0,90	96,93	59,02
Mai	22,2	152,83	1,2	118,8	0,00	1,05	160,47	145,85
Juin	12,3	184,8	1,2	118,8	0,00	0,85	157,08	152,71
Juillet	10,2	230,33						
Août	15,2	203,36						
Septembre	26,4	132,9						
Octobre	19,1	97,96						
Novembre	16,5	57,6						
Décembre	14,5	40,3						

**Tableau IV-12:** Calcul des besoins en eau de petit pois.

Petit pois								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	z	RFU	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18	0,7	69,3	13,20	0,8	34,54	7,08
Février	13,4	53,6	0,7	69,3	23,10	0,95	50,92	15,25
Mars	20,0	90,81	0,7	69,3	23,10	0,85	77,19	35,93
Avril	17,9	114,38	0,7	69,3	0,00	0,75	85,79	71,63
Mai	22,2	155,85						
Juin	12,3	190,94						
Juillet	10,2	236,47						
Août	15,2	197,9						
Septembre	26,4	147,55						
Octobre	19,1	105,73						
Novembre	16,5	62,67						
Décembre	14,5	42,69	0,4	39,6	0,00	0,50	21,35	7,21

Tableau IV-13: Calcul des besoins en eau de pommier.

olivier								
Mois	Pluie eff(mm)	ET0 (mm)	z	RFU	RFU	KC	ETM	B
Janvier	14,6	43,18					0,00	0,00
Février	13,4	53,6					0,00	0,00
Mars	20,0	90,81					0,00	0,00
Avril	17,9	114,38	1,3	128,7	0,00	0,45	51,47	35,43
Mai	22,2	155,85	1,3	128,7	0,00	0,6	93,51	75,21
Juin	12,3	190,94	1,3	128,7	0,00	0,8	152,75	148,14
Juillet	10,2	236,47	1,3	128,7	0,00	0,9	212,82	213,00
Août	15,2	197,9	1,3	128,7	0,00	0,9	178,11	171,89
Septembre	26,4	147,55	1,3	128,7	0,00	0,85	125,42	104,49
Octobre	19,1	105,73	1,3	128,7	0,00	0,65	68,72	52,30
Novembre	16,5	62,67					0,00	0,00
Décembre	14,5	42,69					0,00	0,00



*IV-5) Calcul des besoins en eau pour les Assolements 1 et 2*

L'estimation des besoins en eau totaux pour chaque mois et pour chaque modèle (assolement) est donnée dans les tableaux suivant :

*Tableau IV-14:* Récapitulatif des besoins pour l'assolement 1.

Culture	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
blé/avoine	5,88	22,22	58,57	107,83	124,53	107,86	0,00	0,00	0,00	0,00	15,67	5,77
luzerne	0,00	4,81	37,68	113,86	124,53	138,07	0,00	0,00	0,00	52,30	28,89	0,00
ognion/ail	0,00	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,87	35,50	3,10
pomme AS	0,00	6,21	55,51	101,79	99,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Poivron	0,00	0,00	0,00	65,60	124,53	168,28	163,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pommier	0,0	0,0	0,0	33,6	71,3	140,4	213,0	163,0	99,1	49,6	0,0	0,0
Bes/max	1,13	17,47	55,51	113,86	124,53	168,28	213,00	162,95	99,05	57,87	35,50	2,92
Somme	1,13	23,68	134,67	422,67	544,76	554,66	376,89	162,95	99,05	159,74	80,06	2,92

Tableau IV-15: Récapitulatif des besoins pour l'assolement 2.

Culture	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
orge en vert	5,9	25,2	23,7	51,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5	17,9
blé	2,2	16,6	52,5	89,7	91,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
tomate	0,0	0,0	38,3	59,0	145,8	152,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ognon	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,9	35,5	3,1
petit pois	7,1	15,3	35,9	71,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2
pommier	0,0	0,0	0,0	35,4	75,2	148,1	213,0	171,9	104,5	52,3	0,0	0,0
Bes/Max	7,1	25,2	52,5	89,7	145,8	152,7	213,0	171,9	104,5	57,9	35,5	17,9
Total	15,2	57,4	150,4	307,0	312,7	300,9	213,0	171,9	104,5	110,2	53,0	28,2

**IV-6) Calcul du débit spécifique :**

Les débits spécifiques sont définis d'après les besoins en eau de chaque culture évalués précédemment à partir de la répartition culturale. La dose d'arrosage de la consommation de pointe est donnée sous forme de débit permanent fourni 24 heures sur 24 afin d'assurer les besoins de la consommation mensuelle.

D'après les deux tableaux on prend le débit spécifique de l'Assolement 1 car il est le plus exigeant

$$qs = \frac{B_{net} * 10 * 1000}{N_j * N_i * 3600 * E_i} \text{ l/s/ha}$$

**Avec:**

Bnet : besoin net du mois de pointe en mm/mois.

Ni : nombre des heures d'irrigation=24h

Nj : nombre de jours du mois de pointe =30 jours

Ei : Efficience d'irrigation

D'où les besoins de pointe correspondent au mois de Mai (Assolement 1), soient donc **554.66 mm/mois**, le débit spécifique est de : 2.85 l/s/ha.

Il ya un risque de surdimensionnement car le débit spécifique calculé est très important

Dans ce cas, on a deux méthodes pour estimer le débit spécifique :

- Prendre la moyenne des débits spécifiques de l'ensemble des cultures ;
- Prendre en considération le débit spécifique de la culture la plus exigeante ;

Pour y remédier, on prend le débit spécifique de la culture la plus exigeante qui est l'olivier :

Le débit spécifique moyen est de : 1.10 l/s/ha, qui est inférieur à 1,5 l/s/ha, donc le choix de ce débit reste valable.

- Donc le débit spécifique pour le périmètre MOUILAH est de 1.10 l/s/ha.

**V-5-3 ) Evaluation du débit caractéristique**

Le calcul des débits caractéristiques permet de définir le débit maximum que le système de desserte aura à fournir pour l'irrigation de chaque parcelle, déterminé en multipliant le débit de pointe par la surface agricole utile, voir la formule suivante :  $Q_{car} = qs \cdot S$

qs : débit spécifique de mois de pointe en (l/s/ha)

S : la superficie totales à irriguer = 100.0 ha →  $Q_{car} = qs \cdot S = 1.10 * 100.0 = \mathbf{110 (l/s)}$

***Conclusion:***

Cette étude a pour but principal la détermination des besoins en eau des cultures ainsi que le volume nécessaire pour le mois de pointe et pour l'ensemble de l'année.

Etant donné la vocation agricole de la région d'étude, nous avons choisi deux assolements qui prennent en considération les cultures céréalières.

Le calendrier cultural choisi, permettent de diversifier les cultures, leur irrigation permettra d'intensifier leurs rendements, ce qui permettra un développement économique important.

# Chapitre V

## Dimensionnement du réseau d'adduction

---

## ***Chapitre V : Dimensionnement du réseau d'adduction***

### ***Introduction :***

Le réseau collectif de distribution d'eau en irrigation, est essentiellement constitué par des canalisations enterrées, livrant l'eau sous pression aux différents exploitants, par l'intermédiaire des bornes (prises) d'arrosage.

Le développement de ces réseaux de desserte, par les conduites sous pression, est lié principalement, à la rationalisation de la ressource en eau et particulièrement la généralisation des méthodes d'irrigation modernes à la demande.

C'est dans ce contexte, que notre attention dans ce chapitre s'est accentuée à la mise au point de la méthodologie d'optimisation du réseau de distribution d'irrigation, et aux différents calculs hydrauliques.

### ***V.1) Variantes d'aménagement du périmètre :***

Les variantes proposées sont :

***-Première variante*** : a partir de deux forages, les eaux seront acheminées vers deux réservoirs qui vont alimenter tout le périmètre ;

***-Deuxième variante*** : a partir des deux forages, les eaux seront acheminées vers un seul réservoir sur un point culminant ce qui permettra d'alimenter le périmètre avec une charge acceptable.

Cette deuxième variante nous paraît adéquate.

### ***V.2) Organisation du périmètre de Mouilah :***

Le périmètre de Mouilah d'une superficie totale de 187 ha est divisé en deux secteurs : le secteur 1 et le secteur 2. Dans notre projet on s'intéresse à l'aménagement du secteur 1 (S=100ha), situé dans la zone Nord du grand périmètre. Celui-ci est divisé en plusieurs ilots, au nombre de 13. Le nombre total de parcelles est de 23 parcelles relativement hétérogènes. Le schéma d'aménagement du périmètre est comme suit :

### ***V.3) Implantation des bornes (Plan de bornage) :***

Le plan de bornage est le plan d'implantation des différentes bornes du réseau. Il est le résultat d'un compromis entre l'intérêt des utilisateurs (qui souhaiteraient disposer d'une borne chacun, idéalement située par rapport à leur îlot d'exploitation) et celui de l'organisme d'aménagement, qui cherche à en limiter le nombre (de manière à diminuer le coût du réseau collectif).

➤ **Rôle et fonction de la borne d'irrigation :**

La borne d'irrigation constitue un appareil compact, plus particulièrement étudié pour les réseaux fonctionnant à la demande, et cumulant les fonctions suivantes :

- Desserte de l'eau à un ou plusieurs usagers disposant chacun d'une prise individuelle.
- Régulation de la pression avale, de manière à assurer au matériel mobile d'irrigation des conditions de fonctionnement stable, quelque soit l'état de la demande sur le reste du réseau.
- Limitation du débit prélevé, et comptage des volumes débités par chaque prise.

On admet généralement que l'implantation des bornes répond aux critères suivant :

- Pour les zones de petites et moyennes exploitations :
  - Une prise par îlot d'exploitations ;
  - Quatre (04) prises maximum sur une même borne ;
  - Bornes implantées en limites d'îlots ;

#### **V.4) Tracé du réseau :**

Une fois qu'on a établi le plan de bornage, il est exigé de relier le plus économiquement possible les différentes bornes à l'origine du réseau (réservoir de mise en charge, station de pompage, etc.)

La méthode classiquement mise en œuvre comprend trois phases successives :

##### **V.4.1) Calcul du débit aux bornes :**

Le débit de chaque borne pouvant desservir un îlot est formulé comme suit :

$$Q_b = q_s \cdot s$$

**Avec :**

$Q_b$  = Débit de chaque îlot (l/s)

$q_s$  = Débit spécifique (l/s/ha)

$s$  =Superficie de l'îlot (ha)

#### V.4.2 ) Choix du diamètre de la borne :

Les diamètres des bornes en fonction des débits sont détaillés comme suit :

**Tableau V.1** : Choix du diamètre de la borne.

Débit fourni	Diamètre de la borne
$Q < 40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11) l/s	D= 65mm
$40 \text{ m}^3/\text{h}$ (11.11l/s) $< Q < 80 \text{ m}^3/\text{h}$ (22.22 ls)	D= 100mm
$80 \text{ m}^3/\text{h}$ (22.22 l/s) $< Q < 120 \text{ m}^3/\text{h}$ (33.33 l/s)	D= 150mm

Le calcul des débits des prises et des bornes est présenté dans le tableau V-2 :

**Tableau V.2** : Calcul des débits des ilots et choix du diamètre de la borne.

N°ILOT	N° Bornes	N° Parcelles	Surface (ha)	Sur_ilot (ha)	Q_ilot (l/s)	Materiel	Corp de régulation (mm)	Type de borne
IL1	B1	P1	12.39	12.39	13.6	Fonte	125	1 x borne type B
IL2	B2	P2	12.82	12.82	14.1	Fonte	125	1 x borne type B
IL3	B3	P3	9.35	9.35	10.3	Fonte	125	2 x borne type A
IL4	B4	P4	5.26	5.7	6.3	Fonte	100	2 x borne type A
		P5	0.44		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL5	B5	P6	5.95	5.95	6.5	Fonte	100	2 x borne type A
IL6	B6	P7	1.66	13.37	14.7	Fonte	125	1 x borne type B
		P8	11.71		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL7	B7	P9	4.18	6.54	7.2	Fonte	100	2 x borne type A
		P10	2.36		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL8	B8	P11	2.36	4.89	5.4	Fonte	100	2 x borne type A
		P12	2.53		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL9	B9	P13	1.77	2.09	2.3	Fonte	80	2 x borne type A
		P14	0.32		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL10	B10	P15	6.05	15.87	17.5	Fonte	125	1 x borne type B
		P16	9.82		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL11	B11	P17	1.672	4.237	4.7	Fonte	80	2 x borne type A
		P18	0.673		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
		P19	1.892		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL12	B12	P20	1.091	2.535	2.8	Fonte	80	2 x borne type A
		P21	0.655		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
		P22	0.789		0.0	Fonte	80	2 x borne type A
IL13	B13	P23	3.2	3.2	3.5	Fonte	80	2 x borne type A
<b>Total</b>			<b>100</b>	<b>100</b>	<b>109</b>			



### V.5 ) Caractéristiques des forages :

Les différentes caractéristiques des forages et l'eau d'irrigation sont détaillées comme suit :

**Tableau V.3 :** Caractéristiques des forages.

forage	Coordonnées (km)	Altitude (m)	Niveau statique (m)	Niveau dynamique (m)	Débit de forage L /S	Réservoir Cote (m)
(W5)	X = 939.7 Y = 350.47	Z = 869.50	-20.41	-24.5	60	888
(W6)	X = 906.7 Y = 261.5	Z = 870.80	-20.82	-24.1	60	

(Source INSID)

### V.6) Dimensionnement de la 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 de refouler les eaux vers le réservoir.

#### V.6.1) 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.

#### V.6.1.1) 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.

#### V.6.1.2) 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 croit avec le diamètre extérieur de la roue. Dans ce cas, l'écoulement est radial et les aubages sont des surfaces planes.

**V.6.1.3) 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.

**V.6.1.4) 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.

**V.6.2) Détermination de la hauteur d'élévation calculée :**

La hauteur d'élévation se calcule comme suivant :

$$H_{cal} = h_g + \sum h_p (asp) + \sum h_p (ref) + P_{exh}$$

Avec :

$h_g$  : Hauteur géométrique (m) ;

$\sum h_p(asp)$  : Pertes de charges à l'aspiration (m) ;

$\sum h_p (ref)$  : Pertes de charges au refoulement (m) ;

$P_{exh}$  : Pression nécessaire à l'exhaure (sortie du collecteur),  $P_{exh} = (1,0 \div 1,5)$  m ;

On prend  $P_{exh} = 1$  m

**V.6.3) Hauteur manométrique totale :**

La hauteur manométrique est donnée par la formule

$$HMT = H_g + \Delta h_p$$

Avec :

HMT : Hauteur Manométrique Totale en (m).

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

Avec :

$h_a$  : hauteur d'aspiration

$h_r$  : cote du réservoir = 888 m

**➤ Pour le forage (W5):**

La pompe sera placée au dessous du niveau dynamique du forage à une hauteur de -25m, donc elle sera à une cote de:

$$869.50 - 25 = 844.5 \text{ m}$$

Donc la hauteur géométrique entre le réservoir et la pompe sera:

Cote Réservoir – Cote pompe est à :

$$H_g = 888 - 844.5 = 43.5 \text{ m}$$

**Longueur de refoulement :**  $L_{ref} = 276 \text{ m}$

Nous avons :  $Q = 60 \text{ l/s} = 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$

Le diamètre de refoulement est calculé par la formule de BONIN :

$$\text{On trouve } \mathbf{D = 0.245 \text{ m} = 245 \text{ mm}}$$

**Calcul des pertes de charge totales :**

**a) pertes de charge linéaires :**

Les pertes de charge sont calculées comme suit :

$$\Delta H_l = I * L = \lambda \frac{L V^2}{D 2g}$$

L : longueur du tronçon en (m).

V: vitesse moyenne d'écoulement en (m/s).

$\Delta H_l$  : Pertes de charge linéaires en (m) :

I: gradient hydraulique en (m/m)

Le coefficient  $\lambda$  est obtenu par les formules suivantes:

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

$\xi$  : Rugosité absolue ; 0,046 mm. (Conduite en fonte)

**b) Pertes de charge singulières :**

Elles sont occasionnées par les singularités des différents accessoires de la conduite (Coude, vannes, clapets,.....) Elles sont estimées à 10 % des pertes de charge linéaires pour une adduction ou conduite longue.

$$\Delta H_s = 0,1 * \Delta H_l$$

**V.6.4) Calcul de diamètre économique :**

Le calcul du diamètre économique se fait en faisant un bilan technico-économique sur les frais d'exploitation et d'investissement :

**a) Calcul de la HMT pour différents diamètres :****Tableau V-4 :** Calcul de la HMT pour divers diamètres de la conduite

Diamètre en (mm)	V (m/s)	$\lambda$	$\Delta H_l$ (m/m)	$\Delta H_t$ (m)	Hg (m)	HMT
150	3.40	0.0100	8.50	11,89	43,5	55,39
200	1.91	0.0095	1.92	2,69	43,5	46,19
250	1.22	0.0092	0.61	0,85	43,5	44,35
300	0.85	0.0089	0.24	0,33	43,5	43,83
400	0.48	0.0085	0.05	0,08	43,5	43,58

**b) Calcul des frais d'exploitations :****Tableau V- 5:** Calcul des dépenses énergétiques annuelles en fonction des diamètres

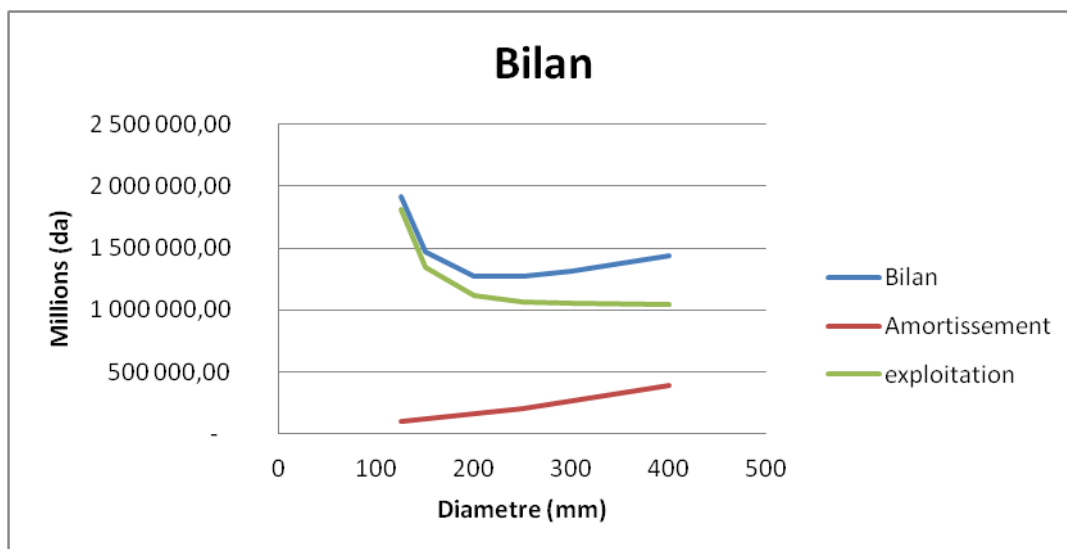
Diamètre (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Hmt (m)	Puissance (KW)	E KWh annuels	Prix du KWh (DA)	F <sub>exploitation</sub> (DA)
150	216	55,39	40,754	297503,1445	4,69	1 395 289,7
200	216	46,19	33,982	248070,466	4,69	1 163 450,5
250	216	44,35	32,629	238194,647	4,69	1 117 132,9
300	216	43,83	32,249	235415,0906	4,69	1 104 096,8
400	216	43,58	32,060	234040,2433	4,69	1 097 648,7

*c) Calcul du prix de revient :***Tableau V-6 :** Calcul du prix de revient des diamètres de la conduite

D (mm)	Prix ML(TTC)	prix de pose TTC (DA)	L (m)	Prix (DA)	ANNUITE	FAmort (DA)
150.00	4 461.00	420.00	276.0	1 347 156.00	0.09	119 896.88
200.00	6 094.00	500.00	276.0	1 819 944.00	0.09	161 975.02
250.00	7 745.00	600.00	276.0	2 303 220.00	0.09	204 986.58
300.00	10 117.00	620.00	276.0	2 963 412.00	0.09	263 743.67
400.00	15 266.00	650.00	276.0	4 392 816.00	0.09	390 960.62

*d) Choix de diamètre***Tableau V-7 :** Bilan technico-économique des diamètres choisis

Diamètre (mm)	Investissement	Exploitation	Bilan
150.0	119 896,88	1 395 289,75	1 515 186,63
200.0	161 975,02	1 163 450,49	1 325 425,50
250.0	204 986,58	1 117 132,89	<b>1 322 119,47</b>
300.0	263 743,67	1 104 096,77	1 367 840,44
400.0	390 960,62	1 097 648,74	1 488 609,37



**Figure V.1** : Résultats de l'étude technico-économique

D'après le graphe précédent, on s'aperçoit que le diamètre optimal est de  $D=250$  mm. On prend donc ce diamètre pour la conduite de refoulement du forage 1, la HMT est de 44,35, soit donc 45 m.

#### ***V.6.5) Choix de type et du nombre de pompe pour la station de pompage (SP) : Forage 1***

***Critères du choix du nombre de pompes sont suivants***

- nombre minimal de pompes.
- puissance absorbée minimale.
- $(NPSH)_r$  minimal.
- meilleur rendement.
- Vitesse de rotation élevée.

Les intervalles des nombres de pompes sont :

Si :

$N_p \leq 4 \rightarrow$  1 pompe de secours

$4 < N_p \leq 6 \rightarrow$  2 pompes de secours

$N_p \geq 6 \rightarrow$  3 pompes de secours

D'après les données recueillies et le choix du diamètre économique, nous avons :

- Le débit d'équipement qui est de 60 l/s.
- La hauteur manométrique totale nécessaire à l'adduction elle est de 45 m
- la conduite de refoulement a un linéaire de 276 m.

Dans notre cas, nous avons utilisé le logiciel CAPRARI pour le choix du type et du nombre des pompes. Le tableau VI-8 englobe le type, le nombre et les caractéristiques de chaque pompe choisie.

**Tableau V- 8 : Caractéristiques des pompes disponibles**

N	Q (l/s)	HMT (m)	Type de Pompe	Hauteur_pompe (m)	$\eta$ %	Vitesse (tr/min)	$P_{abs}$ (Kw)	(NPSH) <sub>r</sub> (m)	$\varnothing$ mm
1	60	45	E12S55/ 2EF	45.4	79.1	2900	37.0	8.9	150
2	2x33	45	E9 S55/ 3S	45.3	78.8	2900	36.5	6.25	150

➤ **Les critères à respecter dans le choix**

Les critères à respecter dans le choix sont :

- Nombre minimal de pompes et type de pompe.
- Meilleur rendement.
- NPSH requis minimal.
- Puissance absorbée minimale
- Le nombre de tours par minute plus important (vitesse de rotation)

Dans notre cas, on choisit la variante a deux pompes de type E9 S55/ 3S qui donne les meilleures performances avec un NPSH requis plus faible.

• **Pour le forage (W6) :**

Le niveau dynamique du forage est à :

$$870.80 - 25 = 845.80 \text{ m}$$

Donc la hauteur de refoulement est à :

$$H_g = 888 - 845.80 = 42.2 \text{ m}$$

$$L_{ref} = 242 \text{ m}$$

$$Q = 60 \text{ l/s} = 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$$

D : diamètre de la conduite (m)

Le diamètre de refoulement est calculé par la formule de BONIN :

$$D = \sqrt{Q} = \sqrt{0.06}$$

On trouve  $D = 0.244 \text{ m} = 244 \text{ m}$

### V.6.6) Calcul le diamètre économique :

#### a) Calcul de la HMT pour différents diamètres :

**Tableau V-9** : Calcul de la HMT pour divers diamètres de la conduite

Diamètre en (mm)	V (m/s)	$\lambda$	$\Delta H_l$ (m/m)	$\Delta H_t$ (m)	Hg (m)	HMT
150	3,40	0,0100	9,48	10,43	42,2	52,63
200	1,91	0,0095	2,14	2,36	42,2	44,56
250	1,22	0,0092	0,68	0,74	42,2	42,94
300	0,85	0,0089	0,26	0,29	42,2	42,49
400	0,48	0,0085	0,06	0,07	42,2	42,27

#### b) Calcul des frais d'exploitations :

**Tableau V- 10**: Calcul des dépenses énergétiques annuelles en fonction des diamètres

Diamètre (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)	Hmt (m)	Puissance (KW)	E (KWh annuels)	Prix du KWh (DA)	F <sub>exploitation</sub> (DA)
150	216	52,63	38,720	282653,3593	4,69	1 325 644,3
200	216	44,56	32,782	239310,2136	4,69	1 122 364,9
250	216	42,94	31,596	230650,981	4,69	1 081 753,1
300	216	42,49	31,262	228213,8337	4,69	1 070 322,9
400	216	42,27	31,097	227008,3517	4,69	1 064 669,2



## c) Calcul du prix de revient :

**Tableau V-11** : Calcul du prix de revient des diamètres de la conduite

D (mm)	Prix ML(TTC)	prix de pose TTC (DA)	L (m)	Prix (DA)	ANNUITE	FAmort (DA)
150.00	4 461,00	420,00	242,00	1 181 202,00	0,09	105 126,98
200.00	6 094,00	500,00	242,00	1 595 748,00	0,09	142 021,57
250.00	7 745,00	600,00	242,00	2 019 490,00	0,09	179 734,61
300.00	10 117,00	620,00	242,00	2 598 354,00	0,09	231 253,51
400.00	15 266,00	650,00	242,00	3 851 672,00	0,09	342 798,81

## c) Choix de diamètre

**Tableau V-12**: Bilan technico-économique des diamètres choisis

Diamètre en (mm)	Investissement	Exploitation	Bilan
150.0	105 126,98	1 325 644,26	1 430 771,23
200.0	142 021,57	1 122 364,90	1 264 386,47
250.0	179 734,61	1 081 753,10	<b>1 261 487,71</b>
300.0	231 253,51	1 070 322,88	1 301 576,39
400.0	342 798,81	1 064 669,17	1 407 467,98

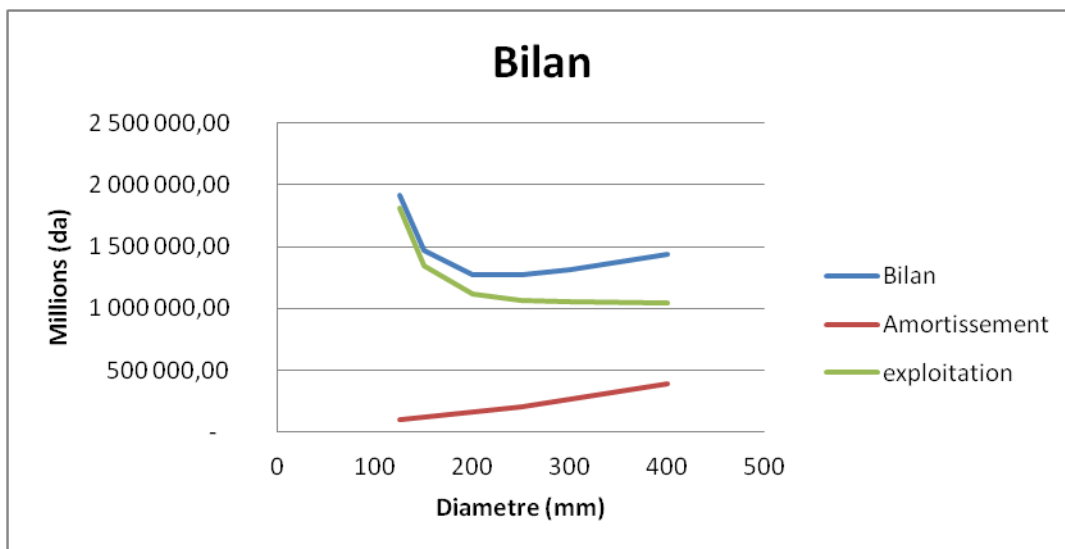


Figure V.2 : Résultats de l'étude technico-économique

D'après le graphe précédent, on s'aperçoit que le diamètre optimal est de  $D=250$  mm. On prend donc ce diamètre pour la conduite de refoulement du forage 2, la HMT est de 42.49 .

V.6.7) Choix de type et du nombre de pompe pour la station de pompage (SP) : Forage 2

Tableau V- 13 : Caractéristiques des pompes disponibles

N	Q (l/s)	HMT (m)	Type de Pompe	HMT_pompe (m)	$\eta$ %	Vitesse (tr/min)	$P_{abs}$ (Kw)	(NPSH) <sub>r</sub> (m)	$\phi$ mm
1	60	43	E12S55/ 2EF	44	78.7	2900	36.1	9.09	150
1	60	43	E10S55/2A	44	73.8	2900	37.0	5.77	150
2	2x30	43	E8 S64/ 3K	44	76.3	2900	34.5	5.0	125

Dans notre cas, on choisit la variante a deux pompes de type E8 S64/ 3K qui donne les meilleures performances avec un NPSH requis plus faible.

### V.7 ) Protection anti-bélier :

#### Méthode de calcul du volume d'air dans le réservoir :

Dans notre étude, on se base sur le dimensionnement d'un réservoir d'air par la méthode de Vuibert.

Cette méthode a pour base l'utilisation d'un abaque simple qui à l'origine de la formule suivante :

$$U_0 = \frac{V_0}{2 \cdot g \cdot H_0} \cdot \frac{L.S}{f\left(\frac{H}{H_0}\right)}$$

(Voir l'abaque de VIBERT en annexe I).

$U_0$  : volume d'air initial en  $m^3$ .

$V_0$  : vitesse initiale de l'écoulement en m/s.

$H_0$  : hauteur de pression absolue dans le réservoir en régime permanent.

$H$  : hauteur de la pression dans le réservoir après formation du coup de bélier.

L'utilisation de l'abaque résume les étapes suivantes :

1. calcule de  $\frac{V_0}{2g}$  et  $\frac{h_0}{H_0}$ .
2. calcul de  $\frac{H_{\max}}{H_0}$ .
3. le fixation des points  $\frac{H_{\max}}{H_0}$  et  $\frac{h_0}{H_0}$  sur l'abaque, puis en relie ces deux points par une droite et on lit la valeur correspondante de  $\frac{U_0}{L.S}$  qui est l'intersection de cette droite et l'axe  $\frac{U_0}{L.S}$ .
4. détermination de  $U_0$ .
5. détermination de la valeur de  $\frac{H_{\max}}{H_0}$  en suite  $H_{\min}$ .
6. calcul du  $U_{\max}$  qui est le volume maximum du réservoir.  $U_{\max} = \frac{U_0 \cdot H_0}{H_{\min}}$ .
7. calcul du volume réel du réservoir d'air.  $U_R = K \cdot U_{\max}$        $K = (1.1 \text{ à } 1.3)$

#### Partie de calcul (forage1):

Hg = 43.5 m

$$D = 250 \text{ mm.}$$

$$Q = 2 \times 30 = 0.125 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$v_0 = \frac{4.Q}{\pi.D^2} = 1.22 \text{ m/s}$$

$$P_N = 10 \text{ bars} = 100 \text{ m.}$$

$$H_0 = H_g + 10 = 52.0 \text{ m.}$$

**Calcul de  $h_0$  :**

$$h_0 = \frac{V_0}{2g} = \frac{1.22^2}{2.(9.81)} = 0.076 \text{ m}$$

$$\frac{h_0}{H_0} = 1.46.10^{-3}$$

**Calcul de  $\frac{H_{\max}}{H_0}$  :**

$$\frac{H_{\max}}{H_0} = \frac{100}{52} = 1.92$$

On relie les des points  $\frac{H_{\max}}{H_0}$  et  $\frac{h_0}{H_0}$  sur l'abaque on trouve,

$$\frac{U_0}{L.S} = 0.9.10^{-2} \Rightarrow U_0 = L.S.0.9.10^{-2} = 242. \frac{3,14.(0.25^2)}{4} .0.9.10^{-2} = 0.1 \text{ m}^3$$

**Détermination de  $H_{\min}$  :**

$$\frac{H_{\max}}{H_0} = 0.61 \Rightarrow H_{\min} = H_0.0.61 = 0.061 \text{ m}^3$$

**Calcul de  $U_{\max}$  :**

$$U_{\max} = \frac{U_0.H_0}{H_{\min}} = 54.74 \text{ m}^3$$

Donc

$U_{\max} = 54.74 \text{ m}^3$
--------------------------------

**Calcul de  $U_{\text{réel}}$  :**

$$U_R = K.U_{\max} = 1.1 \times 54.74 = 60 \text{ m}^3$$

$U_{\text{réel}} = 60 \text{ m}^3$
------------------------------------

### V.8) Dimensionnement du réservoir de distribution :

Pour assurer une irrigation en continue, un réservoir de stockage est utile. Pour le dimensionnement de ce réservoir, on a les données suivantes :

Le volume du réservoir est calculé comme suit :

$$V = Q \cdot T_f$$

Q : est le besoin maximum journalier = 120 l/s = 432 m<sup>3</sup>/h

T<sub>f</sub> : l'intervalle de temps, il correspond au temps de non fonctionnement de la pompe, puisqu'on a le temps de pompage est de 22h/j, donc T<sub>f</sub>=2h

$$V = 864 \text{ m}^3$$

Le réservoir projeté est prévu circulaire en béton armé avec une capacité de 1000 m<sup>3</sup> ;

Les dimensions du réservoir sont comme suit :

**Tableau V-14:** Dimensions du réservoir de stockage projeté

Volume (m <sup>3</sup> )	1000
Hauteur (m)	5
Diamètre (m)	16
Côte du radier du réservoir (m)	888
Côte trop plein du réservoir (m)	893

### V.9) Dimensionnement du réseau de distribution :

#### V.9.1) Caractéristiques des conduites du réseau de distribution gravitaire :

Après avoir calculé les débits de chaque ilot, et déterminé les critères hydrauliques de la conduite de refoulement ainsi la station de pompage, nous procédons à la deuxième étape de calcul celle du réseau de distribution.

#### V.9.2) Vitesses admissibles :

La fixation d'un seuil de vitesse admissible dans les conduites, permet outre l'introduction d'un seuil raisonnable de diamètre maximum, un compromis technique:

- De faire une économie sur le coût des canalisations ;
- D'éviter les risques entraînés par des vitesses importantes (risque d'érosion) et les vitesses faibles (risque de dépôts solides)

La vitesse admissible est choisie entre 0.5 m/s, comme vitesse minimale, et 2.5 m/s comme vitesse maximale.

### **V.9.3 ) Choix du matériau des conduites :**

Le choix du matériau est l'un des compromis entre critères à voir :

- La satisfaction des conditions hydrauliques (débit, pression).
- La disponibilité sur le marché local.
- L'intérêt économique.
- Du type de sol

### **V.9.4) Caractéristiques des canalisations**

#### **a) Conduites en fonte :**

Présentent plusieurs avantages :

- Bonne résistance aux forces internes ;
- Bonne résistance à la corrosion ;
- Très rigides et solides.

Leur inconvénient est :

- coût relativement important

#### **b) Conduite en acier**

- Les conduites en acier sont plus légères que les conduites en fonte, d'où l'économie sur le transport et la pose
- Bonne résistance aux contraintes (choc et écrasement).

Leur inconvénient est

- la corrosion.

#### **c) Conduite en PEHD**

Ils sont les plus utilisés car ils présentent des avantages importants

- Bonne résistance à la corrosion
- Disponible sur le marché
- Une pose de canalisation facile
- Leur coût est relativement faible.

Leur inconvénient est

- le risque de rupture dans le cas d'une mauvaise soudure.

- **V.9.5) Calcul des diamètres**

Le calcul des diamètres est réalisé sur la base des débits véhiculés par le tronçon de conduite, et les vitesses.

La formule de " LABYE " nous donne une approche du diamètre économique qu'on normalise

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q \times 0.001}{\pi \times V}} \times 1000$$

Avec :

Q : débit, exprimé en (m<sup>3</sup>/s) ;

D: diamètre exprimé en mm.

V : vitesse qui donne le diamètre économique est de 1.2 m/s

### **V.9.6) Calcul des pertes de charge**

Les pertes de charge unitaires, ont été définies par la formule de LECHAPT et CALMON,

Qui est donnée par la formule suivante :

$$h_{pu} = \frac{L \times Q^M}{D^N} \times C$$

Avec :

$h_{pu}$ : Pertes de charge unitaire en mm/ml

Q: Débit en m<sup>3</sup>/s

D : Diamètre de la conduite considérée

L, M et N : Paramètres en fonction de la rugosité absolue (Ks) des canalisations

C : coefficient compris une majoration de 10 % pour les pertes de charge singulière :

$$J=L \times Q^M/D^N$$

**Tableau V-15** : Paramètres de pertes de charge de la loi de Lechapt-Calmon

K (mm)	L	M	N
0,1	1,15	1,89	5,01
0,5	1,4	1,96	5,19
1	1,6	1,975	5,25

Dans notre cas, les conduites seront en fonte si leur diamètre est supérieur ou égal à 400mm et en PEHD dans le cas contraire.

Pour une conduite en fonte/PEHD, on a les caractéristiques suivantes :

La rugosité équivalente  $K=0.1$  mm, donc

$L=1.15$   $M=1.89$   $N=5.01$

Nous avons estimé la vitesse dans la conduite égale à 1.2 m/s.



N° du trnçon	L L(m)	L(km)	débit Q(l/s)	débit Q(M3/S)	Diametre calculé	D_N	Vitesse V réelle(m /s)	Perte de charge total $\Delta H_t$ (m)	Perte de charge total $\Delta H_t$ (m)	Cote terrain aval Z (m)	cote peiezometriqu e (m)	Pression au point P(m)	Pression (bars)
R-N1	881,79	0,88179	108,90	0,109	333,05	400,00	0,867	1,513	1,66	864,00	886,34	22,30	2,23
N1-B1	231,22	0,23122	108,9	0,109	333,05	400,00	0,867	0,397	0,44	862,03	885,90	23,87	2,39
B1-B2	239	0,239	51,799	0,052	229,70	315,00	0,665	0,333	0,37	859,66	885,53	25,87	2,59
B2-N2	308,33	0,30833	37,697	0,038	195,95	250,00	0,768	0,750	0,83	855,60	884,71	30,30	3,03
N2-B3	108,9	0,1089	37,697	0,038	195,95	250,00	0,768	0,265	0,29	854,70	884,42	30,80	3,08
B3-B4	151,69	0,15169	27,412	0,027	167,10	200,00	0,873	0,618	0,68	855,8	884,03	28,23	2,82
B4-N3	121,53	0,12153	21,142	0,021	146,75	200,00	0,673	0,303	0,33	857	883,69	26,69	2,67
N3-B5	150,39	0,15039	21,142	0,021	146,75	200,00	0,673	0,375	0,41	56,80	885,49	29,60	2,96
B5-B6	135,38	0,13538	21,571	0,022	148,23	160,00	1,073	1,073	1,18	855,6	884,31	29,70	2,97
B1_N4	133	0,133	15,389	0,015	125,20	160,00	0,766	0,557	0,61	861,5	885,29	23,79	2,38
N4_B7	258	0,258	15,389	0,015	125,20	160,00	0,766	1,080	1,19	859,90	884,10	24,20	2,42
B7_B8	255,1	0,2551	8,844	0,009	94,91	120,00	0,782	1,584	1,74	859,85	882,36	22,51	2,25
B8-B9	110	0,11	2,299	0,002	48,39	63,00	0,738	1,351	1,49	859,90	880,87	20,97	2,10
B1_N5	268,54	0,26854	28,7562	0,029	171,15	200,00	0,916	1,198	1,32	862	884,58	22,58	2,26
N5_B10	177,63	0,17763	28,7562	0,029	171,15	200,00	0,916	0,793	0,91	860,2	883,67	23,47	2,35

**CHAPITRE V****La station de pompage**

B10_B11	326,8	0,3268	11,2992	0,011	107,28	160,00	0,562	0,763	0,88	855,5	882,80	27,30	2,73
B11_B12	144,3	0,1443	6,6	0,007	81,99	90,00	1,038	2,178	2,50	853,6	880,30	26,70	2,67
B12_B13	116	0,116	2,794	0,003	53,35	90,00	0,439	0,345	0,40	851,8	879,90	28,10	2,81

**Tableau V-16** : Résultats de calcul (vitesse, perte de charge et pressions)

**Conclusion :**

Une station de pompage et l'ouvrage de stockage dans notre projet est indispensables, car on ne peut pas acheminer l'eau d'un point plus bas vers un point plus haut sans pompage.

On a choisi une pompe immergé multi cellulaires a axe horizontal pour le pompage de l'eau a partir du forage.

# Chapitre VI

## Techniques d'irrigation

---

## *Chapitre VI : Techniques d'irrigation*

### *Introduction*

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides.

On peut distinguer plusieurs techniques et systèmes d'irrigation, qui se sont développées à travers le monde et les civilisations.

### *VI-1) Les techniques d'irrigation*

#### *VI-1-1) Irrigation de surface*

Les irrigations de surface recouvrent l'ensemble des techniques d'irrigation où l'eau disponible en tête de parcelle est répartie sur le terrain à irriguer par un écoulement gravitaire de surface, ne nécessitant aucun aménagement adéquat du sol.

On classe généralement les différentes techniques d'irrigation de surface en trois groupes principaux (**Ollier & Poirée, 1981**): irrigations par submersion, irrigations par ruissellement, irrigations par rigoles d'infiltration.

- Les irrigations par submersion consistent à introduire rapidement l'eau dans des bassins convenablement délimités par de petites digues arasées à l'horizontale, puis à laisser cette eau s'infiltrer dans le sol.
- les irrigations par ruissellement, l'eau ruisselle en nappe mince sur toute la surface à irriguer et s'infiltré progressivement.
- Les irrigations par rigoles, où les eaux sont répandues sur le sol par débordement de petites rigoles, correspondent à des aménagements sommaires, courants en pays de montagne. On utilise des rigoles de niveau ou des rases (rigoles en oblique) selon la pente du terrain.

Dans les irrigations par rigoles d'infiltration, l'eau ne ruisselle que sur une partie du sol, dans des sillons préalablement aménagés, et s'infiltré latéralement et verticalement. L'irrigation à la raie est particulièrement adaptée aux cultures en ligne. L'irrigation par corrugations (microsillons) en constitue une variante adaptée aux cultures couvrantes.

**VI-1-1-1) Irrigation par bassin**

Cette méthode consiste à introduire la dose d'arrosage à l'intérieur de planches horizontales bordées par des diguettes et formant bassin de submersion.

L'eau est amenée aux bassins par un canal arroseur situé entre deux séries de bassins adjacents. Le débit disponible est déversé successivement dans les différents bassins par des vannages disposés de part et d'autre du canal. La culture du riz qui nécessite des volumes d'eau importants est un des exemples de ce type d'irrigation.

**VI-1-1-2) Irrigation à la planche**

L'irrigation à la planche, s'effectue par le ruissellement d'une lame d'eau sur une planche (terrain en pente parfaitement nivelée) délimitée par deux diguettes longitudinales ou levées. L'eau est déversée à la partie supérieure de la planche constituant le petit côté d'un rectangle. Le ruissellement en nappe uniforme implique un nivellement assurant une pente transversale nulle (écart toléré : 2 à 3 cm).

**VI-1-1-3) Irrigation à la raie**

Avec l'irrigation à la raie, l'eau ne ruisselle que sur une faible partie de la surface du sol dans des raies ou sillons préalablement aménagés et qui constituent des rigoles d'infiltration.

L'irrigation par ruissellement et infiltration présentent plusieurs inconvénients :

- ❖ Elle nécessite un aménagement préalable du terrain.
- ❖ Le volume d'eau utilisé est important.
- ❖ Pertes d'eau considérable.
- ❖ Elle nécessite beaucoup de mains d'œuvre.
- ❖ La durée de l'arrosage est plus longue.

A cause de ces inconvénients et avec la disponibilité de matériel de l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée, les surfaces irriguées par l'aspersion et l'irrigation localisée connaissent une augmentation chaque année dans en Algérie.

**VI-1-2) Irrigation par aspersion**

L'irrigation par aspersion est la technique d'arrosage par laquelle l'eau est fournie aux plantes sous forme de pluie artificielle, grâce à l'utilisation d'appareils d'aspersion alimentés en eau sous pression (Clément & Galland, 1979).

Ces appareils rotatifs pulvérisent l'eau en fines gouttes et doivent assurer une répartition aussi uniforme que possible de pluie sur la surface du sol.

#### ***VI-1-2-1) Avantages de l'irrigation par aspersion***

- ❖ Elle ne nécessite aucun aménagement préalable de la surface d'irrigation.
- ❖ Elle 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 par comparaison avec les autres systèmes d'irrigation ; elle permet un dosage précis et une répartition régulière de la quantité d'eau distribuée.
- ❖ Elle met à la disposition des exploitants des conditions d'arrosage très souples.

#### ***VI-1-2-2) Inconvénients de l'irrigation par aspersion***

- ❖ Elle nécessite au départ, pour chaque irrigant une dépense importante de premier établissement et qu'elle exige souvent une nombreuse main d'œuvre d'explication.
- ❖ Elle favorise l'évaporation qui est d'autant plus intense que les gouttelettes sont plus fines et l'air plus sec.
- ❖ Elle favorise le développement des mauvaises herbes.
- ❖ Elle exige un choix judicieux des époques d'irrigation, toute irrigation intempestive pouvant provoquer au printemps par refroidissement du sol un retard dans la végétation.
- ❖ L'eau donnée en pluie passe le sol et provoque la formation d'une croûte superficielle.

#### ***VI-1-2-3) Contraintes de l'irrigation par aspersion***

L'irrigation par aspersion sera à écarter dans les régions très régulièrement ventées: pour des vents supérieurs à 04 ou 05 m/s, l'homogénéité de l'arrosage est considérablement dégradée.

Avec des eaux salées sur des plantes à feuillage sensible au sel (risque de brûlure). Une atmosphère très sèche jointe à un rayonnement solaire intense aggrave ce risque.

#### ***VI-1-2-4) Éléments d'installation de l'irrigation par aspersion***

L'installation de l'irrigation par aspersion comporte trois éléments :

- 1) Un appareil de pompage qui fournit l'eau nécessaire à l'arrosage avec la pression utile, cet appareil n'est pas nécessaire dans le cas où existe un réseau collectif de distribution d'eau sous pression.

- 2) Des conduites sous pression qui distribuent l'eau en tous points utiles de la surface à arroser et qui alimentent les appareils qui projettent et répartissent l'eau sur le sol.
- 3) Ces installations sont fixes, mobiles ou mixtes.

#### ***VI-1-2-5) Les différents types d'installation par aspersion***

##### ***A) Les équipements classiques***

Les équipements classiques sont ceux qui mettent en jeu des arroseurs à basse et moyenne pression (2 à 4 bras), implantés selon des écartements inférieurs ou égaux à 24 m.

Il y a deux types d'équipements classiques :

- Equipements avec rampes rigides.
- Equipements avec rampes souples et asperseurs sur traineau.

##### ***B) Les équipements avec canons ou arroseurs géants à poste fixe***

Les canons d'arrosage ou arroseurs géants fonctionnant à haute pression (04 à 06 bras) et peuvent être implantés à des écartements variant de 36 m à plus de 100m.

##### ***C) Les équipements avec arroseurs automoteurs***

Avec les appareils automatiques, l'équipement de la parcelle à irriguer se réduit à une conduite fixe ou semi- fixe. Cette conduite sera équipée de piquages avec vannes d'arrêt, aux points d'alimentation de différentes bandes à arroser.

#### ***VI-1-2-6) Choix d'une installation***

L'examen précédent des divers types d'arroseurs et des différents types d'équipements possible met en évidence l'extrême diversité des choix possibles. Cependant, une série de contraintes vient restreindre le champ des solutions réalisables.

##### ***A) contraintes techniques***

La pression disponible, dans le cadre d'un réseau collectif de distribution, limite la gamme des installations possibles sans supprimeurs.

Le vent s'il est important avec une rythme soutenu, peut conduire, de même à limiter l'écartement envisagé.

La vitesse d'une filtration limitée du sol constitue la limite supérieure de la pluviométrie d'arrosage admissible.



### *B) Contraintes économiques*

Une contrainte d'ordre économique peut être enfin envisagée pour fixer un plafond aux investissements que l'exploitant pourra consentir. Cette contrainte pourra limiter le degré de couverture de la parcelle en matériel.

#### *VI-1-2-7) Différentes installations à la parcelle*

En pratique, deux solutions extrêmes peuvent être envisagées :

-L'installation totalement fixée, et l'installation totalement mobile.

Dans l'installation fixée, l'ensemble des équipements (pompe, canalisation, asperseur) sont fixés de façon permanente, ce qui limite une main d'œuvre, mais occasionne des investissements très élevés.

#### **-Couverture totale (quadrillage total)**

Ce dispositif est le plus utilisé, au lieu d'avoir une seule rampe on couvre toute la superficie à arroser par toute la tuyauterie, celle-ci reste en place durant toute la saison d'arrosage. Dans ce cas, seuls les asperseurs doivent être déplacés et chaque rampe comporte un asperseur et forme une rampe fictive, ce qui permet de réduire le diamètre de la rampe.

#### **-Couverture intégrale**

La parcelle à arroser est entièrement couverte par des tuyaux et des arroseurs à poste fixe, l'arrosage est commandé par l'ouverture et la fermeture d'une vanne soit manuellement soit automatiquement par commande hydraulique ou électrique. Le débit d'installation qui est généralement élevé reste une contrainte à l'application de ce type de couverture

#### *VI-1-3) Irrigation localisée*

L'irrigation localisée est une expression qui caractérise un certain nombre de techniques nouvelles en particulier et principalement l'irrigation dite « goutte à goutte » qui ont en commun les caractéristiques suivantes (**Ollier & Poirée, 1981**):

- Une alimentation en eau à proximité immédiate du système racinaire des plantes cultivées
- L'utilisation souvent répétée à la limite continue de faibles débits instantanés.
- La limitation de la surface humectée du sol à ce qui semble strictement nécessaire, à l'exclusion de la portion du sol qui ne porte pas de plantes.

Aujourd'hui, grâce à la distribution sous pression, on a pu concevoir des systèmes qui peuvent être conduits facilement, qui s'automatisent aisément, et dont les pertes en eau sont négligeables.

### *VI-1-3-1) Avantages de l'irrigation localisée*

#### *A) Efficience de l'eau*

Peu de pertes par évaporation, puisqu'il n'y a pas de trajectoire aérienne des gouttes d'eau, que le feuillage n'est pas humidifié inutilement, qu'une partie de la surface du sol reste sèche, que la croissance des mauvaises herbes est très limitée et n'entraîne donc pas une consommation parasite (Rieul, 1992).

Il n'y a pas de ruissellement, pas de débordement sur les parcelles voisines ; les doses peuvent être mesurées avec précision, ce qui évite les pertes par percolation dans le sol. La répartition de l'eau n'est pas affectée par le vent, les irrégularités du terrain ne gênent pas.

#### *B) Avantages agronomiques*

- L'humidité du sol au voisinage des racines reste constamment élevée sans empêcher une bonne aération du sol.
- La fertilisation par des engrais incorporés à l'eau d'arrosage est aisée.
- L'atmosphère au voisinage des plantes n'est pas saturée d'humidité comme dans l'aspersion.
- les mauvaises herbes se développent peu.

#### *C) Avantages cultureux*

- Les activités culturales ne sont pas gênées par les arrosages
- Cette technique est compatible avec les cultures faites sous paille ou sous paillage plastique, les rampes se trouvent sous la couverture.

#### *D) Avantages économiques*

Le prix de revient est très influencé par l'espacement des lignes : s'il s'agit des cultures à grands espacements, tels les vergers, le prix de revient est nettement moins élevé que celui d'autres réseaux fixes, comme l'aspersion. Lorsque la distance entre les lignes descend en dessous de 3m, le coût s'élève beaucoup et l'étude économique comparative est indispensable. En ce qui concerne le coût d'exploitation, il est peu élevé, de plus la faible pression.

La méthode se prête en effet à une grande automatisation éliminant une grande partie de main-d'œuvre.

**VI-1-3-2) Inconvénient de l'irrigation localisée****VI-1-3-2-1) L'obstruction des goutteurs**

Des particules de sable, des dépôts lents d'argile ou de limons, des précipitations chimiques, le développement de micro-organismes sont les plus souvent rencontrés et favorisent l'obstruction des orifices des goutteurs. Or, cela provoque une mauvaise répartition de l'eau, très nuisible aux cultures s'il n'y est pas porté remède.

Il est à noter que l'entretien et l'élimination des goutteurs obstrués sont longs et onéreux. Le meilleur moyen de prévenir ces obstructions est un procédé par de filtration soignée de l'eau.

**VI-1-3-2-2) Accumulation de sels**

Pendant la période d'irrigation les sels sont peu refoulés à la périphérie du bulbe humide, plus spécialement près de la surface du sol. Une pluie légère risque alors de les entraîner vers les racines, ce qui est très dommageable.

**VI-1-3-3) Schéma type d'un réseau d'irrigation localisée**

Il y a beaucoup d'analogies avec le schéma d'un réseau d'arrosage par aspersion. De l'amont vers l'aval on trouve :

**VI-1-3-3-1) Un point d'eau**

Qui sera, suivant les cas, soit une borne d'un réseau collectif sous pression, soit une station de pompage et de mise en pression, l'eau étant prise soit dans un cours d'eau, ou dans bassin constituant réserve , ou encore dans un puits.

**VI-1-3-3-2) Une installation de tête**

Destinée à conditionner le débit d'eau sous différents aspects grâce aux appareils suivants :

- Une vanne d'arrêt,
- Un régulateur de pression,
- Un limiteur de débit,
- Un compteur d'eau,
- Un injecteur d'engrais (ou une pompe doseuse d'engrais liquide),
- Un unité de filtration (équipée de un ou plusieurs filtres).

**VI-1-3-3-3) Une canalisation principale**

Une canalisation principale qui par l'intermédiaire de dérivation munies chacune d'une vanne de répartition, alimente un certain nombre de postes, un seul pouvant en principe être alimenté à la fois (un poste peut être divisé en plusieurs sous postes).

**VI-1-3-3-4) Les portes rampes**

Autant de porte-rampes qu'il y a de postes à l'aval de chaque vanne de répartition.

**VI-1-3-3-5) Les rampe**

Qui sont alimentées par les porte-rampes et qui sont disposées, soit d'un seul côté de ces derniers, soit des deux côtés.

**VI-1-3-4) Nécessité d'une filtration**

Pour une filtration très soignée on trouvera en série :

- Un cyclone (ou vortex) constituant le dessableur ; il n'enlève que les particules plus denses que l'eau. Il n'assure donc qu'une fonction de dégrossissage et doit être suivi à d'au moins un autre filtre.
- Un filtre à sable constitué d'un certain nombre de couches de matériaux, de granulométrie bien définie et régulière, en général sable ou gravier. Ce filtre volumineux, est efficace en particulier pour arrêter les algues. Il doit être périodiquement nettoyé par un contre-courant.
- On doit obligatoirement terminer par un filtre à tamis constitué d'une toile métallique à maille régulière.

**VI-1-3-5) L'entretien du réseau**

Pour maintenir une distribution de l'eau aussi homogène que possible, il faut bien entretenir le réseau :

- En veillant au bon fonctionnement des filtres et en les nettoyants,
- En contrôlant régulièrement le réseau de distribution,
- En le purgeant.

***Conclusion***

Le choix d'un système d'irrigation rationnel pratiquement utilisable et économique doit tenir compte les critères suivants :

- le type de culture.
- les contraintes existantes dans la pratique.
- la maîtrise de la technique par l'exploitant.
- le cout de l'installation.

L'implantation de systèmes d'irrigation modernes permet de diversifier les cultures et d'augmenter considérablement leurs rendements, en particulier les céréales.

En Algérie, vu les aléas climatiques et les rendements agricoles très faibles, l'intensification des cultures passe par la mise en œuvre et l'installation de réseaux d'irrigation modernes et efficaces.

# Chapitre VII

## Dimensionnement d'un réseau d'irrigation

---

## ***Chapitre VII : Dimensionnement d'un réseau d'irrigation***

### ***Introduction :***

L'irrigation gravitaire reste encore trop consommatrice en volume d'eau, en particulier pour l'arboriculture, et reste inappropriée pour la céréaliculture.

Les techniques d'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée représentent deux techniques qui doivent être vulgarisées dans la wilaya de Khenchela, et cela vu leurs avantages sur les rendements des cultures.

### ***VII.1) Facteurs déterminant les performances d'un arroseur par aspersion :***

#### ***A) buse de l'asperseur :***

Le débit d'un arroseur est directement lié au diamètre de la buse, dont il est équipé. Dans de l'irrigation par aspersion, le diamètre varie de 2 à 30 mm.

#### ***B) pression :***

Pour une même buse, le débit et la portée de l'asperseur augmentent avec la pression. L'arrosage par aspersion exige une pression de service minimale de 2.5 bars.

#### ***C) Pluviométrie horaire :***

La vitesse d'arrosage (pluviométrie horaire) dépend essentiellement de la nature du sol, de la couverture végétale, et de la topographie. Elle est exprimée comme suite :

$$\text{Où } p = \left( \frac{1000 * Q}{S} \right)$$

P : pluviométrie horaire (mm/h)

Q : débit d'appareil (m<sup>3</sup>/h).

S : surface circulaire couverte par l'appareil en m<sup>2</sup>.

P : peut varier de quelque mm /h à plusieurs dizaines de mm/h suivant les appareils (elle varie souvent de 2 à 15 mm/h).

#### ***D) Portée du jet :***

C'est la distance de l'appareil au point du rayon arrosé. Elle peut être exprimée quelque soit la forme du diamètre d'arroseur.

La portée R permet de définir la surface circulaire arrosée S par l'appareil, pour les petit asperseur le jet varie de 6m à 20 m.

$S = \Pi * R^2$ , R varie de quelques mètres jusqu'à 80 m suivant le type d'appareil, ou S varie de dizaine de m<sup>2</sup> à quelques hectares pour les grandes canons.

### ***VII.2) Dimensionnement d'un réseau d'irrigation par Aspersions :***

Le dimensionnement par aspersion, nécessite au préalable de quantifier certains paramètres nécessaires à la mise en œuvre de cette technique.

#### **Données générales**

**-Choix de la culture** : étant donné les cultures mises en places et très appréciées dans la région, nous avons choisi l'irrigation de blé par aspersion.

**-Choix de la parcelle** : la parcelle choisie pour l'arrosage par aspersion est située l'ilot N°03, la parcelle P03 est d'une superficie de 9.3 ha, qui dispose d'une pression aux bornes de 3.08 bars.

**-Choix du mode de couverture** : pour des raisons économiques, on adopte pour la couverture totale.

**-Temps de travail** : 20 heures par jour, et 25 jours par mois

**-Besoins en eau de pointes** : 124.35 mm pour le mois de Mai.

**-Perméabilité du sol** : le sol est de type argileux-limoneux avec une perméabilité estimée de :  
K= 7mm/h.

**-Dose pratique** : RFU : elle est calculée comme suit :

$$RFU = Y (H_{cc} - H_{pf}) \cdot D_a \cdot Z$$

Y : degré de tarissement : égal à 2/3 ;

D<sub>a</sub> : densité apparente : égale à 1.35

Z : profondeur d'enracinement mm (60 cm pour Le blé)

H<sub>cc</sub> : humidité à la capacité au champ (27%)

H<sub>pf</sub> : humidité au point de flétrissement (13%).

$$RFU = (27-13)/100 * 0.6 * 1000 * 1.35 * 2/3 = \mathbf{75.6 \text{ mm}}$$

#### ***VII.2.1) Dimensionnement théorique :***

**-Le diamètre de l'ajutage :**

La perméabilité du sol K= 7mm/h.

On pose  $p \leq k$  tel que p : pluviométrie de la buse.

Le diamètre de la buse se calcul, par la relation suivante :



$$P = \frac{1.5 \cdot d}{1.04}$$

$$\text{D'où : } d = \frac{7 \cdot 1,04}{1,5} = 4,85 \text{ m}$$

D'après la fiche technique d'un arroseur de type PERROT (Annexe 3), le diamètre de la buse normalisé le plus proche est de 4.8 mm.

**-La portée du jet (L) :**

La portée du jet se calcule par l'équation suivante :

$$L = 3 \cdot d^{0,5} \cdot h^{0,25}$$

Ou d : diamètre de la buse (mm)

h : pression à la buse (m), dans notre cas P= 2.5 bars, h=25m.

$$L = 3 \cdot 4.80^{0,5} \cdot 25^{0,25} = 14.7m$$

Théoriquement, cette formule est valable, mais demande encore plus de précision en fonction du diamètre choisi et recommandé par le fournisseur.

D'après le catalogue (voir annexe I), pour le diamètre de la buse de 4,80mm à une pression de service minimale **de 2.5 bars** la portée calculée est de 14,5m.

**Ecartements entre les rampes et arroseurs :**

En fonction de la vitesse du vent, les normes américaines recommandent l'écartement maximum suivant :

El entre les lignes d'arrosage : 1,3 (vent faible) à 1,02 L (vent fort).

Ea entre les arroseurs sur la rampe : 0,8 (vent faible) à 0,5 L (vent fort).

Les valeurs maximales correspondent à des conditions de vent peu violent (<10Km/h).

Notre zone d'étude présente des vitesses pour des vents faibles de l'ordre de 2,5 m/s = 8.6 Km/h, donc on prend les valeurs suivantes :

$$E_l = 1,25 \cdot 14,5 = 18,37m$$

$$E_a = 0,82 \cdot 14,5 = 11,75m$$

On prend les valeurs normalisées des écartements.

$$\mathbf{El=18m, Ea=12m.}$$

**-Débit de l'asperseur :**

Le débit d'un asperseur se calcule, par la relation suivante :

$$q = 0,95 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{2 \cdot g \cdot h} =$$

$$0,95 \cdot \frac{3,14 \cdot (4,80 \cdot 10^{-3})^2}{4} \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 25} = 1,37 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00038 \text{ m}^3/\text{s}$$

Avec q débit de l'asperseur (m<sup>3</sup>/s).

**-Vérification de la pluviométrie de la buse :**

Si on admet que l'écartement est proportionnel à L, la pluviométrie horaire p en (mm/h) peut être appréciée via la relation :

$$P = \frac{q}{E_l \cdot E_a}$$

$$\text{D'où } p = \frac{1,37}{18 \cdot 12} = 6,4 \text{ mm/h}$$

Donc le diamètre de la buse choisi assurera une pluviométrie **P ≤ K = 7 mm/h**.

**-Calcul du tour d'eau (cas de l'aspersion) :**

$$T_{\text{eau}} = \frac{\text{Dose}_{\text{RFU}} \cdot N_j}{B_{\text{mp}}}$$

$$\text{Dose}_{\text{RFU}} = 75,6 \text{ mm}, N_j = 25/\text{mois}$$

$$T_{\text{eau}} = 15 \text{ jours}$$

On prend un T\_eau = **15 jours**

Nombre d'irrigation par mois : donc on irrigue **2 fois/mois**

Efficiéce d'irrigation = 0.75 . Besoin journalier = 124.35/30 = 4.14 mm

nouvelle dose réelle = 15 x 4.14 = **62.17 mm**

nouvelle dose brute dose brute = 62.17/0.75 = **82.9 mm**

Temps d'arrosage par position sans dépasser la capacité d'infiltration

$$T_a = \frac{\text{dose}_{\text{brute}}}{P}$$

P = 7 mm/h d'où

$$T_a = 11,84 \text{ heures}$$

**-Calcul du débit d'équipement :**

Il se calcule comme suit :

$$Q \left( \frac{m^3}{h} \right) = \frac{S(ha) \cdot B(mm) \cdot 10}{T \cdot a \cdot n \cdot N_j} = \frac{9.39 \cdot (124.35) \cdot 10}{(11.84) \cdot 1.25} = 33.36 \text{ m}^3/h$$

**-Calcul de l'unité d'arrosage Su :**

La surface unitaire arrosée ou unité de surface se calcule comme suit :

$$Su = \frac{S}{T \cdot n} = 0.626 \text{ ha}$$

**-Nombre d'asperseurs requis (fonctionnant en même temps) :**

$N_{asp} = (\text{surface à arroser (m}^2) / (\text{implantation}))$

$$N_{asp} = \frac{0.626 \cdot 10000}{12 \cdot 18} = 28 \text{ asperseurs}$$

**-Calcul du volume fourni par un asperseur par mois :**

$V = \text{nbr de position par jour} \cdot \text{nbr d'irrigation par mois} \cdot \text{Dose} \cdot Ea \cdot El$

$$V = (1 \cdot 25 \cdot 75.6 \cdot 12 \cdot 18) / 1000 = 408.24 \text{ m}^3$$

**VII.2.2) Dimensionnement hydraulique des rampes :**

Cette étape de dimensionnement diffère d'une parcelle à une autre car elle est basée sur les dimensions de la parcelle ainsi que la façon dont on projette le réseau d'aspersion.

**Longueur de la rampe (Lr) = Largeur terrain/2 - Ea/2**

$$310/2 - (12/2) = 149 \text{ m}$$

**Nbre asperseurs/rampe = 14 asperseurs**

**-Débit des rampes**

$$Q_{asp} \cdot \text{Nbre asperseur/rampes} = 1.37 \cdot 14 = 35.63 \text{ m}^3/h$$

$$\text{Débit du porte_rampes} = Q_{rampe} \cdot N_{rampe} = 35.63 \cdot 2 = 71.27 \text{ m}^3/h$$

**-Calcul des pertes de charge :**

L'expression générale des pertes de charges linéaire dans les tubes est calculée généralement par une formule de type Manning :

$$j = a \frac{Q^b}{D^c}$$

Avec :  $j$  : perte de charge unitaire en m/m

Q : débit en m<sup>3</sup>/s.

D : diamètre de la canalisation en m.

La formule de Manning correspond aux paramètres suivants :

$$a=10.294 n^2 ; \quad b=2 ; \quad c=5.333$$

Soit une rampe équipée de m asperseurs, implantés à un écartement E, avec un asperseur disposé à une distance E du début de la rampe.

L'estimation des pertes de charge totale dans la rampe peut être estimée par:

$$\Delta H = \left[ \frac{a \cdot Q^b}{D^c} \right] \cdot E \cdot \frac{1}{m^b} \sum_{i=1}^m i^b$$

Le premier terme entre crochets représente la perte de charge unitaire j provoquée par le débit Q entrant dans la rampe de diamètre D .

Le deuxième terme peut définir une longueur fictive de la rampe L<sub>f</sub>, par laquelle il suffit de multiplier la perte de charge unitaire j pour obtenir la perte de charge totale de la rampe.

$$\Delta H = j \cdot L_f$$

Soit F<sub>c</sub> le rapport entre la longueur réelle de la rampe et la longueur fictive qui s'écrira :

$$F_c = \frac{1}{m^{b+1}} \sum_{i=1}^m i^b$$

Cette équation peut être remplacée par une bonne approximation qui s'écrit

$$F_c = \frac{1}{b+1} + \frac{1}{2 \cdot m} + \frac{\sqrt{b-1}}{6 \cdot m^2}$$

Dans notre cas le premier asperseur d'une rampe va être disposé à une distance de son origine égale à la moitié de l'écartement E. le rapport L<sub>f</sub>/L<sub>r</sub> vaudra

$$F_m = \frac{F_c - \frac{1}{2 \cdot m}}{1 - \frac{1}{2 \cdot m}}$$

L'application de la règle de Christiansen conduit à imposer une perte de charge maximale de 20% de la pression de fonctionnement (P=2.5 bars, =25 m) entre le premier asperseur et l'asperseur le plus défavorisé, soit ΔH = 6m.

➤ *La méthode basée sur les vitesses dans la rampe*

**Nombre d'asperseur par rampe :  $N_{asp / rampe} = 14$  asp.**

**Nombre de rampes qui travaillent en même temps**

**$N_{r_w} = N_{ach} / (\text{nbr asp/ rampe}) = 1$  rampe**

On travaille avec une (1) seule rampe

Le débit de la rampe = 35.36 m<sup>3</sup>/h.

Donc le débit d'installation égale à = 35.36 m<sup>3</sup>/h .

**-Diamètre de la rampe :**

-Diamètre de la rampe :  $D_R = \sqrt{\frac{4Q_R}{\pi.V}}$

Avec  $V$  : vitesse de l'écoulement à travers la rampe

Où :  $V \leq V_{ADM}$  ;  $V_{adm} \in [0.5 \div 2.5] m/s$

On suppose que  $V = 1.5$  m/s et on calcule  $D_R$

$$D_R = \sqrt{\frac{(4).(0.0098)}{\pi.1.5}} = 91.66 \text{ mm},$$

Les conduites en PEHD disponibles sur le marché ont les diamètres suivants : 50 ; 63 ; 75 ; 90 ; 110 ; 125 ; 160 et 200mm.

Le diamètre normalisé des rampes est  **$D_R = 125$  mm.**

La nouvelle vitesse sera

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * d^2} = \frac{4 * 0.0098}{\pi * (110 * 10^{-3})^2} = 1.03 \text{ m/s}$$

**On trouve  $j = 0.0157$  m/m, soit une perte de charge sur toute la rampe = 5.02 m.**

**-Dimensionnement du Porte-rampe :**

$Q_{rampe} = Q_{asp} * n_{asp/rampe} * N_{rampe}$   $Q = 0.01979$  m<sup>3</sup>/s

Où :  $V \leq V_{ADM}$  ;  $V_{adm} \in [0.5 \div 2.5] m/s$

On suppose que  $V = 1.5$  m/s et on calcule  $D_R$

$$D_R = \sqrt{\frac{4.(0.01979)}{\pi.(1.5)}} = 0,12 \text{ m} = 120 \text{ mm}$$

On prend donc un diamètre du porte- rampe de **200 mm.**

La nouvelle vitesse sera :

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * d^2} = \frac{4 * 0.01979}{\pi * (200 * 10^{-3})^2} = 0.63 \text{ m/s}$$

Les pertes de charges pour le porte-rampe sont de 0.84m.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau VII.1:** Résultat de calcul pratique d'aspersion

Paramètres	Porte Rampe	Rampe
Longueur (m)	310	149
Diamètre (mm)	200	125
Débit (m <sup>3</sup> /h)	71.27	35.63
Vitesse réelle (m/s)	0.63	1.03
Perte de charge totale (m)	0.84	5.02

D'après le tableau **VII. 1**: la règle de Christiansen est donc respectée.

**Calcul de la pression à la tête de la parcelle:**

C'est la pression nécessaire pour le bon fonctionnement du dernier asperseur.

$$H = H_1 + H_2 + H_3$$

H : pression à la tête de la parcelle.

H1 : pression nécessaire pour le bon fonctionnement d'un asperseur (2.5 bar).

H2 : perte de charge totale

H3 : la dénivelée. (0 m. terrain relativement plat)

H=25+5.86+ 0 =30.86 m, soit 3.08 bars.

Ce qui est suffisant et disponible pour la borne d'irrigation de notre ilot.

### ***VII.3) Dimensionnement d'un réseau goutte à goutte :***

Cette deuxième partie concerne le dimensionnement du réseau d'irrigation localisée (le système goutte à goutte), dont les principales caractéristiques ont été définies précédemment. Pour ce projet, nous avons choisi d'étudier la culture d'olivier qui connaît un engouement dans la wilaya de Khenchela, et cela vu les qualités agronomiques et commerciales de cette culture.

#### **Données générales**

Le dimensionnement du réseau d'irrigation localisée nécessite la connaissance de données de base comme la surface de la parcelle, les besoins journaliers et le temps maximum journalier de travail [Ollier et Poirre, 1983]

Le réseau d'irrigation sera installé sur la parcelle N°18 alimentée par la borne N°11 et dont les pressions calculées sont de l'ordre de 2.7 bars, ce qui est largement suffisant. La surface de l'exploitation est de 0.86 ha et présente une forme relativement rectangulaire.

#### **Culture : Olivier**

- Besoin de pointe : 213 mm (Juillet)
- surface : **0.8** ha.
- Longueur : **120**m.
- Largeur : **72** m.

#### ***Caractéristique du goutteur :***

- Débit nominal : 4l/h
- Pression nominal : 10 m.c.e
- Espacement des goutteurs : 2 m
- Le nombre de goutteurs par arbre : 2

#### ***VII.3.1) Besoins d'irrigation des cultures en irrigation localisée :***

##### ***- Influence du taux de couverture du sol :***

En micro-irrigation, les apports d'eau étant localisés sur une portion très faible de la surface du sol située au voisinage des plantes, donc à l'ombre du feuillage, la part d'évaporation directe à partir du sol est réduite :

On applique alors à L'ETM un coefficient de réduction :  $K_r$

$K_r$  dépend du taux de couverture du sol ( $C_s = 60\%$ ) par les plantes adultes et peut être calculé par diverses formules proposées ci-après [Ollier et Poirre, 1983]:

- KELLER et KARMELI (1974) :

$$K_r = \frac{C_s}{0.85}$$

- La formule de Freeman et Garzoli :

$$K_r = C_s + 0.5(1 - C_s)$$

- La formule de Decroix (CTGREF) :

$$K_r = 0.1 + C_s$$

Pour notre cas on considère un taux de couverture égale à 60% (pour les arbres adultes) donc :

$K_r = 0.80$  selon Freeman et Garzoli

$K_r = 0.70$  selon Decroix (CTGREF)

On prendra un coefficient  $K_r = 0.80$

$B_{ji} = B_j * K_r$

$B_{ji} = 7.10 * 0.8 = 5.68 \text{ mm/j}$

### ***Dose nette pratique :***

La deuxième étape en micro-irrigation, est la détermination d'une fraction ou pourcentage d'humidification du bulbe humide dans la zone racinaire. La différence par rapport aux autres systèmes (gravitaire ou par aspersion) est qu'il ne s'agit plus d'humidifier uniformément la totalité du sol sur une même profondeur  $h$  [Ollier & Poirée, 1981].

La dose (RFU) étant définie par la hauteur d'eau  $P$  :

$D_p = (H_{cc} - H_{pf}) * Y * Z * P\% = RFU * P\%$

Tel que :  $H_{cc}$  : humidité à la capacité au champ (27%)

$H_{pf}$  : humidité au point de flétrissement (13%)

$Y$  : degré d'extraction de l'eau du sol (2/3)

$Z$  : profondeur d'enracinement en (1300 mm)

$P$  : Pourcentage du sol humidifié



$$P\% = \frac{n \cdot S_{pd} \cdot S_h}{S_a \cdot S_r}$$

P : Volume du sol humidifié

N : Nombre de point de distribution par arbre

$S_{pd}$  : Distance entre deux points de distribution voisins du même arbre

$S_h$  : Largeur de la bande humidifiée

$S_r$  : Ecartement entre rangs d'arbre

$S_a$  : espacement des arbres sur les rangs

$$P = 25\%$$

$H_{cc} = 27\%$  et  $H_{pf} = 13\%$

Z : 1200 mm

Y : 2/3.

Donc :

$$D_p = (27-13)/100 \cdot 1300 \cdot 2/3 \cdot 1.35 = \mathbf{D_p = 149.69 \text{ mm.}}$$

**-Calcul de la dose brute :**

$$D_{brute} = \frac{D_p \cdot 0.25}{C_u \cdot eff} = \frac{149.69 \cdot 0.25}{0.9 \cdot 0.9} = 46.20 \text{ mm / mois}$$

$C_u$  : coefficient d'uniformité  $C_u = 90\%$

Eff : efficacité du réseau d'irrigation Eff = 90%

**-Fréquence des arrosages :**

La fréquence d'arrosage est donnée par la formule suivante :

$$Fr = \frac{Dose \ nette}{B_{jl}} = 6.58 \text{ jours}$$

Donc on prend  $Fr = 7 \text{ jours}$ .

On recalcule la nouvelle dose réelle :

$$D_r = 7 \cdot 6.58 = \mathbf{39.76 \text{ mm}}$$

Et la dose brute :

$$D_{brute} = \frac{D_r}{C_u \cdot eff} = \frac{39.76}{0.9 \cdot 0.9} = \mathbf{49.08 \text{ mm}}$$

**-Durée d'arrosage par mois :**

$$\theta = \frac{Dn * Sd * Sr}{n * qg}$$

Sr et Sd espacement entre rang et distributeur, n et Qg nombre et débit du goutteur.

$$= \frac{49.09 * 4 * 2}{4 * 2} = 49.09 \text{ heures/mois}$$

**-Durée d'arrosage journalier :**

$$Dj = \frac{\text{durée d'arrosage}}{Fr} = \frac{50}{7} = 7 \text{ heures/jour}$$

**-Nombre de poste :**

Le nombre de poste par jour est défini comme suit :

$$N = \frac{\text{Temps de travail}}{\text{Durée d'arrosage journalier}} = \frac{20}{7}$$

**On prend 2 postes .**

**-Surface du poste :**

$$Sp = \frac{\text{Surface totale}}{\text{Nombre de poste}} = \frac{0.86}{2} = 0.43 \text{ ha}$$

A partir de cette surface, on peut déduire les dimensions nécessaires des rampes et porte rampes.

### **VII.3.2) Calculs hydrauliques :**

**-Conditions hydrauliques de base**

La variation maximale du débit entre goutteur ne doit pas dépasser 10% selon la règle de Christiansen :

$$\frac{\Delta q}{q} = 10\%$$

La variation maximale de la pression

$q = K.H^x$  avec  $x=0.5$  (caractéristique du gutteur)

$$\frac{\Delta q}{q(g)} = \frac{\Delta H}{H(n)}$$

Avec :  $q(g)$  : débit nominal du goutteur

$H(n)$  pression nominal

$$0.1 = 0.5 \frac{\Delta H(\max.)}{10}$$

$$\Delta H(\max.) = 1/0.5 = 2 \text{ mce.}$$

**-Le débit :**

$$Q_r = Q_g * N_r$$

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

Avec:

.  $Q_r$  : Débit de rampe.

.  $Q_g$ : Débit du goutteur

.  $N_g/r$  : Nombre des goutteurs par rampe

.  $N_r$  : Nombre des rampes

$Q_{pr}$ : Débit de porte rampe

La longueur de la rampe: 60 m

La longueur de la porte rampe: 72m

La longueur de la conduite secondaire : 60m

**-Le nombre d'arbres par rampe:**

$$N \text{ arbres} = L_r / E_r = 60/4 = 15 \text{ arbres}$$

**-Nombre des goutteurs par rampe:**

$$N = N_{\text{arbres}} * n = 15 * 2 = 30 \text{ goutteurs}$$

**-Le nombre des rampes:**

$$N_r = L_{pr} / E_r = 72/4 = 18 \text{ rampes}$$

**-Débit de la rampe**

$$Q_r = N_g * Q_g$$

$$Q_r = 4 * 30 = 120 \text{ l/h}$$

**-Débit de la porte rampe:**

$$Q_{pr} = Q_r * N_r = 18 * 120 = 2160 \text{ l/h}$$

**-Nombre de porte rampe:**

$$N_{pr} = 1 \text{ (1 seule porte rampe)}$$

➤ **Débit de la conduite tertiaire**

$$Q_{csl} = Q_{pr} * N_{pr} = 2160 * 1 = 2160 \text{ l/h}$$

**VII.3.3) Dimensionnement des canalisations du réseau :**

pour le calcul des dimensions des canalisations (rampe et porte rampe), on propose que les rampes soient en PEBD ou PEHD.

**-La conduite tertiaire (conduite d'approche) :**

C'est la conduite qui relie au point de fourniture d'eau les diverses porte-rampes. Elle est en PVC rigide ou en acier galvanisé comme en irrigation par aspersion. Pour les petites installations, du polyéthylène haute densité peut également être utilisé.

**-Porte-rampes :**

C'est la conduite qui alimente les rampes d'un seul côté ou des deux côtés. Ils peuvent être soit en polyéthylène moyenne densité (PE), soit en chlorure de polyvinyle rigide (PVC).

**-Les rampes :**

Qui sont toujours en PEBD (polyéthylène basse densité), à l'exception de quelques installations où l'on a utilisé du PVC rigide de petit diamètre.

Le diamètre de rampes ainsi que des portes rampes est calculé d'après les formules suivantes :

$$\varnothing_{r(cal)} = \left[ \frac{P. d. c (r) * 2.75}{0.478 * Q(r)^{1.75} L(r)} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

$$\varnothing_{pr(cal)} = \left[ \frac{P. d. c (pr) * 2.75}{0.478 * Q(pr)^{1.75} L(pr)} \right]^{-\frac{1}{4.75}}$$

Avec :

- Pdc(r) : la perte de charge dans la rampe
- Q(r) : le débit de la rampe en l/h
- L(r) : la longueur de la rampe en m

- $\varnothing_r$  (cal) : le diamètre de rampes
- $\varnothing_{pr}$  (cal) : le diamètre de porte rampe

$D_{rampe} = 9.2$  mm, on prend **DN =16 mm**

**- Vérification des pertes de charges :**

Pour la détermination des pertes de charges des différents tronçons de la canalisation après choix du diamètre, On recalcule les pertes de charges pour un  $D = 16$  mm

Perte de charge selon hazen-williams

$$\Delta H = \left( \frac{3.592}{C_w} \right)^{1.852} \cdot \frac{L}{D^{4.87}} \cdot Q^{1.852}$$

Ou : L : la longueur de la conduite ;

Q : débit (l/h) ;

D : diamètre intérieur de la canalisation ;

$C_w = 140$  PEBD,  $L = 60$ m,  $D = 0.016$ m,  $Q = 0.00004$  m<sup>3</sup>/s

$\Delta H_{rampe} = 0.031$  m

**TableauVII.1** :Calcul de Diamètre de la rampe :

Culture	Surface (m <sup>2</sup> )	Lr (m)	Ng	Qr (l/h)	hr(m) P. charge linéaire	Dcal (mm)	Dn (mm)	Vitesse ( m/s)	$\Delta H_{cal}$ (m)
Olivier	8600	60	30	120	0.0014	9.20	16	0.165	<b>0.106</b>

La valeur de la perte de charges calculée est inférieure à 1.2 mce (hr max).

On applique le même procédé que les rampes, et on trouve

**TableauVII.2** :Calcul de Diamètre de la porte rampe :

Culture	Surface m <sup>2</sup>	Lpr(m)	N rampes	Qpr (l/h)	hpr(m)	Dcal (mm)	Dn (mm)	Vitesse (m/s)	hcal(m)
Olivier	8600	72	18	2160	0.0003	32,079	63	0.192	<b>0.068</b>

La valeur de la perte de charges calculée est inférieure à 0.6 mce (hpr max).

D'après les deux tableaux précédents, on voit que les pertes de charges totales (0.17) n'ont pas dépassé la limite imposée par la règle de Christiansen.

**-Calcul des diamètres de la conduite tertiaire:**

Pour calculer le diamètre on doit fixer la vitesse d'écoulement (valeur optimale) d'environ 1.05 m/s tel que :

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

avec : Q : débit de la conduite considérée (m<sup>3</sup>/s);

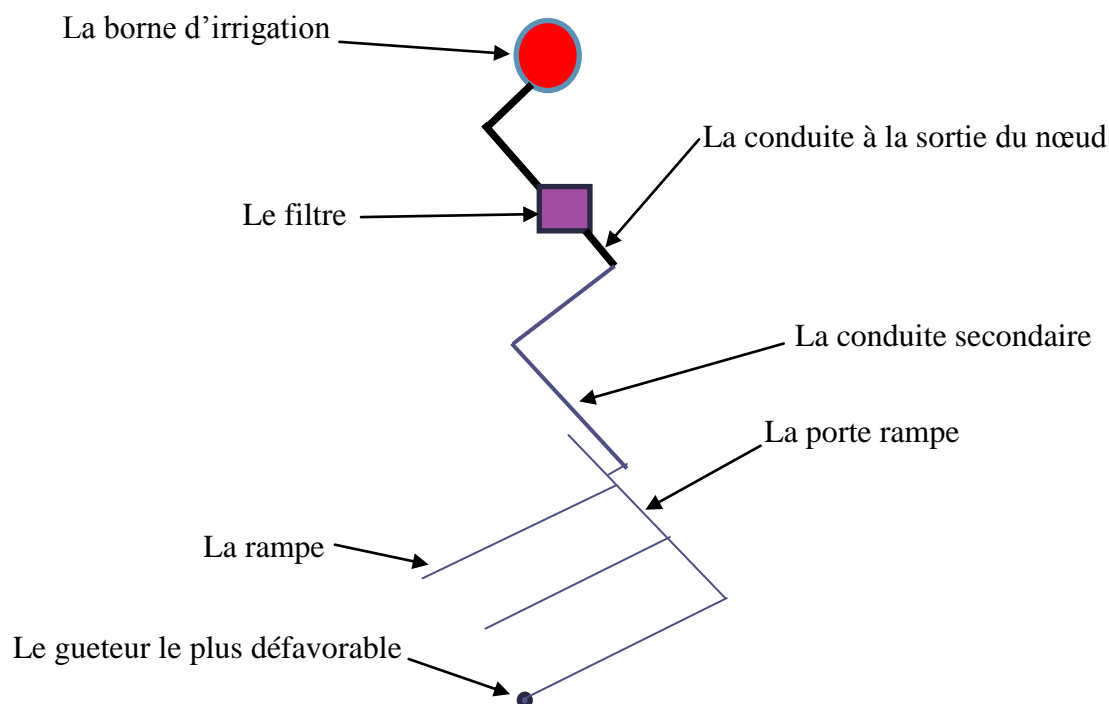
V : vitesse d'écoulement (m/s).

**Tableau VII.3** : Calcul de diamètre des conduites tertiaires .

Culture	Surface m <sup>2</sup>	L(m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	V supposée (m/s)	Dcal (mm)	Dn (mm)	Vcal (m/s)	hcal (m)
Oliviers	8600	60	0.0006	1.05	26.97	63	0.09	0.0009

**-Calcul de la pression d'eau à la borne de distribution :**

La pression d'eau que doit fournir la borne de distribution a la parcelle est égale à la somme de la pression nominale (10 mce) plus la somme des pertes de charges de cheminement de la borne d'irrigation jusqu'au gouteur le plus défavorable (éloigné ou élevé).



**Figure VII.1** :Schéma explicatif de goutteur le plus défavorable

**TableauVII.4** :Les pertes de charge de la borne jusqu'au le goutteur le plus défavorable

Conduites	La rampe	Porte rampe	C. tertiaire
<b>Longueur(m)</b>	60	72	60
<b>Diamètre(m)</b>	16	63	63
<b>Débit (m<sup>3</sup>/s)</b>	0.12	2.16	2.16
<b>Pertes de charge(m)</b>	0.106	0.068	0.0009

A partir du tableau on peut déterminer la perte de charge totale entre la borne d'irrigation jusqu'à le goutteur le plus défavorable ;

Donc la pression demandée à la borne égale à la pression nominale plus la somme des pertes de charges.

$$P(m) = 10 + 0.106 + 0.068 + 0.0009 = \mathbf{10.17\ m.}$$

Les pertes de charges ainsi que la pression calculée est de l'ordre de 1.017 bars ce qui est suffisant pour effectuer le système goutte à goutte dans cette parcelle.

**Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé le dimensionnement de l'irrigation à la parcelle, deux systèmes ont été étudiés : l'aspersion et le goutte à goutte.

Dans notre cas, nous avons dimensionné une parcelle de blé par aspersion. Cette culture est appréciée dans la wilaya Khenchela, mais elle est cultivée de façon extensive.

Pour l'irrigation localisée (système goutte à goutte), le dimensionnement prend en considération des facteurs agronomiques et hydrauliques. Dans notre thèse, nous avons étudié l'irrigation goutte à goutte d'une parcelle d'oliviers.

L'introduction de ces deux systèmes permet une revalorisation de l'agriculture par une augmentation des rendements.



# Calcul technico- économique

---

---

---

## *Chapitre VIII : Calcul technico-économique*

### ***Introduction :***

L'étude du devis quantitatif et estimatif nous permet d'avoir une idée sur le coût de réalisation du projet d'irrigation projeté, ce calcul consiste à déterminer les quantités de tout le matériel ainsi que les différentes opérations à effectuer sur le terrain. Pour notre projet on a les travaux suivants :

- Les forages
- Le système de distribution
- Le réseau d'irrigation (par aspersion et localisée)       $ETM=Kc.ET0$

### ***VIII-1) Différents travaux à entreprendre :***

#### ***VIII-1-1) Travaux concernant le forage :***

Les tâches constituant les travaux à faire pour la construction de la station de pompage sont :

- Exécution du décapage.
- Exécution des fouilles.
- Coulage du béton de propreté.
- Coulage du béton pour les semelles.
- Coulage du béton pour les demi-poteaux.
- Remblayage des fouilles.
- Coulage du béton des longrines inférieures.
- Remblayage des casiers.
- Coulage de la chape inférieure.
- Coulage du béton de poteaux.
- Coulage du béton pour longrines supérieures et de la dalle.
- Maçonnerie et finition générale.

**VIII-1-2) Travaux concernant l'adduction et le réseau distribution**

Les tâches constituant les travaux à faire pour la mise en place de l'adduction et le réseau distribution sont :

***Exécution des tranchées***

C'est une opération de terrassement (déblais) qui consiste à faire des excavations. Ces excavations seront faites par une pelle hydraulique et les déblais seront posés à côté de la tranchée, l'autre côté étant réservé au bardage des conduites.

***Pose du lit de sable***

Cette opération consiste à poser un lit de sable au fond de la tranchée, ce lit aura une épaisseur de 12 cm dans notre cas.

***Pose des conduites***

Avant la descente des conduites dans la fouille, on procède à un triage des conduites de façon à écarter celles qui ont subies des chocs ; et on les descend lentement à l'aide d'un engin de levage, dans le fond de la fouille. Au cours de pose, on vérifie régulièrement l'alignement des tuyaux pour n'avoir pas des difficultés au raccordement des conduites.

***Epreuve de joint et de la canalisation***

Pour plus de sécurité, l'essai de pression des conduites et des joints se fait avant le remblaiement, on l'effectue à l'aide d'une pompe d'essai qui consiste au remplissage en eau de la conduite sous une pression de 1,8 fois la pression de service à laquelle sera soumise la conduite lors du fonctionnement. Cette épreuve doit durer 30 minutes environ où la variation ne doit pas excéder 0.2 bar.

***Remblayage des tranchées***

C'est une opération de terrassement qui consiste à enterrer la conduite, en utilisant le remblai résultant de l'excavation.

***Nivellement et compactage***

Une fois le remblai fait, on procède au nivellement qui consiste à étaler les terres qui sont en monticule, ensuite au compactage pour augmenter la densité des terres et éviter le tassement par la suite.

**VIII-2) Calcul des volumes des travaux de l'adduction et de distribution****a- Calcul du volume de terrassement****A) Largeur du fond de la tranchée**

La largeur d'ouverture de la tranchée est obtenue par la formule :

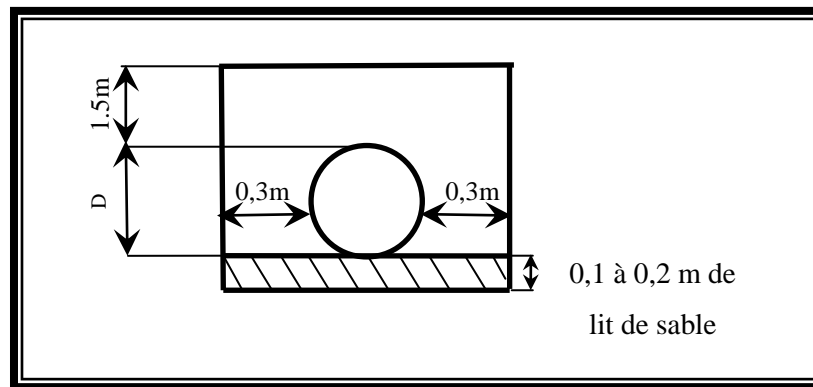
$$B = d + (0.5-1.2)$$

Avec : B : largeur de la tranchée (m)

d : diamètre de la conduite (m)

**B) profondeur de la tranchée**

La profondeur de la conduite doit permettre la réalisation correcte des branchements particuliers, et d'empêcher toute intercommunication avec les autres conduites.



**Figure. VIII.1** : Schéma d'une tranchée

$$H = e + d + h \quad (\text{m})$$

Avec : H : profondeur de la tranchée. (m)

e : hauteur du lit de pose. (m)

d : diamètre de la conduite. (m)

h : la hauteur du remblai au-dessus de la conduite.

**b- Calcul du volume de déblai**

La surface à calculer est la surface rectangulaire :  $S = B * H$

$$B = d + (0.5-1.2)$$

Donc:  $B = 1 + \emptyset$

$$H = 1 + \emptyset \text{ m}$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau VIII-1

**Tableau VIII-1:** calcul du volume de déblai.

	Diamètre (mm)	Longueur de la conduite (m)	largueur d'une tranchée b :(m)	Hauteur de La tranchée(m)	Volume de déblai (m3)
La conduit gravitaire	400	881.79	1.0	1.9	1675.61
La conduit de refoulement Forage (W5)	250	276	0.85	1.75	410.55
La conduit de refoulement Forage (W6)	250	242	0.85	1.75	359.97

### **c-Calcul du volume de lit de sable**

Ce lit correspond à une couche de sable de 12cm sur le fond de la tranché, donc c'est une surface constante le long de la tranchée, on calcule cette surface en utilisant la formule suivante :  $V = e * b * L$

**Tableau VIII-2:**calcul du volume de sable

	Hauteur (m)	Longueur(m)	Largeur(m)	Volume (m 3)
la conduit gravitaire	0.12	881.79	1.0	105.814
La conduit de refoulement (Forage W5)	0.12	276	0.85	28.152
La conduit de refoulement ( Forage W6)	0.12	242	0.85	24.684

### **d- Calcul du volume de remblai**

Ce volume est déduit à partir du volume du déblai, c'est le volume qu'occupe la conduite et le volume occupé par le lit de sable ;

$$V_r = V_d - (V + V_s)$$

$V_r$  : Volume du remblai compacté (m<sup>3</sup>)

$V_d$  : Volume du déblai (m<sup>3</sup>)

$V_s$  : Volume du sable

$V$  : Volume occupé par la conduite (m<sup>3</sup>) ;  $V = L * (\frac{\pi D^2}{4})$

$L$  : Longueur de la conduite

$D$  : Diamètre de la conduite.

Donc les volumes des travaux pour la conduite sont représentés dans le tableau VIII-3.

**Tableau VIII-3:** Calcul du volume de remblai

	Diamètre (mm)	V(Déblai) (m3)	V(Conduite) (m3)	V(Sable) (m3)	V (Remblai) (m3)
la conduit gravitaire	400	1675.61	110.752	105.814	1459.034
La conduit de refoulemen (W5)	250	410.55	13.541	28.152	378.857
La conduit de refoulement(W6)	250	359.97	11.873	24.684	323.413

#### VIII-3-4) Calculs du stations de pompage

Les volumes de stations de pompage sont montrés dans le tableau (VIII-4)

**Tableau VIII-4:** les volumes des stations de pompage SP1

Désignation des travaux	unités	total
Volume décapé	M <sup>3</sup>	70
Volume déblais	M <sup>3</sup>	82.12
Béton de propreté	M <sup>3</sup>	1.7
Béton armé fouille	M <sup>3</sup>	4.2
Béton armé demi poteaux	M <sup>3</sup>	1.88
Béton armé ceinture	M <sup>3</sup>	6.03
Remblais compacté	M <sup>3</sup>	10.29
Béton de propreté sous ceinture	M <sup>3</sup>	2.01
Volume terre	M <sup>3</sup>	50.2
Herussonage	M <sup>3</sup>	15
Chappe	M <sup>3</sup>	9

Béton armé poteaux	M <sup>3</sup>	7.56
Béton armé longrine	M <sup>3</sup>	6.03
Béton armé poutrelle	M <sup>3</sup>	12.5
Béton armé dalle	M <sup>3</sup>	75
Ordis	U	450
Briques	U	1180

#### VIII-4) Estimation de cout total de projet

##### VIII-4-1) Estimation de cout de pose de canalisation de l'adduction

**Tableau VIII-5:** Estimation du cout de pose de canalisation de l'adduction.

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire DA	Montant DA
1) déblai en terrain	m3	2446.13	300	733839
2) lit de sable	m3	158.65	800	126920
3) remblaiement de la tranchée	m3	2161.304	200	432260.8
4) Tube Ø250	m/l	518	2 476,19	1282666.42
5) Tube Ø400	m/l	881.79	6 290,86	554717.439
			<b>TOTAL (HT) 1</b>	<b>3130403.659</b>
			<b>TVA (17%)</b>	<b>532168.622</b>
			<b>Montant TTC</b>	<b>532168.622</b>

##### VIII-4-2) Estimation du cout du forage

**Tableau VIII-6:** Estimation de cout de deux stations de pompage.

Désignation des travaux	unités	Quantités	prix unitaire	Montant HT (DA)
<b>Travaux de Terrassement</b>				
décapage de terre	M <sup>3</sup>	70	250	17500
déblai fouilles	M <sup>3</sup>	82.12	400	32848
remblai compacté	M <sup>3</sup>	10.29	450	4630,5
herussonage	M <sup>3</sup>	15	400	6000
<b>Béton de Proprété</b>				
B.P sous semelles	M <sup>3</sup>	1.7	12000	20400
B.P sous ceinture	M <sup>3</sup>	2.01	12000	24120
<b>Béton Armé</b>				
B.A semelles	M <sup>3</sup>	4.2	25000	105000
B.A Demi-poteaux	M <sup>3</sup>	1.88	25000	47000

B.A ceinture	M <sup>3</sup>	6.03	25000	150000
B.A longrine	M <sup>3</sup>	6.03	25000	150000
B.A pontaux	M <sup>3</sup>	7.56	25000	189000
B.A poutrelles	M <sup>3</sup>	12.5	25000	312500
B.A dalle	M <sup>3</sup>	75	25000	1875000
B.A Chappe	M <sup>3</sup>	9	25000	225000
Maçonnerie				
Ordis	U	450	40	18000
briques	U	1118	20	22360
TOTAL 2(HT)				3158998.5
TVA (17%)				53702974.5
Montant TTC				56861973

### VIII-4-3) Estimation du cout du réseau de distribution

**Tableau VIII-7:**Factures pro-forma des pièces du réseau distribution

Pièces	Unité de mesure	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
TubeØ63 PEHD	m/l	110	202,90	22319
TubeØ90 PEBD	m/l	260.3	331,27	86229.581
TubeØ125 PEBD	m/l	255.1	622,39	158771.689
TubeØ160 PEHD	m/l	853.18	1786.5	1524206.07
TubeØ200 PEHD	m/l	869.78	1 586,10	1379558.058
TubeØ250 PEBD	m/l	417.23	2 476,19	1033140.754
TubeØ315 PEHD	m/l	239	6 881.37	1644647.43
TubeØ400 PEHD	m/l	1113.01	6 290,86	7001790.089
Vanne Ø110	U	45	10000	450000
Vanne Ø160	U	82	12000	984000
Vanne Ø315	U	12	14000	168000
TOTAL 3 (HT)				181524320,3
TVA (17%)				3085913445
Montant TTC				3267437765

### VIII-5) Devis estimatif de projet :

Le devis des différentes opérations sont comme suit :

- 1-Devis de l'adduction
- 2- Devis du système de pompage
- 3- Devis du réseau de distribution



Donc le devis total du projet est estimé à :

**Tableau VIII-8:** Equipement interne des parcelles d'irrigation localisée

Caractéristique d'appareil	Unité	Quantité	Prix unitaire DA	Total DA
Goutteurs Type A pour (débit 4 l/h)	u	540	31	16740
Porte rampe en polyéthylène DN 63	ml	72	243.88	17496
Rampe porte goutteurs DN 16	ml	60	19.07	1144.2
Poste de filtration, Filtre à sable	u	1	50,237	50.237
Poste de filtration, Filtre à tamis	u	1	24,952	24.952
<b>TOTAL</b>				<b>35480.389</b>

L'équipement à la parcelle d'un réseau par aspersion comprend les accessoires suivants :

**Tableau VIII-9:** Equipement interne des parcelles d'irrigation aspersion

Caractéristique d'appareil	Unité	Quantité	Prix unitaire DA	Total DA
Les asperseurs type A60 : buse 4mm	u	127	1,166	148,082
Té à clapet pour installation l'asperseur	u	127	432	54864
Canne d'asperseur pour Type A 60	u	127	1,069	135,763
Semelle stabilisatrice pour Type A 60	u	127	159	20193
Porte rampe en polyéthylène DN 75	ml	241	363	87483
Rampe porte asperseurs DN 75	ml	104	31	3224
Conduite secondaire DN75	ml	50	134,00	6700
Conduite de sortie DN75	ml	10	134,00	1340
<b>TOTAL</b>				<b>174087,845</b>

**VIII-7) Conclusion :**

Dans notre travail on a déterminé le devis général de stations de pompage, et l'adduction et le réseau de distribution, en premier lieu nous avons fait une étude quantitative des volumes des travaux. Comme deuxième étape nous avons estimé le cout de projet qui est de 3364410 DA. Il est élevé mais on doit noter que ce réseau est rentable à moyen terme.

### **Conclusion générale**

L'objectif fondamental de cette étude L'aménagement hydro-agricole du périmètre de Moulah dans la wilaya de Khecnhela d'une superficie de 100 ha, dont les caractéristiques physiques, pédologiques et des conditions socio-économiques sont propices à l'irrigation.

Au cours de celle-ci nous avons constate que le retard de développement de la production agricole dans la région qui se heurte en premier lieu, à une réalité climatique dont on a pu en faire une analyse et en déterminer les contraintes naturelles.

Après choix des cultures, nous avons estimé les besoins en eau totaux, et les besoins en eau de chaque ilot qui est une phase importante dans la réalisation d'un système d'adduction et d'irrigation. Nous avons projeté un réseau d'adduction à partir de forages, et un système de distribution vers les parcelles par une desserte gravitaire plus économique.

Enfin, pour le choix du système d'arrosage, deux systèmes d'irrigation différents à savoir l'aspersion et le localisé ont été étudiés.

Ce choix ne s'est pas fait fortuitement, car l'augmentation des rendements des spéculations agricoles ne peut se faire qu'a travers des systèmes d'irrigation modernes et efficaces, en effet, dans la région de Khenchela l'agriculture est fortement extensive faute d'un système d'irrigation performant.

Une fois que les conditions agronomiques et hydrauliques seront respectées, les agriculteurs observeront une hausse de leurs rendements habituels qui leur sera bénéfique et qui reflèteront les vraies potentialités du périmètre.

## Références bibliographiques

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BOUAICHA, F ; (2009). Étude géophysique et hydrogéologique dans la région de Khenchela, cas de Kheirane et Taouzient, Impact socio-économique, 166P.

GRATTON, Y; (2002). Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale,4P.

DALI , N ;(2009). Ressources et gestion intègre des eaux du bassin de Gareat el Tarf (W.Khenchela) ,155P.

SAURET, E ;(2005). Caractérisation hydrochimique et qualité des eaux souterraines du projet hydraulique villageoise 310 forages, dans la boucle du mouhoun : provinces des banwa, des bales, du mouhoun et de la kossi (burkina faso).Thèse de MFE, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) ,63P.

YOUNSSI ,H ; (2009). Epuisement de la nappe aquifère de la région de F'kirina (W. d'Oum El Bouaghi), et ces répercussions sur la gestion des ressources en eau. Thèse de magister, Université

AUBRY, Ph ; (2000). Traitement des variables régionalisés en écologie. Apport de géomantique et de la géostatistique. Thèse de doctorat, Université de Lyon 1, 255P.

ALBINET, M ; MARGAT, J ; (1971). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. Moscou. Symposium on groundwater pollution. Journal of Hydrology, 115, 225-245.

ARIOUT, M ; (1992). Distribution des Nitrates dans la nappe de la Mitidja et programmes d'engrais. Mémoire d'ingénieur d'état, INA. El Harrach, 255P

AYME, A ; (1956). Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure Atlasique. Bul .Serv .cartes. géol. D'Algérie. N° 347-362.

BRADAI, A ; (2005). Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine du moyen Chellif Occidental-Application de la géostatistique. Mémoire de magistère Centre Univ Khemis Miliana PP.80-120.

## Références bibliographiques

- BELAIDI, M ; RABEHAOUI, H ; (1995-2000). Polycopie. Note sur l'évolution de la profondeur de la nappe de la Mitidja. Section surveillance des nappes. ANRH-Blida.
- CASTANY G. (1963) : Traité pratique des eaux souterraines. Dunod Edit. Paris, 641P.
- CASTANY G. et MARGAT (1977) : Dictionnaire français d'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris, 249P.
- CASTANY G. (1968) : Prospection et exploitation des eaux souterraines. Ed. Dunod Paris France 683P.
- CASTANY G. (1982) : Principes et méthodes de l'Hydrogéologie. Dunod Edit. Paris, 334P.
- DAOUD, Y ; (1978). Influence des cations sur la dynamique et le stockage de l'eau dans le sol de la Mitidja. Mémoire d'ingénieur d'état, INA. El Harrach, 125P
- DELHOMME, J.P ; (1976). Application de la théorie de la variable régionalisée dans la science de l'eau. Thèse de Doctorat. ENSM de Paris. 130P
- DOUAOUI, A ; (2005). Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéouli Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse de Doctorat. INA - Alger. PP 115 - 142
- DURANT, J ; (1983). Les sols irrigables, Ed. ACCT – Paris, PP 70 - 95
- ELANGO, L; KANNAN, R; SENTHIL KUMAR, M; (2003). Major ion chemistry and identification of hydrogeochemical processes of groundwater in a part of Kancheepuram district, Tamil Nadu. Environmental Geosciences, 4, 157-166.
- FRECHETTE, R ; (1987). Etude comparative des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des eaux souterraines face aux risques de contamination engendrée par les pesticides Maîtrise en science. Univ .Québec, 230P
- GASCUEL, ODOUX C ; (1984). Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. Thèse Doc. Ing. ENSM Fontainebleu & ENSA -INRA Rennes. 235P
- GOUAIDIA, L ; (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi

## Références bibliographiques

- aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est algérien. Thèse de Doctorat. Univ. Badji Mokhtar-Annaba, 131P
- HERCZEG, A. L; TORGERSEN, T; CHIVAS, A. R; HABERMEHL, M. A; (1991). Geochemistry of groundwaters from the Great Artesian Basin, Australia. *Journal of Hydrology*, 126, 225-245.
- JANARDHAN RAJU, N; (2007). Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in the upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. *Environmental Geology*, 52, 1067-1074. doi: 10.1007/s00254-006- 0546-0
- J. PAGES, B ; ESCOFIER ; (1995). *Analyses factorielles simples et multiples : Objectifs, méthodes et interprétation*. Ed DUNOD. Paris, 220P.
- LEBART, L ; MORINEAU, A ; PIRON, M ; (2006). *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. 4ème édition, DUMOND. Paris, 350P.
- MANCIOPPI LIONEL ; (2006). Impact à long terme d'irrigation sur la teneur en métaux lourds dans les sols, les récoltes, et les eaux souterraines. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 76, 205-220.
- OUANDAOGO YAMEOGO, S ; (2008). Ressources en eau souterraine du centre urbain de Ouagadougou au Burkina Faso qualité et vulnérabilité. Thèse de Doctorat Univ. Reine, 260P.
- PHILPEAU, G ; (1992). Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales. Collection STA-1TCF. 93P
- RAISSI O ; (1999). Polycopie. Développement durable-Degradation de la qualité des sols- Contamination et pollution des sols par les éléments traces. ANRH- Blida.
- SAID, R ; (1999) : Vulnérabilité et risque de pollution des eaux souterraines, méthodologie et cartographie (application aux aquifères du moyen Sébaou et de la Mitidja Centrale) Mémoire de Magistère .IST . USTHB. Alger.
- SANCHEZ-MARTOS, F; (2001), Mapping groundwater quality variables using PCA and geostatistics: a case study of Bajo Andarax, southeastern Spain. Thèse de Doctorat. Univ Almeria, 180P

## Références bibliographiques

- SOLTAN, M, E; (1998). Characterization, classification and evaluation of some groundwater samples in Upper Egypt. *Chemos* 37, 735-747.
- SOLTAN, M, E; (1990). Evaluation of of groundwater quality in Dakhla Oasis (Egyptian Western Desert). *Envirenmental Monitoring Assensment*. 57, 157-168.
- SRINIVASAMOORTHY, K; CHIDAMBARAM, S; PRASANNA, M. V; VASANTHAVIHAR, M; JOHN PETER; ANANDHAN,P; (2008). Identification of major sources controlling groundwater chemistry from a hard rock terrain - A case study from Mettur taluk, Salem district, Tamil Nadu, India. *Journal of Earth System. Science*, 117 49-58.
- SUAREZ D, L; WOOD, J, D; LESCH S, M; (2006), Effect of SAR on water infiltration under asequential rain–irrigation management system. *Agricultural water management* 86,150 – 164

## Annexe

MAX /année								
Année	Durées d'agrégations (min)							
	15	30	60	120	180	360	720	1440
1972/1973	7,55	9,87	13,43	21,62	28,58	45,14	85,56	110,69
1973/1974	9,50	16,32	24,20	24,59	30,94	36,20	41,97	78,40
1974/1975	6,01	8,73	10,36	16,08	21,90	36,54	46,82	61,71
1975/1976	7,50	11,03	14,41	20,51	27,97	36,08	43,10	46,66
1976/1977	11,32	16,11	18,84	19,60	25,60	28,64	48,52	58,58
1977/1978	70,89	13,98	16,70	21,09	26,22	33,91	34,76	44,31
1978/1979	10,41	13,91	14,28	18,90	22,96	32,97	41,77	61,70
1979/1980	5,67	10,05	17,23	30,04	36,16	46,86	59,04	76,02
1980/1981	8,43	16,36	17,10	17,93	20,49	23,37	27,66	38,36
1981/1982	9,91	11,46	11,92	14,50	17,54	27,04	38,15	38,71
1982/1983	8,55	10,94	13,41	18,14	24,84	36,07	51,51	27,82
1983/1984	6,47	9,04	10,26	15,47	22,23	40,34	50,55	50,85
1984/1985	8,89	12,14	14,28	24,80	26,37	42,42	61,12	73,07
1985/1986	13,87	6,67	11,65	21,69	32,36	54,03	70,96	86,35
1986/1987	9,79	15,09	17,67	21,71	24,81	39,80	50,83	67,95
1987/1988	8,45	11,86	11,19	17,24	19,11	28,22	36,40	39,09
1988/1989	-	-	-	-	-	-	-	-
1989/1990	8,21	12,26	13,99	15,24	17,66	25,55	25,73	41,95
1990/1991	4,57	6,17	9,25	12,90	17,66	25,55	25,76	26,99
1991/1992	12,90	8,04	8,94	14,98	18,77	22,55	27,95	22,90
1992/1993	7,77	9,68	16,62	23,88	31,67	45,00	50,30	67,51
1993/1994	6,22	11,06	17,28	22,28	27,51	36,76	38,81	41,65
1994/1995	13,58	23,29	23,51	29,04	19,89	29,85	41,27	67,92
1995/1996	5,42	7,09	9,17	13,38	15,91	25,11	30,72	49,28
1996/1997	6,77	10,56	12,10	16,36	17,44	27,96	29,43	34,34
1997/1998	10,69	14,81	23,72	33,92	27,69	42,51	51,11	57,19
1998/1999	31,21	62,42	119,28	180,39	238,51	261,30	80,64	111,84
1999/2000	8,73	10,86	12,85	13,09	13,33	13,87	7,49	13,42
2000/2001	7,48	13,18	21,23	34,23	37,94	41,85	50,25	55,22
2001/2002	2,71	5,42	7,46	10,02	10,93	12,16	13,08	13,56

**Tableau A1:** Max annuel pour chaque durée d'agrégation de la station (090506)



## Annexe

Année	MAX /année							
	Durées d'agrégations (min)							
	15	30	60	120	180	360	720	1440
1973/1974	2,07	4,14	5,97	9,74	12,31	16,52	24,33	41,52
1974/1975	4,60	6,30	6,81	8,15	11,55	16,59	24,02	25,88
1975/1976	30,61	35,90	39,43	40,11	41,22	51,58	60,02	60,08
1976/1977	13,55	17,25	19,87	22,03	22,11	23,76	26,70	19,30
1977/1978	-	-	-	-	-	-	-	-
1978/1979	12,12	14,40	16,40	16,40	18,05	26,57	28,29	30,08
1979/1980	4,44	8,64	12,79	16,35	24,14	28,78	24,48	20,60
1980/1981	4,74	7,97	9,40	11,03	11,43	12,34	14,37	14,90
1981/1982	4,11	6,62	9,61	10,71	10,71	15,78	25,19	40,80
1982/1983	6,61	6,82	12,07	15,07	15,27	19,91	21,62	22,00
1983/1984	4,45	5,36	7,49	11,72	11,80	12,04	18,64	16,85
1984/1985	4,76	7,93	7,38	12,38	14,60	20,93	27,26	21,64
1985/1986	7,41	5,07	9,96	16,62	23,70	38,26	42,11	28,53
1986/1987	8,61	16,61	21,15	12,71	14,81	18,76	22,13	21,52
1987/1988	3,50	5,06	7,07	9,64	12,69	16,67	21,53	23,15
1988/1989	10,23	11,72	11,37	14,33	15,28	19,15	13,50	10,99
1989/1990	10,90	18,00	27,44	27,94	30,62	48,68	59,70	75,04
1990/1991	3,53	5,75	7,19	9,50	11,31	16,38	23,96	30,28
1991/1992	8,60	13,16	15,03	16,22	22,55	36,87	58,49	87,24
1992/1993	4,63	7,00	7,97	13,31	17,05	18,14	14,58	20,30
1993/1994	9,50	10,34	13,53	20,00	20,36	29,92	32,06	33,59
1994/1995	13,59	16,01	12,90	15,42	17,15	22,78	27,01	17,77
1995/1996	7,10	8,27	9,75	12,07	13,18	15,60	17,33	11,71
1996/1997	24,84	49,68	68,40	68,72	71,65	72,01	18,33	13,15
1997/1998	14,24	12,07	15,66	20,59	22,26	23,11	24,62	24,30

**Tableau A2:** Max annuel pour chaque durée d'agrégation de la station (090104)

## Annexe

Année	MAX /année							
	Durées d'agrégations (min)							
	15	30	60	120	180	360	720	1440
1971/1972	11,61	13,52	18,02	32,40	40,88	73,08	130,38	140,08
1972/1973	17,18	33,10	48,04	49,55	33,05	47,12	75,52	103,90
1973/1974	13,30	13,30	15,18	29,15	38,90	69,30	110,98	126,09
1974/1975	15,67	20,94	23,49	26,73	33,82	45,08	63,21	67,18
1975/1976	21,59	27,78	28,82	29,26	32,16	39,07	52,55	54,54
1976/1977	5,61	6,70	8,60	12,95	17,12	29,60	56,80	71,96
1977/1978	4,12	8,24	14,46	24,49	33,32	55,63	65,70	76,91
1978/1979	7,88	12,70	15,91	22,26	25,05	30,93	34,46	37,59
1979/1980	9,10	11,34	13,16	18,14	25,88	43,74	49,86	56,96
1980/1981	27,40	21,05	23,47	27,21	31,35	43,13	44,00	50,70
1981/1982	5,07	8,00	9,78	12,14	11,83	20,47	30,67	40,19
1982/1983	14,72	25,32	25,74	27,81	29,00	31,00	33,75	42,75
1983/1984	4,52	6,29	10,30	17,67	20,39	20,81	28,67	43,26
1984/1985	10,80	13,50	16,28	22,55	26,05	44,17	54,99	95,84
1985/1986	10,72	13,43	13,65	15,59	23,12	35,31	37,48	52,84
1986/1987	9,80	11,13	14,31	19,78	20,53	32,58	54,13	70,86
1987/1988	3,60	4,44	6,25	10,99	16,26	18,29	16,82	16,82
1988/1989	6,72	10,85	17,39	19,87	30,27	30,37	44,57	47,90
1989/1990	9,87	14,05	15,81	20,25	22,80	27,48	33,29	36,62
1990/1991	21,42	22,23	29,07	41,06	43,64	48,43	48,70	49,00
1991/1992	5,45	5,74	11,48	20,20	27,12	45,03	67,00	71,16
1992/1993	22,46	5,14	5,36	6,19	7,22	10,44	16,89	20,12

**Tableau A3:** Max annuel pour chaque durée d'agrégation de la station (090202)

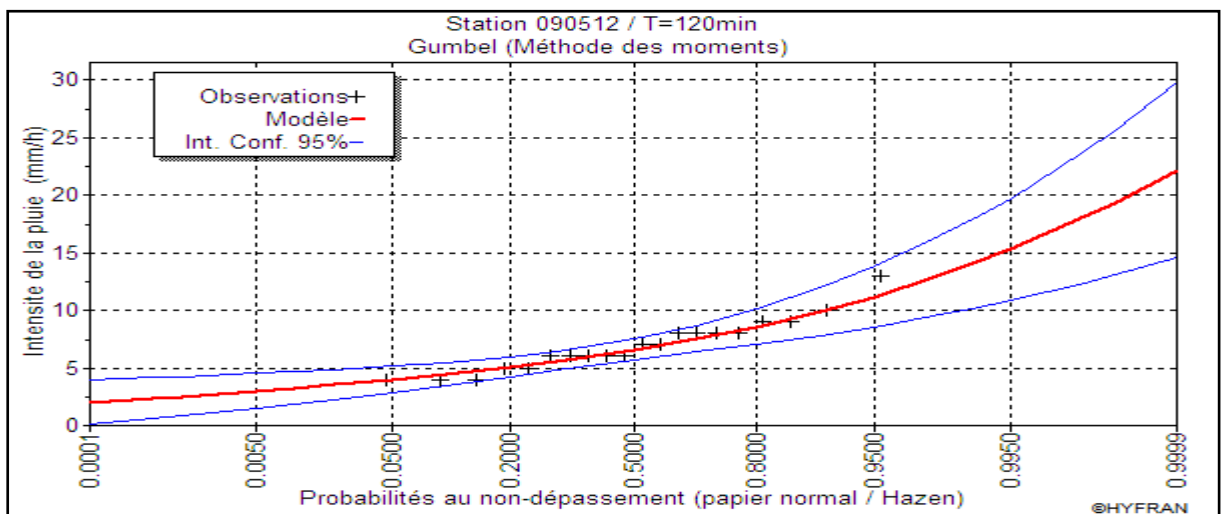
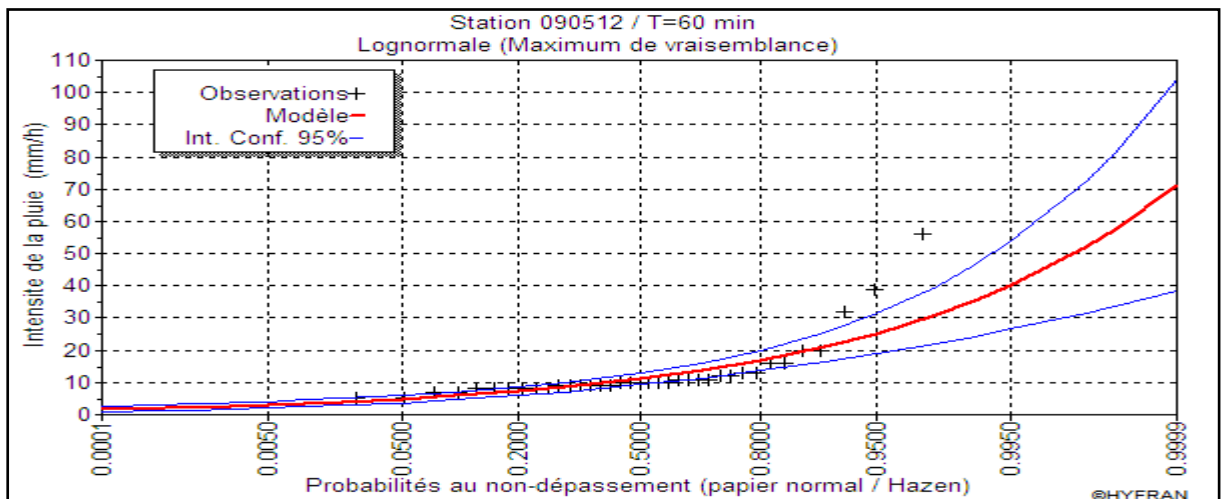
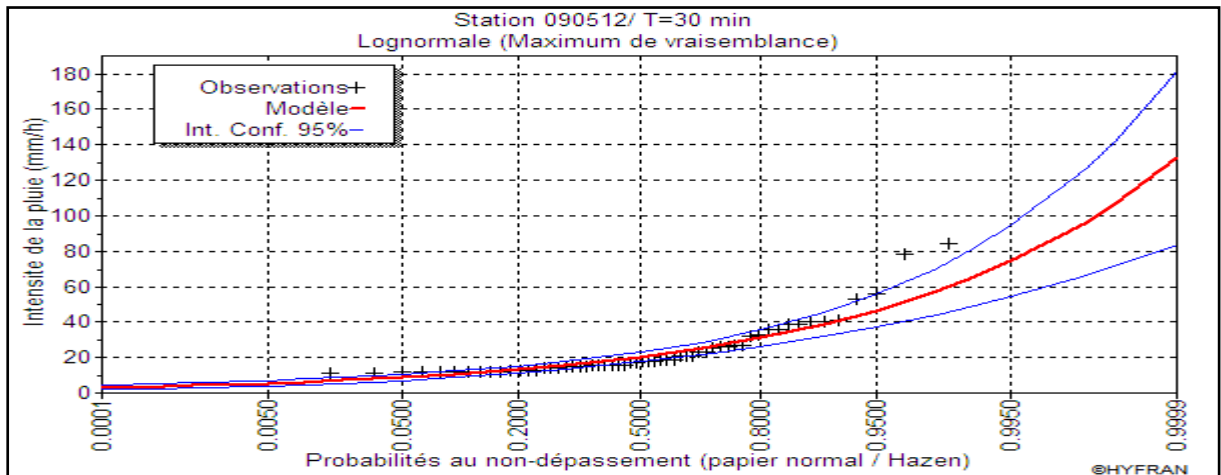
## Annexe

Année	MAX /année							
	Durées d'agrégations (min)							
	15	30	60	120	180	360	720	1440
1977/1978	10,57	13,41	14,86	24,48	27,50	36,46	48,12	54,63
1978/1979	4,81	7,34	12,11	17,52	22,92	34,47	55,17	70,29
1979/1980	7,90	11,70	13,26	21,59	25,56	35,51	41,58	53,90
1980/1981	18,67	27,83	28,91	28,95	28,99	37,40	43,62	51,15
1981/1982	7,13	10,39	12,47	13,34	16,55	29,04	39,33	43,33
1982/1983	7,05	13,16	16,68	22,10	24,44	37,50	53,82	64,04
1983/1984	5,85	11,70	12,42	16,51	20,18	34,63	46,14	51,55
1984/1985	9,22	17,73	26,91	27,80	28,61	28,73	40,04	69,33
1985/1986	8,32	16,18	25,39	33,19	40,78	51,90	69,62	79,86
1986/1987	12,76	20,62	22,32	19,98	26,19	39,36	49,53	55,99
1987/1988	7,88	10,72	13,00	20,58	24,43	26,48	33,63	45,17
1988/1989	6,79	9,42	14,40	18,58	25,18	41,97	66,17	73,36
1989/1990	12,76	13,70	13,77	13,97	18,64	25,98	31,37	33,07
1990/1991	6,25	8,76	15,39	19,43	20,70	23,79	34,01	57,90
1991/1992	20,05	29,62	39,10	39,76	24,18	31,33	46,74	79,53
1992/1993	7,72	11,50	17,44	27,03	31,49	39,67	42,51	61,10
1993/1994	7,85	7,38	10,92	16,50	22,33	29,07	41,64	55,82
1994/1995	6,63	8,82	10,60	16,15	20,04	29,02	41,82	65,76
1995/1996	8,50	10,54	16,13	22,99	26,35	35,32	58,27	82,11
1996/1997	6,75	13,13	18,93	30,46	32,07	33,16	28,68	29,83
1997/1998	11,84	16,32	20,01	22,25	22,53	35,52	53,25	59,18
1998/1999	6,33	10,04	14,89	22,44	28,73	41,89	42,59	27,23
1999/2000	0,87	1,68	2,21	2,25	2,29	3,51	6,05	8,45
2000/2001	6,65	9,64	12,79	17,62	25,08	45,53	68,64	74,50

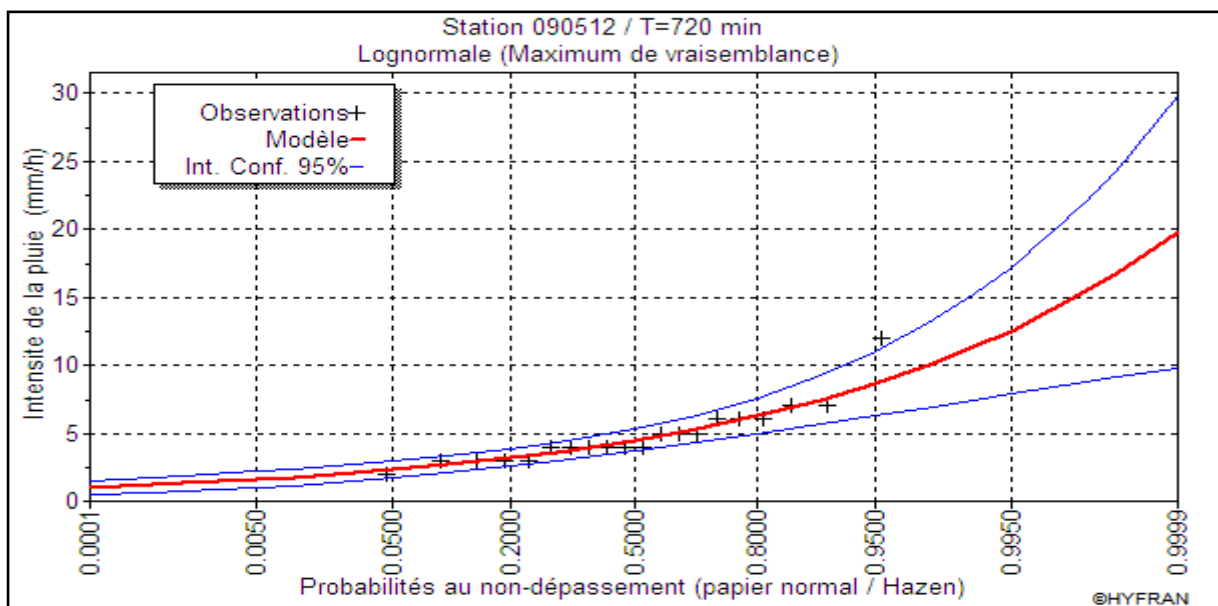
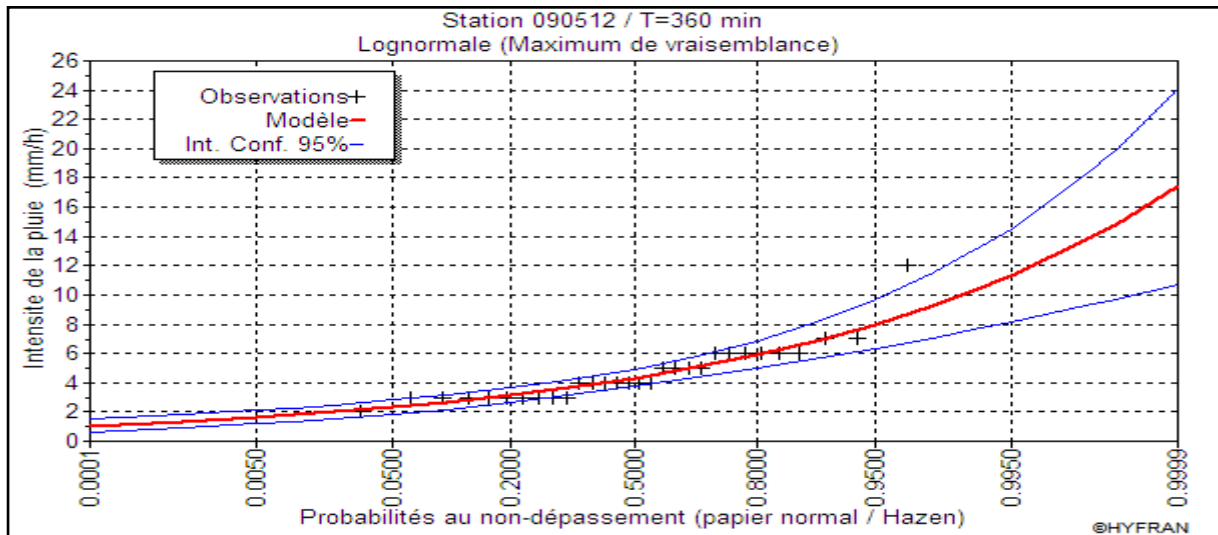
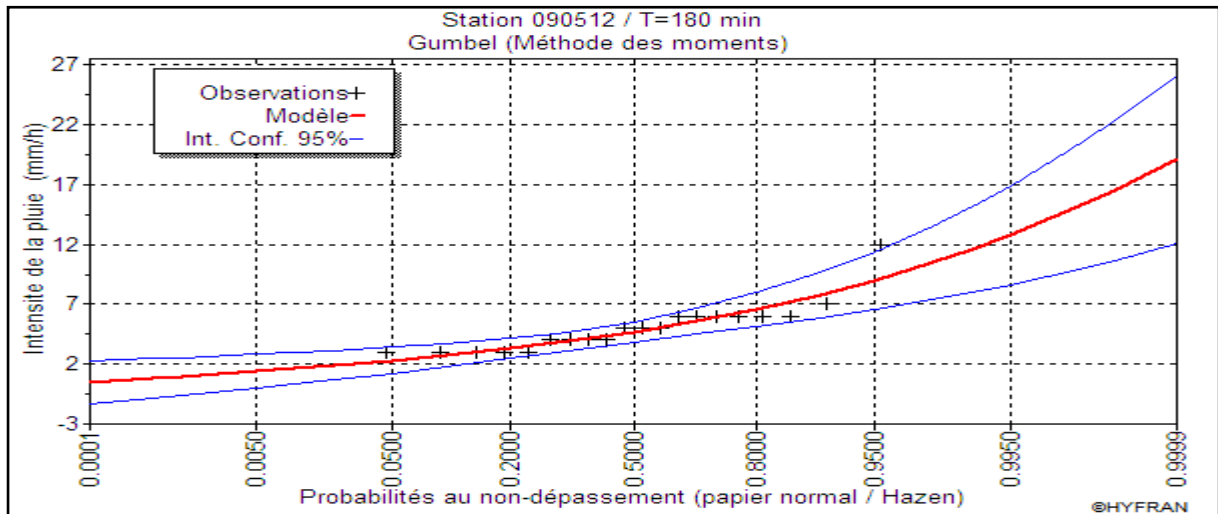
**Tableau A4:** Max annuel pour chaque durée d'agrégation de la station (090512)

**Remarque :** Les valeurs des tableaux A1, A2, A3, A4 représentent les lames d'eau en (mm) et non pas les intensités.

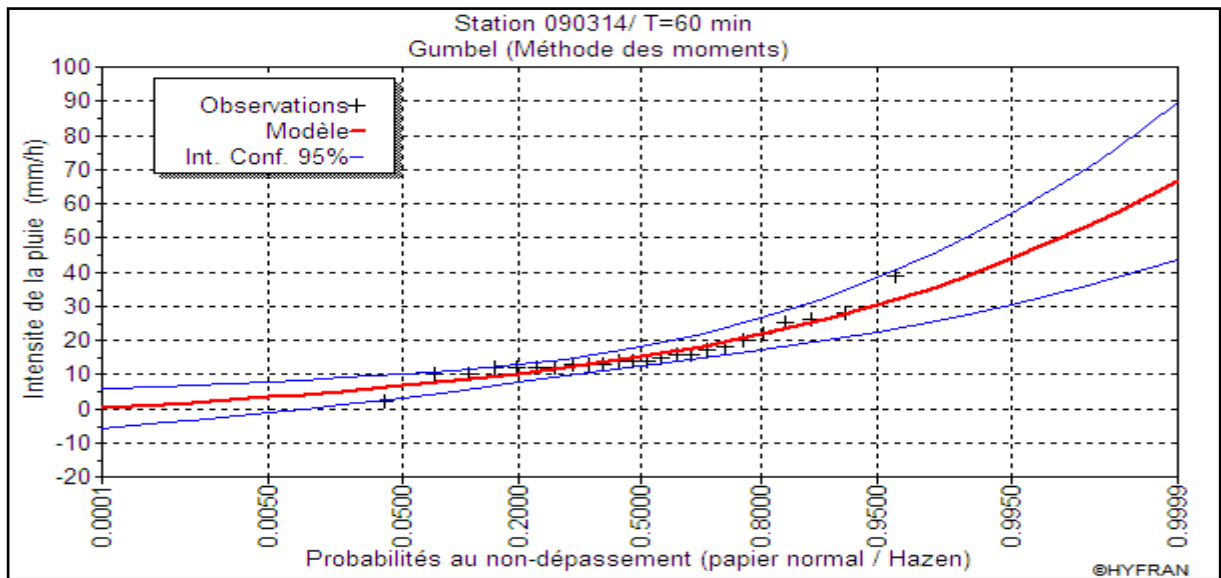
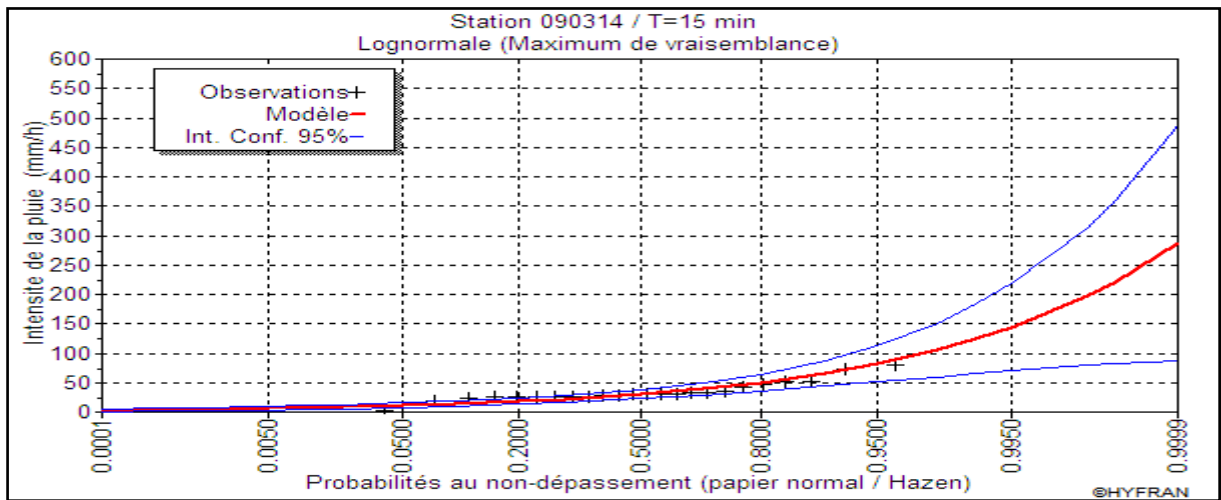
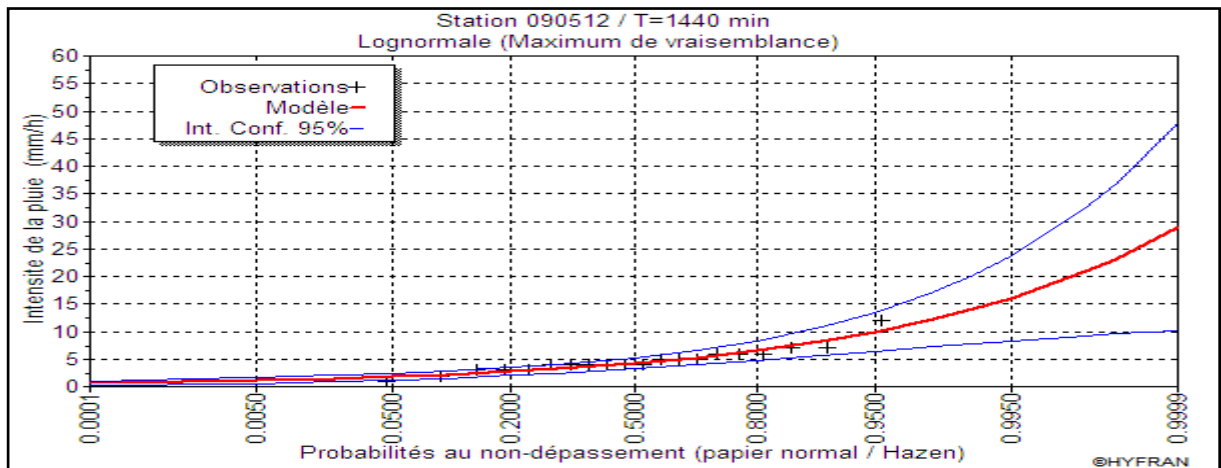
GRAPHES DES AJUSTEMENTS DES PLUVIOGRAPHES



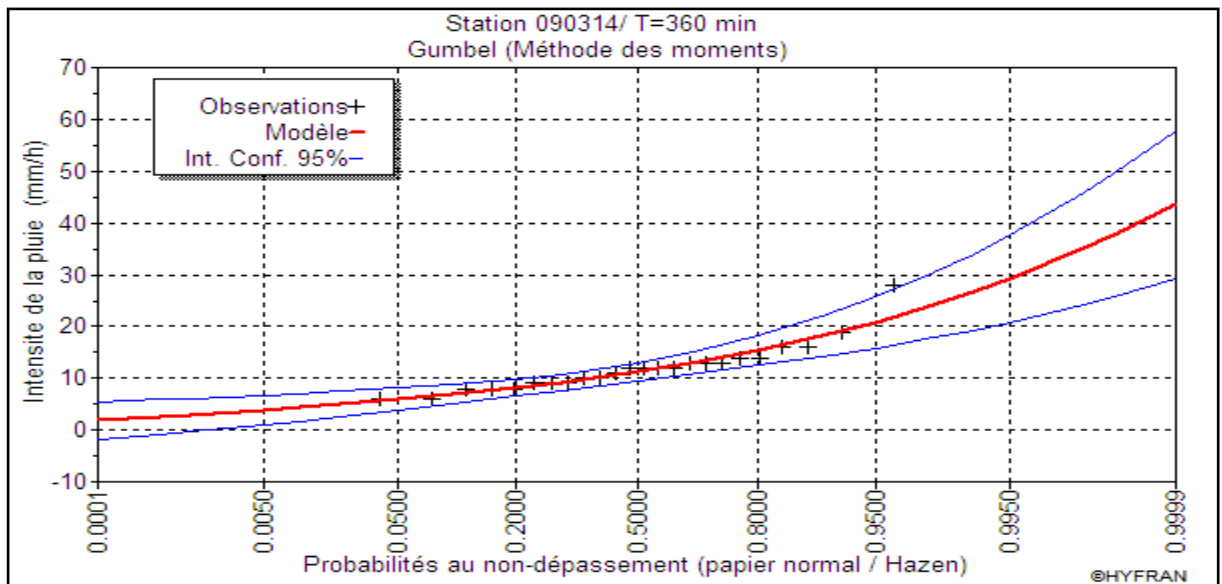
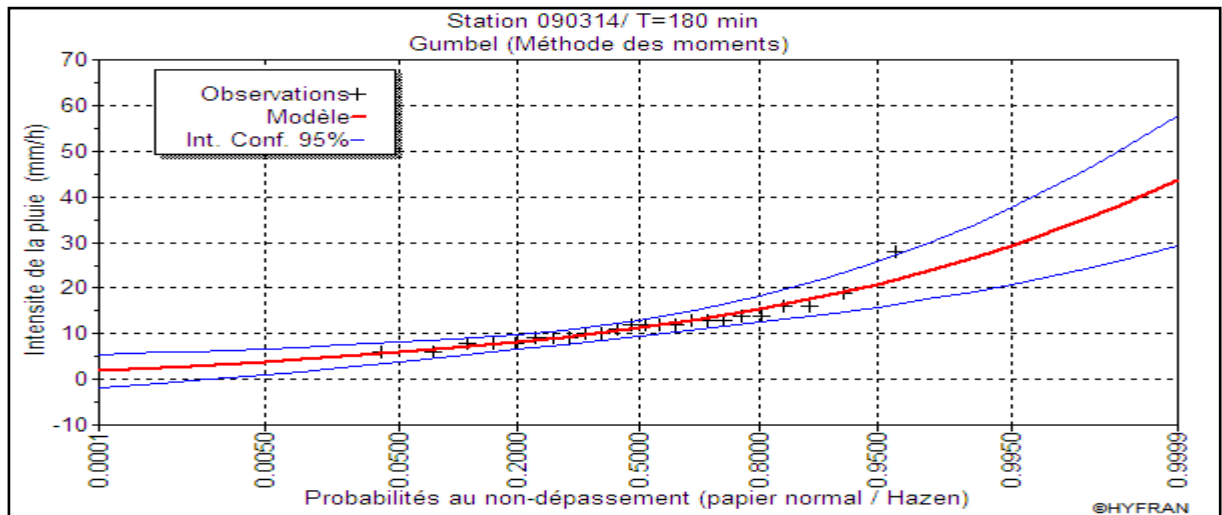
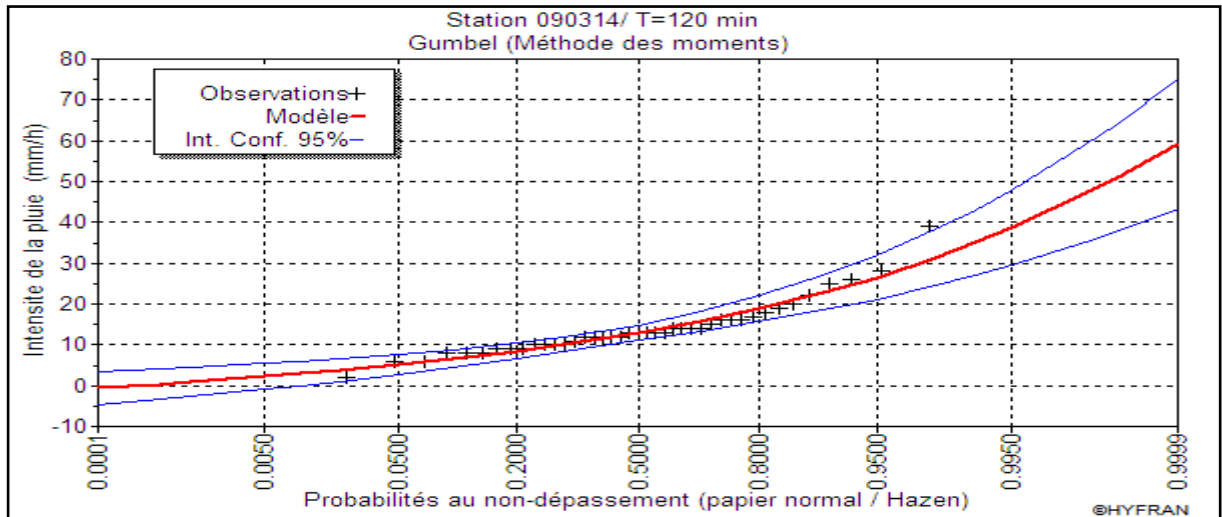
# Annexe



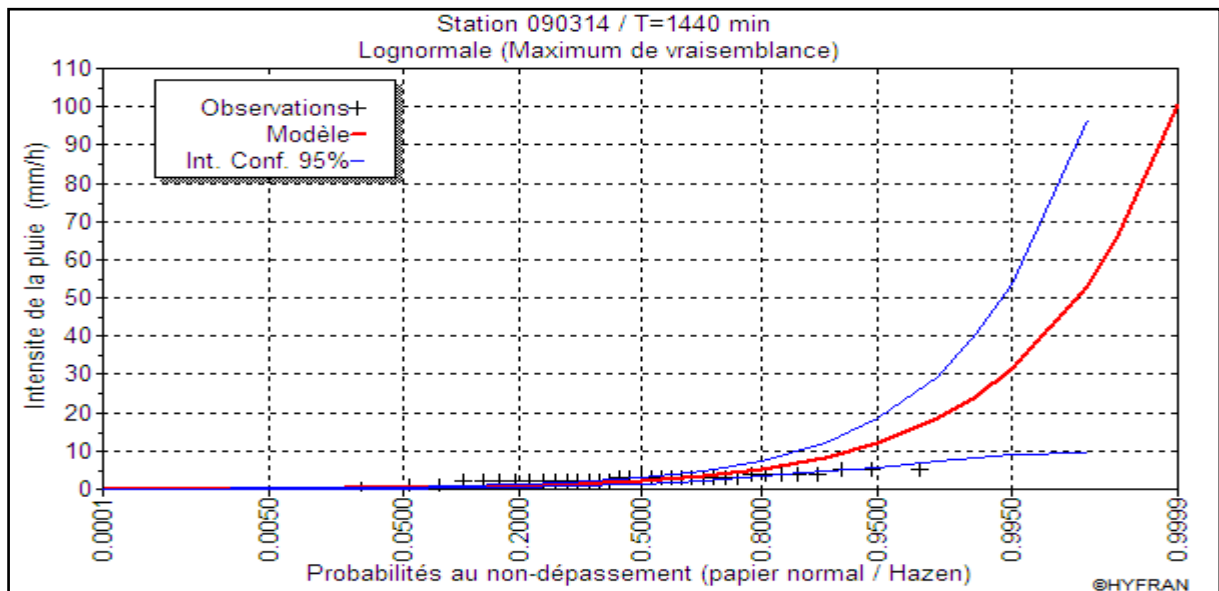
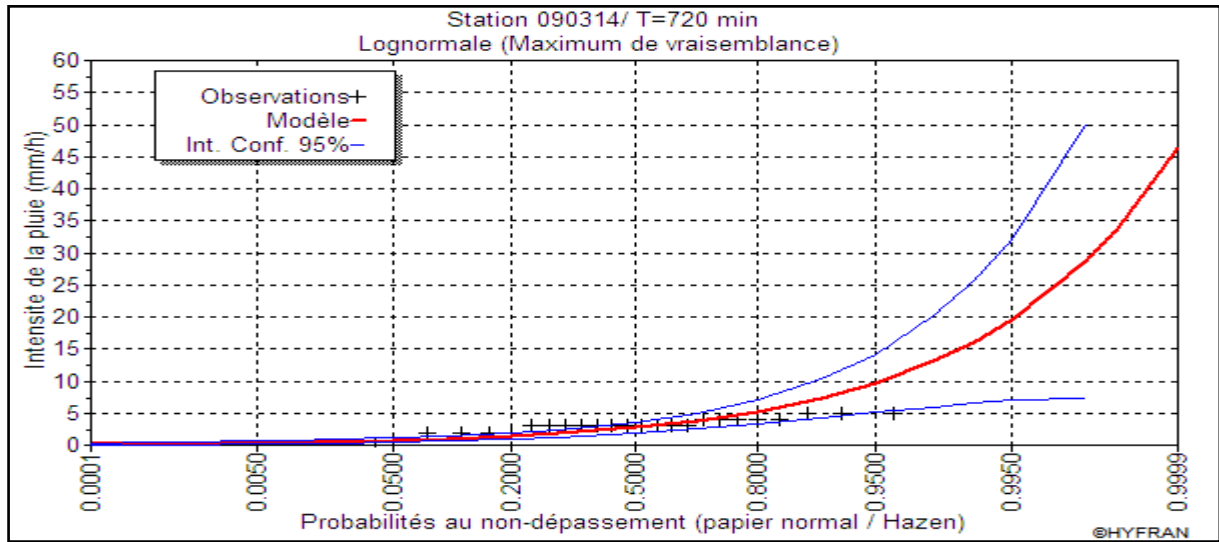
# Annexe



# Annexe

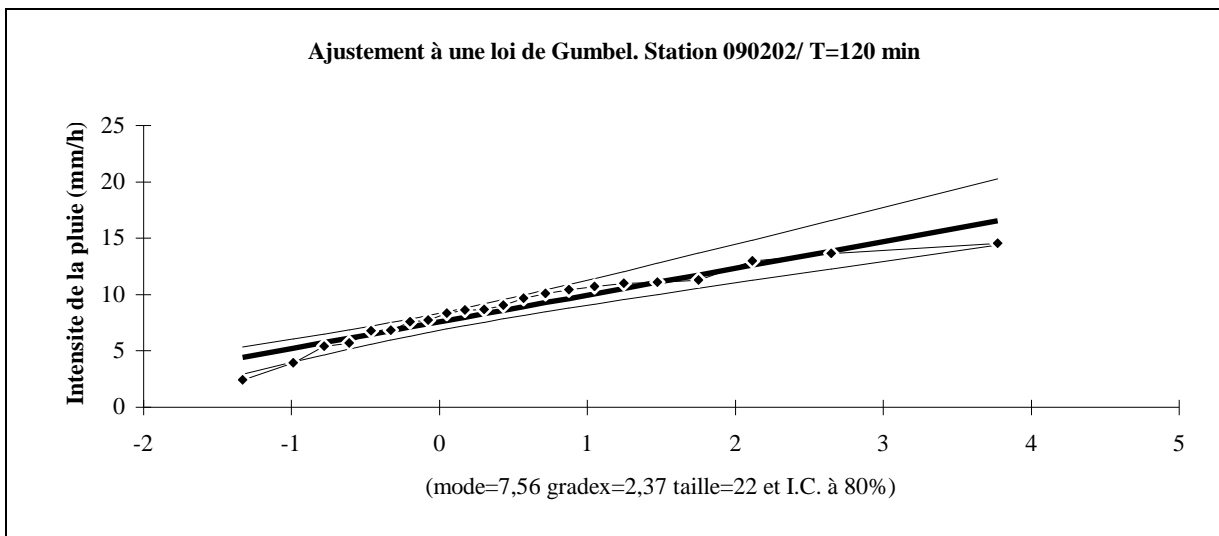
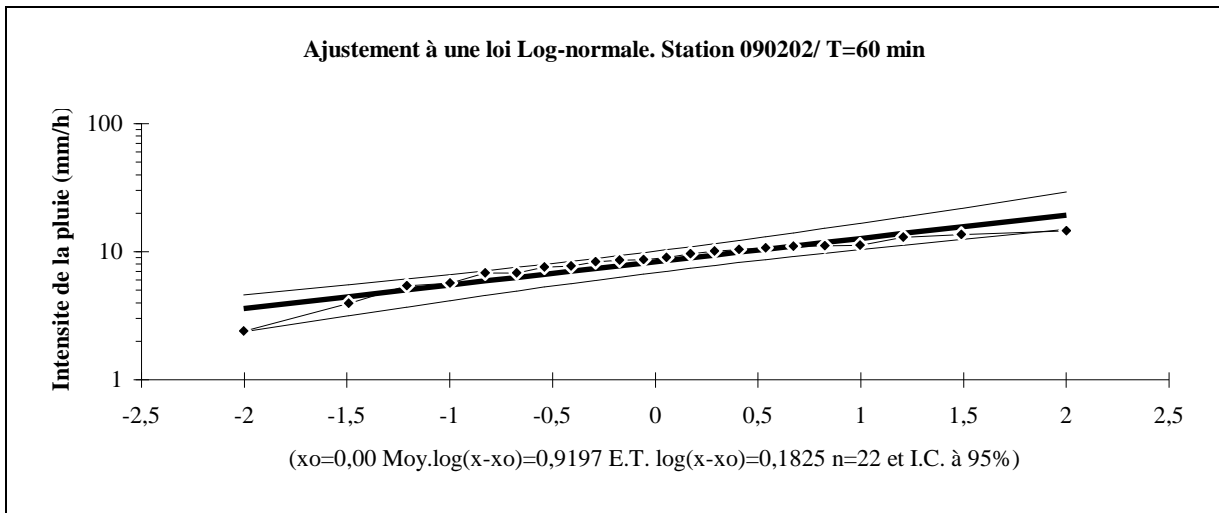
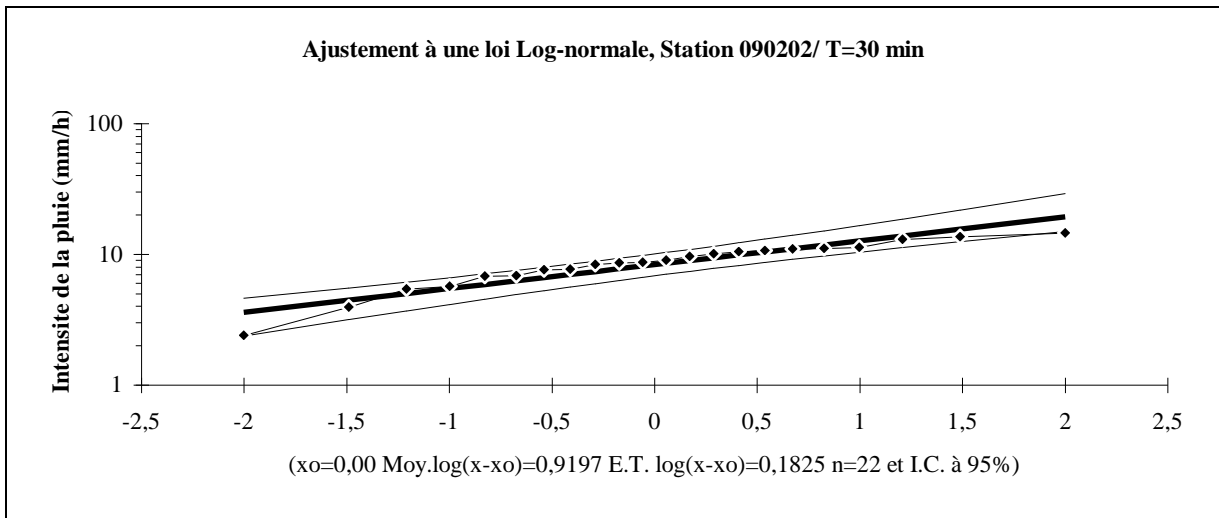


# Annexe

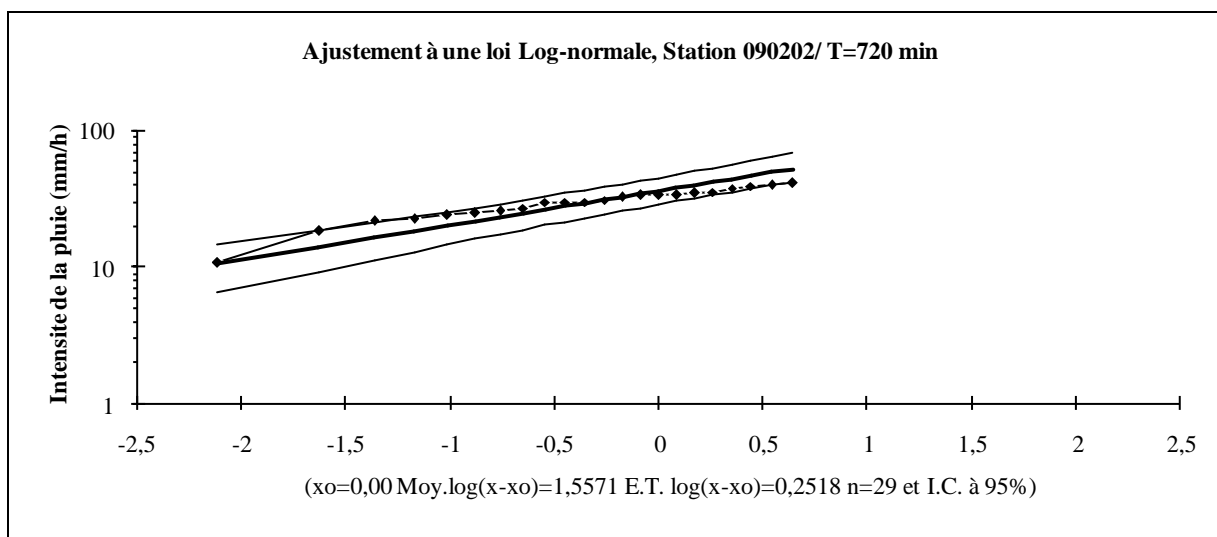
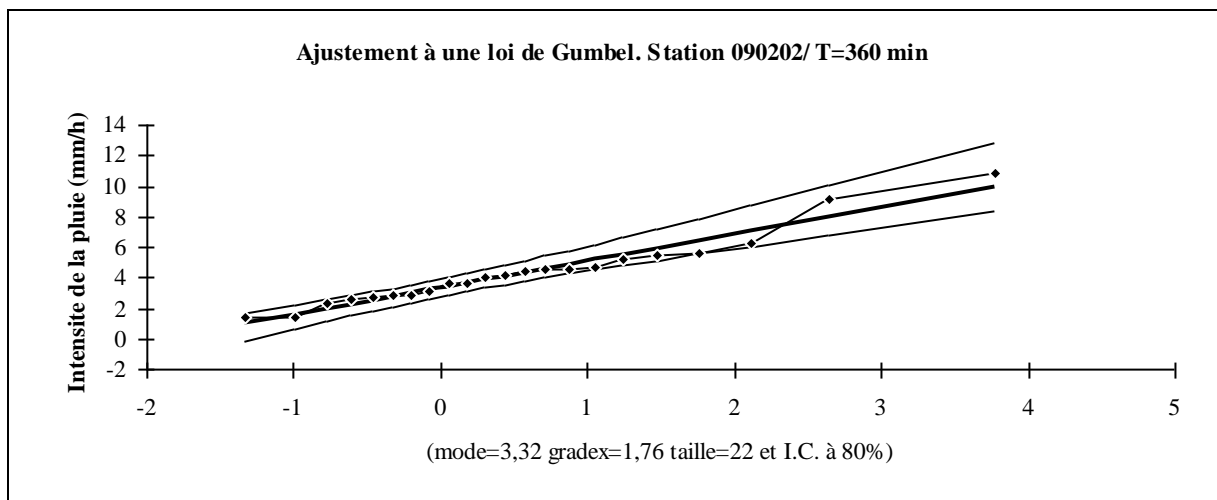
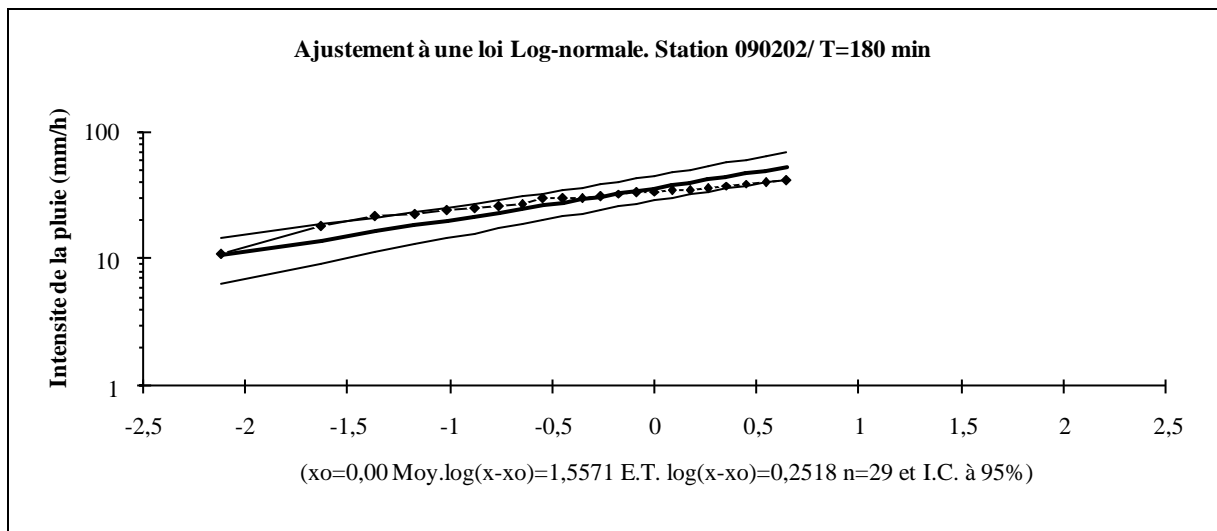




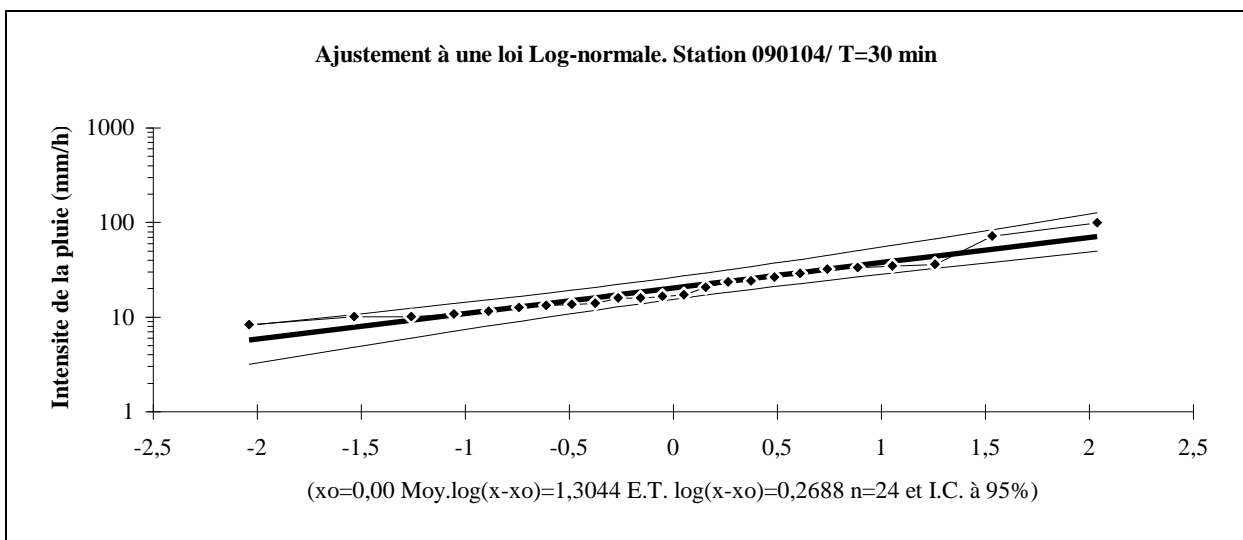
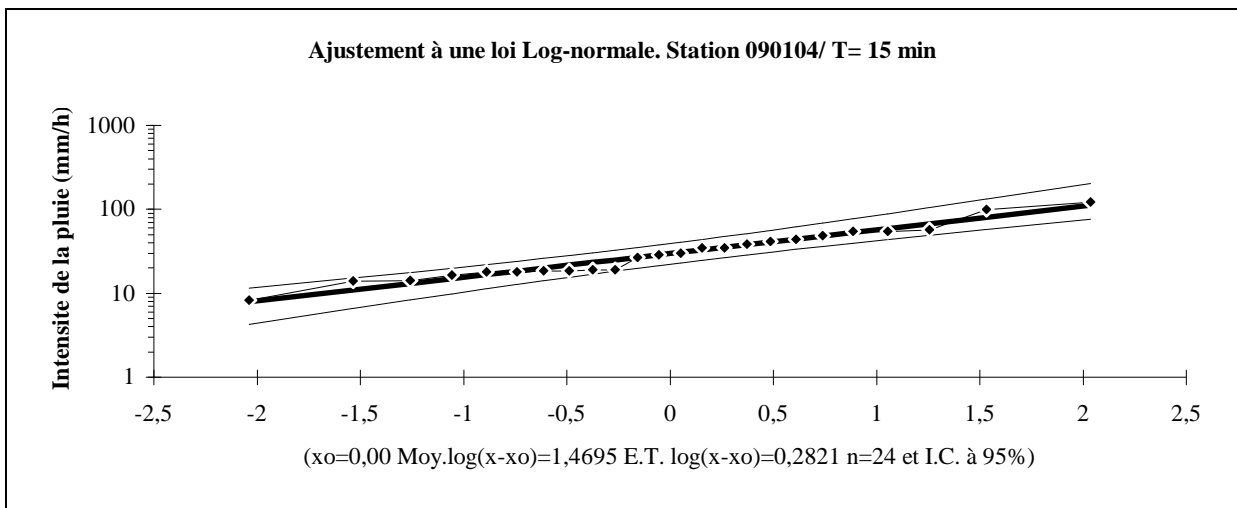
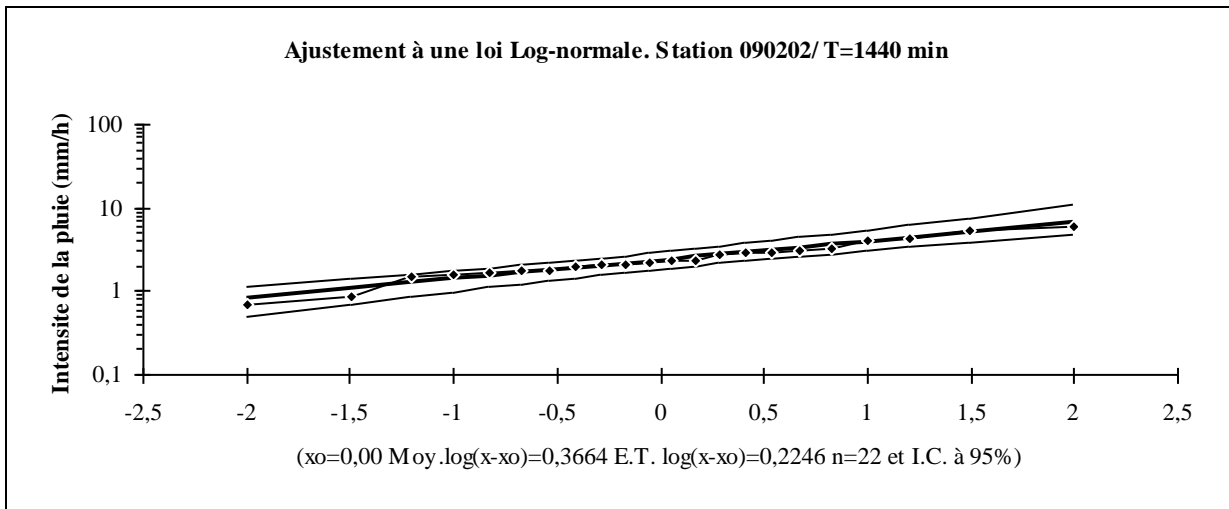
# Annexe



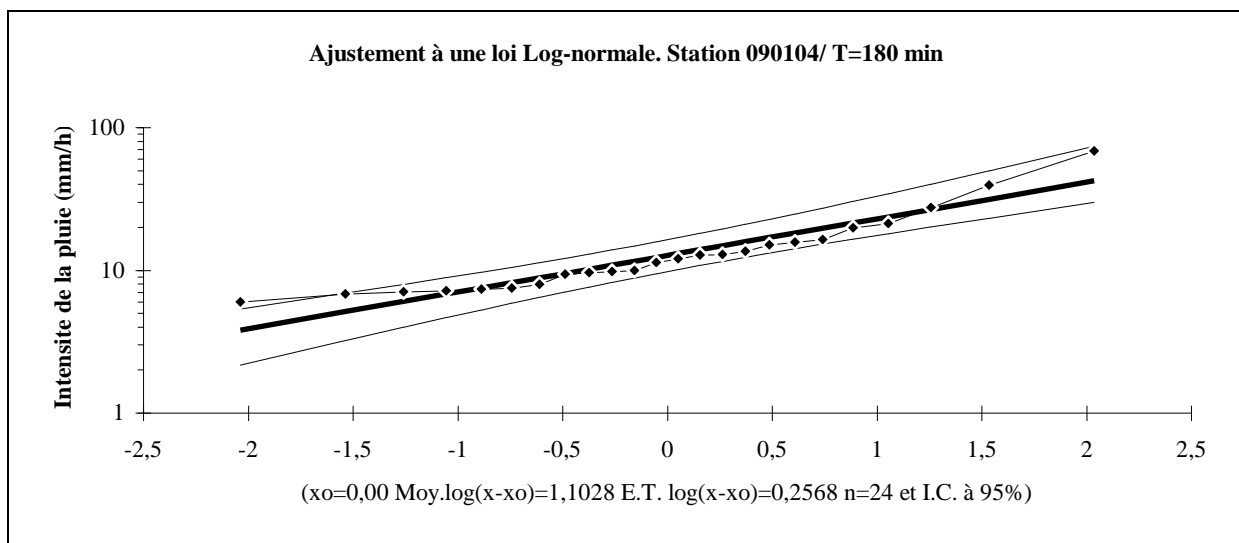
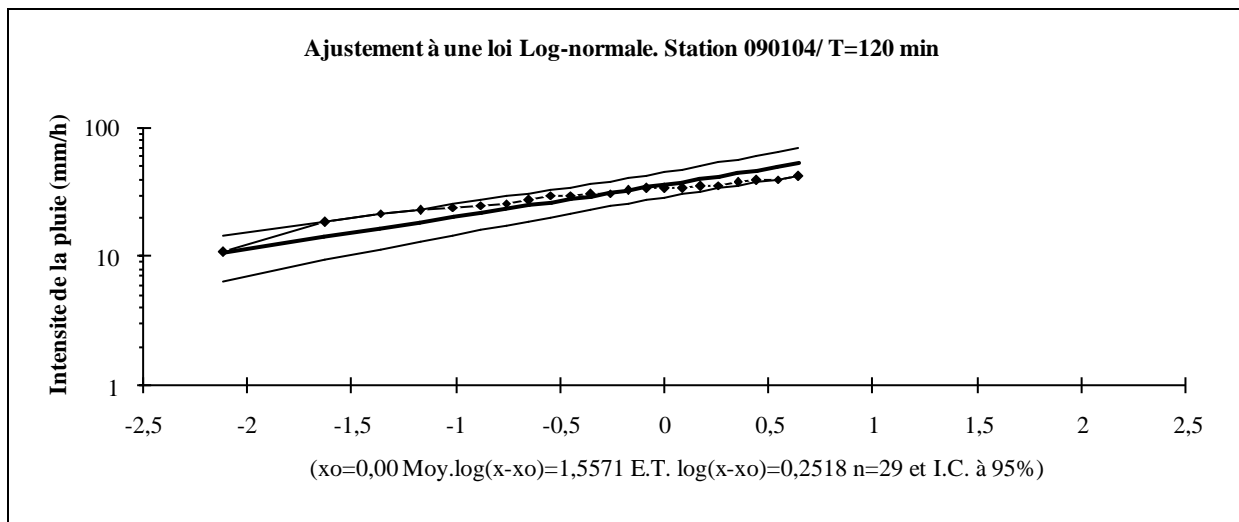
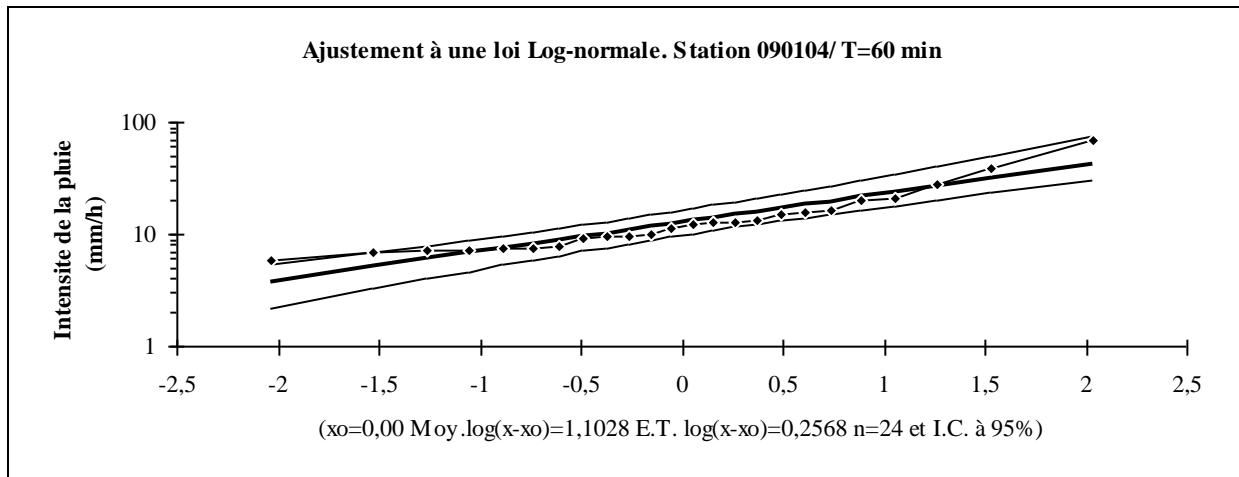
# Annexe



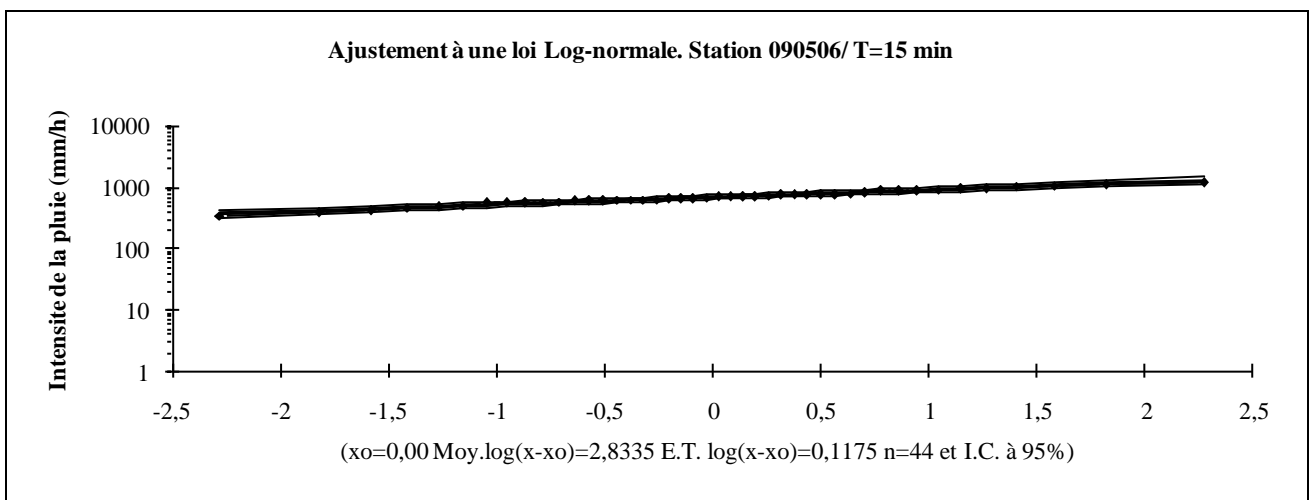
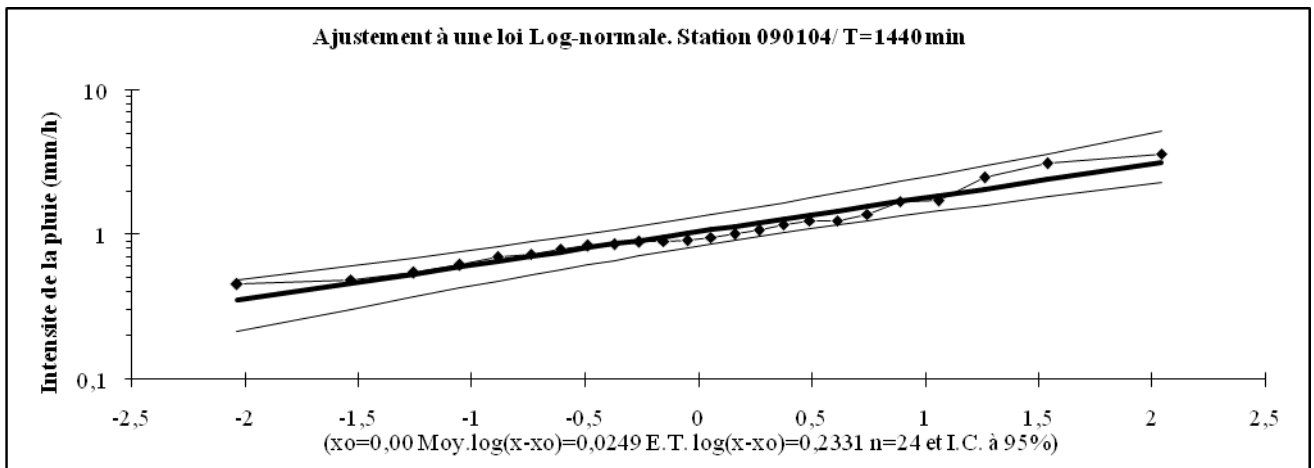
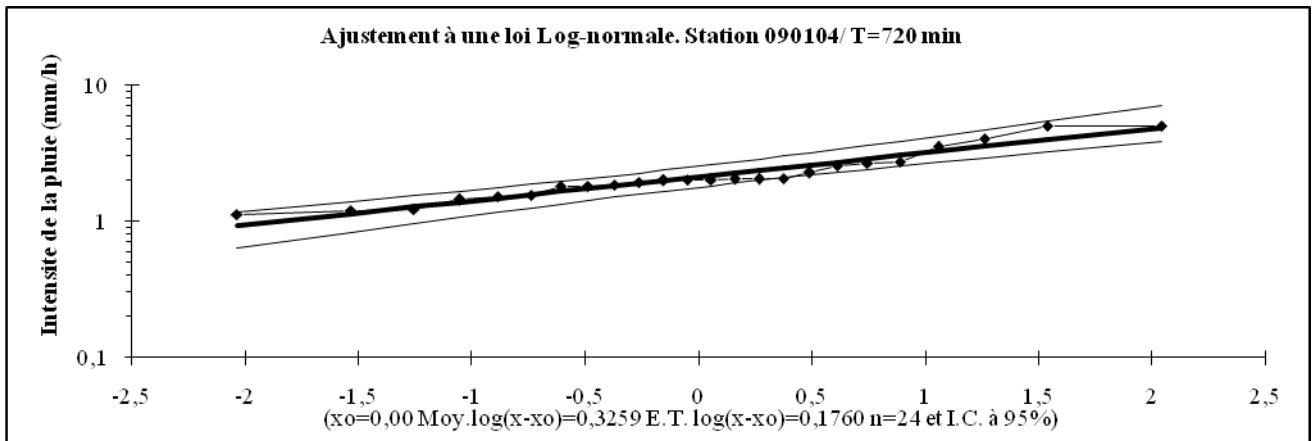
# Annexe



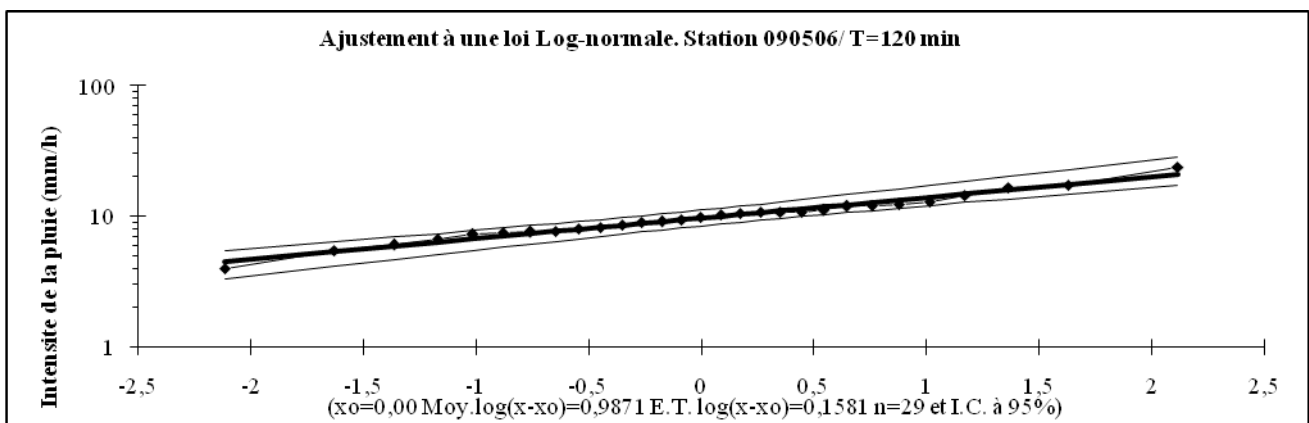
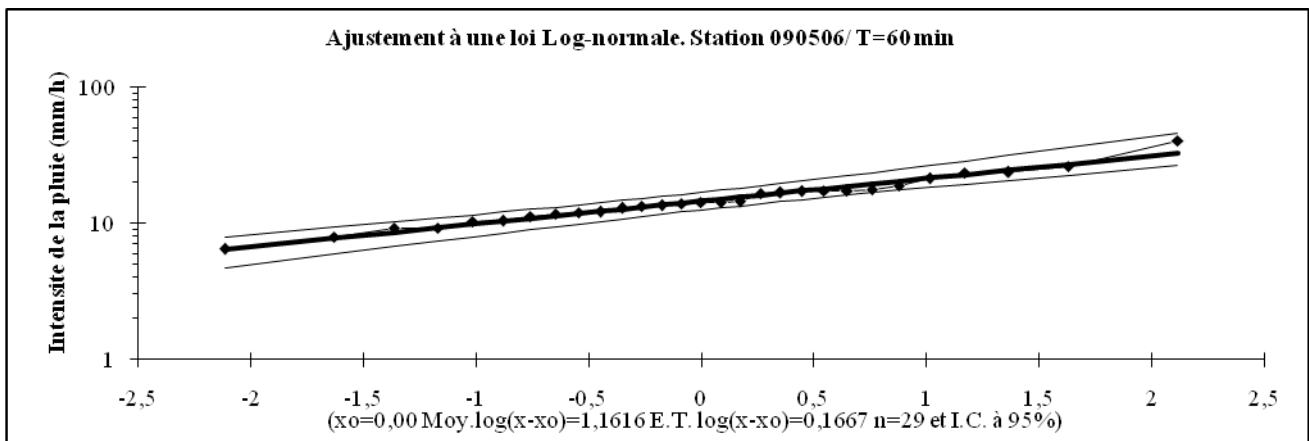
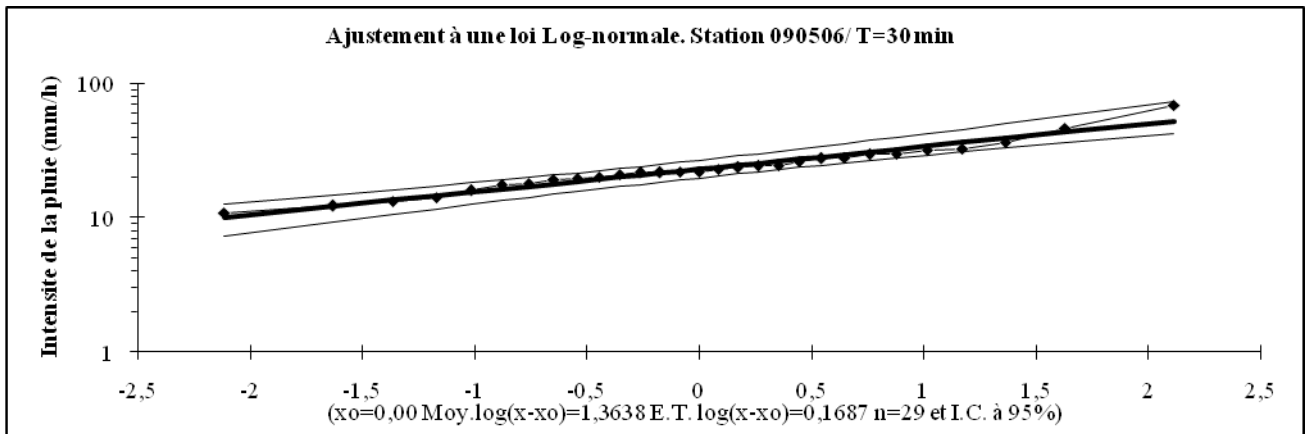
# Annexe



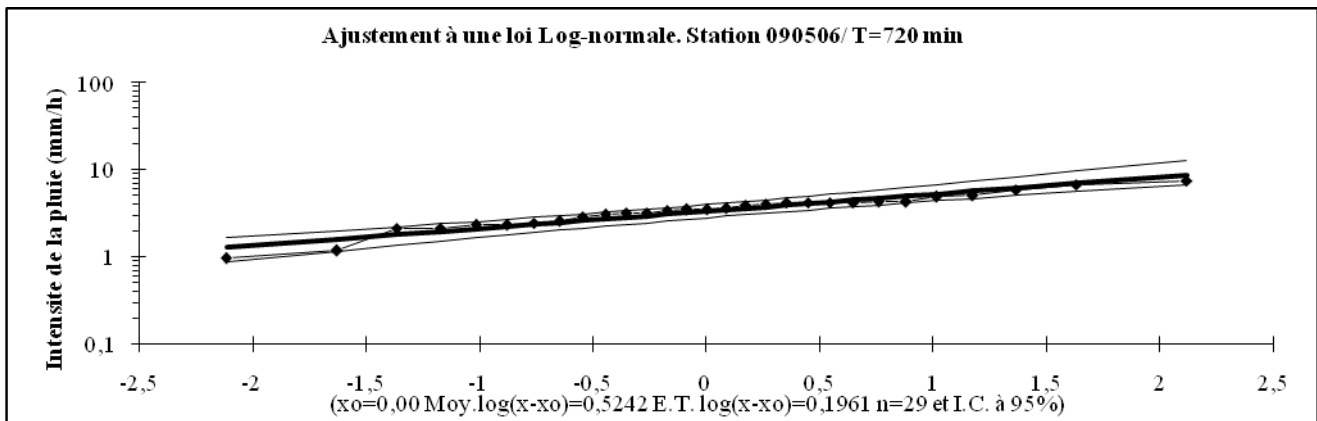
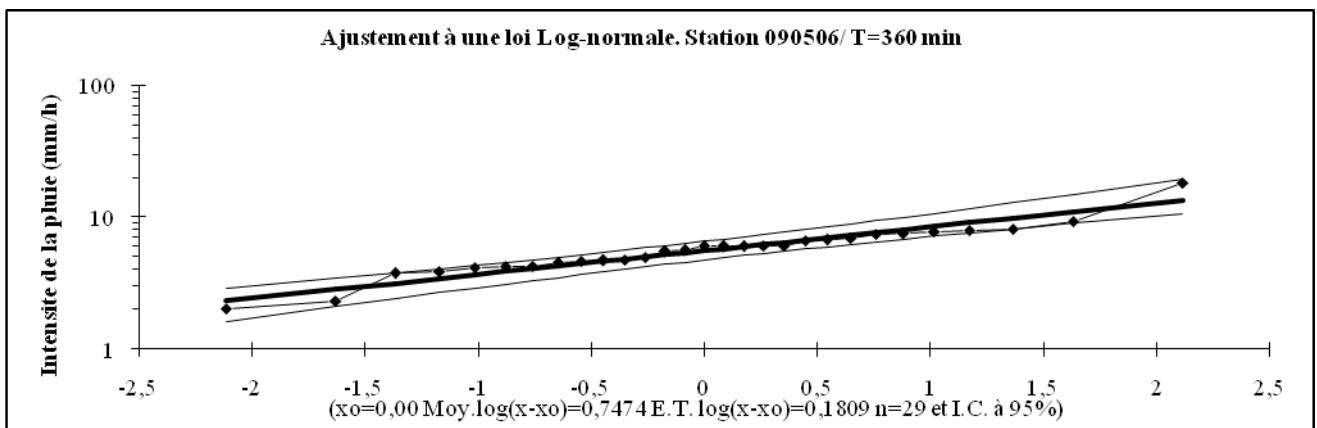
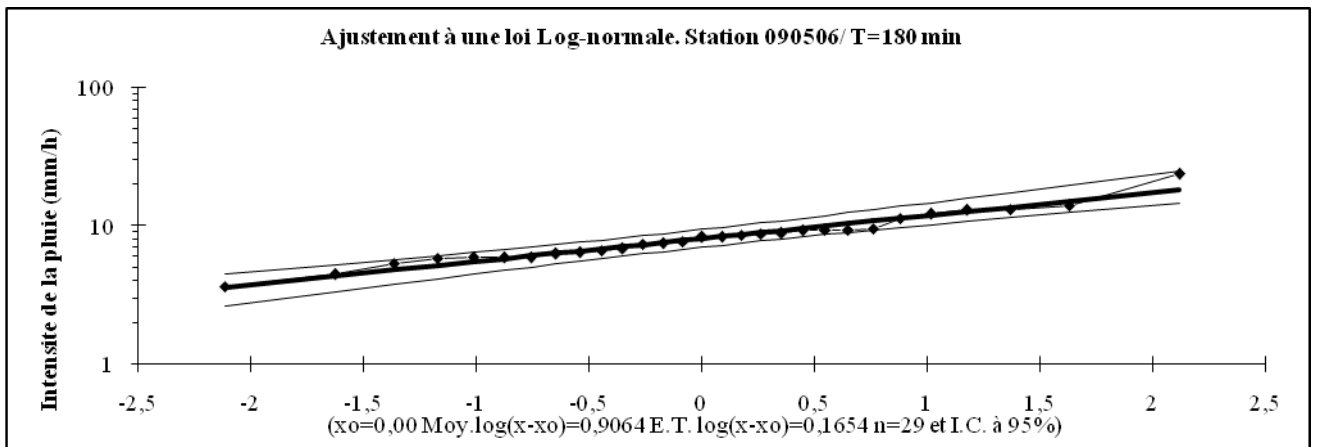
# Annexe



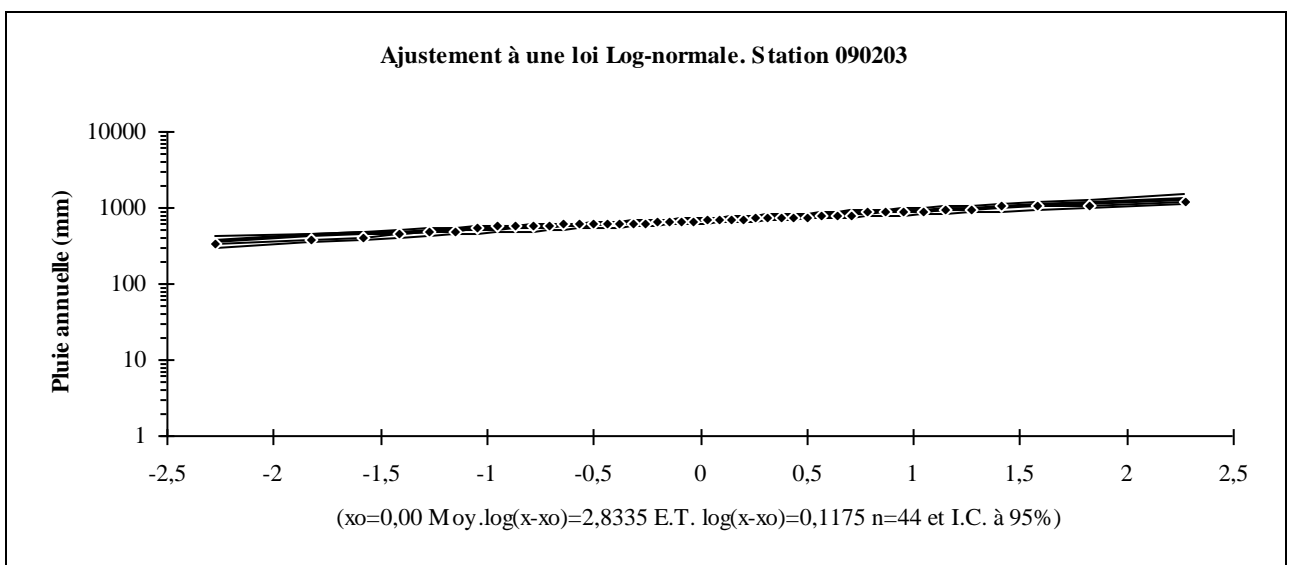
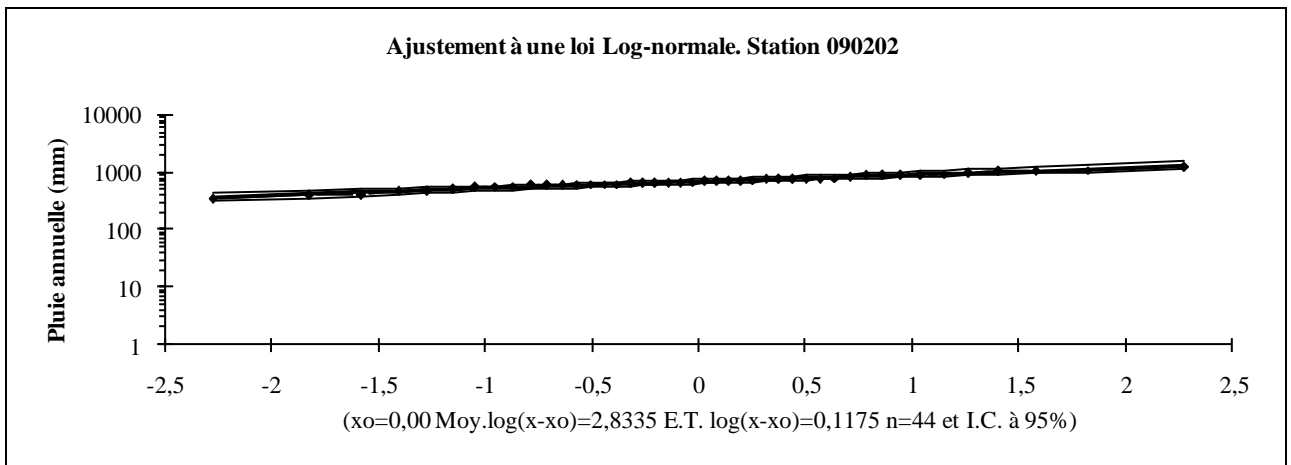
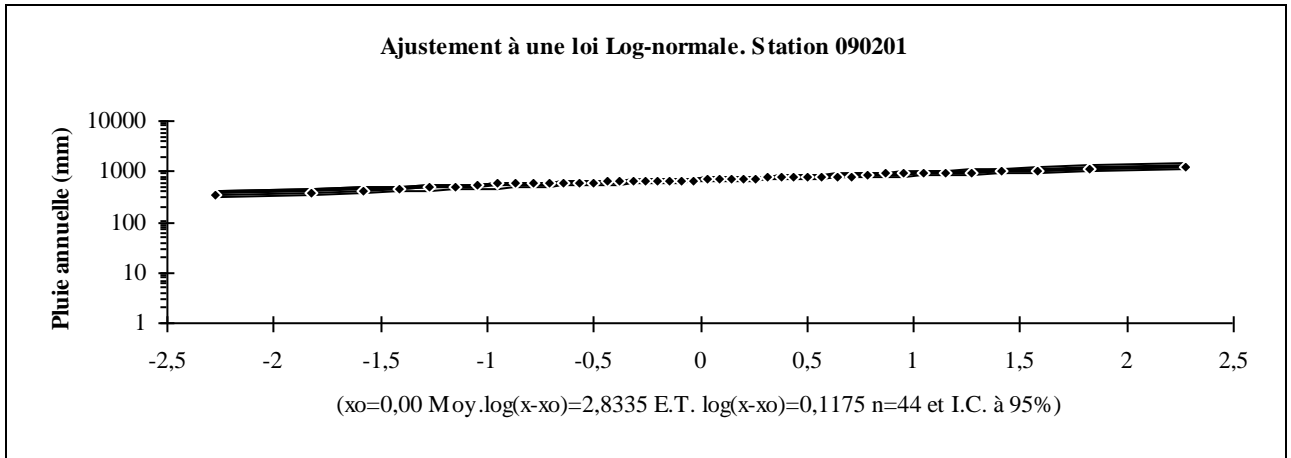
# Annexe



# Annexe

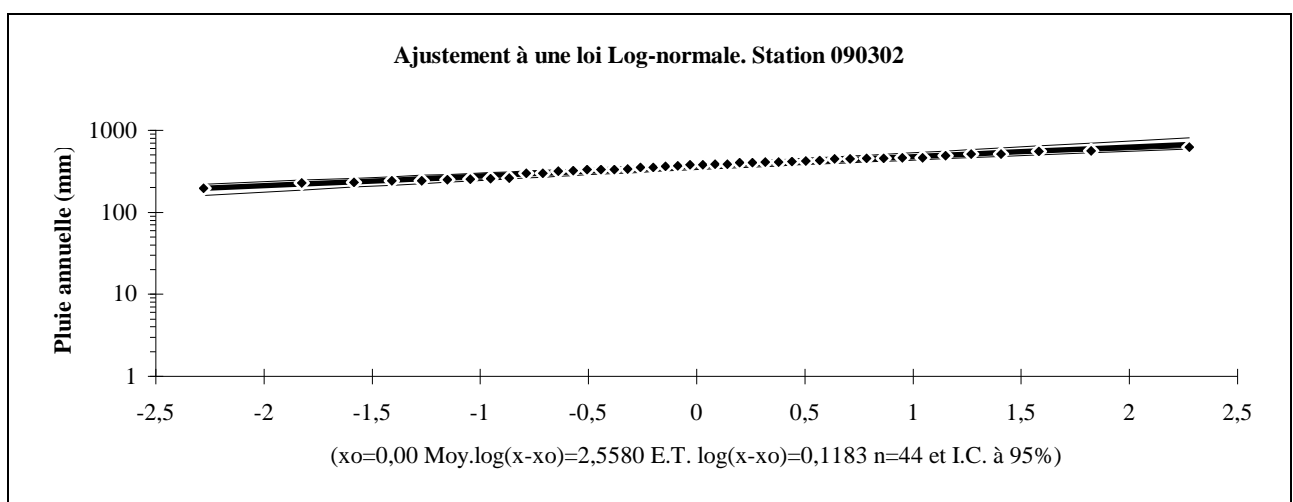
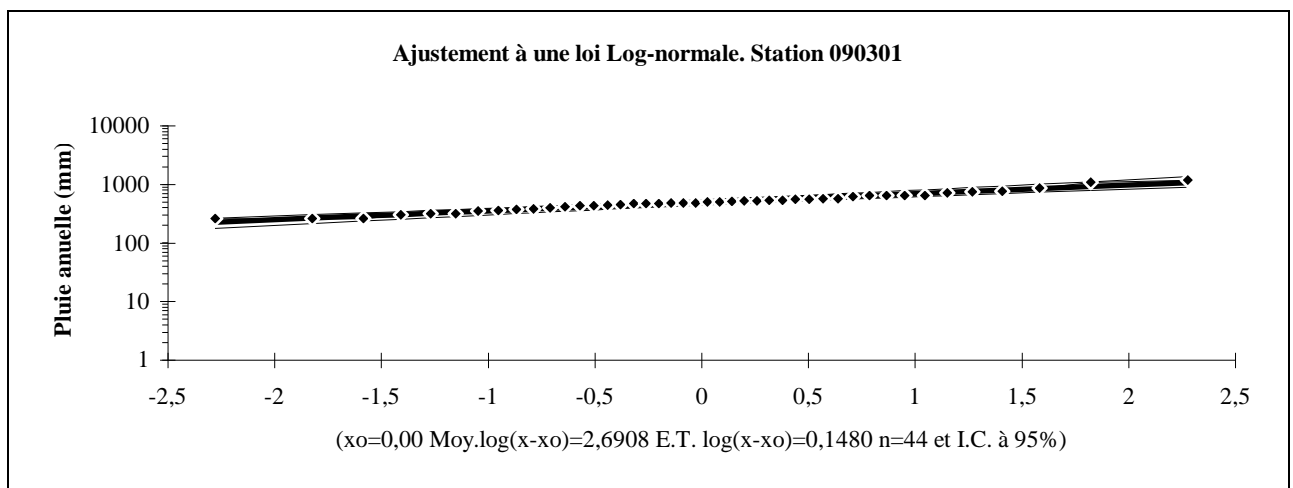
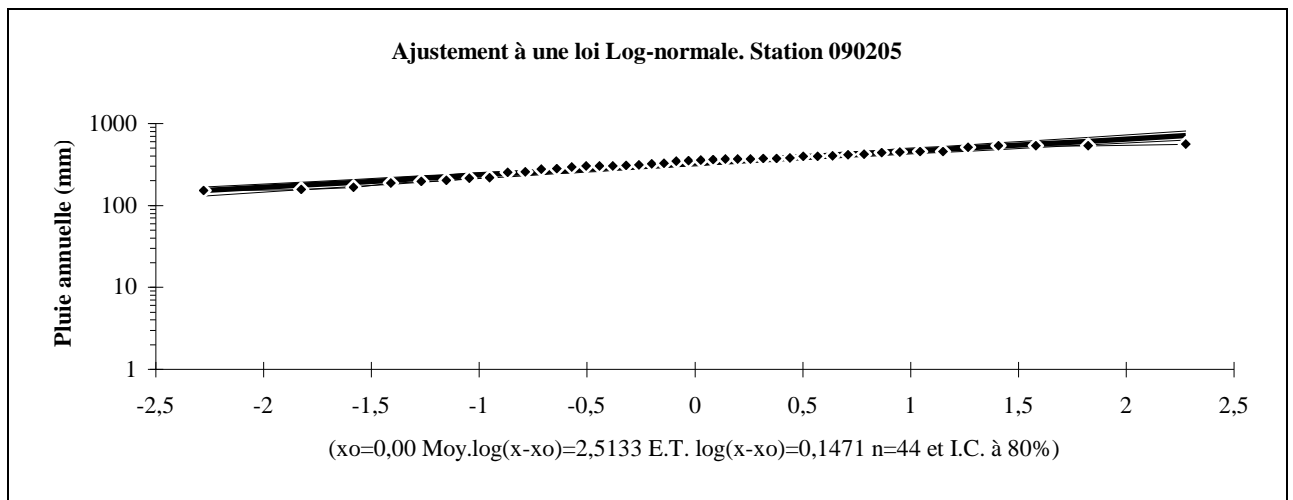


GRAPHES D'AJUSTEMENTS DES PLUIES ANNUELLES

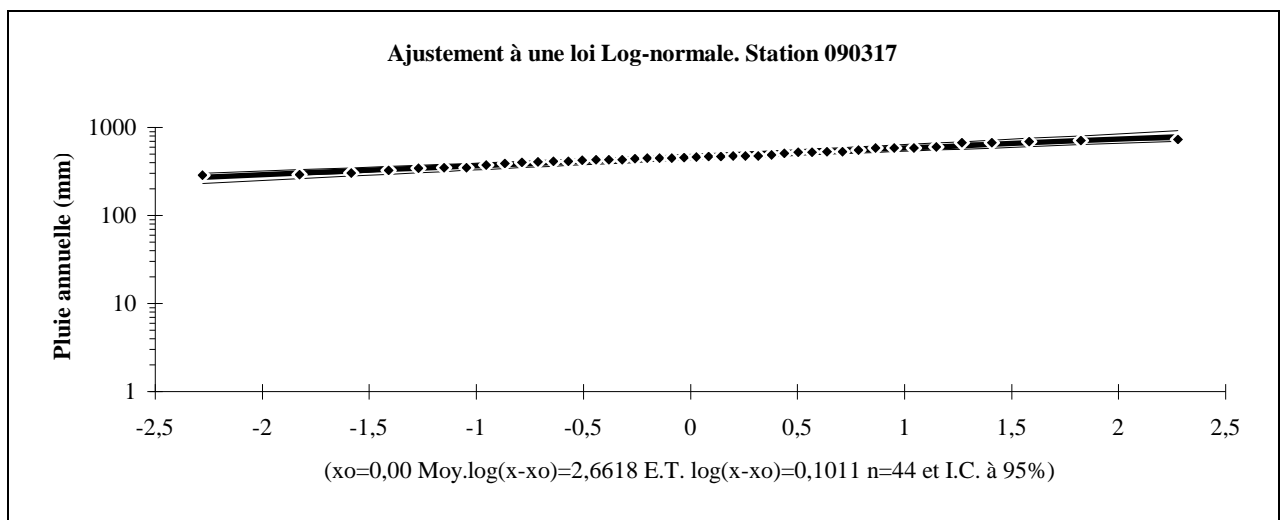
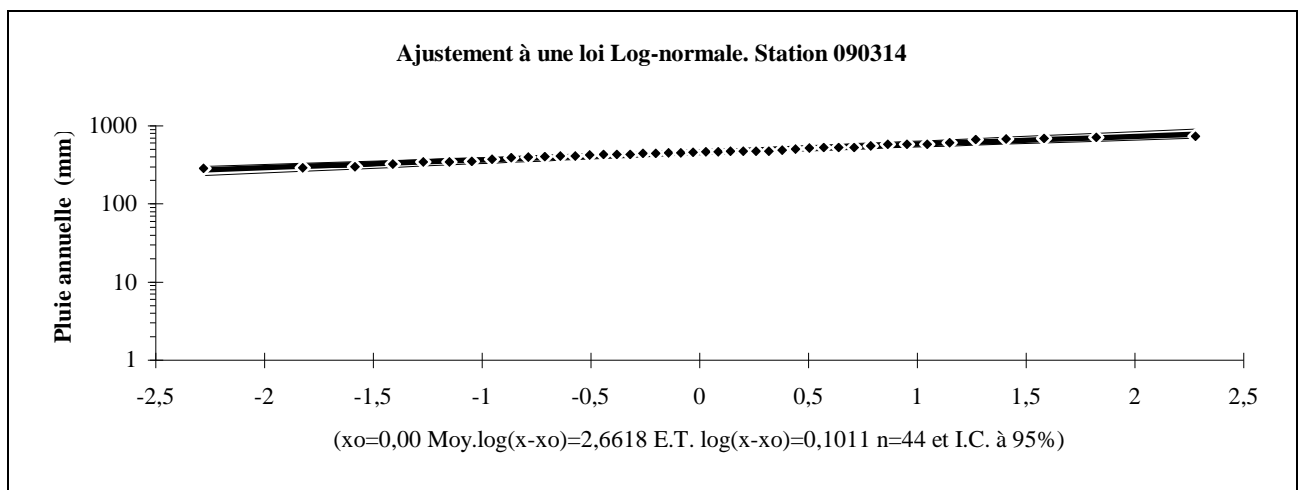
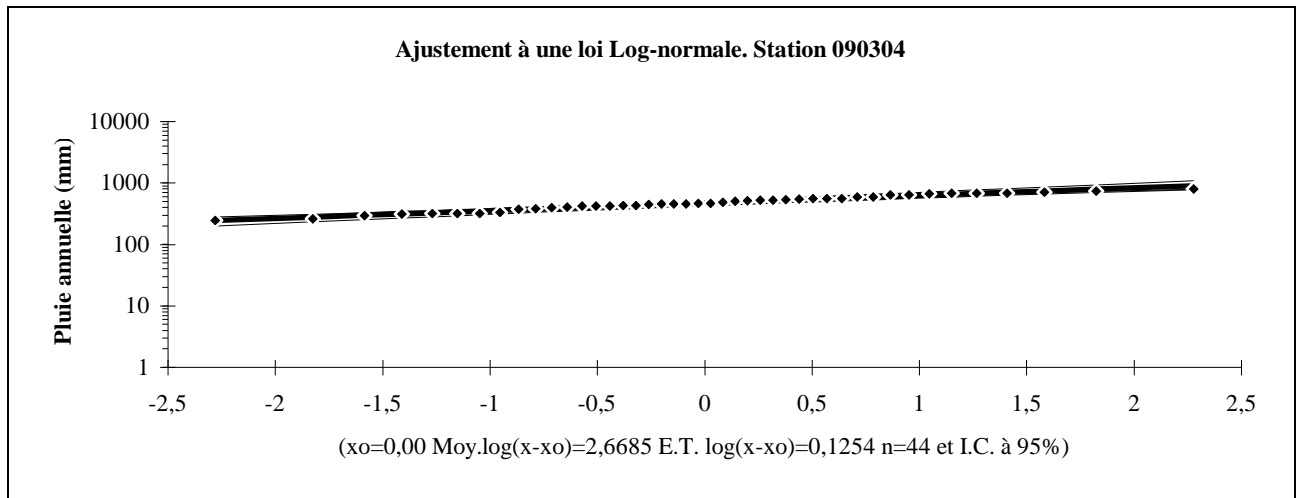




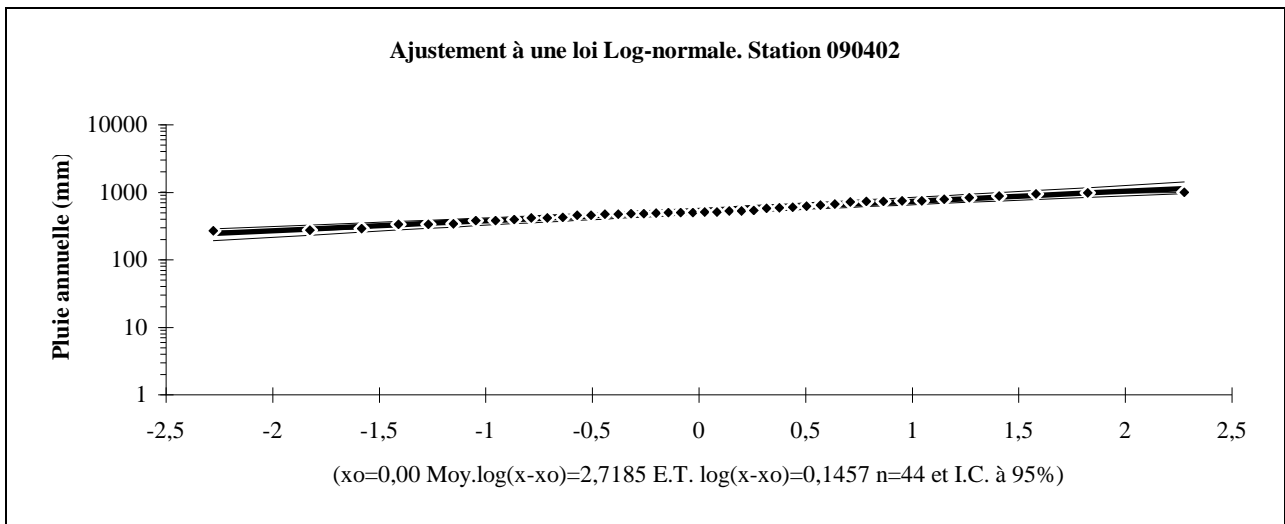
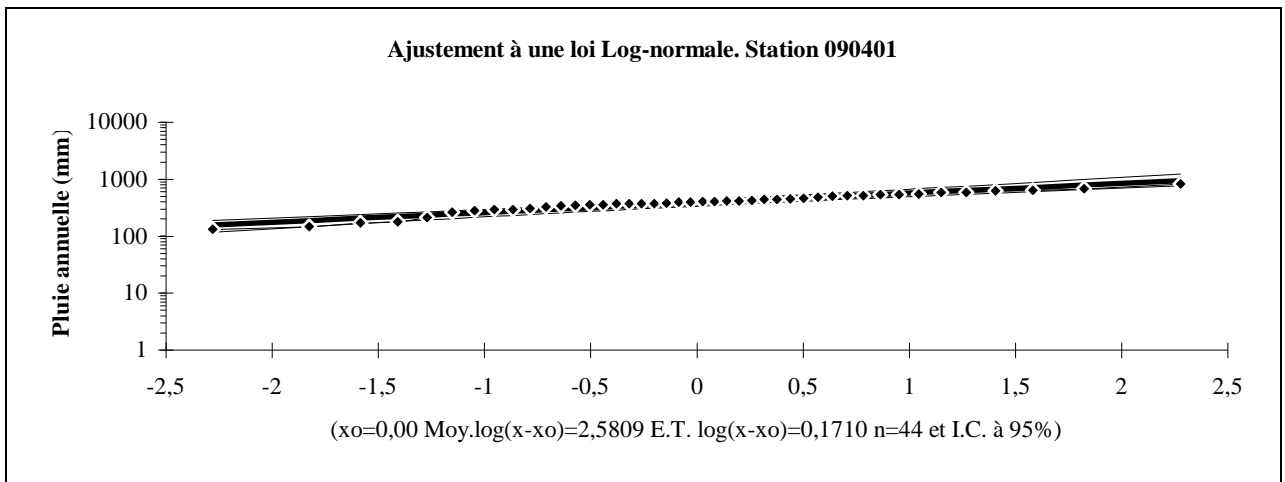
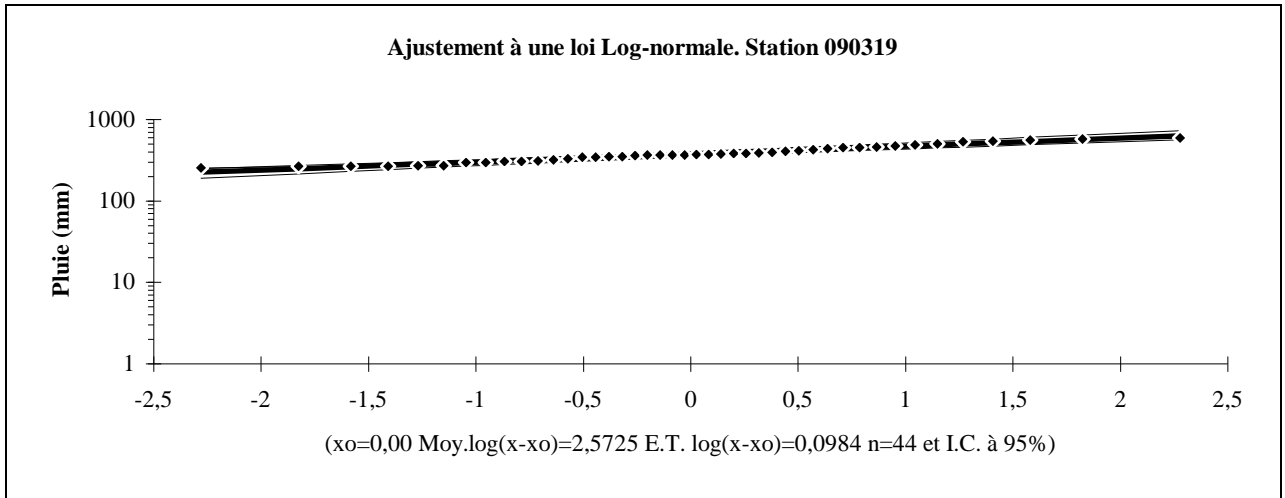
# Annexe



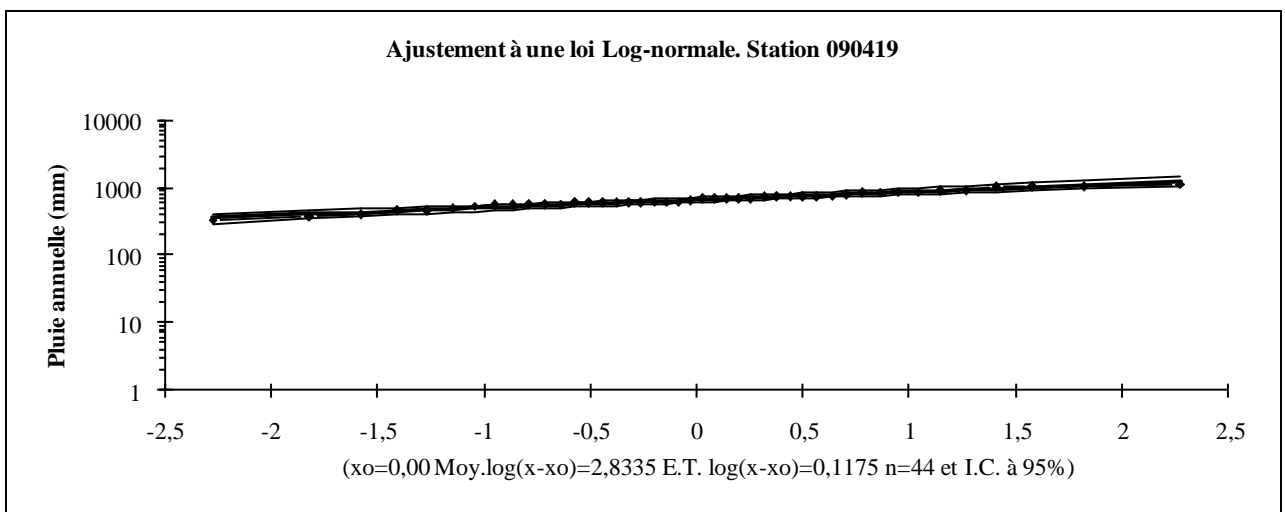
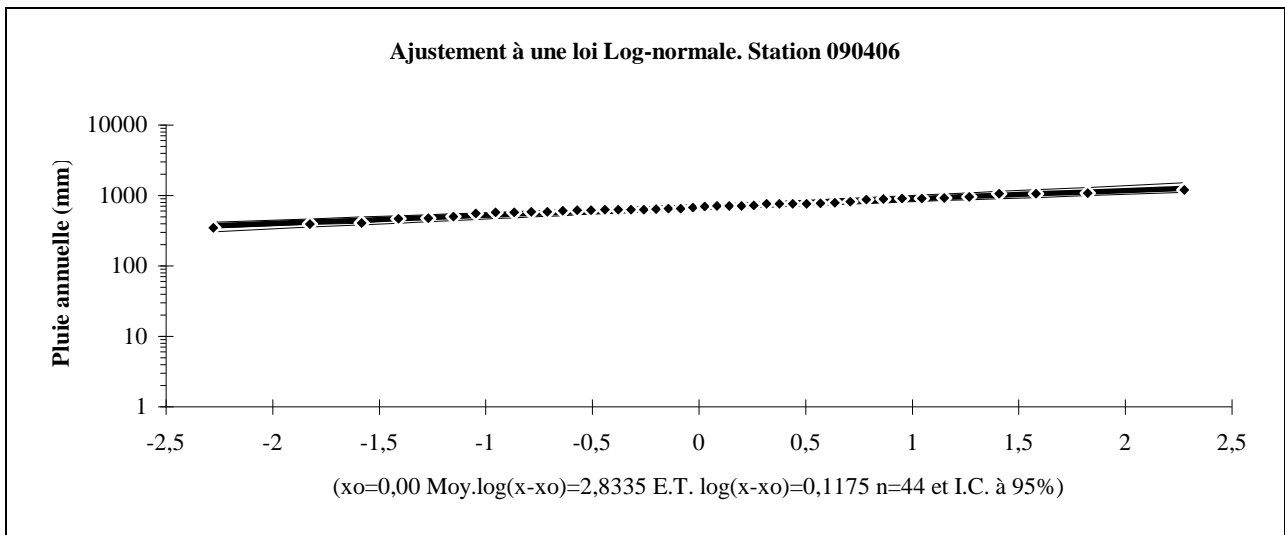
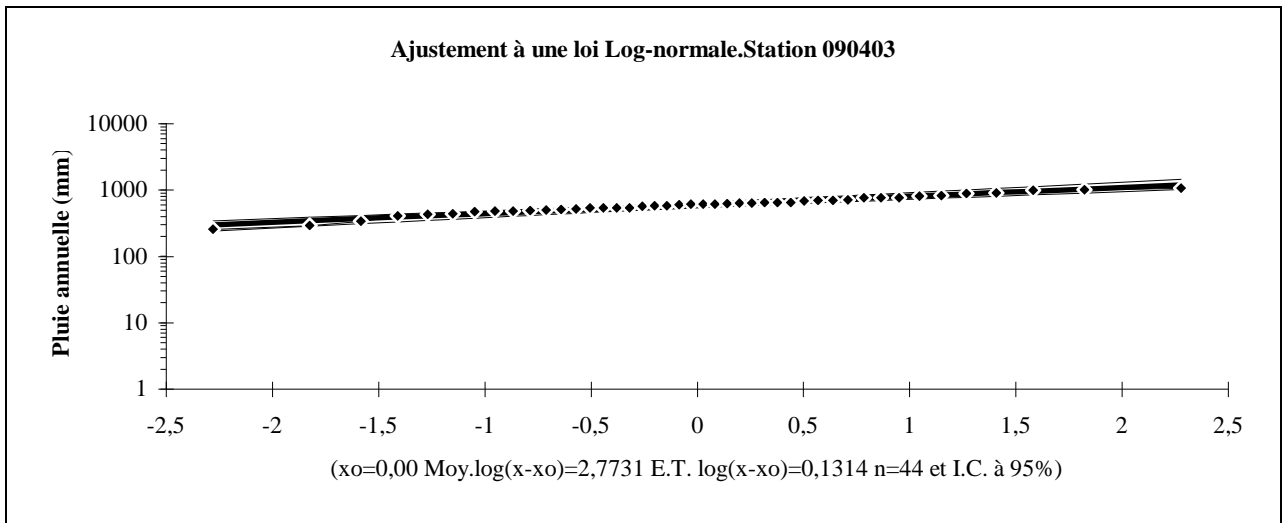
# Annexe



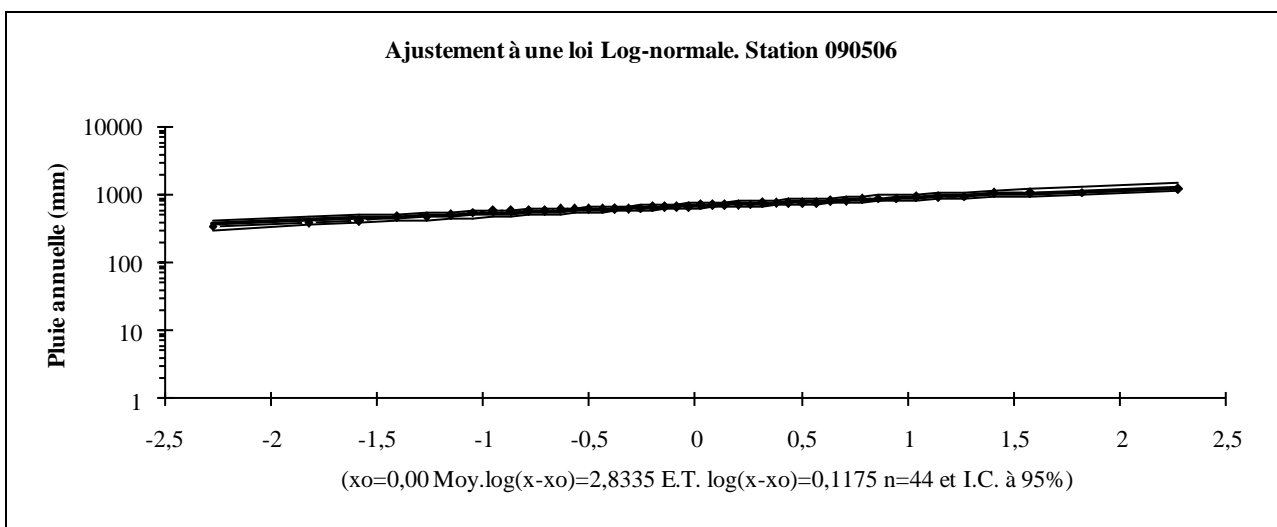
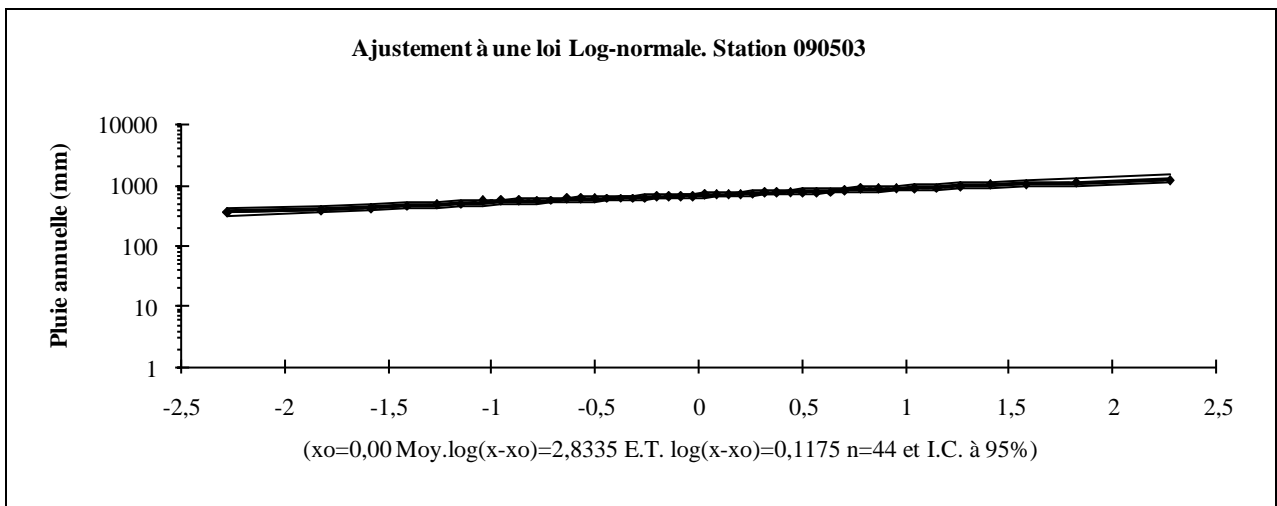
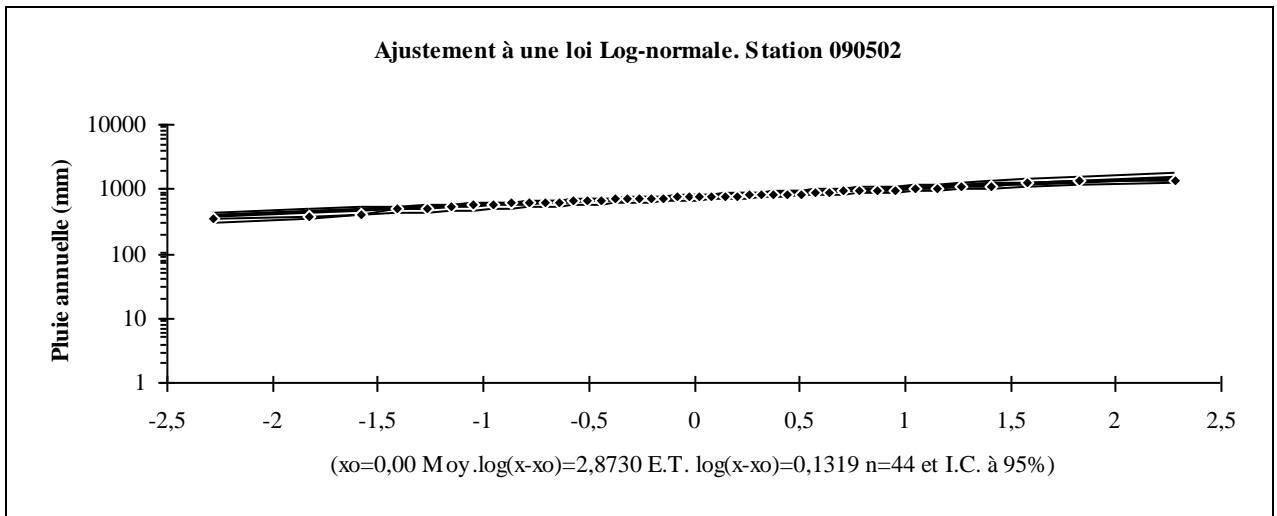
# Annexe



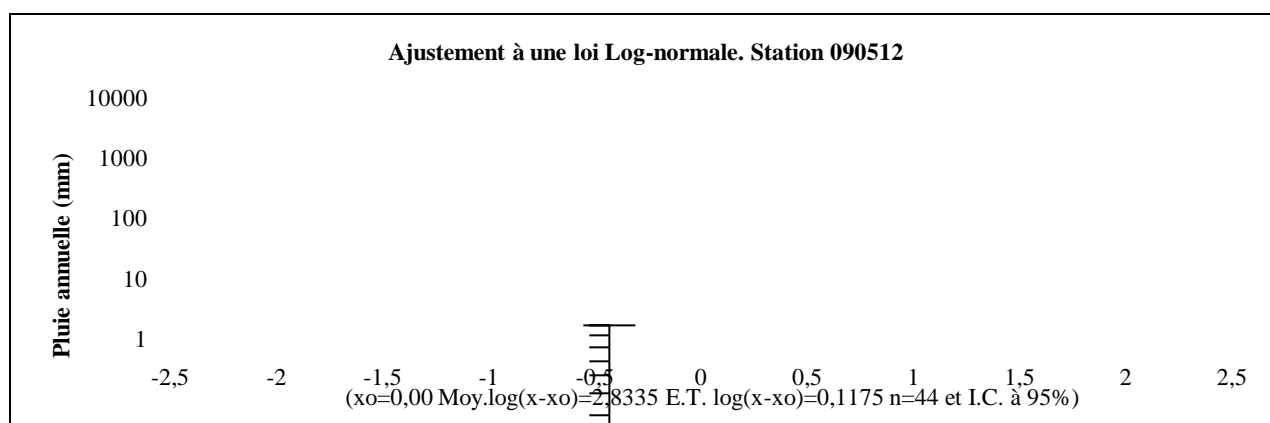
# Annexe



# Annexe



## Annexe



Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	402,04	361,11	447,61	2
0,8	538,57	481,70	618,44	5
0,9	627,58	554,08	740,35	10
0,95	712,06	619,90	861,76	20
0,98	820,78	701,70	1024,74	50
0,99	902,32	761,40	1151,26	100

**Tableau A5** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090201)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	575,35	515,36	642,31	2
0,8	776,47	692,52	894,76	5
0,9	908,33	799,41	1076,05	10
0,95	1033,92	896,93	1257,36	20
0,98	1196,09	1018,49	1501,75	50
0,99	1318,08	1107,44	1692,16	100

**Tableau A6** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090202)

Fréquence	Valeur théo.	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	579,86	528,27	636,49	2
0,8	747,34	678,35	842,64	5
0,9	853,44	765,98	985,04	10
0,95	952,29	844,36	1123,81	20
0,98	1077,28	940,26	1306,11	50
0,99	1169,57	1009,31	1444,97	100

**Tableau A6** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090203)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	326,05	305,01	348,53	2
0,8	433,56	403,37	471,09	5
0,9	503,27	463,77	555,23	10
0,95	569,20	519,33	637,23	20
0,98	653,76	588,97	745,14	50
0,99	716,99	640,12	827,53	100

## Annexe

**Tableau A7** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090205)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	490,66	441,61	545,17	2
0,8	653,64	585,86	748,61	5
0,9	759,47	672,11	893,13	10
0,95	859,64	750,34	1036,60	20
0,98	988,22	847,36	1228,60	50
0,99	1084,44	918,03	1377,24	100

**Tableau A8** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090301)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	361,42	332,25	393,15	2
0,8	454,48	416,42	506,51	5
0,9	512,37	464,71	583,22	10
0,95	565,68	507,45	656,94	20
0,98	632,32	559,22	752,46	50
0,99	681,05	596,18	824,34	100

**Tableau A9** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090302)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	466,09	426,31	509,58	2
0,8	594,24	541,63	666,60	5
0,9	674,77	608,43	774,08	10
0,95	749,42	667,90	878,17	20
0,98	843,33	740,35	1014,10	50
0,99	912,37	792,32	1117,09	100

**Tableau A10** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090304)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	402,43	362,48	446,77	2
0,8	534,94	479,87	612,03	5
0,9	620,84	549,93	729,21	10
0,95	702,07	613,44	845,40	20
0,98	806,23	692,12	1000,69	50
0,99	884,11	749,39	1120,79	100

**Tableau A11** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090314)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	459,02	427,17	493,25	2
0,8	558,32	518,11	612,50	5
0,9	618,56	569,04	690,95	10
0,95	673,16	613,47	764,94	20
0,98	740,37	666,58	859,04	50
0,99	788,86	704,05	928,71	100

**Tableau A12** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090317)

## Annexe

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	373,64	348,37	400,74	2
0,8	452,12	420,38	494,79	5
0,9	499,54	460,57	556,38	10
0,95	542,43	495,55	614,31	20
0,98	595,09	537,27	687,77	50
0,99	633,01	566,65	742,02	100

**Tableau A12** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090319)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	380,99	337,33	430,30	2
0,8	530,68	467,63	620,74	5
0,9	631,16	548,04	761,18	10
0,95	728,30	622,40	904,16	20
0,98	855,58	716,29	1100,32	50
0,99	952,54	785,76	1255,53	100

**Tableau A13** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090401)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	523,03	471,52	580,17	2
0,8	693,63	622,78	792,73	5
0,9	804,04	712,91	943,14	10
0,95	908,32	794,53	1092,10	20
0,98	1041,91	895,55	1290,93	50
0,99	1141,69	969,02	1444,52	100

**Tableau A15** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090402)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	592,99	540,05	651,11	2
0,8	764,93	694,09	862,83	5
0,9	873,93	784,08	1009,20	10
0,95	975,53	864,60	1151,90	20
0,98	1104,04	963,16	1339,45	50
0,99	1198,97	1034,15	1482,38	100

**Tableau A16** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090403)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	770,34	701,00	846,55	2
0,8	995,94	902,93	1124,60	5
0,9	1139,19	1021,10	1317,18	10
0,95	1272,87	1126,93	1505,18	20
0,98	1442,11	1256,58	1752,59	50
0,99	1567,24	1350,03	1941,33	100

**Tableau A17** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090406)



## Annexe

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	705,99	651,85	764,63	2
0,8	877,31	807,49	972,27	5
0,9	982,93	896,02	1111,36	10
0,95	1079,64	973,97	1244,13	20
0,98	1199,89	1067,95	1415,04	50
0,99	1287,38	1134,76	1542,91	100

**Tableau A18** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090419)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	701,11	642,38	765,22	2
0,8	889,71	812,38	995,84	5
0,9	1007,82	910,54	1153,09	10
0,95	1117,06	997,75	1304,99	20
0,98	1254,19	1103,80	1502,82	50
0,99	1354,82	1179,74	1652,36	100

**Tableau A19** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090502)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	746,48	679,62	819,93	2
0,8	963,82	874,25	1087,65	5
0,9	1101,69	988,04	1272,87	10
0,95	1230,26	1089,89	1453,54	20
0,98	1392,94	1214,60	1691,13	50
0,99	1513,16	1304,45	1872,27	100

**Tableau A20** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090503)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	717,22	660,12	779,26	2
0,8	898,98	824,72	1000,35	5
0,9	1011,76	918,92	1149,54	10
0,95	1115,46	1002,18	1292,65	20
0,98	1244,90	1102,90	1477,76	50
0,99	1339,41	1174,72	1616,84	100

**Tableau A21** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090506)

Fréquence	Valeur	Borne inf.	Borne sup.	Pér. Ret.
0,5	681,53	626,84	740,99	2
0,8	855,85	784,59	953,20	5
0,9	964,16	874,99	1096,62	10
0,95	1063,84	954,95	1234,35	20
0,98	1188,37	1051,76	1412,67	50
0,99	1279,37	1120,84	1546,78	100

**Tableau A22** Quantiles en fonction de la période de retour (Station 090512)