

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE  
« ARBAOUI Abdellah »

DEPARTEMENT GENIE DE L'EAU

## ***MEMOIRE DE FIN D'ETUDES***

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

Option : Conception des Systèmes d'Irrigation et de Drainage

**THEME :**

**L'impact d'un réseau du drainage sur le transfert  
Des éléments fertilisants vers la nappe  
(Bas Isser -w-boumerdes)**

Présenté par :  
M<sup>r</sup> GHODBANE ABD EL ALI

Promotrice :  
M<sup>me</sup> DJOUDAR DAHBIA

Devant le jury composé de :

Président : M<sup>r</sup> T.KHETTAL

Examineurs: M<sup>me</sup> S.LEULMI

M<sup>me</sup> L.S.BAHBOUH

M<sup>me</sup> H.BOUCHAMA

M<sup>r</sup> M.MESSAHEL

Octobre 2011

# Remerciements

*Tout d'abord, tout louange à dieu qui m'a fourni le courage, la capacité et la patience pour réaliser ce modeste travail avec toutes ses difficultés et ses obstacles.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et ma promotrice, Madame **Dahbia DJOUDAR**, Maître Assistant Chargé de Cours à l'ENSH, pour m'avoir accordé sa confiance pour mener à bien ce projet et pour l'encadrement de ce travail ainsi pour sa disponibilité, ses conseils ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Mon respect s'adresse aux membres de jury « Messieurs : T.KHETTAL et M.MESSAHEL,*

*Et Mesdames : S.LEULMI et H .BOUCHAMA et L.S .BAHBOUH. Qui me feront l'honneur d'apprécier ce travail.*

*Un merci particulier à Mr. HAMZA SALHI ainsi que Mme.Hayet et Mmlle.Charazed salhi de l'A.N.R.H de Blida, pour la qualité de son collaboration, son aide constante et pour la façon efficace et amicale avec laquelle elle a suivi ce travail. Pendant les nombreuses heures passées ensemble, j'ai appris à son contact les logiciels de cartographie.*

*Je tiens à remercier Madame Leila Souad BAHBOUH, Chargé de Cours à l'ENSH, qui a bien voulu par son aimable bienveillance, diriger ce travail qu'elle trouve ici l'expression de mon profond respect.*

*Sans oublier de remercier tous mes enseignants, en particulier Mme AZIEZ.*

*Je n'oublie pas non plus tous mes amis et les membres de ma famille qui m'ont toujours encouragé. Je pense à DJAMAI NACER, RABAH, AHMED, KHALED, HAKIM , FALOH et HOSSAM.*

*Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.*

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissances et de respect :*

*A mon père, ma mère pour tous Ces sacrifices qu'elle a consentie à mon égard;*

*A mes frères et mes soeurs.*

*A toute Ca famille.*

*A tous mes amis et surtout de ENSH.*

GAODBANE A

## ملخص

في بلدنا هذا المياه الجوفية تشكل في كثير من الحالات المورد الأساسي للتزويد بمياه الشرب و ظواهر التلوث الناتجة عن تكثيف الأنشطة البشرية والتي تشكل خطر دائم لتدهور هذه الموارد الموجودة بكميات محدودة و تركز هذه الدراسة على تطبيق طريقة PARTS اختصار طريقة ITSARDC المطورة في الولايات المتحدة بواسطة (WANW) بعد تحديد أنواع الزراعة الموجودة قمنا بحساب حاجيات مياه السقي وبالتوازي حددنا الكمية التي يجب إضافتها من أجل غسل الأراضي من الأملاح في الأخير لمكافحة ظاهرة التلوث وملوحة التربة حددنا المنطقة التي يجب غسلها والمنهجية الملائمة

## Résumé.

Dans notre pays, les eaux souterraines, constituent dans bien des cas, la ressource principale d'approvisionnement en eau potable

Les phénomènes de pollution, dont l'origine est l'intensification des activités humaines, constituent un risque permanent de dégradation de cette ressource déjà en quantité limitée.

La présente étude porte sur l'application d'une méthode d'approche de la vulnérabilité des eaux souterraines de la nappe alluviale du Bas Isser.

La méthode PRAST, version simplifiée de la méthode DRASTIC. , développée en 1987 aux Etats Unis par la NWWA (Natural Water Well Association)

Les différentes cultures ont été inventoriées et nous avons calculé les besoins en eau d'irrigation de chacune d'entre elles. En parallèle nous avons quantifié la dose de lessivage d'entretien des sols de la nappe alluviale du Bas Isser.

Enfin pour lutter contre la salinisation, nous nous sommes attelé a définir les zones à lessiver et la méthodologie adéquate, afin d'identifier les moyens nécessaires pour que le critère de l'hydro-morphe ne soit pas accentué à terme par une salinisation des sols et de quantifier les besoins en eau nécessaires pour le lessivage.

## Abstract.

In Our country, ground water, are in many cases, the main resource for drinking water Pollution phenomena whose origin is the intensification of human activities, are a constant risk of dégradation of This resource already in short supply.

This study focuses on the application of a method of approach to vulnerability of groundwater in the alluvial aquifer of the Lower Isser.

The method PRAST, simplified version of the DRASTIC method. , Developed in 1987 in the United States by the NWWA (Natural Water Well Association)

Different cultures have been inventoried and we calculated the water needs for irrigation of each of them. In parallel we quantified the amount of leaching of soil maintenance of the alluvial aquifer of the Lower Isser.

Finally in the fight against salinity, we hitched a defining areas for washing and appropriate methodology to identify the means to the criterion of hydro-morph is not increased by a term soil salinization and quantify the water requirements needed for leaching.

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION GENERALE

#### CHAPITE I

I-1.Présentation .....	1
I- 2- La Climatologie .....	2
I-2-1-La Température de l'air .....	2
I-2-2-L'humidité Relative .....	3
I-2-3-Le Vent .....	3
I-2-4-La Tension De Vapeur .....	4
I-2-5-L'insolation .....	4
I-2-6-L'évaporation .....	4
I-2-7- Les Précipitations.....	5
I-3-Etude Agro Socio-économique .....	9
I-3-1-Population Et Emploi Dans La égion.....	9
I-3-2-Elevage .....	9
I-3-2-1-Gros Elevage .....	9
I-3-2-2-Petit Elevage .....	10
I-4-Les Cultures Envisageables .....	10
I- 4-1-Maraîchage .....	10
I-4-2-Agrumiculture Et Cultures Arboricoles .....	11
I-4-3-Cultures Fourragères .....	11
I-4-4-Céréaliculture .....	11
I- 5-Cadre Géologique .....	11
I- 6-Ressources En Sols .....	11
I- 7-Les Ressource En Eau .....	12
I- 8- Ressources En Eau Superficielle .....	12
I-9- Evaluation Des Ressources Disponibles Et Utilisables .....	13
I- 10-Qualité Chimique De L'eau.....	13
I-10-1-Oued Isser .....	13
I-10-2-Oued Djemaa .....	14
I-11-Qualité Des Eaux De Nappes .....	14
Conclusion .....	15

#### CHAPITRE II

II-1.Synthèse hydrogéologique de la basse vallée de l'Oued Isser.....	16
II-1.1 Généralités et géomorphologie du bassin de l'Isser.....	16
II-2. Géologie .....	17
II-2.1. Introduction .....	17
II-2.2. Description litho stratigraphique de la zone d'étude .....	18
a)Les formations cristallophylliennes (noyau Kabyle.....	18
b) Les roches éruptives .....	18
c) Les formations Quaternaires.....	18
a-1 Une assise inférieure .....	18
a-2 Une assise supérieure.....	18

c -1 Terrasses marines .....	18
c-2 Terrasse alluviale .....	19
-Première terrasse .....	19
-Deuxième terrasse .....	19
-Troisième terrasse .....	19
II-2.3 Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations.....	20
II-2.3.1. Description des aquifères .....	20
II-2.3.1.1 La nappe de la formation éolienne actuelle .....	20
II-2.3.1.2 La nappe de la terrasse littorale du Quaternaire inférieur .....	21
II-2.3.1.3 La nappe des formations alluviales du Quaternaire moyen.....	23
II-2.3.1.4 Nappe aquifère de la septième terrasse alluviale .....	24
II-3. Piézométrie .....	24
II-4 Fluctuation de la nappe .....	29
II-5. Approche hydrogéochimique .....	33
II-5.1 Qualité des eaux souterraines .....	33
II-5.2 Classification chimique des eaux souterraines .....	33
-Selon le diagramme semi-logarithmique de SHOELLER-BERKALOFF.....	33
-Selon PIPER .....	36
II-6. Etude statistique .....	38
II-6.1 Analyse en composantes principales (ACP).....	38
II-6.2 But de l'ACP .....	38
II-6.3 Principe de l'ACP .....	38
II-6.4 Analyse en composantes principales des eaux souterraines .....	38
II-6.4 .1-les	
données .....	38
II-6.4 .2- Application .....	39
Choix de la métrique, statistiques élémentaires.....	39
Analyse de la matrice de corrélation.....	40
Diagonalisation.....	41
Analyse des valeurs propres .....	41
-Interprétation des axes .....	41
-Analyse du cercle de corrélation .....	42
-Représentation des individus sur le cercle de corrélation.....	43
Conclusion.....	44
<b>CHAPITRE III</b>	
- Introduction	
III-1- Synthèse de l'Etude Géophysique C.G.G 1966 et 1972 .....	45
III-2. Etude Géophysique Récente De La Zone Côtière : (BURGAP 2005) .....	45
III-2.1 Dispositif de mesures .....	46
III-2.2 Etalonnage, Echelle Des Résistivités .....	46
IV.2.3 Principaux résultats obtenus .....	48
a) les coupes transversales : .....	58

b) Coupe longitudinale GL1 : .....	58
- Conclusion .....	60
<b>CHAPITRE IV</b>	
IV-1. Définition.....	61
IV-2-Notion de vulnérabilité.....	61
IV-3-Cartographie de la vulnérabilité.....	63
IV-3- Réalisation .....	64
IV-3- Optimisation D'un SIG Pour La Cartographie.....	64
Hydrogéologique	
IV-3-1- Introduction.....	64
IV-3-2 Présentation Du Logiciel Map-Info .....	65
IV-3-3- Gestion Des Informations .....	65
IV-3-4- Système de projection .....	65
IV-3-5- Vecteur .....	65
IV-3-6- Image Raster .....	65
IV-3-7 Facilité d'emploi .....	66
IV-3-8- Données générées par Map-Info.....	66
IV-4-Méthode Prast .....	73
IV-4-1-Les paramètres PRAST .....	73
IV-4-2-Méthode utilisée pour l'estimation du pouvoir épurateur.....	73
IV-4-3- Système de cotation.....	75
IV-4-4- Indice PRAST .....	75
IV-5-Description des paramètres PRAST .....	76
-Recharge nette (R).....	76
-Nature du matériel aquifère (A).....	76
-Type de sol (S).....	77
-Topographie (T).....	78
-Les couleurs utilisées dans la carte de vulnérabilité .....	78
Conclusion.....	85
 <b>CHAPITRE VI</b>	
Introduction.....	97
VI- 1- Les Différentes Techniques D'irrigation .....	97
VI-1-1- L'irrigation De Surface.....	97
VI-1-2- Irrigation Par Ruissellement.....	97
a) – Les planches de ruissellement.....	97
b) – L'arrosage à la raie.....	98
VI-1-3-Irrigation Par Submersion.....	99
VI-1-4-L'irrigation Mixte.....	100
VI-1-5- L'irrigation Par Aspersion.....	100
VIII-1-6-L'irrigation Localisée.....	101
VI-2- Les avantages et les inconvénients des techniques d'arrosages.....	102

VI-2-1- Techniques D'irrigation De Surface.....	102
-Avantage.....	102
-Inconvénients .....	102
VI-2-2- Techniques d'irrigation sous pression.....	103
- Avantage .....	103
-Inconvénients .....	103
VI-2-3- L'irrigation Localisée.....	103
-Avantage .....	103
-Inconvénients .....	103
VI-2-4- L'irrigation Souterraine.....	103
- Avantages .....	103
- Inconvénients .....	104
VI-3- Choix Des Techniques D'irrigation.....	104
VI-4-Les Contraintes A La Mise En Valeur.....	104
VI-4-1- Les Contraintes Climatiques.....	104
VI-4-2- Les Contraintes Edaphiques.....	105
- Le taux de calcaire.....	105
- La texture.....	105
- La salure.....	105
VI-5-La Micro Irrigation (Irrigation Localisée).....	105
VI-5-1-Définition, Principe Et Origine.....	105
VI-5-2- Dispositions Générales.....	105
VI-5-3- Avantages Et Inconvénients.....	106
-Avantages agronomiques.....	106
-Avantages cultureux.....	106
-Avantages économiques .....	107
VI-5-4 Difficulté A Détermine Le Volume Minimal Du Sol.....	107
Humidifier.....	107
VI-6 -Efficience de l'irrigation.....	107
VI-6-1-Efficacité De Transport.....	108
VI-6-2-Efficacité De Distribution .....	108
VI-6-3-Efficacité De L'uniformité .....	108
VI-6-4- Système d'irrigation appliqué dans la zone d'étude .....	109
VI-6-5- Utilisation des éléments fertilisent.....	109
Conclusion :.....	109
<b>CHAPITRE VII</b>	
VII. INTRODUCTION .....	110
VII.1.Partie théorique .....	110
VII.1.1.Drainage par gravité, enterre .....	110

VII.1-2.Régime de Drainage (Permanant ou Variable) .....	111
VII.2. Le Débit Caractéristique.....	111
Débit Caractéristique En Régime Permanant.....	111
• Débit Caractéristique en Régime Permanent sons Stockage.....	111
Débit Caractéristique en Régime Permanent en Tenant Compte Du Stockage.....	111
Débit Caractéristique En Régime Variable .....	112
VII-3. Calcul hydrologique.....	113
VII-3.1 Collecte des données .....	113
VII-3.2 Les courbes H.D.F.....	114
VII-3. 3 Les pluies critiques .....	115
VII-3.4 calcul des debits caracteristiques pour chaque culture .....	116
VII-3.5 Calcul des débits caractéristiques -Excédant .....	119
D'eau provenant de .l'irrigation	
VII- 4 Calcul de l'écartement théorique.....	120
VII-4.1 les paramètres intéressants pour calculer l'écartement .....	120
VII-4.2 Calcule de l'écartement entre les drains .....	121
• Cas des Céréales.....	121
• Cas des cultures Maraichères.....	122
• Cas de la viticulture.....	122
Conclusion.....	123

## **CONCLUSION GENERALE**

## **RECOMMANDATIONS**

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXE**

## LISTE DES FIGURES

<i>Figure. I-1 : situation géographique de la plaine alluviale du Bas Isse.....</i>	<i>1</i>
<i>Figure I-2 : Diagramme de Bagnolle et gausse.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure I-3: Climogramme pluviométrique d'Emberger.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure .II-1 : Situation de la plaine alluviale du Bas Isser.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure .II.2: sous bassin versant du bas Isser.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure .II.2: carte géologique de la basse vallée de l'oued Isser.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure II.4: Photos de quelques puits implantés dans ..... Les alluvions du Bas Isser</i>	<i>25</i>
<i>Figure II .5 Carte des points piézométriques d'eaux..... Souterraines du Bas Isser (Campagne ANRH ,2008)</i>	<i>26</i>
<i>Figure II.6 : évolution de la profondeur de la nappe du ..... Bas Isser au niveau des puits (Périodes 2001 et 2008)</i>	<i>27</i>
<i>Figure .II.7 : Evolution de la profondeur de la nappe du ..... Bas Isser au niveau des piézomètres (Périodes 2007 et 2008)</i>	<i>28</i>
<i>Figure.II.9 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Bas ..... Isser (Campagne des basses eaux 2008)</i>	<i>30</i>
<i>Figure II.10: Carte de fluctuation des niveaux piézométriques..... De la nappe alluviale du Bas Isser (période 2008)</i>	<i>31</i>
<i>Figure.II.8.carte piézométrique de la nappe alluviale du Bas Isser ..... (Campagne des hautes eaux 2008)</i>	<i>32</i>
<i>Figure II.11 : Diagramme de Schoelle-Berkaloff ..... Des eaux souterraines du Bas Isser (campagne 2008)</i>	<i>34</i>
<i>Figure II.12 : Diagramme de Schoelle-Berkaloff..... Des eaux souterraines du Bas Isser (campagne 2008)</i>	<i>35</i>
<i>Figure II.13 : Représentation graphique des faciès..... Chimiques selon le diagramme de Piper des eaux souterraines Du Bas Isser (campagne 2008)</i>	<i>37</i>
<i>Figure II.14: Description des variables sur les ..... Cercles de corrélations</i>	<i>42</i>
<i>Figure II-15 : description des individus..... Sur le plan principal</i>	<i>43</i>
<i>Figure.III-1 : Plan de position des sondages électriques.....</i>	<i>47</i>
<i>Figure.III-2: Exemples De Sondages Electriques Etalons (BURGAP ,2005).....</i>	<i>49</i>
<i>Figure.III -3: carte de la résistivité apparente en ligne ab = 100 m.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure.III-4 : Carte De La Résistivité Apparente En Ligne Ab = 200m.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure.III-5 : Carte De La Résistivité Apparente En Ligne Ab = 400 M.....</i>	<i>54</i>
<i>Figure.III-6 : Carte De La Résistivité Apparente En Ligne Ab = 600 M.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure.III-7 : Carte En Isobathes Du Substratum Conducteur.....</i>	<i>56</i>
<i>Figure.III-8: Carte De La Resistance Transversale Des Alluvions Quaternaires... Figure.III-9 : Coupes géoélectriques interprétatives.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure IV-1- Construction de la carte de vulnérabilité ..... (Exemple de la méthode PRAST) (Salhi, 2003)</i>	<i>64</i>
<i>Figure IV-2: Carte d'iso-teneur en Nitrates des eaux de la nappe alluviale..... Du Bas Isser (basses eaux 2008)</i>	<i>69</i>
<i>Figure IV-3: Carte d'iso-teneur en chlorures des eaux de la nappe ..... Alluviale du bas Isser (basses eaux 2008)</i>	<i>70</i>
<i>Figure IV-4: Carte du SAR des eaux de la nappe alluviale ..... Du Bas Isser (basses eaux 2008)</i>	<i>71</i>

<i>Figure IV-5: Carte du rapport de TODD des eaux de la nappe alluviale.....</i>	<i>72</i>
<i>    Du Bas Isser (Basses eaux 2008)</i>	
<i>Figure : IV-6 Diagramme des classes de vulnérabilité selon .....</i>	<i>76</i>
<i>    La méthode PRAST</i>	
<i>Figure IV-7 : représentation graphique de la variation de la cote .....</i>	<i>77</i>
<i>    En fonction des caractéristiques du milieu aquifère</i>	
<i>Figure IV-8: carte de paramètre pouvoir épurateur vertical (P) de la nappe.....</i>	<i>79</i>
<i>    Alluviale du bas Isser</i>	
<i>Figure IV-9: carte de paramètre recharge nette (R) de la nappe alluviale.....</i>	<i>80</i>
<i>    Du bas issuer</i>	
<i>Figure IV-10-: carte des paramètres milieu aquifer (A) de la nappe alluviale.....</i>	<i>81</i>
<i>    Du bas issuer</i>	
<i>Figure IV-11-: carte de paramètre nature du sol (S) de la nappe alluviale.....</i>	<i>82</i>
<i>    Du bas issuer</i>	
<i>Figure V-1 : courbe d'Ajustement de lois de GUMBEL.....</i>	<i>91</i>
<i>Figure V-2: la pluviométrie mensuelle.....</i>	<i>92</i>
<i>Figure.VI.1. Irrigation par planche de ruissellement.....</i>	<i>98</i>
<i>Figure. VI.2. Irrigation à la raie.....</i>	<i>99</i>
<i>Figure.VI.3. Irrigation par submersion.....</i>	<i>100</i>
<i>Figure.VI.4. Partie essentielle d'une installation en aspersion .....</i>	<i>101</i>
<i>    Classique</i>	
<i>Figure. VI.5. Partie essentielle d'une installation localisée.....</i>	<i>102</i>
<i>Figure VII-2 : Les courbes H.D.F POUR trimestre 2 .....</i>	<i>114</i>
<i>Figure VII -3 : Les courbes H.D.F POUR trimestre 3.....</i>	<i>115</i>
<i>Figure VII-4 Drainage par fossé.....</i>	<i>120</i>
<i>Figure VII-5 Drainage par tuyaux enterrés.....</i>	<i>120</i>
<i>Figure VII-6 : photo de logiciel " drflow .....</i>	<i>121</i>
<i>Figure VII-7 photo de logiciel " drflow" .....</i>	<i>122</i>
<i>Figure VII-8 photo de logiciel " drflow".....</i>	<i>123</i>

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 : Températures mensuelles et annuelles de l'air de Dar El Beida.....	2
Tableau I-2: Humidité relative mensuelle à Dar El Beida en % .....	3
Tableau I-3 : Vitesses moyennes mensuelles du vent à Dar El Beida en (m/s) .....	3
Tableau I-4 : Tension de vapeur réelle mensuelle en (mmbar).....	4
Tableau I-5 : Insolation moyenne mensuelle en heures.....	4
Tableau I-6 : Evaporation moyenne mensuelle de la retenue .....	4
<i>de Koudiat Acerdoune</i>	
Tableau I-7 : Evaporation moyenne mensuelle à l'évaporomètre Piche (mm).....	5
Tableau I-8: caractéristiques principales de la station BORDJMENAIEL.....	5
Tableau I-9 : Les pluies moyennes mensuelles et annuelles.....	6
Tableau I-10: les moyennes annuelles mensuelles des précipitations. ....	7
Tableau I-11 : Résultats d'analyse des eaux de la nappe .....	15
<i>phréatique de l'oued Isser</i>	
Tableau II.1. Log lithostratigraphique et les caractéristiques .....	23
<i>hydrogéologiques des aquifères</i>	
Tableau.II.2 : pourcentage des faciès chimique selon Sholler-Berkaloff (2008).....	33
Tableau .II.3 : pourcentage des faciès chimiques selon le diagramme de Piper.....	36
Tableau II.4 : abréviations des variables utilisées.....	39
Tableau II.5 : ACP des données centrées réduites. Statistiques descriptives.....	39
Tableau II.6 : matrice de corrélation.....	40
Tableau II.7 : Variances sur les axes principaux.....	41
<i>et contribution à la variance totale</i>	
Tableau IV-1. Pouvoir épurateur du sol dans la couverture.....	75
<i>(Zone non saturée)-Rhesse.1977</i>	
Tableau IV.2-poids des paramètres PRAST (Rehse 1977).....	75
Tableau V-1 : Calendrier D'occupation Des Sols.....	86
Tableau V.2. : Évapotranspiration en mm / jour.....	88
Tableau V-3.Ajustement de lois de GUMBEL.....	90
Tableau V-4.Les valeurs de pluie moyenne mensuelles .....	92
Tableau V- 5 : Précipitations efficaces dans la zone de projet.....	92
Tableau V-6 : Détermination des besoins en eau des cultures.....	94
Tableau V-7: Estimation la dose de lessivage .....	96
Tableau VII-1: Module de drainage par tuyaux pour trimestre 1.....	114
Tableau VII-2: Module de drainage par tuyaux pour trimestre 2.....	114
Tableau VII-3: Module de drainage par tuyaux pour trimestre 3.....	115
Tableau VII-4 : Calcul des débits caractéristiques (cas des céréales).....	16
Tableau VII-5 : Calcul des débits caractéristiques (cas des cultures maraichères).....	17
Tableau VII-6 : Calcul des débits caractéristiques (cas de la viticulture).....	118
Tableau VII-7: les débits caractéristiques.....	119
Tableau VII-8: Les paramètres qu'il faut entrer dans le logiciel 'drflow'.....	121
Tableau VII-9: Les paramètres de Céréales Qu'il faut entrer dans .....	121
<i>le logiciel 'drflow'</i>	
Tableau VII-10:Les paramètres des cultures maraichères.....	122
<i>Qu'il faut entrer dans le logiciel 'drflow'</i>	
Tableau VII-10: Les paramètres de viticulture .....	122
<i>qu'il faut entrer dans le logiciel 'drflow'</i>	
Tableau VII-11 : des valeurs de l'écartement.....	123

## ***INTRODUCTION GENERALE***

Dans notre pays, les eaux souterraines, constituent dans bien des cas, la ressource principale d'approvisionnement en eau potable

Les phénomènes de pollution, dont l'origine est l'intensification des activités humaines constituent un risque permanent de dégradation de cette ressource déjà en quantité limitée.

Sa vulnérabilité est fonction des facteurs hydrogéologiques et qui intervient différemment selon le type de pollution existante.

Par ailleurs, malgré les réactions qui se produisent dans le sous-sol et qui permettent une certaine protection, les eaux souterraines restent toujours vulnérable

De ce fait notre travail, à pour objectif d'évaluer la possibilité de protéger la nappe en se basant sur les données tirées à partir de la cartographie de la vulnérabilité.

Nous synthétiserons les différentes méthodes proposées pour l'évaluation et la Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines

Ces méthodes en trois groupes ont été par la suite comparées selon plusieurs tests de.

### **Classification**

La méthodologie PRAST est une version simplifiée de la méthode DRASTIC. Elle consiste en un remplacement des trois paramètres (D), (C) et (I), difficile à acquérir ou à quantifier, par un seul paramètre qui est le pouvoir épurateur vertical (P) définie par Rehse (1977). (Djoudar, 2003)

Cette méthode est une version simplifiée de la méthode DRASTIC, qui prend en compte sept paramètres, d'où la complexité dans l'acquisition des données hydrogéologiques La carte de vulnérabilité donne une idée générale sur les différentes zones vulnérables et leur sensibilité aux risques de pollution. Ce document constitue un outil précieux d'aide à la prise de décision par les décideurs dans le domaine de l'hydraulique et de l'environnement.

Pour mieux exploiter les résultats obtenus de cette approche méthodologique de la vulnérabilité des eaux souterraines, nous avons consacré un chapitre pour l'étude hydrogéochimique de la nappe alluviale du Bas Isser. Ce dernier mettra en exergue la qualité chimique des eaux souterraines de la plaine alluviale en nous basant sur une analyse en composante principale (ACP).

Ensuite nous avons inventorié les différentes cultures et calculé les besoins en eau d'irrigation de chacune d'entre elles. En parallèle nous avons estimé important de quantifier aussi la dose de lessivage d'entretien.

Dans le chapitre suivant les différents modes d'irrigation sont synthétisés en insistant sur les avantages et inconvénients de chacun des systèmes d'irrigation.

Enfin dans le chapitre système de drainage, nous allons définir les zones à lessiver et la méthodologie de lutte, afin d'identifier les moyens pour que le critère de l'hydro-morphe ne soit pas accentué à terme par une salinisation des sols et de quantifier les besoins en eau nécessaires pour le lessivage.

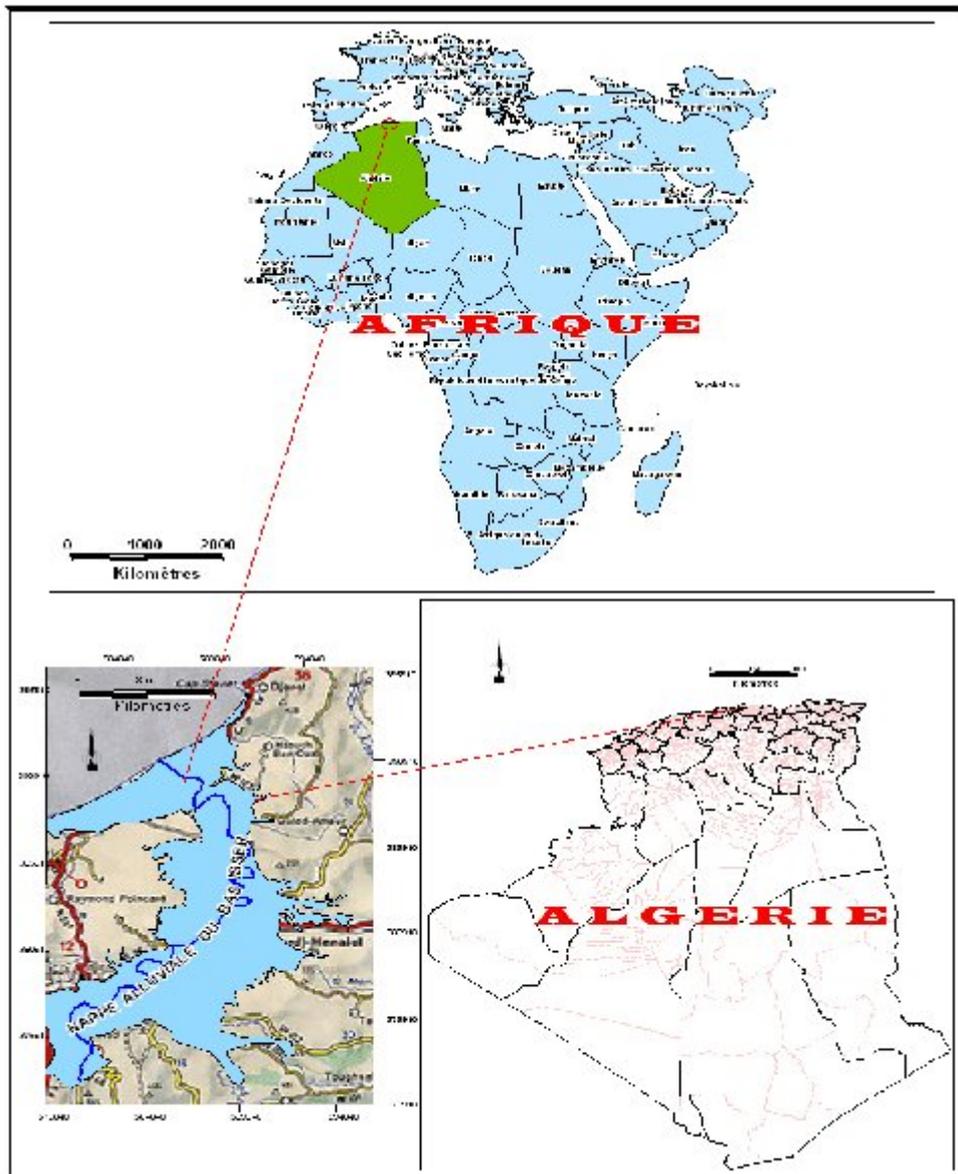
La lutte contre la salinité revêt deux aspects ; un, qui consiste en l'amélioration des rendements des cultures et l'autre concernant la préservation des sols.

Enfin, nous terminons ce travail par une réflexion sur l'intérêt de telles études dans les domaines de gestion des ressources en eau et de l'aménagement du territoire.

### ***I-1. Présentation***

Le périmètre du Bas Isser Algérois se situe dans le bassin versant de Oued Isser à **60 Km** environ, à l'Est d'Alger, figure I-1.

Les terrains agricoles du Bas Isser se trouvent entre ; les terrasses alluviales de Souk El Had et l'embouchure de l'oued dans la mer, et comprend également une partie du plateau côtier de Mandoura, situé entre l'embouchure et l'oued Zemmouri. Il couvre une superficie totale de **6109ha**, dont la superficie exploitable est environ **5000 ha**, dont **370 ha** occupées par le lit de l'Oued Isser.



**Figure. I-1 : situation géographique de la plaine alluviale du Bas Isser**

## ***I-2. Situation Géographique***

Le périmètre du Bas Isser est limité :

- Au Nord par la RN N<sup>0</sup>68 et le CW N<sup>0</sup>120
- Au Sud par la RN N<sup>0</sup>12 et la ville de ISSER
- À l'Est par la ville de BORDJ MENAIEL,
- A l'Ouest par oued ISSER .

### ***I-2.La Climatologie***

En Algérie, les données Hydro climatologiques sont en général fournies par des organismes publics tels que ; l'Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H) et l'Office National de la Météorologie (O.N.M).

Pour les besoins du projet, nous avons pris les données disponibles de la station climatologique de l'Office National de la Météorologie (O.N.M), de Dar El Beida, située sur une altitude de 24 m et qui est la plus représentative du périmètre du Bass Isser .

#### ***I-2-1.La Température de l'air***

Dans notre bassin versant, le nombre de stations pour relever la température atmosphérique est insuffisant, d'autant plus que ces postes ont cessé de fonctionner pendant la période allant de 1960 à 1975, d'où la nécessité de se référer aux données issues de la station de Dar El Beida, reportées dans le tableau suivant :

**Tableau I-1 : Températures mensuelles et annuelles de l'air de Dar El Beida (C<sup>0</sup>)**

Mois Station		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
Dar El Beida	Max	28,8	24,8	20,3	17,6	16,5	17,1	18,6	20	22,4	26,9	30,6	30,7	22.86
	Moy	22.8	18.95	14.75	12.45	10.95	11.75	12.65	14.35	16.9	21.15	24.5	24.7	17.16
	Min	16,8	13,1	9,2	7,3	5,4	6,4	6,7	8,7	11,4	15,4	18,4	18,7	11.46

*Office National de la Météorologie, période (1975/1994)*

Le régime des températures varie en fonction de l'éloignement par rapport à la mer. Sur le littoral les températures tombent rarement au dessous de -1 ou -2C<sup>0</sup> et le gèle en décollant, ne cause pas de dommages sérieux aux cultures. Les températures maximales de l'air, dépassent rarement 44C<sup>0</sup> sur la côte, tandis qu'à l'intérieur, les températures extrêmes sont prononcées et les risques de gèle sont plus grands.

Les mois les plus froids sont : Janvier et Février, où la température moyenne minimale varie entre 5C<sup>0</sup> et 6C<sup>0</sup> ; les mois les plus chauds sont : Juin, Juillet, et Août, où la température moyenne maximale varie entre 27C<sup>0</sup> et 31C<sup>0</sup>.

### ***I-2-2.L'humidité Relative***

L'humidité relative ou état hygrométrique est le rapport en % de la tension moyenne de vapeur sur la tension maximum de celle-ci, correspondant à la température mesurée au thermomètre sec.

L'humidité de l'air est moyenne pendant toute l'année, avec des valeurs d'environ 80% en hiver et 70% en été (le matin et le soir). Les valeurs à midi sont d'environ : 57% en : Avril et Octobre, dont : 60% en été et 64% en hiver.

La répartition moyenne de l'humidité relative à Dar El Beida est donnée par le tableau Suivant

**Tableau I-2: Humidité relative mensuelle à Dar El Beida en %**

Mois Station		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
Dar El Beida	Max	91,8	92,3	93,7	92,8	93,5	94	94	94	93,9	93	91,2	91,7	93
	Moy	68.2	69.35	71.75	72.75	72.35	73.15	71.35	72.3	71.8	69.35	66	67.9	70.525
	Min	44,6	46,4	49,8	52,7	51,2	52,3	48,7	50,6	49,7	45,7	40,8	44,1	48,05

*Office National de la Météorologie, période (1975/1994)*

Le maximum d'humidité relative moyenne est observé en décembre et janvier ; le minimum aux mois de juillet et août.

### ***I-2-3.Le Vent***

Les vents constituent un facteur exerçant une grande influence sur les cultures et les systèmes d'irrigations, malgré que ces derniers transportent des masses d'air humide qui protègent les cultures des fortes évapotranspirations, sont généralement de directions : Nord-sud à Nord-ouest.

Quant aux vents secs, qui jouent le rôle inverse, ils sont de direction : Sud-nord pendant l'été et leur vitesse varie de 2,9 à 3,4m/s. Le tableau n° :3 regroupe les vitesses mensuelles des vents, enregistrées à la station de Dar El Beida.

**Tableau I-3 : Vitesses moyennes mensuelles du vent à Dar El Beida en (m/s)**

Mois Station		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moyenne annuelle
Dar El Beida		2,90	3,00	2,90	3,40	3,10	3,30	3,30	3,30	3,10	3,30	3,40	3,10	3,2

*Office National de la Météorologie période (1975/1994)*

Le sirocco; vent chaud du Sud, qui dessèche le sol et augmente l'évapotranspiration, souffle en moyenne durant dix huit (18) jours par an, pendant les mois d'été, dont 70% sont enregistrées durant les mois de : Juin, Juillet, Août et Septembre. Période (1975/1994)

### ***I-2-4. La Tension De Vapeur***

La tension de vapeur réelle mensuelle exprimée en millibars est un facteur très important dans l'évaluation de l'évapotranspiration. Le moment où s'effectue la mesure étant important, n'ayant pas été mentionné dans notre cas. Le tableau suivant donne la tension de vapeur réelle, peu variable, au cours de la journée.

**Tableau I-4 : Tension de vapeur réelle mensuelle en (mmbar).**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuelle
Dar El Beida	19,2	15,4	12,3	10,7	9,7	10,4	10,9	12,2	14,3	17,5	20,1	21,3	14,5

*Office National de la Météorologie, période (1975/1994)*

### ***I-2-5.L'insolation***

Le nombre d'heures d'ensoleillement dans la région est élevé; les chiffres correspondant à Alger montrent un ensoleillement annuel moyen de 2.800 heures, soit 65% de l'ensoleillement maximal possible. Ce phénomène est très important notamment de Juin à Août, il dépasse 9heures/jours.

Ce paramètre climatique est observé à la station de Dar El Beida et illustré par Le tableau suivant

**Tableau I-5 :.Insolation moyenne mensuelle en heures**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuelle
Dar El Beida	8,60	7,00	5,70	4,80	5,30	5,40	6,90	7,20	8,10	10,0	10,9	9,90	89.8

*Office National de la Météorologie. Période (1975/1994)*

### ***I-2-6.L'évaporation***

La station de Dar El Beida dispose d'un évaporateur Piche. Suite au manque de données réelles d'évaporation en Bac, on utilise dans notre projet, la valeur de l'évaporation moyenne, calculée à partir des observations effectuées au niveau de quelques retenues de la région, par l'A.N.R.H.

La valeur moyenne annuelle de l'évaporation en bac est estimée à 1.580 mm/an dans la région. Au niveau de la retenue de Hamiz, estimée à 1.263 mm/an, dont la répartition mensuelle a été considéré comme représentative pour la retenue de Koudiat Acerdoune.

D'après le tableau suivant on note que l'évaporation est importante aux mois allant de : Mai à Septembre, correspondant à une valeur évaporée de 48,6% et faible du mois d'Octobre à Février où le volume évaporé s'élève à 27,5%.

**Tableau I-6 : Evaporation moyenne mensuelle de la retenue de Koudiat Acerdoune**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuelle
Dar El Beida	mm	126	96	69	54	61	68	83	92	122	149	168	1.264
	%	10,0	7,60	5,40	4,30	4,80	5,40	6,50	7,30	9,70	11,8	13,3	100

*Office National de la Météorologie, période (1975/1994)*

Les mensuelles enregistrées à l'évaporomètre Piche de Dar El Beida pendant la période allant de 1975/1994 sont données par le tableau suivant :

**Tableau I-7 : Evaporation moyenne mensuelle à l'évaporomètre Piche (mm).**

Mois Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total annuel le
Dar el Beida	79,5	85,6	59,9	56,2	53,8	50,8	58,3	66,3	74,7	101,8	120,8	116,9	942

*Office National de la Météorologie, période (1975/1994)*

En faisant la régression linéaire entre l'évaporation mensuelle enregistrée à l'évaporomètre Piche de Dar El Beida et l'évaporation mensuelle, tableau II-5 on trouve un bon coefficient de corrélation d'environ 0,96, signifiant, que la répartition mensuelle adoptée, représente bien l'évaporation de la zone du projet.

### ***I-2-7. Les Précipitations***

La région que couvre le périmètre sont équipées de stations pluviométriques de BORDJMENAIEL, ou de la wilaya de BOUMERDES qui a enregistré le nombre d'années de fonctionnement sans arrêt.

Les caractéristiques principales de la station BORDJMENAIEL sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau I-8: caractéristiques principales de la station BORDJMENAIEL**

Stations	Code	Coordonnées X (Km)	Lambert Y (Km)	Altitude (m)	Période d'observation
BORDJMENAIEL	090510	591	390.25	27	1975-2009

Les pluies moyennes mensuelles et annuelles enregistrées par cette station sont représentées dans le tableau suivant :

La répartition mensuelle de la pluie durant ces 39 années de service est représentée dans le tableau qui suit :

**Tableau I-9 : Les pluies moyennes mensuelles et annuelles**

Source ANRH (Blida)

anné	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1971	62.6	28.1	260.1	70.3	171.4	135.4	144.3	113	96.5	25.5	1.5	18.3	1127
1972	81	140.5	34.5	296.3	120.5	266.1	79.7	39.5	0	37.4	0	0	1095.5
1973	113	76.9	16.6	178.3	29.3	237.6	178.7	128.2	0	4.3	2.1	0	965
1974	0	119.2	76	23.7	44.9	110.2	77.8	27.5	66.7	31.5	0	15	592.5
1975	7.5	31.5	302	42.4	71.5	60.2	32.7	69.2	43	6.3	23.1	1.8	691.2
1976	14.4	78.8	69.7	77.9	65.8	24	18.1	57.7	38.8	2.2	1.2	22.6	471.2
1977	1.1	6.1	93.9	4	119.8	33.3	86.9	152.4	74.6	0	0	0	572.1
1978	9.5	89.9	57.4	48.8	51.7	146.9	84.4	66.8	9	2	0	0	566.4
1979	103.3	114.1	164.1	49.8	119.3	31.6	84.2	59.8	24.9	0.2	0	0	751.3
1980	0	54.7	70.1	203.6	40.9	60.5	39.6	84.9	44.8	4	0	19.5	622.6
1981	13.6	41.3	17.9	81.9	183.3	135.4	30.2	14.3	21.9	11.1	0	4.4	555.3
1982	80	78	249.8	122	1.5	80.8	51.3	16.7	10.5	0	3.4	0	694
1983	0.8	53.1	86.2	71.1	103.3	126.4	42.8	23.8	89.5	13.3	0	0	610.3
1984	30.6	115.3	31	154.6	112.5	31.7	215	6.4	108.5	0.1	0	0	805.7
1985	66.2	54.2	104.8	61	52.6	87.8	156.1	61.5	4.1	12.7	17.2	0.5	678.7
1986	10.2	48.5	76.6	170.6	117.1	227.1	44.2	2.6	12.8	34.7	1.3	1.4	747.1
1987	37.2	34.2	88.2	47.3	81.2	56.6	45.2	48.9	17	52.2	0.2	0	508.2
1988	46	8	144.4	218.5	50.5	10.6	30.5	81.6	5.2	6.6	0	12.9	614.8
1989	23.4	37.1	89	27.8	92.1	0	35.6	57.8	51	2.7	30	0	446.5
1990	1.6	67.1	34.6	152.4	106.1	136.8	72.5	43.2	31.6	4.3	0.8	6.5	657.5
1991	20.1	219.9	68.5	16.9	174.7	57.5	90.9	85.7	63.7	22.8	10.9	0	831.6
1992	4.2	94.8	104.6	116.6	35.8	100	27.6	73.6	38.9	0	0	1.4	597.5
1993	24.7	55.5	89.4	100.3	50.8	42	0	65.6	8	0	0	0.9	437.2
1994	45.8	61	61.1	118.4	121.4	53.6	87.2	46.2	0	16.2	0.5	66.9	678.3
1995	7.1	30.3	29.3	77.9	143.8	170.6	27.8	107.9	31.7	22.4	5.4	5.3	659.5
1996	33.2	62.8	42.1	63.9	20.4	14.3	15.7	66	16.6	3.9	1.2	6.8	346.9
1997	48.9	88.5	148.7	111.7	47.6	101.5	70	128.1	185.5	6	0	3.1	939.6
1998	33.8	89.5	120.8	89.3	113.3	50.9	81.4	18.7	5.6	0	0	2.5	605.8
1999	12.3	13.4	106.6	211.2	7.7	6.5	8.4	34	71.7	0	0.6	1.3	473.7
2000	11.9	49.2	74.8	49.9	218.4	79.4	0.4	41.4	24.5	0	0	0	549.9
2001	12.9	0	31.6	49.9	56.3	24.9	21.2	48.3	36.8	9.8	5.7	45.1	342.5
2002	16.6	42.3	221.9	315.6	234.3	163.7	31.2	150.4	9.1	0.5	0	3.6	1189.2
2003	23.3	44.5	54	103.1	111.2	62.5	55.6	71.9	126.2	0	2	0	654.3
2004	11.7	32.6	92.5	227.2	123.6	128.9	46.4	55	3	1	1.3	2.5	725.4
2005	6.5	47	72.8	97.3	120.6	114	57.8	18.2	27	0.8	2.1	2.8	566.9
2006	28.9	8.6	13	231.5	5.7	54.4	262	142.7	32.6	2	2.4	3.7	787.5
2007	105.7	303.6	183.3	93.8	5.2	24.3	131.9	43.9	80.9	8.8	9.2	0	990.6
2008	35.6	57.9	151.2	96.8	180.7	33.5	69.1	115.8	73.4	0.4	0	2	816.4
2009	124.5	50.7	134.4	123.8	86.4	44	89.4	41.6	34.4	8.6	0	18.6	756.4

**Tableau I-10: les moyennes annuelles mensuelles des précipitations.**

Station		BOURDJMENAIEL												
Mois		sep	oct.	Nov.	des	jan	féve	mar	avr	mai	jui	juil	aoû	An
Pluie	(mm)	33.58	67.4	99.17	112.75	92.13	85.27	69.84	64.38	41.54	9.08	3.13	6.91	685.18
	%	4.9	9.8	14.5	16.5	13.5	12.4	10.2	9.4	6.1	1.3	0.5	1.0	100

Source ANRH (Blida)

**Conclusion**

D’après le Climagramme pluviométrique d’EMBERGER, on constate que le périmètre se situe dans l’étage bioclimatique sub-humide à hiver frais. Ceci a pu être déterminé grâce à la relation ci-dessous :

$$Q = \frac{1000 P}{\frac{(M + m)(M - m)}{2}}$$

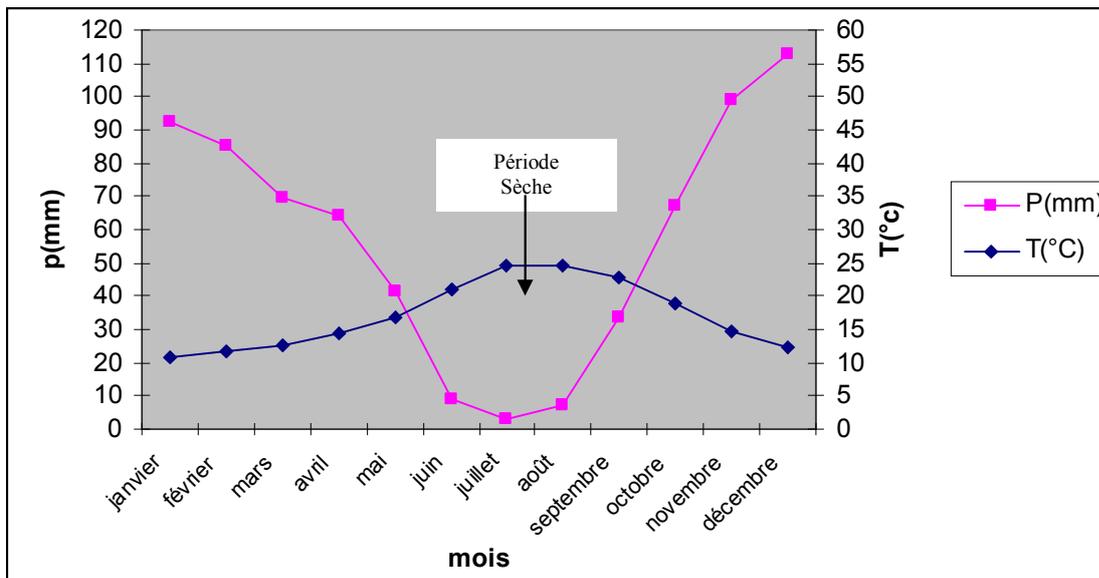
Q : Quotient pluviométrique

P = 685.18mm : pluviométrie moyenne annuelle

M = 303.7°k : température moyenne maximale du mois le plus chaud

m = 278.4°k : température moyenne minimal du mois le plus froid

Q = 93.05ss



**Figure I-2 : Diagramme de Bagnolleset gausсен**

Suivant le diagramme de Bagnolles et Gausсен figure I-2, il est plus visible que la région possède deux saisons humide et sèche ; la saison humide commence au mois d’Octobre jusqu’au mois de Mai où commence la saison sèche qui s’étale jusqu’à la fin du mois de septembre figuresI-2.

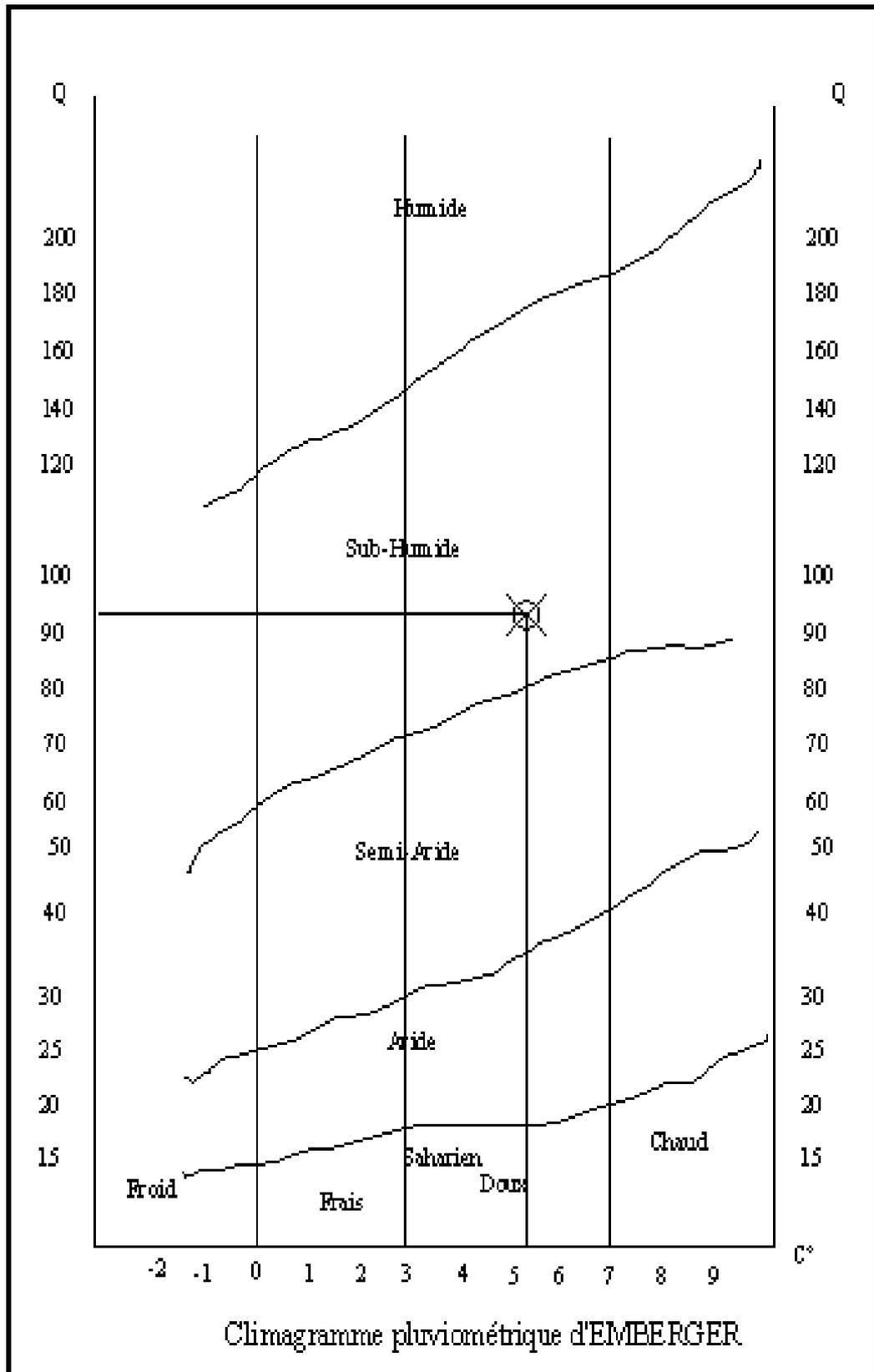


Figure I-3: Climogramme pluviométrique d'Emberger

### ***I-3 .Etude Agro Socio-économique***

L'étude agro socio-économique, situation de référence ou "actuelle", elle consiste à analyser les contraintes socio-économiques et les facteurs (et paramètres) qui influencent actuellement la production agricole végétale et animale, depuis la mise en place de la culture, et même avant, jusqu'à la récolte et l'écoulement du produit sur le marché.

L'enquête auprès de l'agriculteur a permis de définir la répartition culturale, les problèmes fonciers, la mécanisation, le niveau technique de la main d'œuvre, sa disponibilité et son âge, la conduite des spéculations, et les problèmes liés à l'accès aux crédits, l'approvisionnement en intrants, la vulgarisation et la commercialisation.

#### ***I-3-1.Population Et Emploi Dans La Région***

On ne peut comprendre la situation actuelle de la zone d'étude destinée au projet de développement agricole avec l'irrigation sans prendre en considération le contexte social existant et ses tendances, ainsi que les aspects économiques importants tant de la zone d'étude que de la région.

La réalisation correcte et efficace des travaux de mise en valeur par l'irrigation, l'introduction et l'application de nouvelles techniques culturales et d'irrigation, le développement et l'intensification de la production végétale et animale et - en général - le "changement" et l'intensification de l'activité agricole dépendent du contexte social intéressé et de ses réactions et acceptations ainsi que d'autres facteurs.

La main-d'œuvre, sa disponibilité, son degré de qualification et d'instruction, ainsi que son âge, sont des facteurs qui conditionnent la réussite du projet. La mise en eau du périmètre est aussi liée au secteur économique existant dans la région, qui peut être compétitif pour la main d'œuvre.

Les communes sont neuf au total (sept situées dans le Bas Isser et deux dans le Moyen Isser) pour une superficie géographique de 559,5 km<sup>2</sup> (56.000 ha environ).

La population totale des neuf communes s'élevait, en 1987, à 184.475 habitants, avec une densité moyenne de 330 habitants par kilomètre carré. Aujourd'hui, la population totale peut être évaluée à 220.000 habitants, vu que la croissance moyenne du Pays a été de 28 pour mille par an (1986-1991) et la densité d'habitants/km<sup>2</sup> est passée à plus de 390.

Les communes les plus peuplées sont celles de Bordj Menaïel et Lakhdaria, avec respectivement: 25,7 et 22,4% de la population totale de la région.

La population résidente de la région - comme le reste de l'ensemble du Pays - est jeune près de 42% ont moins de 15 ans et la classe qui va de 15 à 59 ans, qui comprend la population active et celle en âge féconde compte près de 53% de la population totale (hommes 50,5% femmes 49,5%). La moitié des composants de cette classe à moins de 30 ans.

#### ***I-3-2.Elevage***

##### ***I-3-2-1. Gros Elevage***

Seules 12 exploitations sur les 60 enquêtées disposent d'un élevage bovin, mais avec un effectif très réduit, représenté par les races pie noir, pie rouge, Walschtein, et une race locale provenant d'une population génétique indéfinie.

L'alimentation du cheptel s'effectue avec du foin obtenu avec de la vesce-avoine, tandis que le fourrage vert (bersim en général) est parfois présent dans la ration alimentaire, mais toujours dans une très faible proportion.

La production laitière est d'environ 8-9 litres par vache et par jour.

Plus de 60% de l'effectif est représenté par des femelles en reproduction donnant, en moyenne, un nombre équivalent de naissances par an. Le taux de mortalité annuelle est proche de 5% (diarrhées, septicémie, météorisme).

Mais l'élevage bovin est en crise depuis plusieurs années et le nombre des têtes se réduit progressivement à cause du déficit très marqué en aliments concentrés et, surtout, en fourrage vert, et aussi à cause de l'hygiène et de la prophylaxie.

L'élevage ovin et caprin est à caractère familial (3 à 5 têtes) et destiné à l'autoconsommation. Il est pratiqué de façon traditionnelle, en utilisant toutes les superficies résiduelles pâturables.

### ***I-3-2-2.-Petit Elevage***

Le petit élevage présent, lui aussi, des problèmes. L'indisponibilité des poussins, le coût très haut des aliments et l'inexistence de produits vétérinaires réduisent l'intérêt des éleveurs des poulets de chair et des poules pondeuses. Le taux de mortalité est aussi excessivement élevé.

L'apiculture était très développée dans le passé, mais depuis la création des EAC et des EAI on a observé une nette régression de l'effectif apicole.

### ***Conclusion***

L'élevage ne reçoit pas tout l'intérêt qui lui est dû, et demeure marginalisé. La régression du cheptel résulte essentiellement de l'indisponibilité de l'aliment en qualité et en quantité, au coût élevé du foin de vesce-avoine, qui reste la seule ration de base distribuée par les éleveurs et qui entre autre, ne permet pas une bonne production.

L'absence du fourrage en vert pendant la période estivale, constitue une des causes principales de la faiblesse des rendements laitiers.

La couverture sanitaire est assurés par des vétérinaires privés, ou par des fonctionnaires au niveau des subdivisions agricoles; en général ils sont 2 au niveau de chaque subdivision; ils s'occupent de l'inspection (abattoir, commission d'hygiène), et, interviennent d'une façon organisée à chaque fois qu'on fait appel à eux, surtout au moment le plus difficile d'une mise bas. La couverture sanitaire souffre un peu de la cherté des produits vétérinaires.

## ***I-4.Les Cultures Envisageables***

### ***I-4-1.Maraîchage***

Les maraîchages de plein champ pour vente sur le marché de frais sont: la pomme de terre, tomate, courgette, haricot vert, poivron, aubergine, chou, chou-fleur, oignon, ail, fraise, carotte, navet, concombre, fenouil, petit pois, fève, betterave potagère, melon, pastèque, laitue.

Le Maraîchage de plein champ destiné à l'industrie de la conserve est pour le moment uniquement la tomate industrielle.

Les maraîchages protégés sous serres plastiques sont: la tomate, poivron, piment, haricot, courgette, concombre (avec possibilité d'une ultérieure diversification dans le temps).

### ***I-4-2. Agrumiculture Et Cultures Arboricoles***

Extension des cultures pérennes comme:

Les agrumes: oranges, clémentines, mandarines, citrons, pomelos et autres

Arbres fruitiers: pommes, poires, pêches, abricots, prunes, nèfles, figues, cerises. grenades.

Vigne de table

Une stabilisation des superficies au niveau actuel, avec amélioration des variétés est constatée.

### ***I- 4-3. Cultures Fourragères***

Production de vesce-avoine, luzerne et maïs orientée surtout sur la disponibilité de fourrage vert, avec réduction de la production de foin.

### ***I-4-4. Céréaliculture***

Réduction des superficies globalement emblavées à céréales, mais avec développement de la production en blé dur.

### ***I-5. Cadre Géologique***

Les principales formations existantes dans la région sont:

- **le socle cristallophyllien** du pré-Cambrien,
- **les roches éruptives**, d'âge pré-tertiaire et tertiaire,
- **les formations sédimentaires**, qui vont du Crétacé au Quaternaire.

Les formations du quaternaire sont les plus importantes. Elles sont formées de terrasses marines et alluviales, qui se trouvent le long du cours entier de l'Oued Isser et constituent le recouvrement alluvial majeur du bassin.

- **Tectonique**

L'aire de l'étude s'inscrit dans le domaine du Tell septentrional, caractérisé par une tectonique complexe, cassante et de glissement.

Cet édifice complexe est constitué par un empilement de nappes imbriquées, engendrées à la suite d'une fracturation intense et de glissement du Sud vers le Nord, suivi par une compression.

### ***I-6. Ressources En Sols***

Cinq classes d'aptitude à l'irrigation sont définies selon les normes F.A.O. et qui se basent sur la nature et l'intensité des contraintes existantes telles que:

- La profondeur du sol ;
- La texture ;
- La perméabilité ;
- La salinité ;
- Le drainage ;
- Le calcaire actif.

#### **- CLASSE I:**

Les zones de la Classe I sont caractérisées par des sols profonds, une texture moyenne, une perméabilité moyenne de 2 cm/h et une porosité moyenne de 40%.

Ces sols ne demandent aucun travail d'aménagement. Leur aptitude à l'irrigation est bonne.

#### **- CLASSE II:**

Les zones de la Classe II sont représentées par des sols peu évolués à texture limono - argileuse à limono - sableuse, des sols fersiallitiques et de vertisols à texture fine en profondeur.

Ces sols caractérisés par une perméabilité moyenne à bonne variant de 0,5 - 4,5 cm/h et une porosité moyenne de 41%.

### - CLASSE III:

Ces zones sont les plus étendues, elles sont couvertes par des sols peu évolués et brun méditerranéens à texture grossière et des vertisols à texture fine.

### - CLASSE IV:

Les zones de la Classe IV sont à texture très grossière et les sols hydro morphes et vertiques à texture très fine.

### - CLASSE V:

Les sols de cette classe sont représentés par des zones inondables situées dans le lit majeur de l'oued Isser. Ces zones nécessitent des travaux d'aménagement très coûteux, pour leur récupération (protection contre les inondations).

Il existe des classes d'aptitude à l'irrigation dont les propriétés physiques (structure, porosité, rétention en eau) peuvent être améliorées en apportant des amendements organiques.

## ***I-7. Les Ressource En Eau***

### ***– Ressources En Eau Superficielle***

La ressource en eau prévue initialement et sur laquelle le contrat a été notifié se résume par:

- Allocation de 26 Hm<sup>3</sup> /an à partir du barrage de Koudiat Acerdoune
- Allocation de 34 Hm<sup>3</sup> /an à partir du barrage de Djemâa Aval pour l'irrigation du Bas Isser et 7 Hm<sup>3</sup> / an.

### ***– Ressources En Eau Souterraines***

Dans la présente étude nous avons examiné les potentialités des nappes souterraines existantes à l'intérieur de la zone d'étude le long de l'oued Isser et précisément dans l'aire du Moyen Isser qui se développe autour des villes de Lakhdaria et Kadiria et du Bas Isser qui s'étend de la sortie des gorges de Lakhdaria jusqu'à la mer Méditerranée.

Les études antérieures ont mis en évidence quatre formations aquifères d'âge quaternaire:

- la nappe des formations dunaires éoliennes actuelles;
- la nappe de la terrasse littorale du quaternaire inférieur;
- la nappe des alluvions du quaternaire moyen.

## ***I-8. Ressources En Eau Superficielle***

### **• Le Barrage de Djemaa Aval**

Est en cours de finalisation des études détaillées, il est localisé dans le Bas Isser à 2,8 km au Sud de la ville de l'Isser .La construction est projetée par utilisation des matériaux locaux (enrochements) disponibles aux environs du site. Il régularise annuellement 37 hm<sup>3</sup> par an des apports de son propre bassin et atteindra 150 hm<sup>3</sup> /an après la réalisation de l'adduction de transfert d'eau à partir de la prise de Draa El kifane sur l'oued Sebaou.

Les caractéristiques principales se résument à:

- Capacité de stockage : 183 hm<sup>3</sup>
- Niveau de la crête du barrage : 85,00 m
- Cote de la retenue normale : 80,00 m
- Longueur de la crête : 1.655 m
- Cotes des prises d'exploitation : 47,00 m - 63.00 m - 72,00 m

A partir de ce barrage seront destinées à l'irrigation 26 hm<sup>3</sup> pour le Bas Isser.

• ***Le Barrage De Koudiat Acerdoune :***

Il est en cours de lancement pour sa réalisation, les caractéristiques de ce barrage de stockage sont :

- Côte dans l'oued	:	217 m NGA
- Côte maximale normale de retenue	:	311 m
- Côte de crête du barrage	:	330 m
- Hauteur du barrage	:	113 m
- Stockage brut initial	:	638 hm <sup>3</sup>
- Niveau min d'exploitation	:	245 NGA
- Tranche morte	:	40 hm <sup>3</sup>
- Capacité comblée après 30 ans	:	598 hm <sup>3</sup>
- Stockage utile après 30 ans	:	636 hm <sup>3</sup>

***I-9. Evaluation Des Ressources Disponibles Et Utilisables :***

Le volume total de l'aquifère saturé peut être évalué à 550 hm<sup>3</sup>. (ONID)

En considérant une valeur du coefficient d'emmagasinement de 10%, la quantité totale d'eau stockée peut être évaluée aux environs de 55 hm<sup>3</sup>.

Pour ce qui concerne les ressources dynamiques, l'aquifère principal du Bas Isser se trouve dans une situation de surexploitation, elle peut être évaluée au minimum à 1,89 hm<sup>3</sup>/an, qui correspond à la diminution des réserves vérifiée pendant les 9 dernières années. Dans cette situation aucune augmentation des extractions actuelles n'est prévisible sans risque des phénomènes négatifs.

La seule possibilité de développer encore les extractions d'eaux souterraines pourrait être la réalisation de puits d'infiltration dans les environs immédiats de l'Oued.

En tout cas, un prélèvement d'eau par ces puits éventuels ne devrait pas dépasser un maximum de 200 l/s. (ONID)

Dans l'éventualité que le programme d'irrigation avec des eaux superficielles soit réalisé, on pourrait constater une augmentation des disponibilités d'eau souterraine due au retour dans la nappe d'une partie de l'eau utilisée à cet effet, que - dans la meilleure des hypothèses - on peut évaluer à 3,0 hm<sup>3</sup> environ.

***I-10. Qualité Chimique De L'eau***

***I-10-1.Oued Isser***

La qualité chimique d'eau de l'oued Isser a été étudiée sur des échantillons prélevés aux stations hydrométriques de Pont de la Traille, Lakhdaria et Isser.

Les prélèvements d'eau ont été faits pour plusieurs jours pendant le mois considéré et pour différentes années.

Les données ont été choisies selon leur disponibilité à l'ANRH tout en prenant en considération les prélèvements d'eau des années les plus récentes.

D'après les études antérieures, la concentration moyenne en sels minéraux déterminée à partir d'une corrélation logarithmique avec les débits liquides, est estimée à 0,65 g/l, mais elles sont de 1,22 g/l en moyenne en prenant en considération les nouvelles données.

La classification des eaux d'après la qualité chimique a été établie selon le diagramme de classification des eaux d'irrigation de Saline et alcali Soils (1954), et suivant deux critères, respectivement celui de la conductivité électrique CE en micro mhos/cm à 25° C et le rapport d'adsorption du sodium SAR.

Selon cette classification, la qualité de l'eau varie selon la teneur en sels de C3 à C4 (rarement C4), alors que le SAR reste uniforme et garde toujours la classe S1.

D'après ces résultats d'analyse d'eau, on trouve que l'eau de l'oued Isser est caractérisée par:

Un SAR moyen de:

- 3,15 Pour Pont de la Traille
- 2,22 Pour Lakhdaria
- 1,94 Pour l'Isser

Une CE moyenne de:

- 2,23 m mhos/cm : Pont de la Traille
- 1,75m mhos/cm : Lakhdaria
- 1,80 mmhos/cm : Isser

D'après ces valeurs moyennes de la CE et du SAR, l'eau de l'Isser est classée en C3 S1. Classe S1, la quantité de sodium est qualifiée de faible, cette eau ne posera pas de problèmes sauf éventuellement aux arbres fruitiers.

Classe de Salinité C4 (CE varie de 0,75 à 2,25 m mhos/cm): dans ce cas, la salinité est élevée, l'eau est inutilisable et très dangereuse sur sols faiblement drainés, et peut présenter dans une certaine mesure un danger sur la plupart des cultures.

Cette conductivité qui est élevée pour quelques mois est due probablement aux déchets industriels et aux effluents des eaux usées provenant de la ville de Tablot et évacués dans l'oued Isser, ainsi que les résidus abandonnés sur les rives et qui sont rapidement emportés par les eaux.

En plus, on envisage que l'eutrophisation du lac va devenir élevée, l'eau, dans le réservoir, présentera une haute salinité, avec conséquences de caractère biologique, comme l'anoxie (que probablement va caractériser l'entière colonne d'eau) et la production de H<sub>2</sub>S (en profondeur).

A part les possibles conséquences de caractère socio-environnemental liées à la possible émission de mauvaises odeurs par les eaux stockées, le manque d'oxygène et la présence de H<sub>2</sub>S ne devraient pas créer inconvénients particuliers pour l'utilisation des eaux pour l'irrigation. (ONID)

En faits la majeure partie de l'eau régularisée à Koudiat Acerdoune sera relâchée dans l'oued en aval du barrage et sera acheminée sur le lit naturel de l'oued jusqu'aux points de prise. Pendant le parcours les eaux devraient être capables de réabsorber une certaine quantité d'oxygène et de perdre une partie importante de H<sub>2</sub>S grâce au phénomène d'aération naturelle dû au passage des eaux dans le lit de l'oued.

### ***I-10-2.Oued Djemaa***

Compte tenu de la non disponibilité des données concernant la qualité chimique des eaux de l'oued Djemaa, ainsi que celles des eaux de transfert de Draa El Kifan, le bureau d'étude avec l'accord du maître d'œuvre, a considéré que la qualité de cette eau peut être assimilée à celle de l'oued Isser.

### ***I-11 .Qualité Des Eaux De Nappes***

L'aquifère principale du Bas Isser est caractérisée par des eaux assez minéralisées surtout dans le secteur situé en aval de l'Isser, avec des valeurs de la conductivité électrique comprises entre 1.52 mmhos / cm et 2.02 mmhos / cm , les transmissivités varient entre 0,1 et 22.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s et la moyenne pondérée étant de 3.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s

Pour l'actualisation des données, trois échantillons d'eau de la nappe phréatique de l'oued Isser de la basse vallée ont été prélevés en 2006-2008-2009 en fonction de la présence celle-ci et qui ont fait l'objet d'une analyse présentée dans le tableau I-11.

**Tableau I-11 : Résultats d'analyse des eaux de la nappe phréatique de l'oued Isser .**

Date de Prélèvement	Teneur en mg/l							SAR	PH	CE à 25°C mmhos / cm
	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>-4</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			
2006	224	49	125	1	256	241	46.2	1.96	6.8	2.02
2008	158	60	123	2	248	176	45.9	2.11	7.5	1.80
2009	39	38	211	6	287	79	19.0	5.74	7.2	1.52
moyenne	140	49	153	3	264	165	37	3.27	7.2	1.78

Source: Etude de l'aménagement hydro agricole du périmètre de l'Isser -Analyse des ressources en sol -Dossier I.B (pp 48).

### **Conclusion**

En conclusion, la plupart des eaux régularisées à partir du Barrage de Koudiat acerdoone, seront déversées dans l'oued Isser en aval, acheminées ensuite par le lit de l'oued Isser jusqu'à l'embouchure

Durant ce parcours, les eaux devront être capables de réabsorber une certaine quantité d'oxygène et de perdre une partie consistante de H<sub>2</sub>S, suite au phénomène d'aération naturelle, dû aux affrontements des eaux avec le lit de l'Oued Isser.

Cependant, nous constatons que les eaux de la nappe phréatique et de l'oued Isser, peuvent provoquer une salinisation moyenne à élevée des sols, donc la nécessité de drainage.

Les analyses chimiques des eaux de l'oued Isser, effectuées au niveau de la station du pont de traïlle, ont montré que la qualité de ces eaux était mauvaise, si celles-ci devront être utilisées pour l'alimentation des populations.

Toutefois, une attention particulière sera accordée au traitement des rejets industriels en amont du barrage de Koudiat acerdoone, afin de préserver une meilleure qualité des eaux de la nappe, dans le but de l'utiliser sans risques de contamination.

Il est à noter que les valeurs excessivement élevées de la conductivité électrique peuvent être dues à l'intrusion des eaux de mer, vu la faible distance de la côte et le rabattement de la nappe, suite aux pompages excessifs.

## II-1. Synthèse hydrogéologique de la basse vallée de l'Oued Isser

### II-1.1 Généralités et géomorphologie du bassin de l'Isser

La vallée alluviale du Bas Isser fait partie du domaine septentrional de l'Algérie. Du point de vue administratif la région du Bas Isser est circonscrite dans la wilaya de Boumerdès, à 60 Km à l'Est d'Alger. Celle-ci est limitée :

- Au Nord, par la mer méditerranée ;
- A l'Est par le massif de cap Djenet;
- A l'Ouest par Djebel Bou-Arous (400 m d'altitude en moyenne)
- Au Sud par les contreforts de la dorsale Kabyle.

La basse vallée du Bas Isser occupe une bande moyenne de 3 Km de large entre Beni Amrane et la mer Méditerranée. Le bassin versant du Bas Isser est séparé du Moyen Isser par le massif de Krachna.

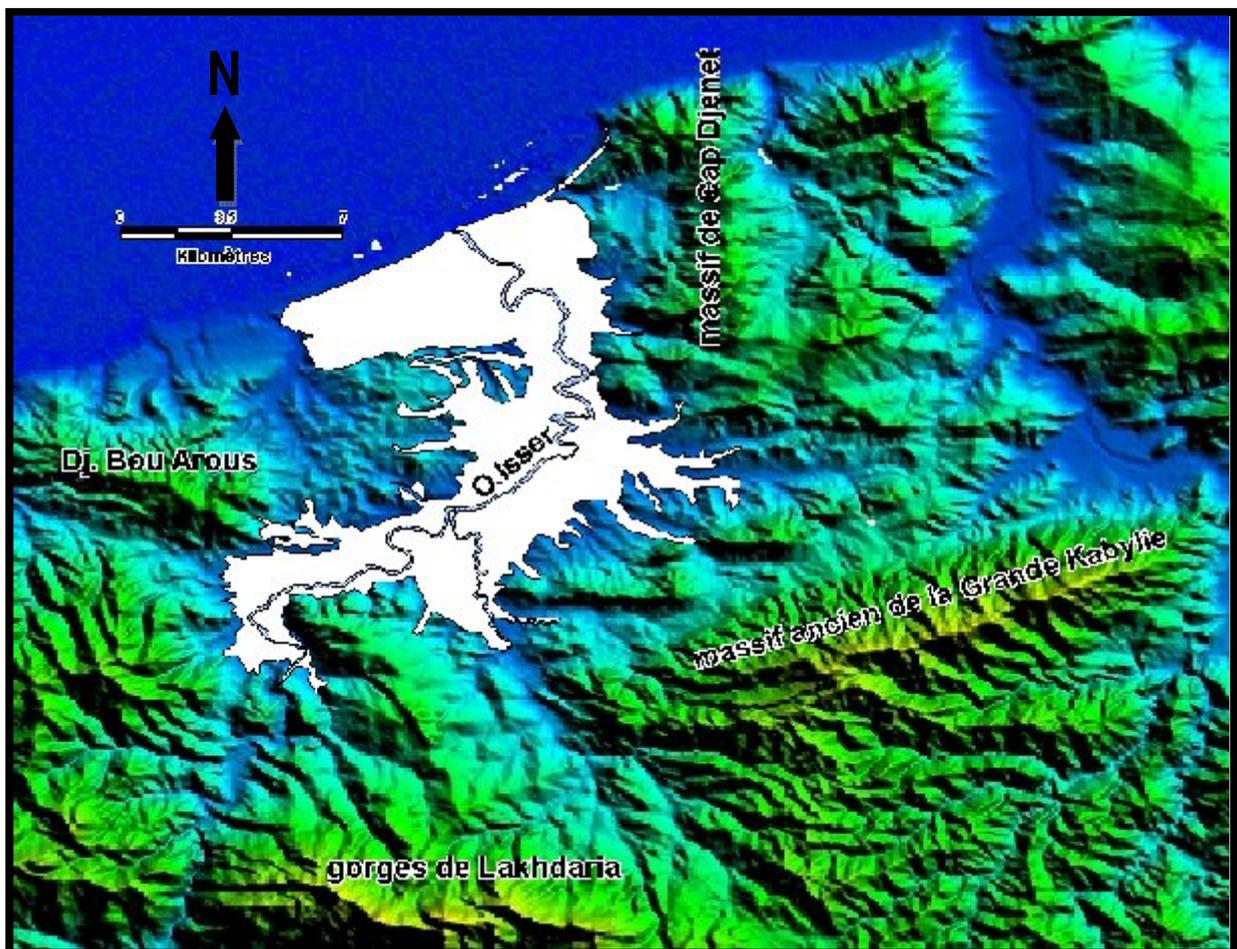


Figure .II-1 : Situation de la plaine alluviale du Bas Isser

Le sous bassin versant du Bas Isser s'étend, des gorges de Lakhdaria à l'embouchure de l'Oued Isser, couvre une superficie de 549 km<sup>2</sup> et un périmètre de 112 Km. Il est orienté généralement Sud-ouest, Nord-Est.

Le sous bassin versant présente une topographie peu accidentée, elle est surtout caractérisée par des reliefs modérés. Le réseau hydrographique est particulièrement dense à l'amont.

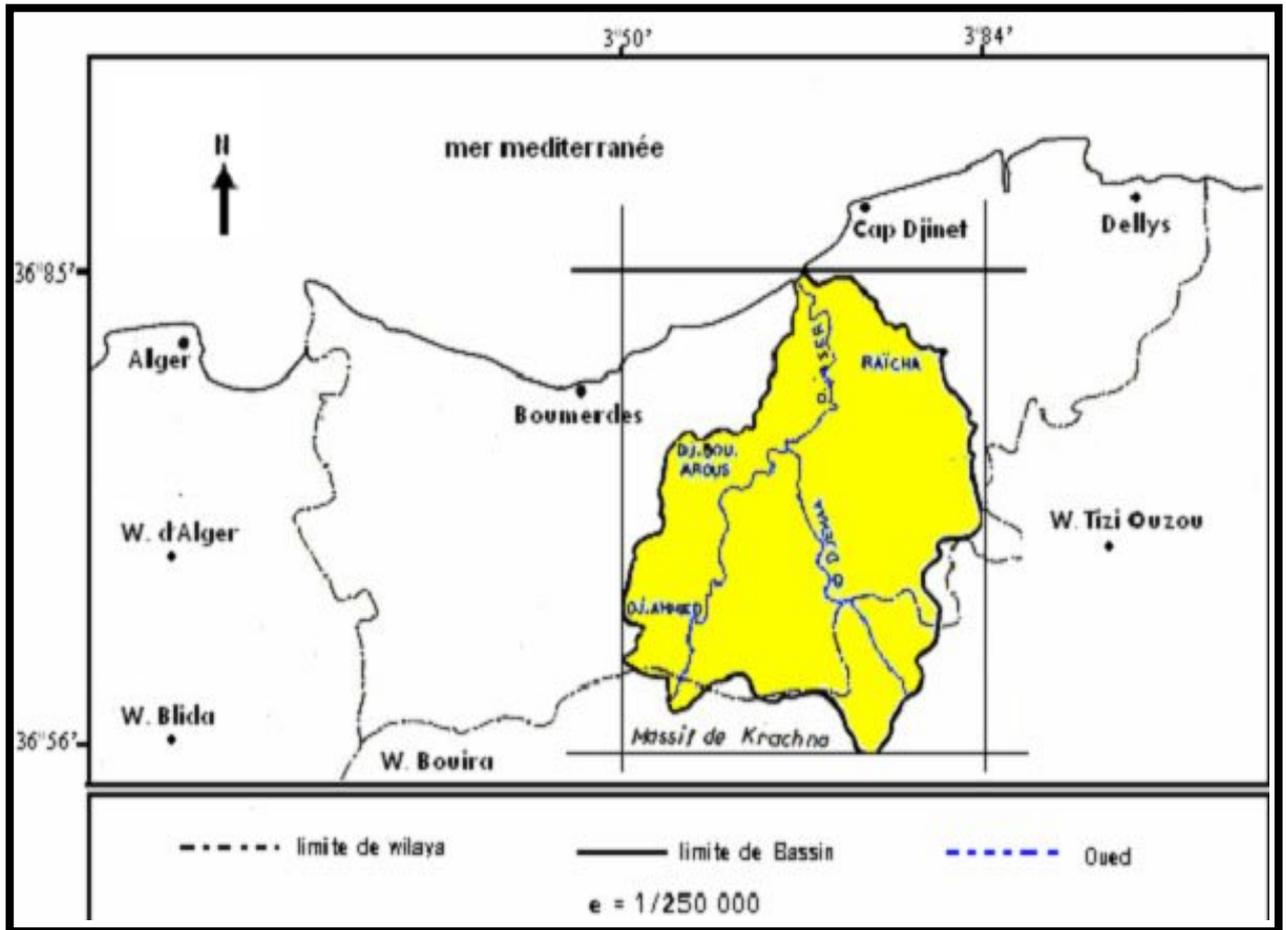


Figure .II.2: sous bassin versant du bas Isser

Les terrains à perméabilité faible et moyenne occupent la plus grande superficie du bassin versant. Ces paramètres favorisent le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration. Les affleurements quaternaires à forte perméabilité sont caractérisés par une végétation dense et un réseau hydrographique dispersé. Ils traduisent une meilleure infiltration des eaux et constituent un bon impluvium pour la recharge des nappes.

## II-2. Géologie

### II-2.1. Introduction

La région du Bas-Isser appartient au Tell Septentrional, domaine interne des Maghrébides, caractérisé par sa complexité tant structurale que lithologique. On y distingue trois entités géologiques qui se répartissent du Nord au Sud comme suit :

- Le noyau kabyle ;
- La chaîne calcaire ;
- Les flyschs Nord et sud kabyle.

Au niveau de la plaine du Bas-Isser, nous distinguons:

- des roches métamorphiques ;
- des roches éruptives ;
- des roches sédimentaires.

## **II-2.2. Description litho stratigraphique de la zone d'étude**

### **a) Les formations cristallophylliennes (noyau Kabyle)**

Affleurent à Beni-Amrane, à l'Est de Souk-El-Had, à l'Est et au Sud-est des Issers ainsi qu'au Nord du massif granitique de Thenia.

Le massif de Krachna forme un bloc compact séparé en deux parties distinctes par l'oued Isser. Nous distinguons selon le degré décroissant de métamorphisme :

#### **a-1 Une assise inférieure**

D'une puissance d'environ 100 m, elle affleure sur les versants Nord et Sud de Djebel Bouarous où elle constitue les flancs d'un synclinal de direction latitudinale à Beni Amrane. De plus, elle est très développée dans la partie occidentale du massif du Djurdjura.

Les roches prédominantes sont représentées par des micaschistes à biotite de teinte verte, des schistes à micas de teinte plus claire, des Gneiss œillets à biotite et de nombreuses lentilles de marbre.

#### **a-2 Une assise supérieure**

Affleurant dans les mêmes zones que l'assise inférieure, elle constitue le cœur du synclinal du Djebel Bouarous et correspond à des schistes satinés de teinte foncée, à quartz, chlorite et séricite, recoupés par des lentilles de marbre partiellement dolomitiques.

Dans la partie occidentale du Djurdjura, cette assise est traversée par des intrusions granitiques d'une puissance de plus de 200 m.

#### **b) Les roches éruptives**

Le massif de Thénia c'est un massif intrusif acide représenté par des granodiorites et des granites leucocrates affleurant respectivement au Nord de Thenia et au Sud-Est de Bordj-Menaïel. Ce massif se situe à la limite Sud du socle cristallophyllien (assise inférieure) marquée par les rhyolites (roches volcaniques) épanchées à la faveur de fractures.

Au niveau, de la granodiorite de Thenia, a été observée une arène granitique perméable résultant de l'altération de la roche mère.

L'âge de la granodiorite a fait l'objet de nombreuses controverses, à savoir postérieur au socle et antérieur aux terrains Helvétiques.

Le massif de Cap Djenet est constitué de roches volcaniques basaltiques. On y distingue, des andésites et des dolérites qui forment des pointements intrusifs dont le mode de gisement en coulées interstratifiées dans les sédiments marins Helvétiques leur confère le même âge.

Dans la région de Dar Raïcha, ces roches basaltiques forment un anticlinal de direction axiale Est-Ouest dont le cœur est occupé par les roches sédimentaires du Sénonien.

#### **c) Les formations Quaternaires**

Sont représentés par des faciès marins et alluviaux déposés dans la dépression étroite et allongée de la vallée du Bas-Isser.

##### **c -1 Terrasses marines**

Elles comprennent les plages actuelles et les dunes anciennes.

Plages actuelles : formées de sables, graviers peu consolidés (plateau de Beni Kous), d'argiles, de sables argileux jaunes en rive gauche, poudingues, galets et grès coquilliers au niveau des plages récentes de Cap Djenet.

Plages anciennes : développées parallèlement au littoral et représentées par des sables plus ou moins argileux.

### ***c-2 Terrasse alluviale :***

Selon les travaux antérieurs et plus particulièrement ceux de CHEMLAL 1983, nous adopterons la subdivision en sept terrasses alluviales étagées et partiellement emboîtées. Dans leur description lithologique, nous insisterons essentiellement sur la septième, cinquième, quatrième et troisième terrasse alluviale qui constitue le recouvrement majeur alluvial de la vallée du Bas-Isser.

#### ***-Première terrasse***

C'est la terrasse la plus ancienne de l'oued Isser. Elle se rencontre à Kalâat Koléa où elle est formée de grès, de galets, de schistes, de quartz et de quartzites emballés dans une gangue argileuse. L'ensemble a une épaisseur apparente de 30 m.

#### ***-Deuxième terrasse***

Elle affleure au sud de Beni Kous, à Sidi Bennor, Lalla Touila, cimetière de Sidi Feredj et Kalâat Rachida. Elle se présente sous forme de lambeaux isolés de poudingues à galets, schistes, grès, calcaires et quartzites emballés dans une gangue sableuse. L'épaisseur apparente de ces lambeaux varie entre 5 et 10 m.

#### ***-Troisième terrasse***

Elle apparaît au Nord de Berafaï et s'étend du nord de Leghata jusqu'au plateau de Beni Kous. Elle est absente en rive droite. Les différents niveaux observés sont les suivants :

- Marnes bleues du substratum.
- Argiles brunes jaunâtres.
- Limons ou argiles sableuses.
- Graviers et galets peu consolidés.
- L'épaisseur totale de cette terrasse est de l'ordre de 35 m.

#### ***-Quatrième terrasse***

Ces alluvions affleurent entre les Issers et Bordj Menaïel (rive droite), Leghata et le plateau de Beni K'sir (rive gauche). Elles reposent sur les marnes bleues du Plaisancien et montrent une lithologie variée : conglomérat, grès et quartzites. L'épaisseur de cette terrasse varie entre 30 et 40 m.

#### ***-Cinquième terrasse***

Elle affleure au nord de Bordj Menaïel, de Si Mustapha jusqu'à Berafaï, sous forme d'une série de lambeaux étroits plaqués contre les marnes du substratum. Elle est constituée de conglomérats à grès, à calcaires et à quartzite. Les coupes de forages permettent de distinguer :

- Des argiles jaunes à intercalations de graviers,
  - Des graviers à sables argileux peu consolidés reposant sur les marnes bleues.
- L'épaisseur de l'ensemble varie entre 20 et 40 m.

#### ***-Sixième terrasse***

C'est une terrasse conglomératique dont les éléments sont de même nature que ceux de la terrasse précédente. Elle s'observe au niveau de la gare de Si Mustapha sous forme d'un lambeau unique.

#### ***-Septième terrasse***

C'est la plus récente et occupe tout le fond de la basse vallée de l'oued Isser (première terrasse au-dessus de lit majeur).

De Beni Amrane jusqu'à l'embouchure de l'oued Isser, elle s'étend de 1 à 4 Km de large sur 20 à 25 Km de long. Elle présente un élargissement maximal entre les Issers et Bordj Menaïel.

Cette terrasse montre une grande hétérogénéité lithologique typique des dépôts alluviaux. Elle est constituée de galets, graviers et de sables reposant sur les marnes Plaisanciennes et surmontés par des argiles parfois sableuses.

L'épaisseur des alluvions est en moyenne de 25 m dans le lit majeur de l'oued Isser et diminue vers les bordures de la vallée pour atteindre 5 m.

### ***II-2.3 Caractéristiques hydrogéologiques des diverses formations***

Les descriptions lithologiques et tectoniques permettent d'apprécier les caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations.

Ces caractéristiques apparaissent sur le log de la figure 7.

Sachant que dans la nature, il n'existe pas de formations imperméables au sens strict, il est admis comme tels les terrains à très faible perméabilité.

-Il apparaît alors que le socle représenté par des schistes et des micaschistes, montre des aptitudes hydrauliques très limitées.

-Les roches éruptives représentées par les granodiorites et les rhyolites de Thenia constituent des milieux compétents où la circulation des eaux souterraines ne peut s'effectuer qu'à la faveur des discontinuités tectoniques et des diaclases.

-Toutefois, il existe quelques sources à faible débit telle que la source Rendja située au Nord Est de Thenia et qui émerge au niveau de l'arène granitique. Ceci montre que l'arène granitique représente un bon impluvium et que les circulations souterraines sont limitées à la frange superficielle du massif granitique. En effet, les produits d'altération colmatent les fissures de la roche mère et ne permettent pas aux eaux souterraines de s'infiltrer profondément pour constituer des réserves exploitables.

-Les flyschs de part leur nature marneuse et argileuse, peuvent être considérés comme imperméables.

-L'ensemble des marnes, des argiles et des laves andésito-basaltiques du Miocène présente un caractère imperméable. Toutefois, deux niveaux perméables à poudingues, calcaires et grès friables peuvent être le siège de circulations des eaux souterraines.

-La dorsale kabyle est connue pour ses calcaires massifs, diaclasés, fracturés et karstifiés à grande perméabilité. Au niveau des gorges de Lakhdaria, des sources temporaires à fort débit émergent à la faveur des fractures. Les calcaires karstifiés constituent un bon aquifère.

Seulement leur disposition en écaillés ne permet pas la constitution de réserves importantes.

-Quant au Quaternaire, il est représenté par des terrasses marines et alluviales très perméables. Par leur épaisseur assez importante et leur perméabilité d'interstices, ces formations constituent un bon réservoir et le milieu d'investigation des eaux souterraines le plus favorable et le plus économique.

#### ***II-2.3.1. Description des aquifères***

Au niveau de la basse vallée de oued Isser, les études antérieures ont permis de distinguer plusieurs milieux aquifères correspondant aux terrasses alluviales, terrasses marines et aux dunes anciennes

##### ***II-2.3.1.1 La nappe de la formation éolienne actuelle***

Elle affleure tout le long du littoral. L'écoulement souterrain de cette nappe se fait vers la mer. Son épaisseur varie entre 3 et 8 m, le niveau statique est de l'ordre de 0.5 à 3 m. L'alimentation de la nappe aquifère s'effectue par l'infiltration des précipitations, la bonne perméabilité et le mauvais ruissellement superficiel favorisent l'infiltration. Les transmissivités sont de l'ordre de  $5.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. (Guirkanov 1974).

**II.2.3.1.2 La nappe de la terrasse littorale du Quaternaire inférieur**

Elle est constituée de sables graveleux et de graviers. La nappe aquifère est libre. Son épaisseur varie de 10 à 15 m. Les transmissivités sont de l'ordre de  $0.5 \cdot 10^{-3}$  à  $3.3 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s. Les niveaux statiques sont compris entre 7 et 15 m (1972-1973). Guirkanov

L'écoulement général des eaux s'effectue vers le Nord où la vidange semble se faire par de petites sources surgissant au pied de la terrasse et vers la vallée de l'Isser où cette terrasse se trouve en relation hydraulique avec les alluvions récentes et actuelles. Le débit peut atteindre 20 l/s.

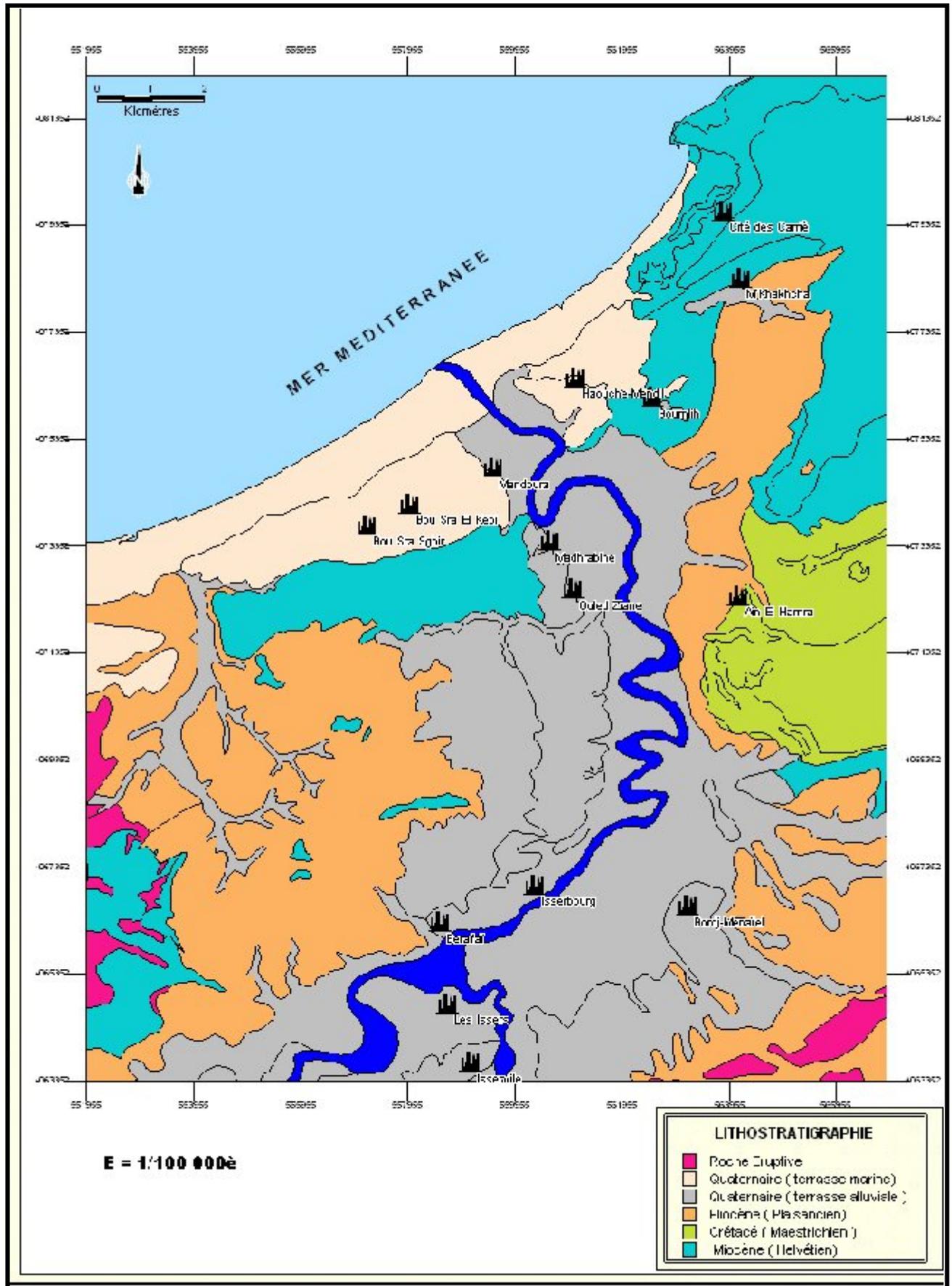


Figure .II.2: carte géologique de la basse vallée de l’oued Isser (SALHI.H, 2005)

**II-2.3.1.3 La nappe des formations alluviales du Quaternaire moyen**

Cette nappe est formée de galets à remplissages sableux et graveleux avec une alternance par endroit de passage argileux.

La nappe est libre sur toute son extension, son épaisseur varie de 10 à 15 m et le niveau statique se trouve entre 6 et 8 m. L'alimentation de la nappe aquifère s'effectue par l'infiltration des précipitations et de l'afflux des eaux souterraines des terrains de bordures.

Les transmissivités sont de l'ordre de  $9.10^{-4}$  m<sup>2</sup>/s et  $3,4.10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s et les débits des puits captant cette nappe sont de 0,7 à 3 l/s pour un rabattement maximum de 2 m.

**Tableau II.1. Log lithostratigraphique et les caractéristiques hydrogéologiques des aquifères**

Ere	système	Sous étages	Lithostratigraphie	Lithologie	Caractéristiques Hydrogéologiques
CENOZOÏQUE	quaternaire	quaternaire (qn, 3)		plages actuelles dunes anciennes terrasse marines et alluviales	très perméable
		plaisancien (Plu)		marnes bleues, grises et dures	imperméable
	Miocène	Helvétien		lave andésito-basaltique	très peu perméable
				bans de grès, de conglomérats et de marnes à intercalations de lave andésito-basaltique	très peu perméable
			marnes gréseuses avec passage de grès calcaire	imperméable	
		Burdigalien		conglomérats et marnes à intercalations de lave andésito-basaltiques	perméable
	grès calcaireux marnes à lentilles de gypse pulvérulentes et grès	imperméable perméable			
	argiles et marnes grises bleuâtre à intercalations de grès calcaire				
mésozoïque	crétacé sup	turonc-sénonien (e1-5)		alternance d'argiles et calcaires krichiques	imperméable
Protérozoïque	précambrien	assise supérieure (K3)		schistes satinés avec des lentilles de marbre dolomitisé	imperméable
		assise inférieure (X2)		schistes à deux micas avec des lentilles de marbre et de gneiss belle	perméabilité de fissures

#### ***II-2.3.1.4 Nappe aquifère de la septième terrasse alluviale***

Cette nappe est la plus importante pour les ressources en eau de la région et s'étend de Souk-El-Had jusqu'à Haouch Bel Abbés. Elle a été l'objet de nombreux forages de reconnaissance et est exploitée pour l'alimentation en eau potable des principales agglomérations.

D'extension importante, cette terrasse constitue l'aquifère principale de la région d'étude. Elle occupe la partie la plus basse de la vallée. Cette terrasse est bordée à l'ouest entre Berafaï et la mer par la quatrième et la troisième terrasse qui l'alimentent par percolation latérale.

Le substratum de cet aquifère est constitué dans sa quasi-totalité par des marnes bleues Plaisanciennes affleurant sur les bordures et rencontrées par de nombreux forages à des profondeurs allant de 20 à 80 m.

Les transmissivités sont de l'ordre de  $1,9 \cdot 10^{-3}$  à  $7,3 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>/s pour un débit de 15 à 20 l/s

Vers le Sud de Bordj-Menaïel et d'Isser ville, les séries de l'Helvétien inférieur et moyen affleurent sur les bordures immédiates de la vallée. La présence des marnes plaisanciennes, sous l'aquifère alluvionnaire, est hypothétique dans cette région, aucun forage n'ayant atteint le substratum dans cette zone.

De nature alluvionnaire, l'aquifère de la septième terrasse montre une grande hétérogénéité dans sa nature lithologique et une grande variation dans son épaisseur, conditionnée par l'allure du toit du substratum et la présence plus ou moins importante de formations argileuses. L'aquifère est constitué par un ensemble hétérogène de galets, graviers et sables fins à grossiers surmontées parfois par des argiles graveleuses ou sableuses. (SALHI.H, 2005)

### ***II-3. Piézométrie***

Afin de mieux suivre l'évolution de la profondeur de la nappe alluviale du Bas Isser, qui constitue la principale ressource d'approvisionnement en eau potable de plusieurs communes (Bordj-Menaïel, Souk El Had, Si Mustapha, les Issers... etc.), ainsi que l'irrigation de grandes parcelles agricoles, l'ANRH a effectué un inventaire systématique de 98 points d'eau au courant des mois d'avril et mai 2001. Ce dernier est composé de 51 puits, 44 forages et 03 sources.

Un réseau de 35 points d'eau a été sélectionné, nivelé et qui sert au suivi quantitatif et qualitatif de la nappe alluviale du Bas Isser. Ce réseau a été complété par la réalisation de 20 piézomètres en 2005 pour couvrir les zones vierges de la plaine et de contrôler les éventuelles intrusions marines dans la zone d'embouchure.

Plusieurs campagnes piézométriques ont été effectuées depuis 2001. Ces campagnes ont été accompagnées par des prélèvements des échantillons d'eau pour des analyses physico chimiques qui se font au laboratoire de la D.R.C/A.N.R.H.

En faisant l'appréciation de la surface piézométrique des eaux souterraines, au niveau des puits, depuis 2001 jusqu'à 2008, nous pouvons remarquer que les niveaux de la nappe se situent entre 2 et 10 m de la surface, suivant les deux périodes des basses et hautes eaux.

Au courant de l'année hydrologique 2002/2003 nous avons enregistré une remontée générale du niveau de la nappe qui se situe autour de 4 m. Toutefois, la période qui précède l'année 2003 était déficitaire et les niveaux mesurés ont dépassé 10 m de profondeur. Il est cependant difficile d'interpréter l'évolution de la surface piézométrique réelle de la nappe en se basant seulement sur les relevés piézométriques au niveau des puits. Ces derniers n'atteignent pas le substratum plaisancien et ne captent que l'horizon superficiel.

Le nouveau réseau de piézomètres, réalisé en 2005 a permis de mieux comprendre les brusques variations de la surface piézométrique. Il apparaît qu'à l'Est et au Nord-Est de Bordj-Menaïel,

les niveaux statiques mesurés varient de 25 à 35m, ceci peut être dû à l'influence des pompages continues au niveau des champs de captage. (SALHI.H, 2005).



Figure II.4: Photos de quelques puits implantés dans les alluvions du Bas isser

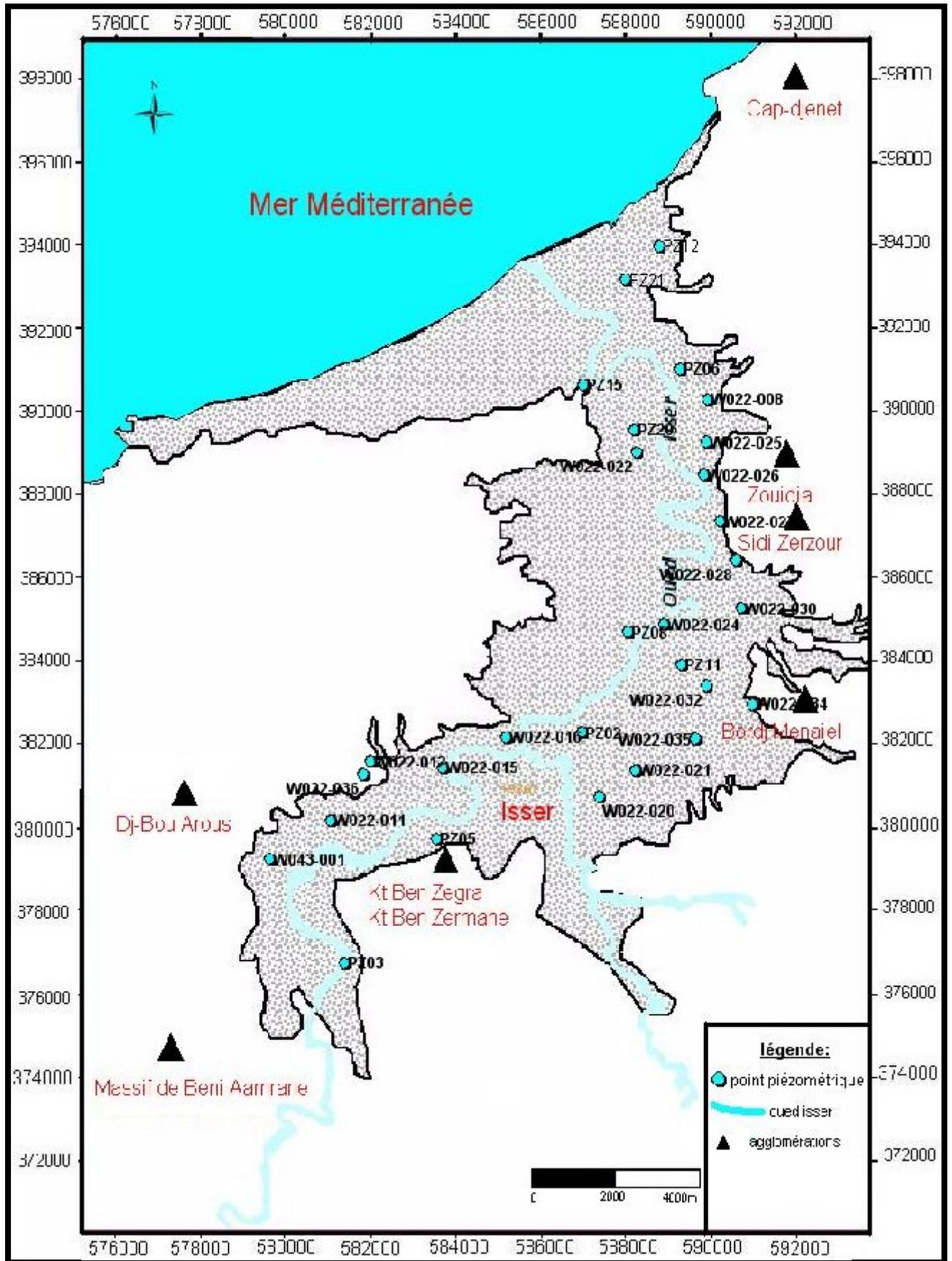


Figure II .5 Carte des points piézométriques d'eaux souterraines du Bas Isser (Basses eaux ,2008)

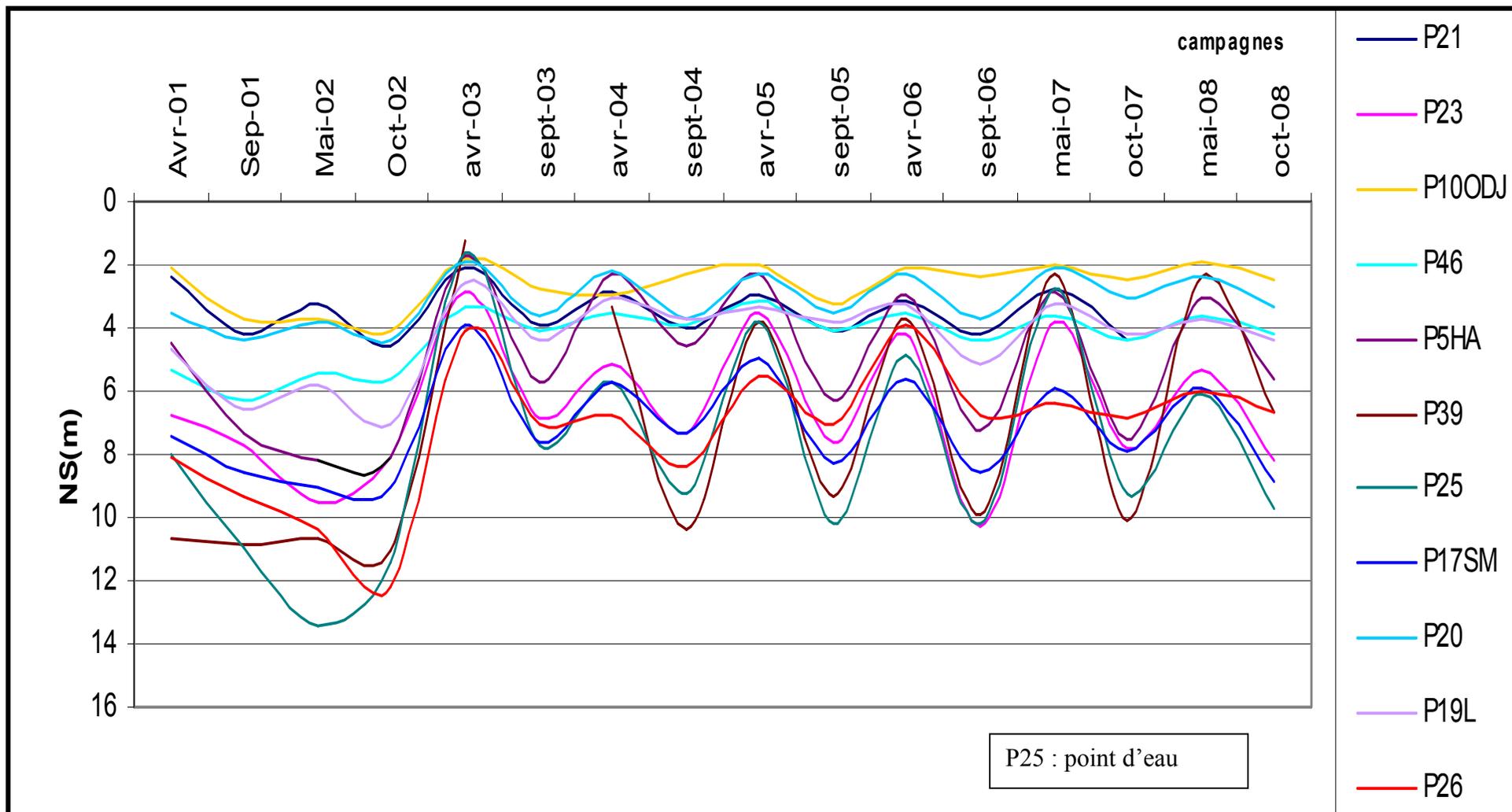


Figure II.6 : évolution de la profondeur de la nappe du Bas Isser au niveau des puits.  
(Périodes 2001 et 2008)

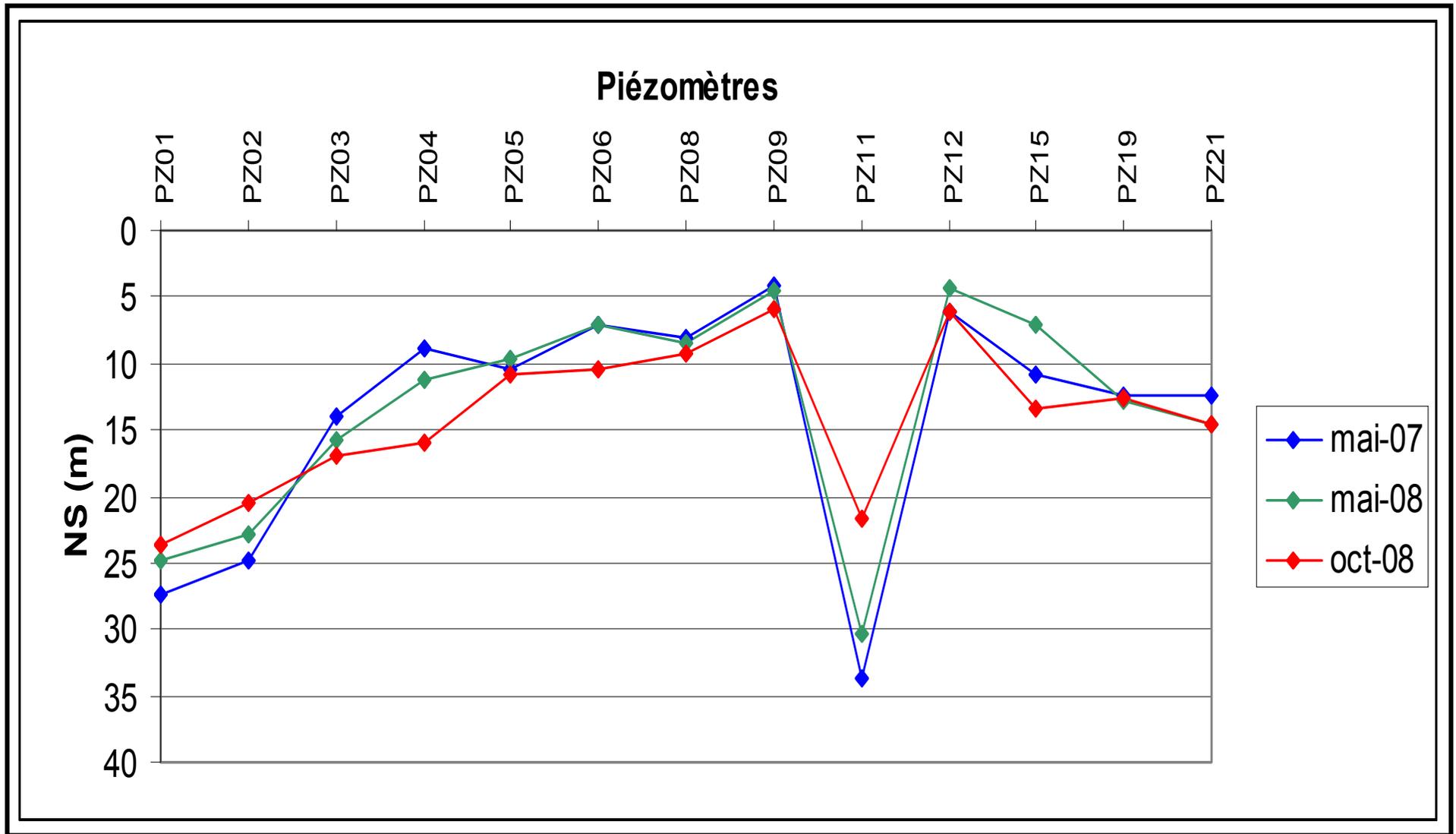


Figure .II.7 : Evolution de la profondeur de la nappe du Bas Isser au niveau des piézomètres (Périodes 2007 et 2008)

L'étude piézométrique montre que l'écoulement des eaux souterraines demeure toujours le même, il se dirige à partir des bordures des terrasses supérieures vers le centre de la plaine. Ces terrasses supérieures, situées au Nord de Lagata s'étendent jusqu'au plateau de Beni-Ksir. Leur position structurale leur permet d'entretenir des relations hydrauliques étroites avec la septième terrasse qu'elles alimentent par percolation latérale.

La carte piézométrique, figure II.8 et la figure II.10, montrent également que dans la septième terrasse alluviale l'écoulement souterrain coïncide avec l'axe principal de la vallée, correspondant à l'axe de drainage des eaux. Cette configuration morphologique d'écoulement atteste que l'écoulement se fait d'amont en aval.

L'alimentation de la nappe s'effectue essentiellement par l'infiltration directe des précipitations et par l'afflux des eaux souterraines provenant des terrains de bordure et des terrasses supérieures.

#### ***II-4 Fluctuation de la nappe***

A partir des données piézométriques des hautes eaux et des basses eaux, on a dressé une carte des fluctuations de la nappe figure II.9 pour l'année 2008, Il ressort de cette carte d'équibattelements de la nappe, que les fluctuations sont de l'ordre de 1 à 20 m, le long de l'axe de drainage et augmentent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de cet axe, pour atteindre 3 à 4 m en bordure des terrains alluviaux,

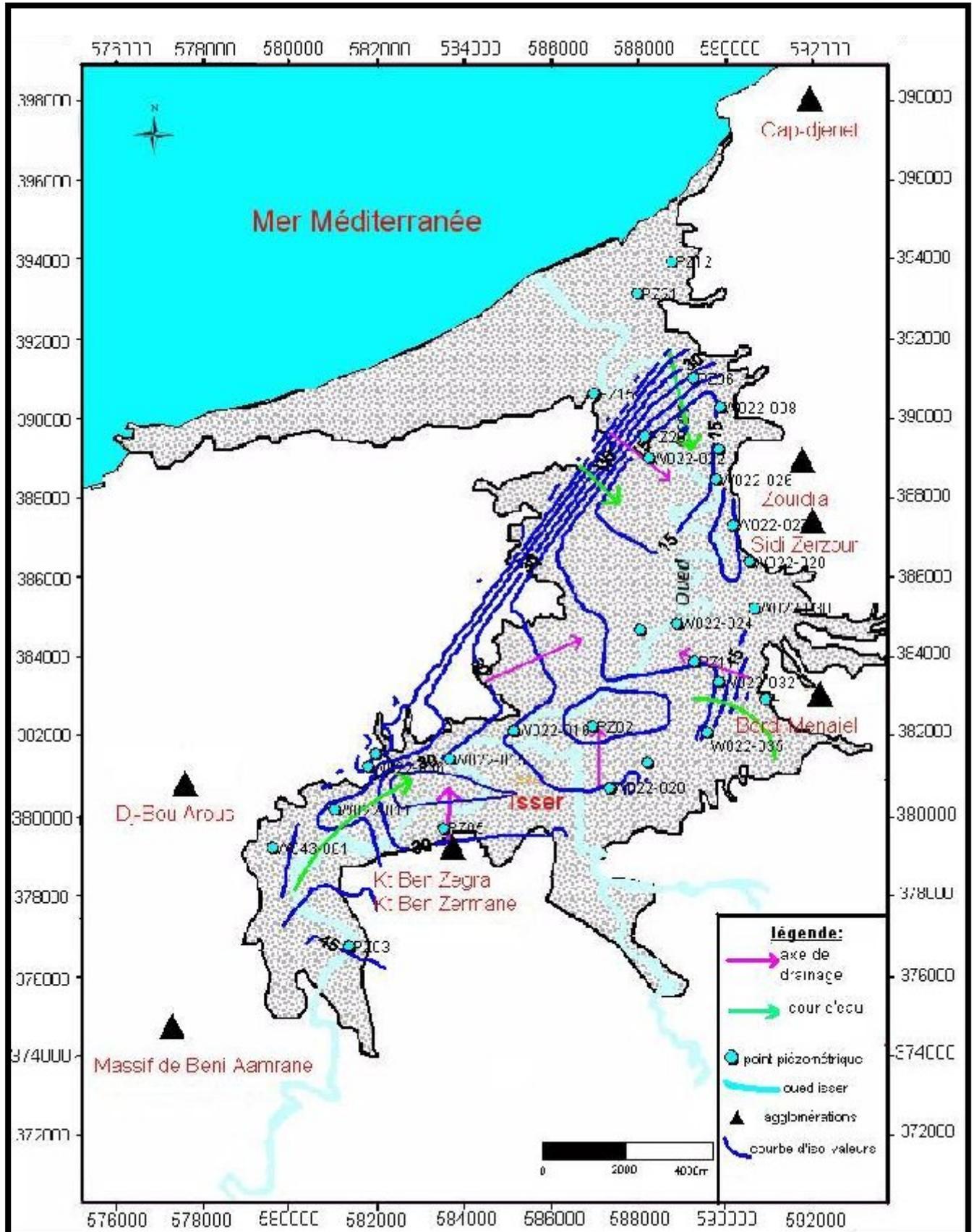
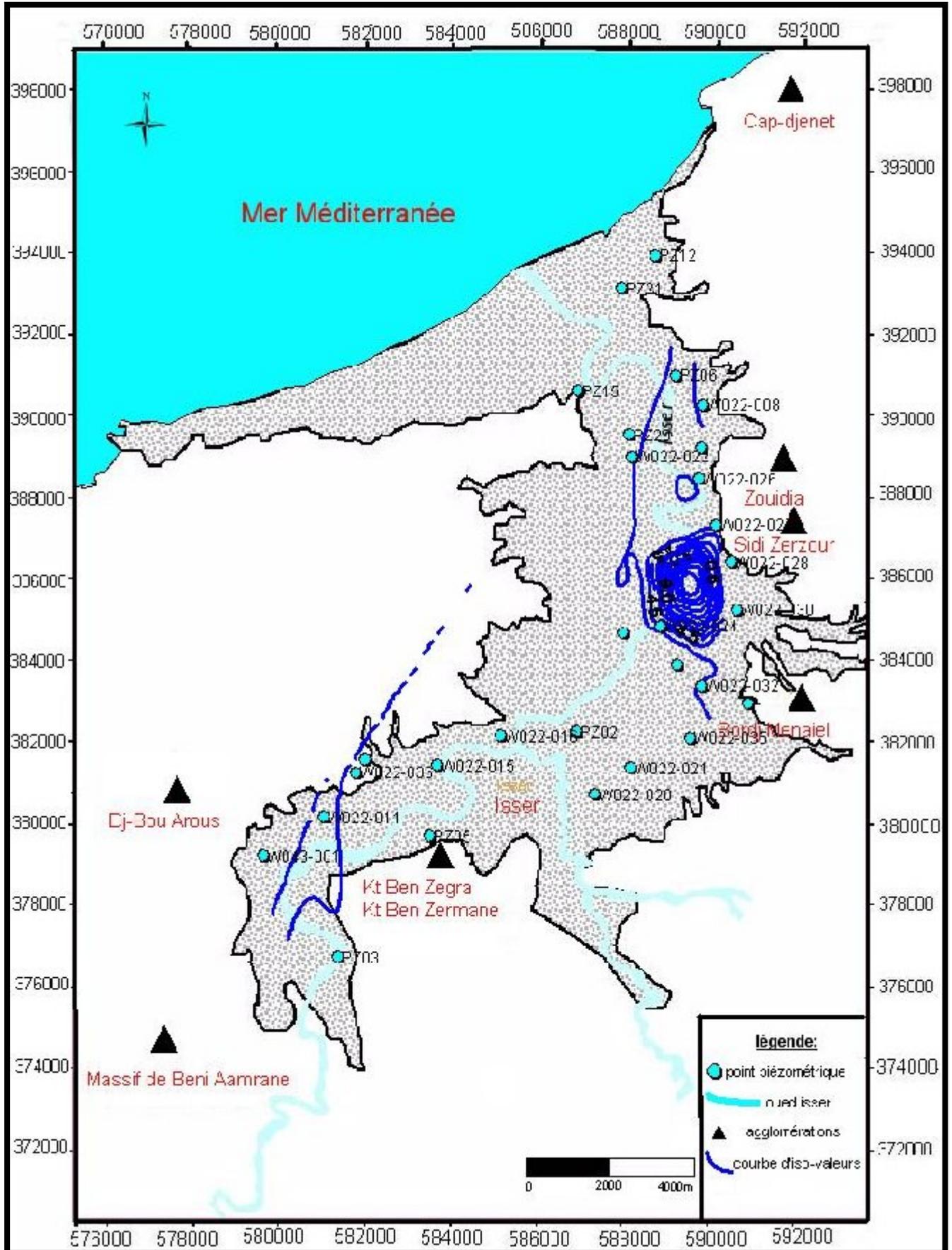


Figure.II.8 : Carte piézométrique de la nappe alluviale du Bas Isser  
(Campagne des basses eaux 2008)



**Figure II.9: Carte de fluctuation des niveaux piézométriques  
De la nappe alluviale du Bas Isser (période 2008)**

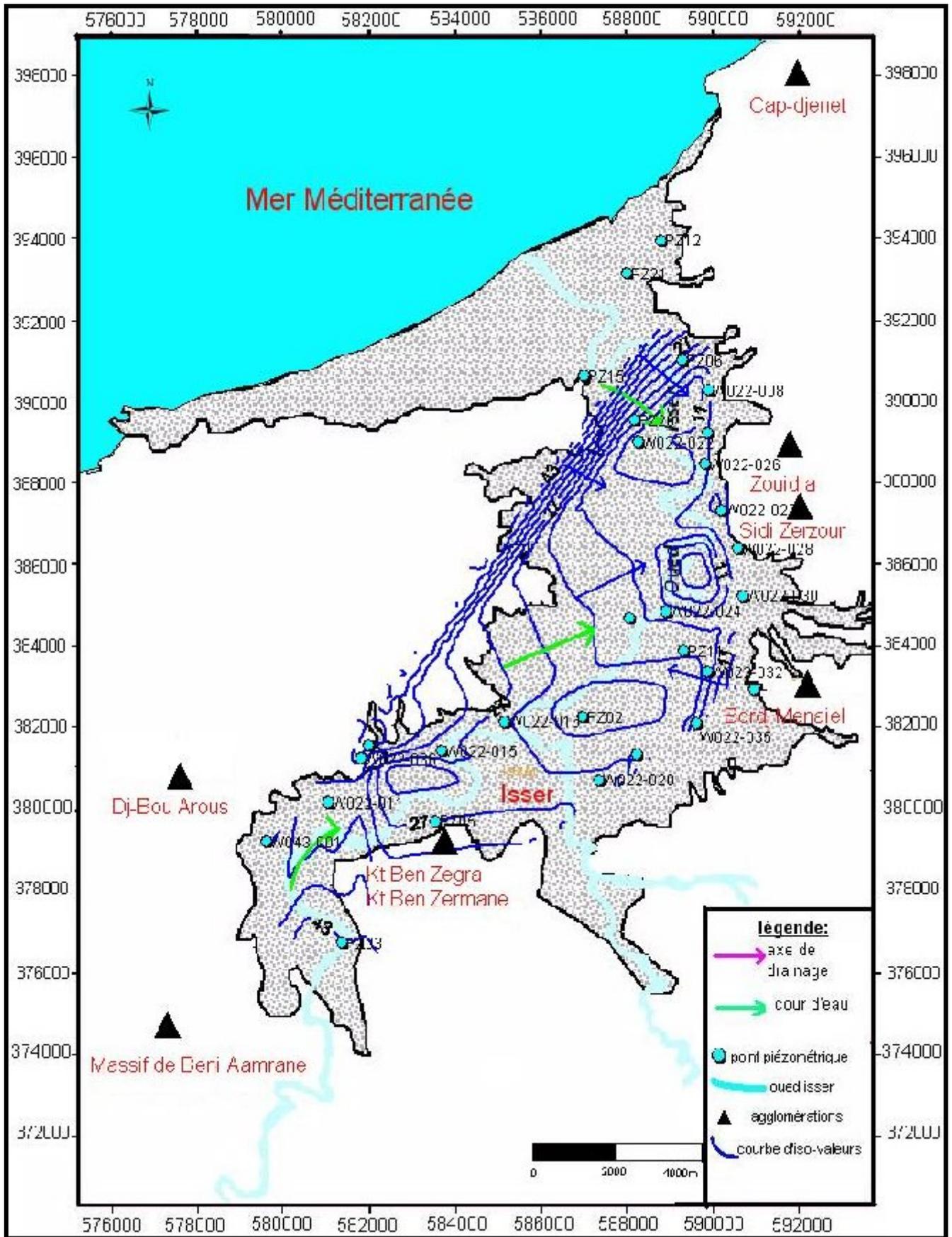


Figure.II.10.carte piézométrique de la nappe alluviale du Bas Isser  
(Campagne des hautes eaux 2008)

## ***II-5. Approche hydrogéochimique***

### ***II-5.1 Qualité des eaux souterraines***

Les eaux souterraines constituent les seules ressources en eau potable pour les agglomérations de la vallée du Bas Isser. En effet, la nature alluvionnaire de l'aquifère, l'absence d'un niveau argileux protecteur en amont de notre secteur (entre Si Mustapha et Souk-El-Had) et sur les bordures de la vallée et les relations hydrauliques entre l'Oued et la nappe, sont autant de paramètres pouvant accroître la vulnérabilité de la nappe à la pollution.

De ce fait, l'ANRH procède au prélèvement des échantillons d'eau au niveau des puits, forages et piézomètres durant les campagnes piézométriques semestrielles depuis 2001. Les analyses des échantillons prélevés se font au laboratoire de la DRC/ANRH qui concerne tous les paramètres physico-chimiques (conductivité, le pH, le résidu sec et la détermination des teneurs en ions majeurs).

Les eaux de la nappe du Bas Isser sont caractérisées par des duretés relativement élevées correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium. Plus de 60% sur 29 échantillons analysés en octobre 2008, présentent un caractère très dur.

### ***II-5.2 Classification chimique des eaux souterraines***

#### ***-Selon le diagramme semi-logarithmique de SHOELLER-BERKALOFF***

Les résultats des analyses chimiques ont été portés sur des diagrammes semi-logarithmiques de Shoeller-Berkaloff où chaque composition chimique sera représentée par une ligne figurative figure II.11 et II.12.

L'examen de la forme et la position de cette ligne permettent de définir le faciès chimique d'une eau et de comparer les eaux entre elles.

Les diagrammes de Shoeller-Berkaloff donnent une classification pratiquement identique à celle obtenue avec la classification de Stabler et permet de distinguer les différentes familles d'eau que l'on peut caractériser comme suit :

**Tableau.II.2 : pourcentage des faciès chimique selon Sholler-Berkaloff (2008).**

faciès chimique	octobre
<b>Chloruré Calcique</b>	20%
<b>Bicarbonaté Calcique</b>	60%
<b>Bicarbonaté Sodique</b>	8%
<b>Chloruré Magnésien</b>	4%
<b>Bicarbonaté Magnésien</b>	0%
<b>Chloruré Sodique</b>	0%
<b>Sulfaté calcique</b>	8%

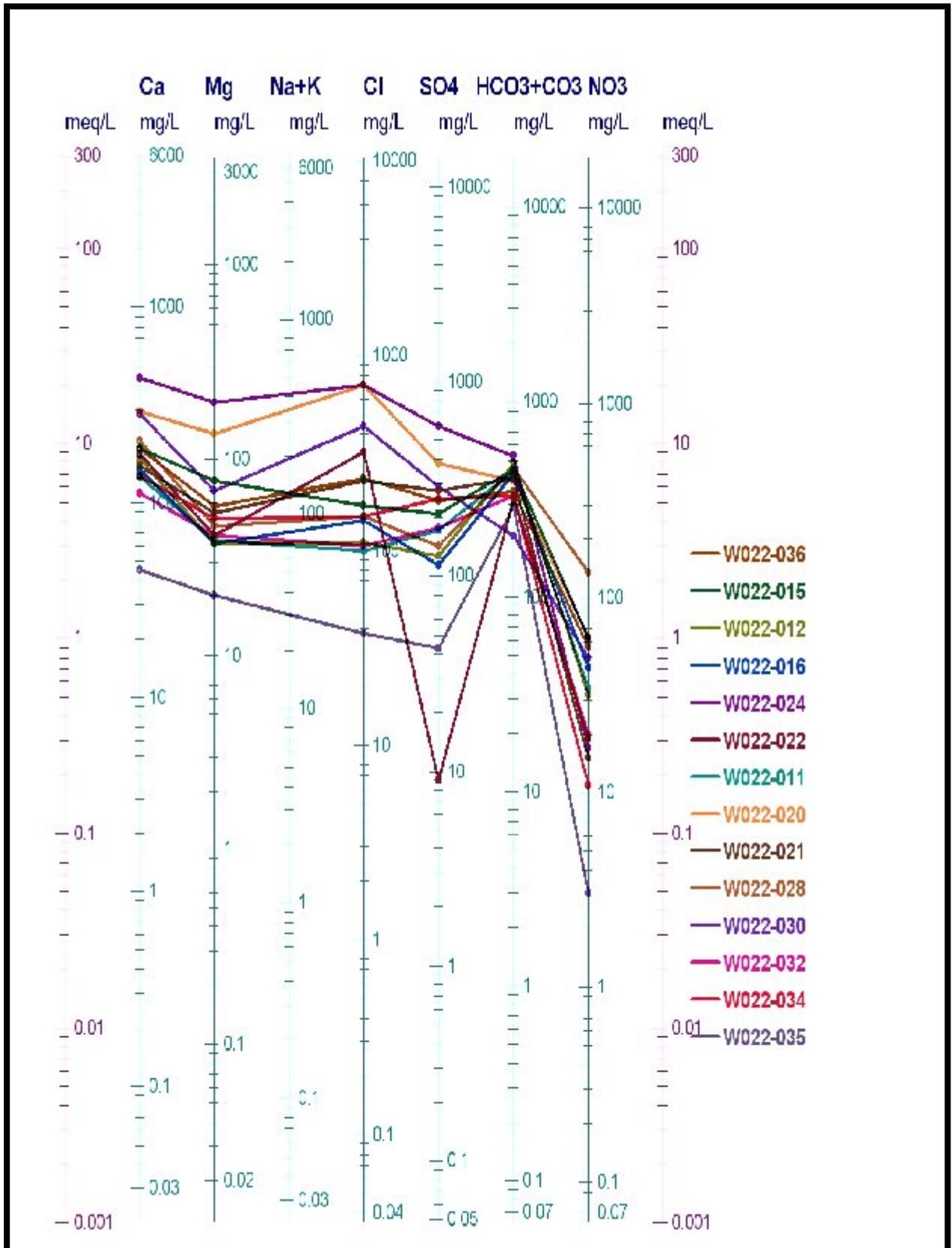


Figure II.11 : Diagramme de Schoelle-Berkaloff des eaux souterraines du Bas Isser (basses eaux, 2008)

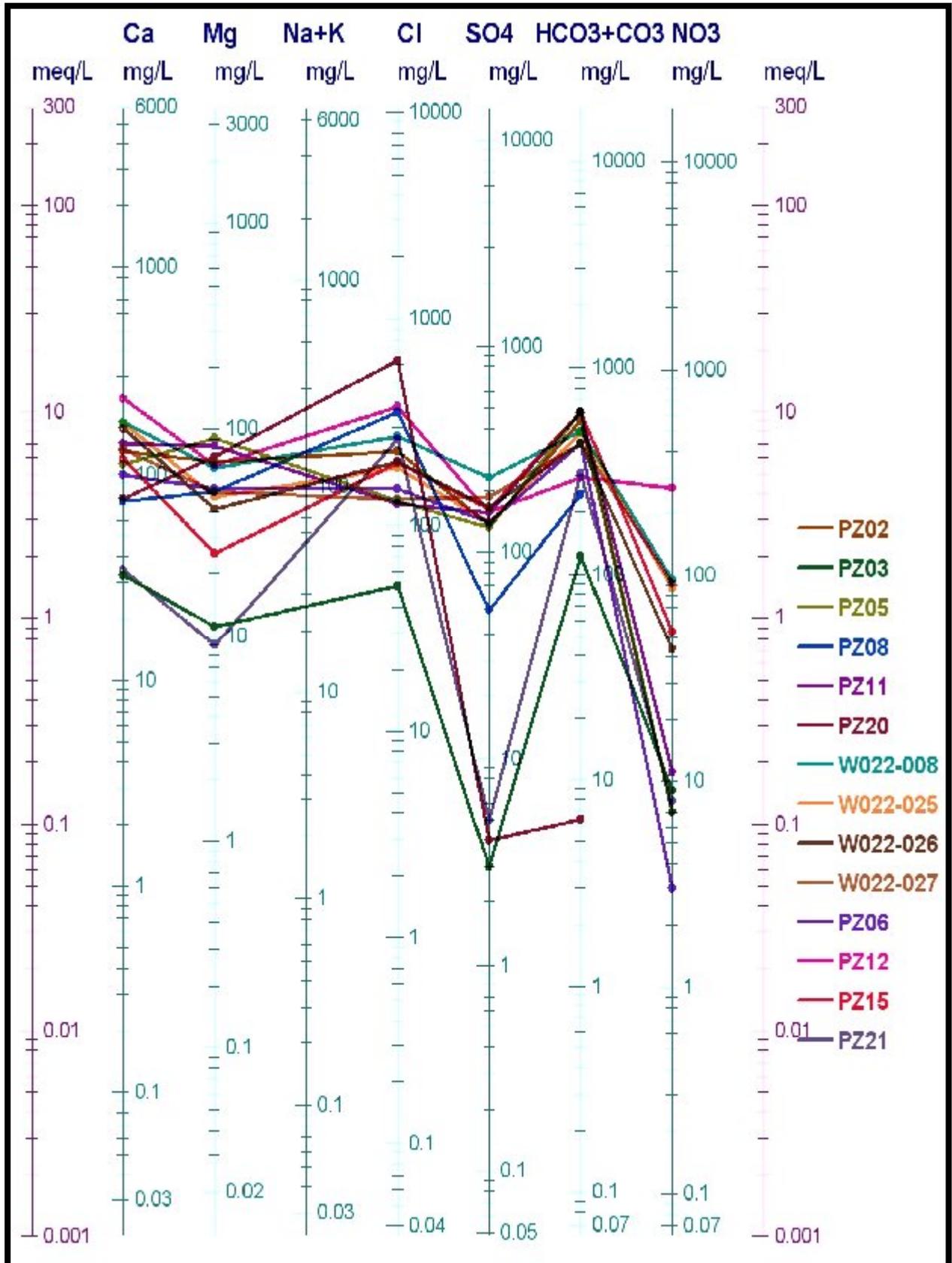


Figure II.12 : Diagramme de Schoelle-Berkaloff des eaux souterraines du Bas Isser (basses eaux, 2008)

**-Selon PIPER**

Le principe de ce diagramme consiste à reporter les pourcentages de chaque anion et cation sur un triangle qui donne la dominance d'un ion sur un autre, la projection des deux points (anion dominant et cation dominant) sur le losange permet la détermination du faciès chimique de chaque analyse figure II.13.

Ce diagramme permet d'avoir une approche globale de la composition chimique des eaux souterraines

Le report sur le diagramme triangulaire de Piper des résultats d'analyses chimiques effectués pour les six campagnes montre que les eaux de la plaine du Bas Isser sont :

**Tableau .II.3 : pourcentage des faciès chimiques selon le diagramme de Piper**

faciès chimique	octobre
<b>Chloruré, Sulfaté Calcique et Magnésien</b>	75%
<b>Bicarbonaté Calcique et magnésienne</b>	25%

D'après le diagramme losangique de Piper nous constatons que les eaux de la région du Bas Isser sont caractérisées par un faciès chloruré et sulfaté, calcique et magnésien.

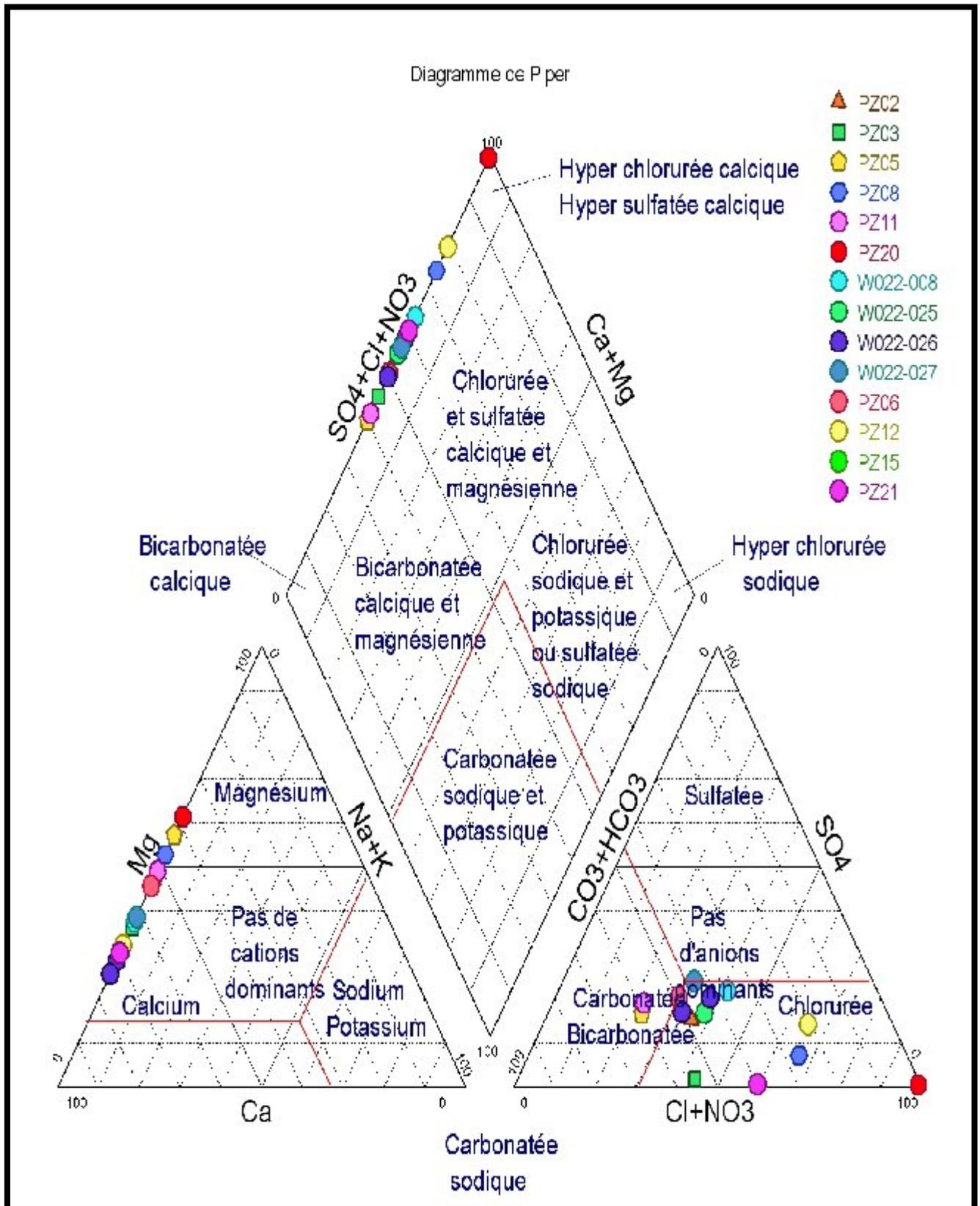


Figure II.13 : Représentation graphique des faciès chimiques selon le diagramme de Piper des eaux souterraines du Bas Isser (basses eaux 2008)

## **II-6. Etude statistique**

### **II-6.1 Analyse en composantes principales (ACP)**

#### **II-6.2 But de l'ACP**

L'analyse en composantes principales est avant tout une méthode descriptive. Elle permet de :

-résumer les informations contenues dans un fichier de données quantitatives: quelles sont les variables les plus corrélées entre elles, celles qui expliquent au mieux les différences entre les individus (observations), les individus au comportement similaire.

-Créer des nouvelles variables synthétisant les principales variables d'origine (appelé axes factoriels), obtenues par combinaison linéaires des variables initiales.

-Fournir une représentation graphique permettant une interprétation facile des résultats .elle positionne d'une part les variables entre elles de façon à mettre en évidence les variables jouant le plus dans la différence entre les individus (observations), et d'une part elle permet aussi de positionner les observations entre elles.

-L'objet principal de l'ACP est donc de résumer l'information rapportée par un nombre de variables quantitatives initiales (toutes plus au moins corrélées entre elles) en un nombre beaucoup plus restreint (non corrélés entre elles) de variables appelées composantes principales.

#### **II-6.3 Principe de l'ACP**

Tout ensemble de résultats analytiques peut se mettre sous la forme d'un tableau comprenant autant de lignes que d'échantillons analysés (individus) et autant de colonnes que d'éléments dosés (variables).l'analyse en composantes principales permet de visualiser de tels tableaux par le truchement d'un changement de systèmes d'axes.Ces nouveaux axes dénommés composantes principales ou facteurs, sont des combinaisons linéaires des variables initiales ;

Ils sont hiérarchisés : on veut réaliser des graphiques et l'on va choisir le premier axe de sorte qu'il nous apporte le maximum d'information, donc pour que les projections des individus sur cet axe soient les plus dispersés possible ; les composantes principales seront à vaincre maximum.

Ils sont non corrélés linéairement entre eux, autrement dit, l'information apportée par un axe quelconque est indépendante de celle amenée par les autres. Cela justifiera des Représentations planes dans les systèmes d'axes perpendiculaires formés par les composantes principales.

### **II-6.4 Analyse en composantes principales des eaux souterraines**

#### **II-6.4 .1-les données**

Elles caractérisent le chimisme du complexe alluvial de la Mitidja Est dans un secteur compris entre le l'oued El Harrach à l'ouest et oued Réghaia, il y en a aussi une partie de la Baie d'Alger.

Chacun des échantillons prélevés lors des campagnes de 2008 (22 échantillons) sont caractérisés par les teneurs en mg/l de 8 ions majeurs :  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $So4^-$ ,  $Co3^-$ ,  $No3^-$  ainsi que par sa conductivité électrique CE (m.s/cm) et son résidu sec RS (mg/l).En plus des données précédentes on a ajouté les variables suivantes (tableau II.4) : AT ou somme des alcalino-terreux, CS ou ions non carbonatés, AC somme des alcalins.

**Tableau II.4 : abrégations des variables utilisées**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Eléments	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	So <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Co <sub>3</sub> <sup>-</sup>	No <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>+++</sup> Mg <sup>++</sup>	Na <sup>++</sup> K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> +So <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Condu elec	Resi sec
Notation	CA	MG	NA	K	CL	SO	CO	NO	AT	AC	CS	CE	RS

**II-6.4 .2- Application****Choix de la métrique, statistiques élémentaires.**

pour effectuer une ACP, il faut choisir la métrique définie sur l'espace des individus. Deux options sont alors possibles :

-la métrique canonique pour laquelle les relations entre les variables est mesurée par les covariances (ACP canonique).

-la métrique normée pour laquelle les relations entre les variables sont mesurées par le coefficient de corrélation. On sait que l'usage de cette métrique est équivalent à la réduction des variables (division par l'écart type). Notre choix a porté sur la métrique normée. Cette option a pour conséquence de rendre les distances entre individus invariantes par transformation linéaire séparée de chaque variable et de s'affranchir des unités de mesure, ce qui est particulièrement intéressant lorsque les variables sont hétérogènes.

L'hétérogénéité est mise en évidence par la comparaison des variances de ces variables.

**Tableau II.5 : ACP des données centrées réduites. Statistiques descriptives.**

Statistiques Descriptives					
	N Actifs	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type
CA	29	158.138	32.000	438.000	83.600
MG	29	59.828	9.000	197.000	37.546
NA	29	123.414	17.000	240.000	53.780
K	29	2.138	0.000	4.000	0.953
CL	29	248.397	38.000	710.000	177.198
SO	29	176.345	3.000	590.000	129.593
CO	29	3.155	0.000	32.700	8.567
NO	29	45.893	0.000	265.000	54.943
AT	29	217.966	43.000	635.000	115.682
AC	29	125.552	19.000	242.000	54.070
CS	29	424.741	54.000	1300.000	263.697
CE	29	1.805	0.310	4.430	0.807
RS	29	1193.828	205.000	2924.000	535.197
PH	29	7.474	5.300	8.520	0.686

La covariance est un paramètre qui dépend des unités choisies pour mesurer les variables et l'utilisation de la métrique canonique aurait eue pour conséquence de négliger presque totalement les variables de faible variance.

**Analyse de la matrice de corrélation**

Un examen rapide de la matrice de corrélation (tableau II-6), permet de constater que, pour la période considérées (2008), les coefficients atteignent des valeurs élevées (0,8 à 0,99). Le plus petit coefficient est égal à 0,005 qui correspond aux couples NO<sub>3</sub>-CE et CL-CO.

On sait que lorsque la matrice est composée de termes positifs ou nuls, les composantes du premier vecteur propres sont toutes de même signe. (Théorème de Frobenius). On retrouve d'ailleurs cette propriété sur les coordonnées des variables sur la première composante principale.

**Tableau II.6 : matrice de corrélation**

<b>Corrélations. Observation à VM ignorée N=29</b>														
	CA	MG	NA	K	CL	SO	CO	NO	AT	AC	CS	CE	RS	PH
CA	1	0.794	0.094	0.099	0.619	0.832	0.203	0.372	0.980	0.095	0.825	0.884	0.887	0.198
MG	0.794	1	0.022	0.173	0.720	0.793	0.163	0.071	0.898	0.024	0.873	0.886	0.884	0.006
NA	0.094	0.022	1	0.296	0.276	0.050	0.225	0.255	0.075	1.000	0.210	0.252	0.240	0.129
K	0.099	0.173	0.296	1	0.084	0.013	0.295	0.246	0.128	0.312	0.050	0.085	0.111	0.294
CL	0.619	0.720	0.276	0.084	1	0.465	0.205	0.092	0.681	0.273	0.900	0.774	0.772	0.125
SO	0.832	0.793	0.050	0.013	0.465	1	0.209	0.182	0.859	0.050	0.804	0.851	0.849	0.288
CO	0.203	0.163	0.225	0.295	0.205	0.209	1	0.084	0.199	0.229	0.240	0.247	0.243	0.568
NO	0.372	0.071	0.255	0.246	0.092	0.182	0.084	1	0.292	0.258	0.151	0.330	0.336	0.128
AT	0.980	0.898	0.075	0.128	0.681	0.859	0.199	0.292	1	0.077	0.880	0.926	0.928	0.142
AC	0.095	0.024	1.000	0.312	0.273	0.050	0.229	0.258	0.077	1	0.208	0.249	0.237	0.133
CS	0.825	0.873	0.210	0.050	0.900	0.804	0.240	0.151	0.880	0.208	1	0.938	0.936	0.058
CE	0.884	0.886	0.252	0.085	0.774	0.851	0.247	0.330	0.926	0.249	0.938	1	0.998	0.102
RS	0.887	0.884	0.240	0.111	0.772	0.849	0.243	0.336	0.928	0.237	0.936	0.998	1	0.090
PH	0.198	0.006	0.129	0.294	0.125	0.288	0.568	0.128	0.142	0.133	0.058	0.102	0.090	1

Cette matrice nous permet d'apercevoir les éléments corrélables entre eux suivant la valeur du coefficient de corrélation. La bonne corrélation se définit par le coefficient de corrélation ( $r > 0,6$ ), ce qui nous permet d'extraire les couples suivants : NA-CL, CA-CL, K-CL, CA-RS, CA-AT, CA-CS, NA-AC, MG-PH, CL-RS, CL-AT, CL-AC, CL-CS, SO-CS, RS-CS, AC-CS et AT-CS.

Les éléments corrélés présentent la même origine. Par exemple les couples (Na, Cl), (Ca, Cl), et sont inclus dans les faciès chimiques existants dans la région (Chloruré Calcique), (chloruré sodique). L'origine de ces derniers provient des roches (évaporitiques et carbonaté).

On remarque aussi que les nitrates qui ne présentent aucune corrélation avec les autres éléments, sont la conséquence de la contamination anthropique des eaux souterraines. Cependant,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{NO}_3$ , CE et PH paraissent faiblement liés aux autres variables.

### **Diagonalisation**

Pour mesurer la qualité de la représentation graphique des variables par un plan, on utilise un indice qui mesure la reconstruction de la variance totale (somme des variances des variables). Plus cet indice est proche de l'unité, meilleure est la reconstruction de la variance totale et par conséquent la représentation des variables. (Tableau II.7)

**Tableau II.7 : Variances sur les axes principaux et contribution à la variance totale**

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
Valeur propre	7.092	2.564	1.586	1.040	0.666	0.555	0.272	0.126	0.076	0.021	0.001
Variabilité (%)	50.655	18.314	11.332	7.428	4.760	3.966	1.946	0.899	0.545	0.147	0.009
% cumulé	50.655	68.969	80.301	87.729	92.489	96.455	98.401	99.300	99.845	99.991	100

### **Analyse des valeurs propres**

Cette dernière montre l'inertie des individus sur l'axe lié à cette valeur propre. Chaque axe contient une somme des valeurs qui représente l'information initiale. Le contenu de chaque axe donne le nombre d'axes à retenir.

En effet, les deux premiers axes illustrent plus de 50.65 % de l'information (68.97%). Ce qui traduit une représentation acceptable des variables et des individus dans le premier plan factoriel. Donc, on doit retenir deux axes principaux.

### **-Interprétation des axes**

L'interprétation des résultats est menée à plusieurs niveaux:

En premier lieu: analyse du pourcentage de la variance totale explicitée par chaque composante principale, afin de dégager les axes les plus importants.

Combien d'axe à retenir: en générale, on ne retient que les axes tel que le cumul de l'information restituée est satisfaisant .nous pouvons arrêter de sélectionner un axe quand l'information apporté par un axe supplémentaire est très peu importante.

En deuxième lieu: sur une représentation graphique d'où l'interprétation se fait dans l'espace des variables et des observations.

Dans notre analyse, les deux facteurs (axes) présentent plus de 68.97%% de l'inertie totale:

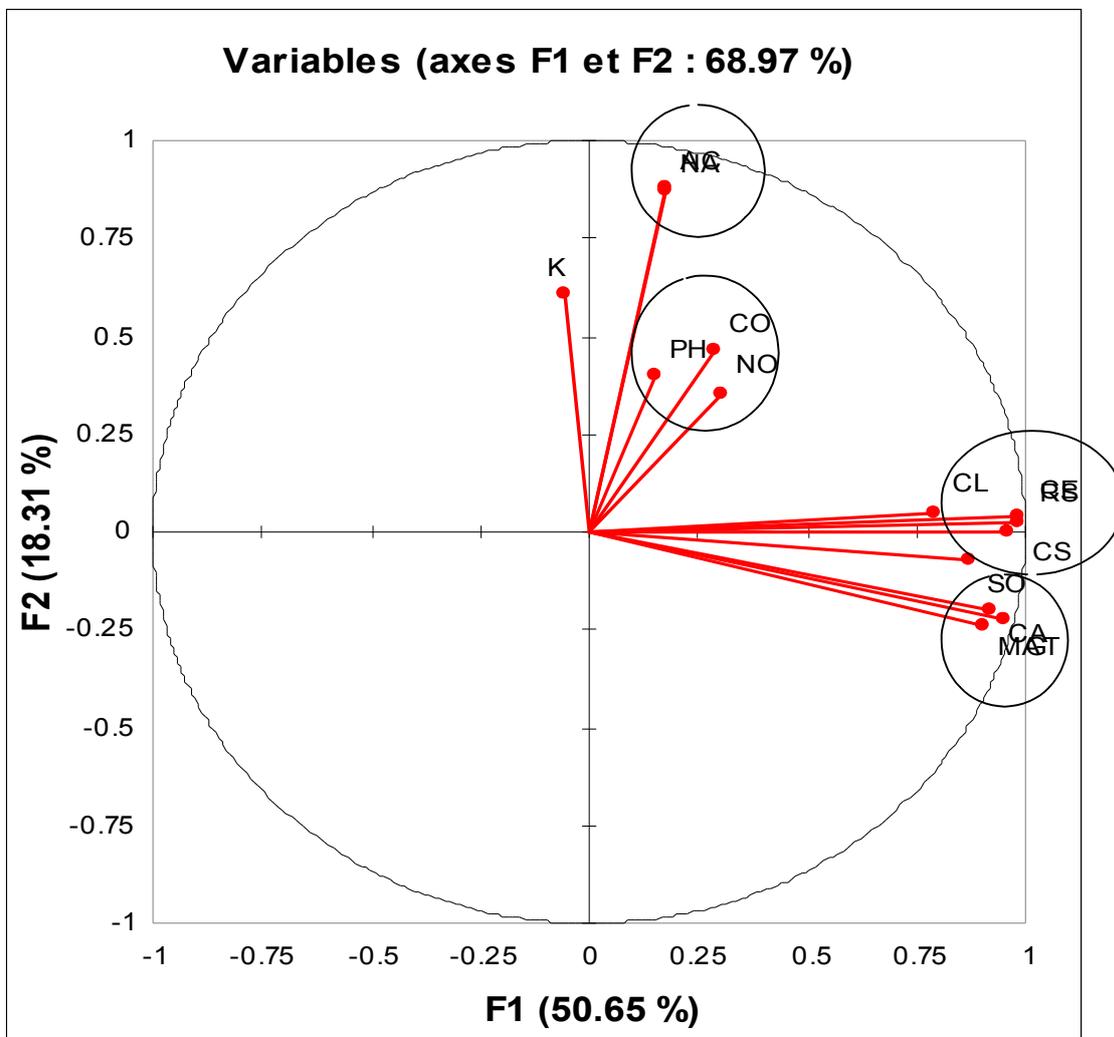
- Sur le premier plan, les éléments sont corrélés négativement au premier facteur avec près de 50.65 % de l'inertie totale.

- Le deuxième axe contient 18,31 % de l'information initiale. Ce dernier met en opposition le (RS, AT, CE, HCO<sub>3</sub>, CS, Ca, S04 et NO<sub>3</sub>) aux autres variables (Cl, Mg, CL, AC, K, et NA).

#### -Analyse du cercle de corrélation

C'est l'interprétation des graphiques des variables **Figure II-14**, elle donne les caractéristiques statistiques en fonction des positions de leurs points représentatifs, dans l'hypothèse où les variables sont bien représentées. Dans le cas de variables réduites, les composantes principales étant non corrélées et de la variance 1, la variance de la somme est égale à la somme des variances. Cela signifie que le point représentatif d'une variable quelconque se trouve loin du centre et proche d'un axe d'une sphère de rayon 1. On peut alors évaluer directement la qualité de la représentation de chaque variable en traçant un cercle de corrélation de rayon

Les individus sont représentés dans la figure suivante :



**Figure II.14: Description des variables sur les cercles de corrélations**

### -Représentation des individus sur le cercle de corrélation

Chaque échantillon est repéré par un numéro d'identification des puits. La qualité de la représentation d'un individu par un axe est évaluée par le cosinus carré de l'angle qu'il forme avec cet axe. La projection des nuages des échantillons sur le plan formé par les deux premiers axes factoriels.

L'analyse des individus nous permet de mettre en place (04) groupes Figure II.15, à savoir :

**Groupe A** : caractérise les eaux des points (Fg7) avec une forte teneur en  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ . Ce groupe explique une pollution bien illustrée par les puissantes valeurs en Nitrates et sulfates

**Groupe B** : traduit un faciès bicarbonaté calcique. Les points d'eau (Fg4 et P1)

**Groupe C** : il présente les points (P6, P7 et P4) avec de fortes teneurs en (Cl, Mg et K), et traduit le faciès Chloruré Potassique

**Groupe D** : il présente le puit 8 avec de fortes teneurs en (Cl,  $\text{SO}_4$ , Ca, RS et Mg), et traduit le faciès chloruré sulfaté, chloruré calcique et sulfaté magnésien

**Groupe E** : traduit en place les autres points d'eau qui présentent une approche au niveau des deux axes principaux et un peu proche du cercle. En effet, ces individus illustrent des valeurs moyennes peu représentatives. Ce dernier groupe représente les bicarbonates et le Magnésium ayant une répartition sur toute la plaine.

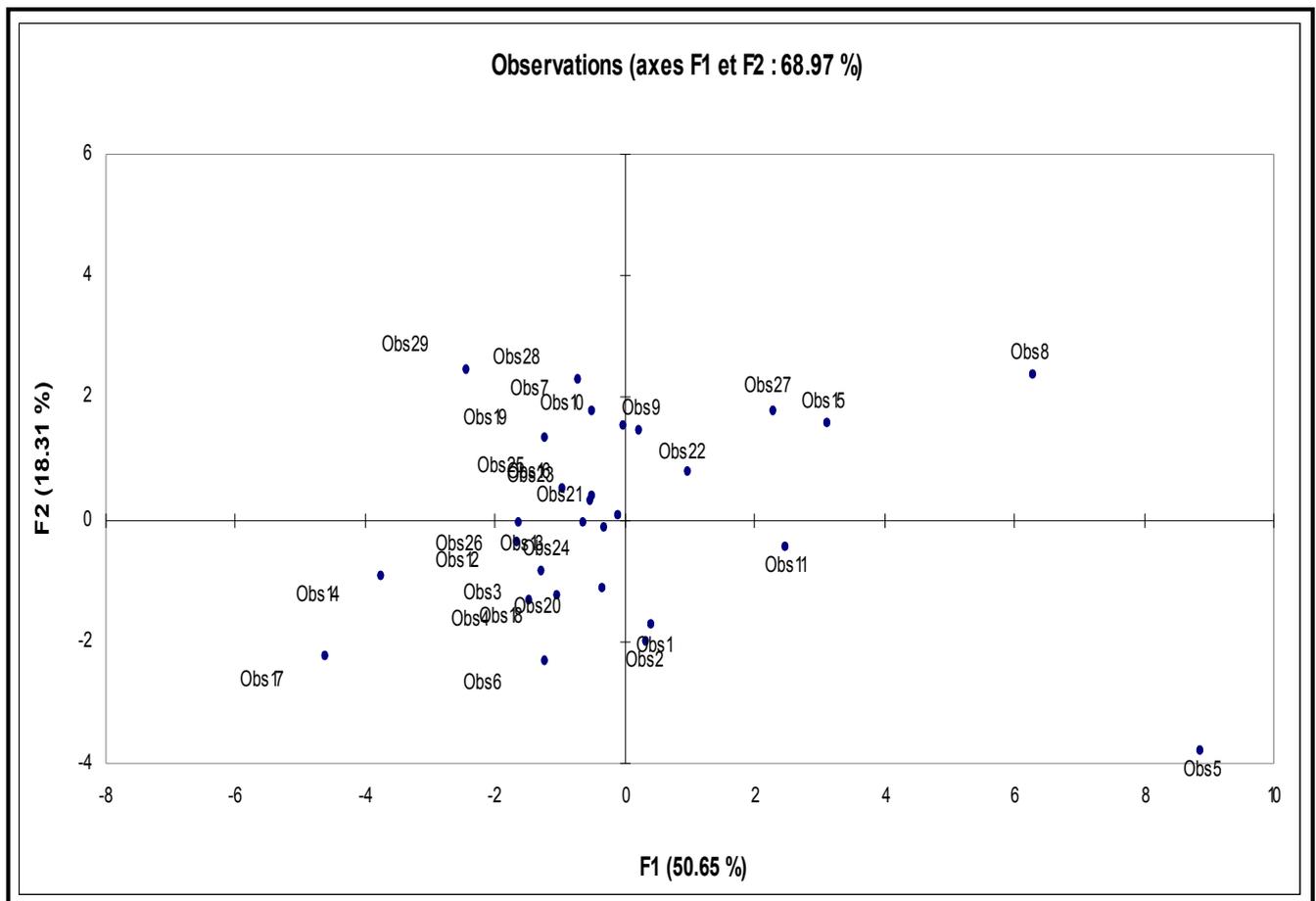


Figure II-15 : description des individus sur le plan principal

**NB** : l'analyse statistique de ces données physico-chimiques a été faite par le logiciel XLSTAT2009, qui est un logiciel de traitement des données statistiques et, chimiques.

Nous avons pu grâce à l'ACP, classer ces eaux de manière à pouvoir observer l'évolution de la qualité de celles-ci en fonction de l'année et de la période (hautes ou basses eaux).

### **Conclusion**

La plaine alluviale du Bas Isser est caractérisée par un réseau hydrographique très dense en amont et s'étend de Beni Amrane jusqu'à l'embouchure. Il s'agit d'une plaine à remplissage Plio-quadernaire qui s'étale sur un substratum marneux Plaisancien.

Notre région se caractérise par un climat méditerranéen avec deux saisons d'égale durée, une saison humide allant de novembre en avril, caractérisée par des précipitations irrégulières et une saison sèche qui s'étale de mai en octobre. La température moyenne annuelle est de 17.69 C°.

L'étude géologique a mis en évidence une structure complexe, constituée par un empilement de nappes imbriquées, mises en place lors de l'orogénèse alpine et s'insérant chacune dans un domaine structural propre.

Ces structures sont marquées par l'existence des formations métamorphiques d'âge précambrien recoupées localement par des roches intrusives acides et basiques d'une part et des formations sédimentaires d'autre part.

La synthèse géologique des formations quaternaires basée sur des travaux anciens, a mis en évidence sept terrasses alluviales disposées en gradins étagés, partiellement emboîtées.

Ces dernières ont permis de distinguer deux horizons susceptibles d'être aquifères, représentés par des galets, graviers et sables peu ou pas argileux, dont l'épaisseur est maximale dans l'axe de la vallée et diminue vers les bordures. Ces deux niveaux sont séparés par une masse d'argile parfois épaisse (20 mètres), qui disparaît par endroit et permettant alors une relation hydraulique très étroite entre les deux horizons aquifères.

D'autre part, l'étude piézométrique a permis d'individualiser deux types d'écoulement, liés à la configuration morphologique du substratum. On a d'une part, un écoulement vers la mer et d'autre part, un écoulement des bordures situées sur les deux rives de la vallée vers l'axe de drainage qui coïncide avec un ancien sillon.

Les eaux souterraines de la nappe sont caractérisées par une prédominance de faciès chimique bicarbonaté calcique. Le résidu sec n'est pas assez important, ce qui traduit que les eaux ne sont pas trop chargées mis à part le puits P30 qui est trop minéralisé durant plusieurs campagnes. Les eaux de la nappe du Bas Isser sont caractérisées par une dureté relativement élevée. La source Ain Serrira située sur la rive gauche de l'oued Isser répond parfaitement aux normes de potabilité. L'alimentation de la source se fait à partir des terrasses supérieures (troisièmes et quatrièmes terrasse).

### **- Introduction**

Plusieurs études géophysiques ont été réalisées dans la vallée du Bas Isser par la C.G.G (1964, 1966, 1972), ALGEO (1978, 1979) et récemment BURGAP. Le présent chapitre constitue une synthèse des travaux récents effectués par BURGAP en 2005, il permettra l'identification des principaux niveaux aquifères et de préciser en particulier le dimensionnement de l'aquifère principal.

Pour ce faire nous nous baserons sur les résultats de l'étude géophysique réalisée par BURGAP 2005 et brièvement ceux de la C.G.G 1966/1972.

### **III-1- Synthèse de l'Etude Géophysique C.G.G 1966 et 1972**

#### **- Campagne Générale de Géophysique (CGG 1966)**

La prospection électrique a duré de Septembre jusqu'à Octobre et comporte 298 sondages électriques effectués perpendiculairement à l'allongement de la vallée du Bas Isser avec AB=60 m

#### **- Campagne Générale de Géophysique (CGG 1972)**

La prospection électrique a duré d'Octobre à Novembre avec 173 sondages électriques réalisés perpendiculairement à la direction des terrasses littorales et alluviales supérieures avec AB=300 m.

Les sondages électriques effectués dans la vallée du Bas Isser mettent en évidence quatre terrains :

**Tableau.III-1: Récapitulation des terrains résistants et conducteurs (CGG ,1972)**

Terrains	Résistivité (Ohm.m)
Graviers et sables superficiels aquifères	>100
Argiles sableuses	6 – 20
Galets, graviers et sables aquifères	20-75 et même >100 à l'aval
Substratum marneux	4 - 10

- en surface, un niveau de résistivité allant de 30 à 200 ohm.m, donc résistant et représenté par des galets sableux légèrement limoneux constituant l'aquifère superficiel d'épaisseur 10 à 20 m.
- un horizon médian conducteur constitué par des argiles et des limons sableux. La résistivité varie entre 10 et 20 ohm.m et l'épaisseur varie entre 15 et 20m.

- un niveau résistant, représenté par de gros galets, des graviers et des sables grossiers. La résistivité est supérieure à 100 ohm.m. Ce niveau constitue l'aquifère profond dont l'épaisseur varie entre 30 et 70 m.
- enfin, un niveau conducteur, constitué par les marnes bleues Plaisancier dont la résistivité est inférieure à 10 ohm.m. ce niveau constitue le substratum du réservoir aquifère.

Ainsi la prospection géo électrique a fait ressortir les zones de dépôt grossier susceptibles de drainer la nappe de l'Oued Isser. Ces zones représentent un axe de drainage plus ou moins continue tout au long de la vallée.

De plus, la carte des résistances transversales a mis en évidence des zones où les alluvions grossières sont les plus épaisses et les plus perméables.

Les grandes épaisseurs des alluvions profondes trouvées à l'Est des Issers, au débouché d'Oued Djemaa, au Nord de Bordj Ménaïel et à l'embouchure.

Les coupes géo électriques font ressortir les variations brusques des cotes du substratum marneux d'Est en Ouest. Il s'agit probablement d'un ancien cours d'eau de l'Oued Isser, autrement dit d'un paléo-Oued où se sont déposés des alluvions épaisses et grossières lors du quaternaire. Il est probable que tous les surcreusements du substratum correspondent à d'anciens chenaux notamment au débouché de Oued Djemaa.

En ce qui concerne la dynamique du paléo-Oued il est vraisemblable qu'il ait subi un déplacement majeur vers l'Est à la suite du rejeu d'un grand accident dans la région de Si Mustapha.

Actuellement, chaque méandre évolue tantôt à l'Est, tantôt à l'Ouest, avec formation de bras mort telle que celui de Legata. Du point de vue hydrogéologique, les zones les plus favorables à l'exploitation correspondent aux secteurs de surcreusement du substratum ainsi qu'à la septième terrasse alluviale, donc ils constituent l'aquifère principal de la vallée du Bas Isser.

### ***III-2. Etude Géophysique Récente De La Zone Côtière : (BURGAP 2005)***

#### ***III-2.1 Dispositif de mesures***

Le dispositif mis en place pour les besoins de l'étude occupe partiellement la bonde côtière représentée au Nord par les terrasses marines et s'étend au sud le long de l'Oued Isser jusqu'à une distance de 7 km à l'intérieur du continent figure III.1.

Le réseau de mesure est composé d'une vingtaine de sondages électriques (SEV 1 à 20) réalisés selon le dispositif « Schlumberger » avec une longueur d'émission de 600 m, ainsi que 20 mesures de traîné électrique disposées le long de trois profils (A, B, et C) avec une longueur d'émission de 400 m.

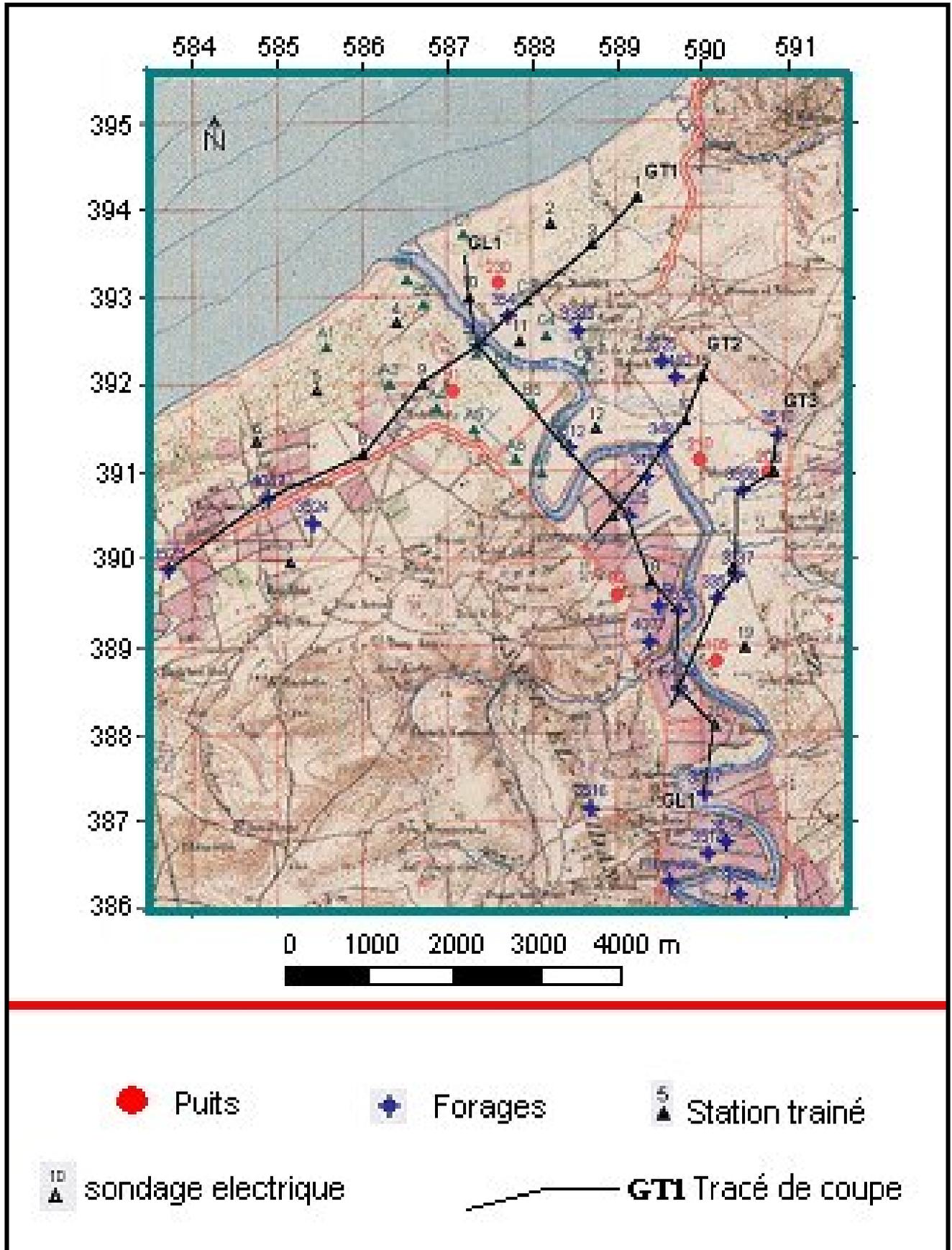


Figure.III-1 : Plan de position des sondages électriques  
Echelle = 1/50 000

### ***III-2.2 Etalonnage, Echelle Des Résistivités***

Pour une bonne corrélation entre les paramètres physiques et lithostratigraphique, il a été procédé à l'étalonnage des mesures géophysiques à proximité des forages ayant bénéficiés d'une description géologique détaillée ou à coté d'affleurements.

La figure III.2 reproduit à titre d'exemple quelques diagrammes électriques étalons. Le SEV S9 situé à 1.5 km de l'embouchure de l'Oued Isser, à la limite orientale de la septième terrasse, montre l'existence de pas moins de quatre terrains alternativement résistants et conducteurs :

- Sables secs à 1300 ohm.m, épais de 4.4 m,
- Argiles sableuses à 13 ohm.m, épaisses de 21 m,
- Graviers à 100 ohm.m, épais de 20 m,
- Substratum plaisancien marneux à 5 ohm.m, à une profondeur de 45 m du sol.

Les SEV S14 et S13 figure III.2 situés dans la partie centrale de la vallée, de part et d'autre de l'Oued Isser, montrent l'extrême hétérogénéité des formations qui coupent le niveau graveleux profond.

On notera à cet égard, les variations verticales de faciès affectant les argiles supérieures (en S14) ainsi que le passage latéral des argiles en rive gauche à des limons en rive droite.

Les logs des forages EAC5 et 3491 permettent de retenir les correspondances suivantes :

- Argiles : 4 à 8 ohm.m
- Argiles légèrement sableuses à 15 ohm.m
- Argiles sableuses à sables argileux à 40 ohm.m
- Limons à 11 ohm.m
- Graviers à 55 ohm.m
- Marnes bleues plais anciennes à 5ohm.m

Les SEV S12 et S18 situés également au niveau de la septième terrasse ont montré :

- L'existence d'un aquifère graveleux unique à 200 ohm.m (en S12)
- L'apparition d'un niveau supérieur sableux à 50 ohm.m en S18

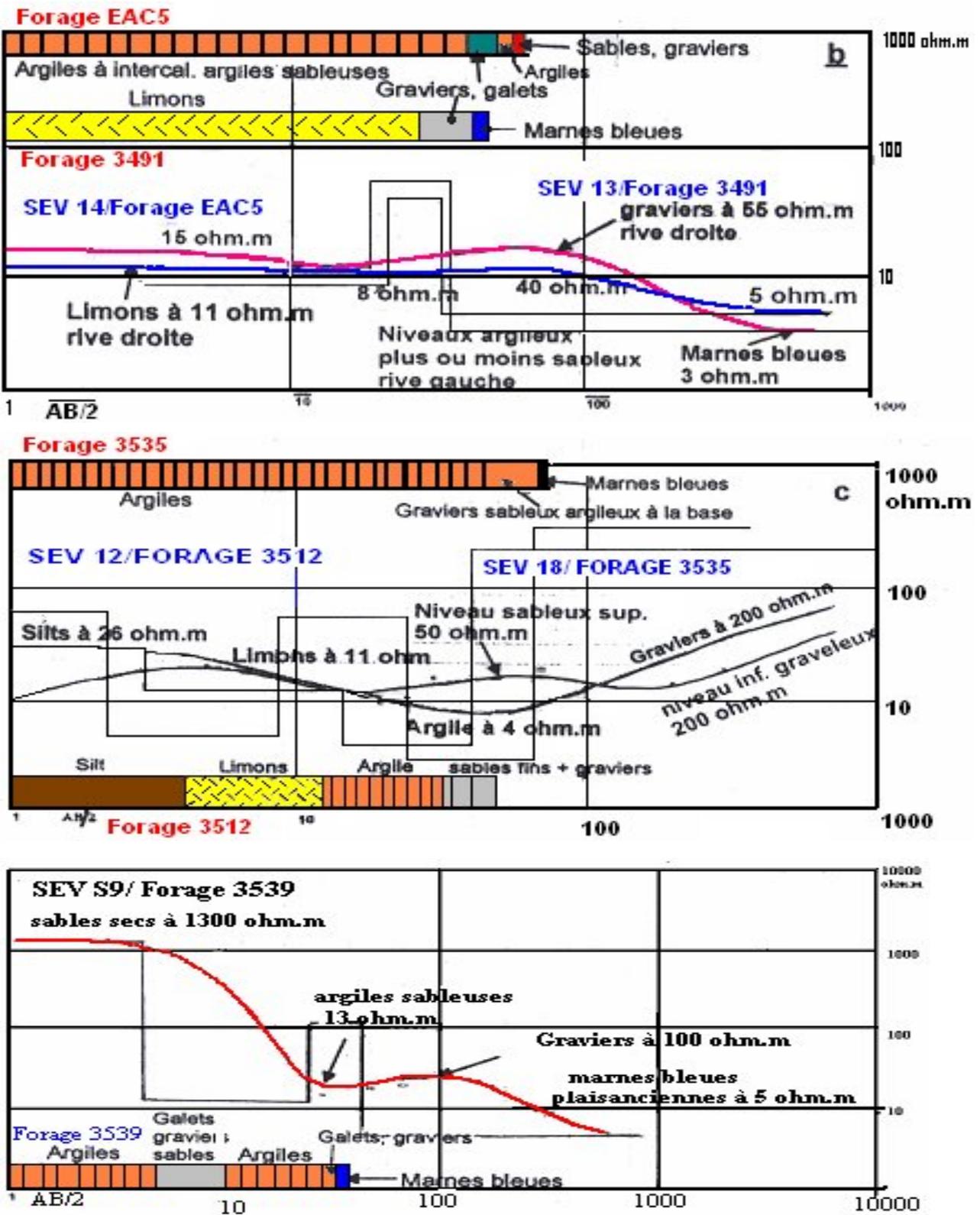


Figure.III-2: Exemples De Sondages Electriques Etalons (BURGAP ,2005)

A partir des résultats de l'étalonnage l'échelle des résistivités a été établie, donnée dans Le tableau III.2

**Tableau III.2 : Echelle des résistivités (BURGAP, 2005)**

<b>Formations</b>	<b>Résistivités (ohm.m)</b>
<b><i>Couches imperméables :</i></b>	
- Argiles	2 - 10
- Argiles peu sableuses	10 - 30
- Argiles sableuses à sables argileux	10 - 40
- Limons	10 - 20
- silts	20 - 30
<b><i>Aquifères :</i></b>	
- Sables secs	> 500
- Sables propres saturés, niveau supérieur	50
- Graviers et galets aquifères, niveau inférieur (selon la granulométrie et la salinité de l'eau)	50 - 200
<b><i>Substratum :</i></b>	
Marnes bleu plais anciennes	2 - 10

#### **IV-2.3 Principaux résultats obtenus :**

Les résultats sont déduits à partir de l'interprétation des cartes et des coupes géoélectriques :

##### **Carte de la résistivité apparente en AB = 100 m**

Une ligne d'émission de 100 m permet l'investigation de terrains superficiels (15 à 25 m de profondeur). La carte de la figure III.3 rendra donc en compte de la nature des terrains quaternaires superficiels. Elle indiquera, par ailleurs les secteurs où le substratum marneux est sub-affleurant.

La carte montre les particularités suivantes :

- une plage conductrice (< 15 ohm.m) occupe la basse vallée de l'Oued Isser sur une profondeur de 4 km, depuis son embouchure au Nord Ouest jusqu'à l'axe Haouch Allel- Ouled Ziane au Sud Est.

Les valeurs très faibles de la résistivité apparente pourraient être induites par la nature pelitique du recouvrement superficiel, ou encore la présence d'eau saline saturant un niveau poreux.

- Le redressement des valeurs de part et d'autre de la vallée marquerait la disparition de la couverture argileuse superficielle au niveau des hautes terrasses au profit d'un alluvionnement plus grossier.

##### **Carte de la résistivité apparente en AB = 200 m**

La profondeur d'investigation est plus grande, la carte de la figure III.4 montre l'existence d'une anomalie très conductrice située en rive droite de l'Oued Isser, englobant le SEV S12 et que nous serions tentés d'attribuer à l'intrusion marine puisque on est dans la zone des plages marines.

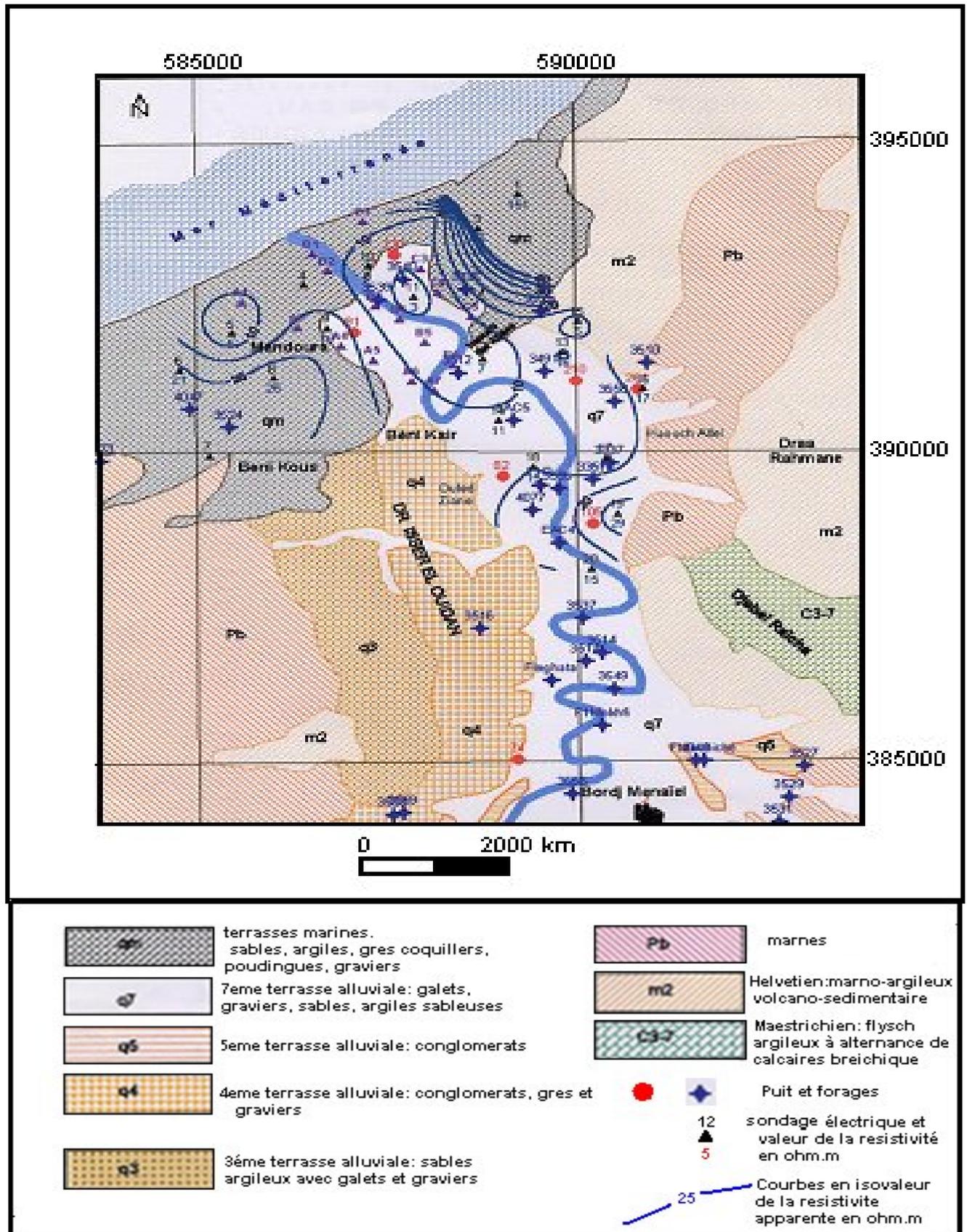


Figure.III -3: carte de la résistivité apparente en ligne ab = 100 m  
Echelle : 1/50 000(BURGAP ,2005)

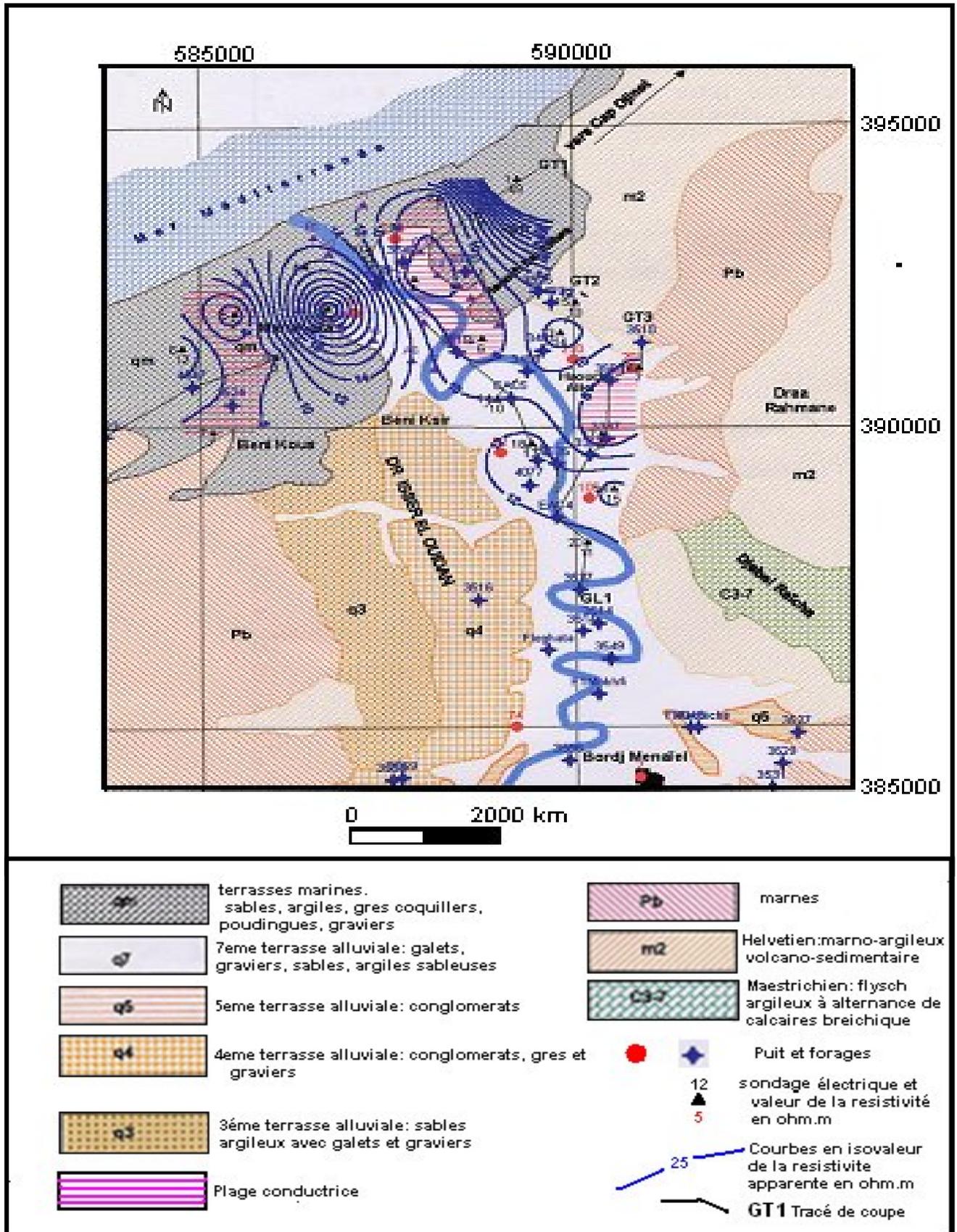


Figure.III-4 : Carte De La Résistivité Apparente En Ligne Ab = 200m  
 $e = 1/50\ 000$  (BURGAP ,2005)

Cette hypothèse est toutefois difficile à accepter puisque nous remarquons au contraire un accroissement des valeurs en direction de la mer. La nature lithologique des formations serait probablement donc à l'origine de cette anomalie.

La plage conductrice (< 8 ohm.m), visible au niveau de Haouch Allel serait due à l'existence d'un niveau argileux combinée à une remontée du substrat marneux conducteur.

L'anomalie résistante centrée au SEV S9 pourrait être due à un épaissement local du niveau graveleux profond.

#### ***Carte de la résistivité apparente en AB = 400 m et 600 m***

Les cartes des figures III.5 et III.6, révèlent l'influence simultanée du substrat marneux conducteur et de l'horizon graveleux résistant profond. Les cartes montres :

- Une diminution très nette des valeurs de résistivité suite à une remontée rapide du substrat conducteur de part et d'autre de la vallée de l'Oued Isser,
- La présence de nombreuses anomalies tour à tour résistantes et conductrices, conséquences de variations de faciès affectant l'horizon résistant profond et/ou de variation des profondeurs du substrat marneux.

Ainsi, l'anomalie résistante centrée sur le SEV S12, résulte bien de l'influence de l'horizon graveleux résistant figure III.2.

#### ***Carte en isobathes du substratum imperméable :***

Cette carte figure III.7, indique la variation spatiale de la cote du substratum marneux. Elle est d'une grande importance puisqu'elle indique les zones basses situées à une cote inférieure au niveau marin, et qui constituent des voies potentielles de pénétration des intrusions marines pour peu que les conditions hydrodynamiques le permettent. Aussi cette carte indique, des cotes inférieures au niveau de la mer, sur toute l'étendue de la septième terrasse.

Bien plus, l'embouchure de l'Oued Isser est déjà marquée par la présence d'une fosse dont le fond se situe à la cote (- 44 m). Cette première fosse est bien heureusement remplacée au Sud, par un haut - fond marneux (-26 m) qui peut joué le rôle d'un barrage vis-à-vis des intrusions salines. Sur tout le reste de la basse vallée, les ondulations du substrat marneux se poursuivent à des cotes inférieures au niveau de la mer.

#### ***Carte de la résistance transversale des formations quaternaires***

La carte, figure III.8, indique des valeurs élevées :

- Au niveau des terrasses marines (8400 ohm.m<sup>2</sup> en SEV S9 à Mandoura) dues à la nature grossière des alluvions supérieures,
- Sur la rive gauche de l'Oued Isser depuis l'embouchure au Nord jusqu'à Beni Ksir au Sud du fait de la présence d'un niveau graveleux profond assez épais.

En rive droite, les valeurs demeurent modérées.

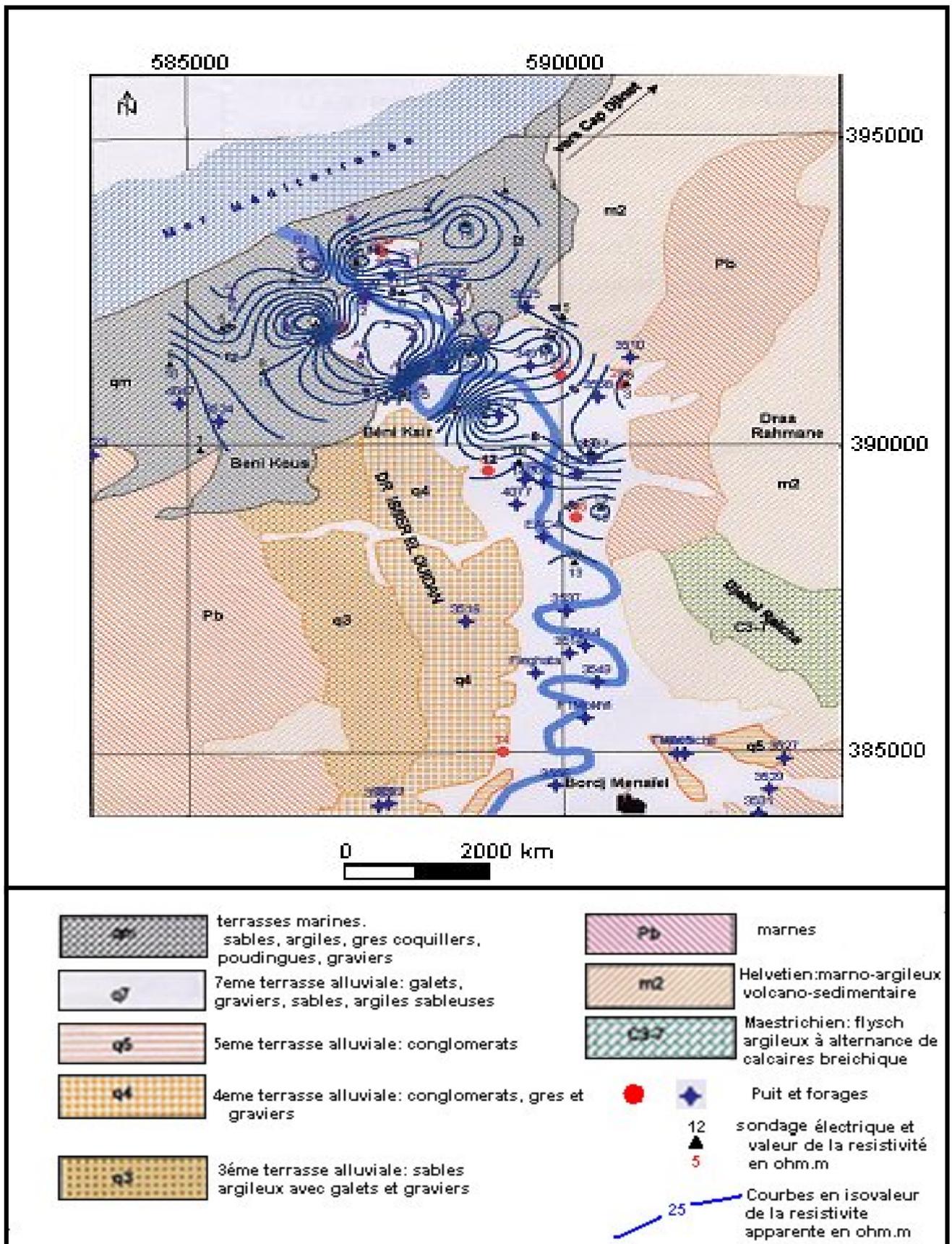


Figure.III-5 : Carte De La Résistivité Apparente En Ligne Ab = 400 M  
e = 1/50 000 (BURGAP, 2005)

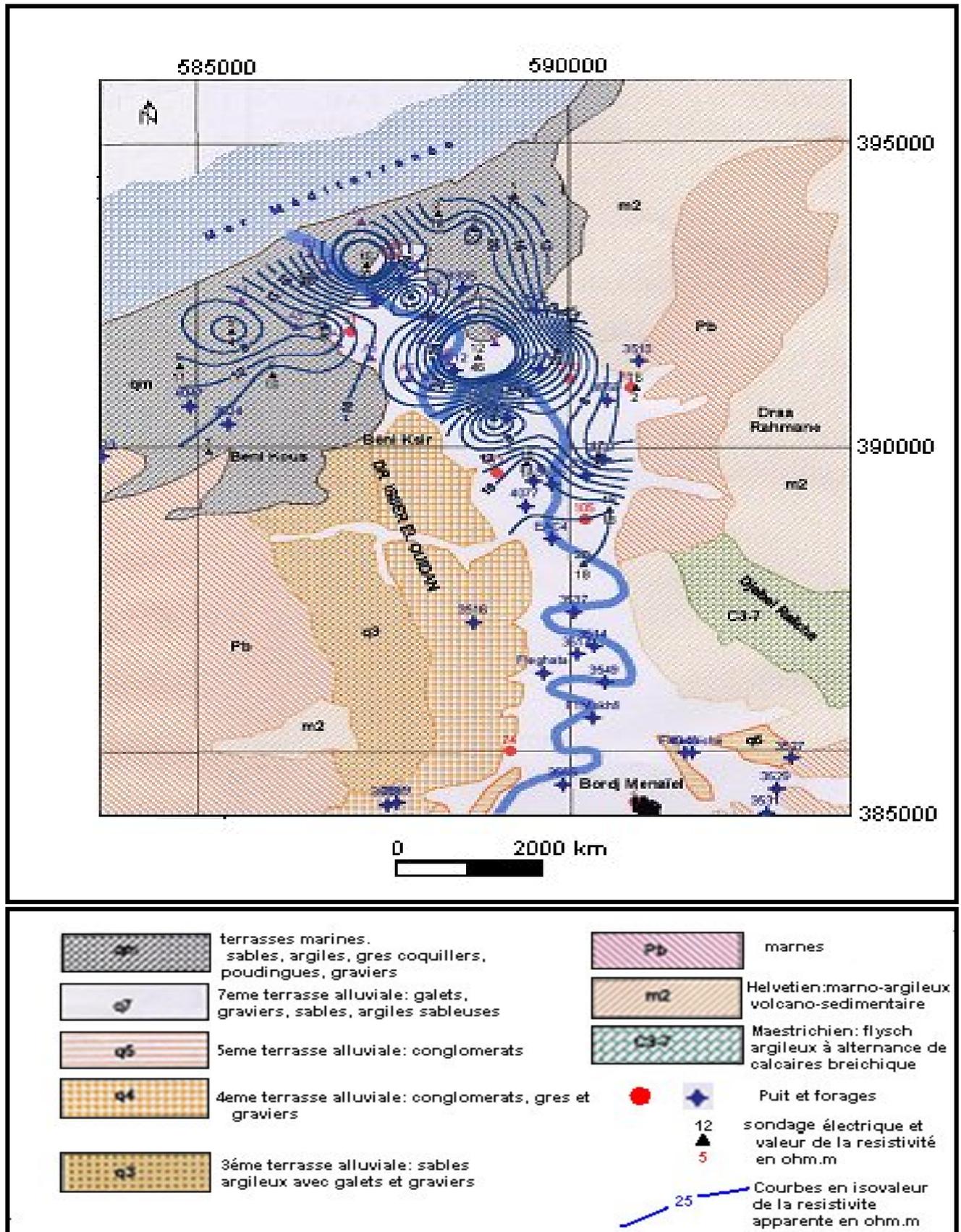


Figure.III-6 : Carte De La Résistivité Apparente En Ligne Ab = 600 M  
e = 1/50 000 (BURGAP ,2005)



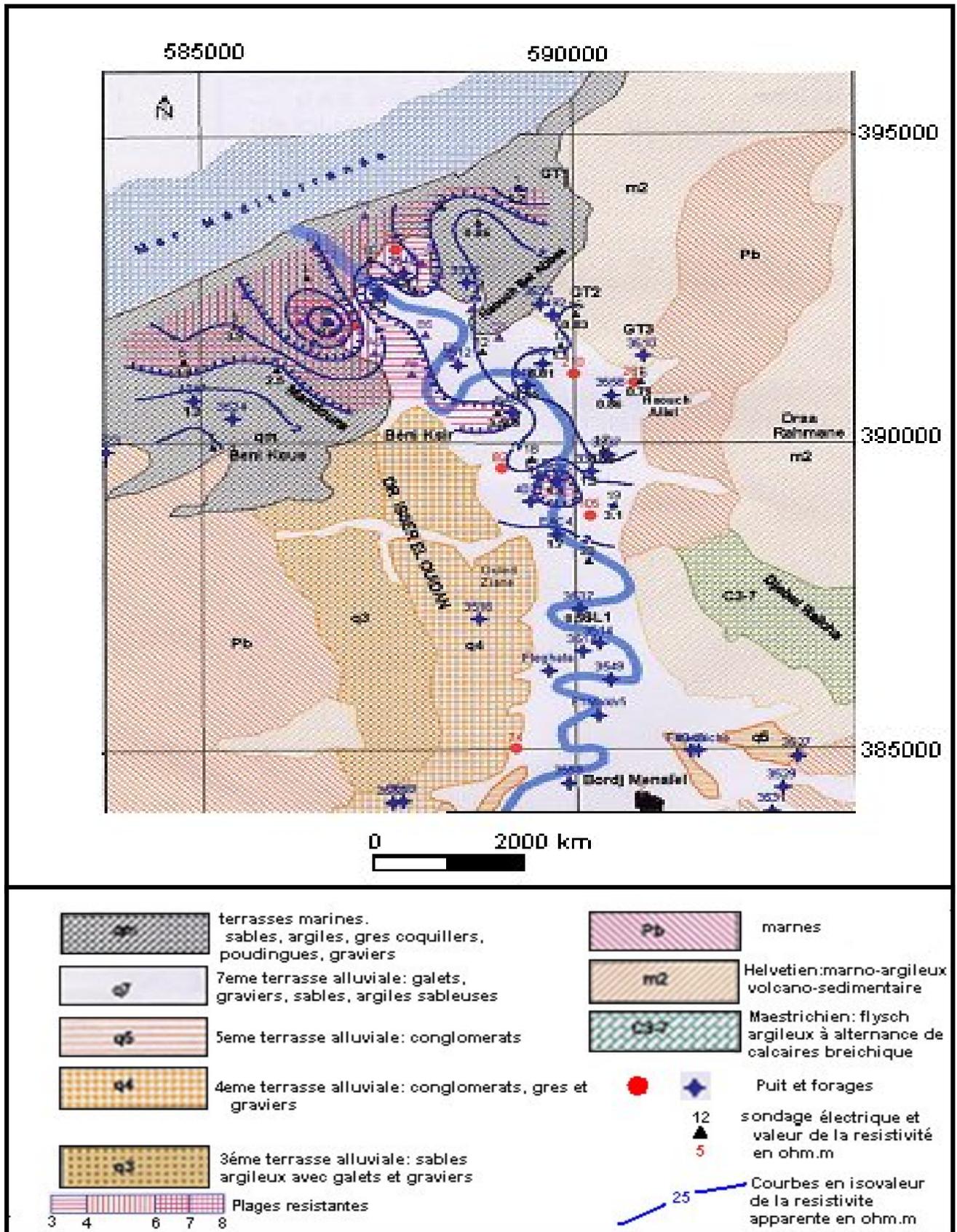


Figure.III-8: Carte De La Resistance Transversale Des Alluvions Quaternaires  
 $e = 1/50\ 000$  (BURGAP ,2005)

### ***Coupes géoélectriques interprétatives :***

L'interprétation quantitative des sondages électriques en terme d'épaisseur et de résistivité, appuyée par l'analyse rigoureuse des coupes d'une vingtaine de forages a permis d'élaborer trois coupes transversales orientées NE-SW (GT1, GT2, et GT3) et une coupe longitudinale GL1 tout au long de l'Oued Isser sur une direction NNW-SSE (figure III .9).

#### **a) les coupes transversales :**

##### **• Coupe GT1 :**

La coupe parcourt les terrasses marines dans la zone de Mandoura empiétant dans sa partie médiane sur la septième terrasse. Elle montre l'image de structures emboîtées, comportant au Centre une vallée en forme d'auge à alluvionnement hétérogène, encadrée par de hautes terrasses constituées de matériaux grossiers.

Au centre la septième terrasse abrite une nappe captive de nature graveleuse, épaisse de 6m (F3540) à 20m (SEV S9) et surmontée par des dépôts pelitiques épais de 15m (F3540) à 21 m (S9). L'ensemble est recoupé par un mince niveau sableux.

Les variations latérales de faciès sont bien visibles aussi bien au niveau du recouvrement de la basse vallée (passage des argiles aux argiles sableuses), ainsi qu'au niveau de la terrasse marine en rive droite où la résistivité passe de 50 à 200 ohm.m.

##### **• Coupe GT2 :**

Cette coupe réalisée au Sud de Haouch Bel Abbes passe par les forages EAC5 Saïfi, 3490, 3491 et 3492. Dans cette zone on note la disparition du niveau superficiel sableux au profit d'un recouvrement imperméable d'une puissance de 36 m (EAC5). Ce recouvrement est constitué d'argiles en rive gauche, et de limons en rive droite.

Le substratum présente une remontée très accentuée à l'aplomb du forage 3490, dessinant un vrais chenal en rive droite tout en s'abaissant progressivement en rive gauche.

##### **• Coupe GT3 :**

Se situe dans l'axe Ouled Ziane Haouch Allel, passe par les forages 3357, 3337, 3558 et 3510. Elle montre un seul horizon aquifère, surmonté par un recouvrement argileux important (30 m en EAC4) et affecté de variations latérales de faciès.

On observe par ailleurs un abaissement important du substratum de la rive droite vers la rive gauche.

#### **b) Coupe longitudinale GL1 :**

La coupe réalisée le long du lit de l'Oued Isser, depuis son embouchure jusqu'à une distance de 7.5 km à l'intérieur des terres. Cette coupe montre :

- L'existence d'un substratum marneux caractérisé par une topographie irrégulière. On y remarque notamment une série de ruptures de pentes liées à des cycles d'érosion fluviales intenses ayant conduit à un creusement du lit de l'Oued,
- L'existence d'un niveau aquifère profond du type captif de nature essentiellement graveleuse. Ce niveau subit néanmoins de fréquentes variations latérales de faciès se traduisant par des variations de la résistivité électrique. Celle-ci peut prendre les valeurs de 50, 100, et 200 ohm.m en fonction de la granulométrie des matériaux aquifères.
- La présence d'un niveau aquifère superficiel de nature sableuse, plus ou moins continu, intercalé dans un encaissant de nature pelitique.

La présence des hautes valeurs de résistivités (50 à 200 ohm.m) au niveau des deux niveaux aquifères semble exclure l'éventualité d'une invasion marine majeure.

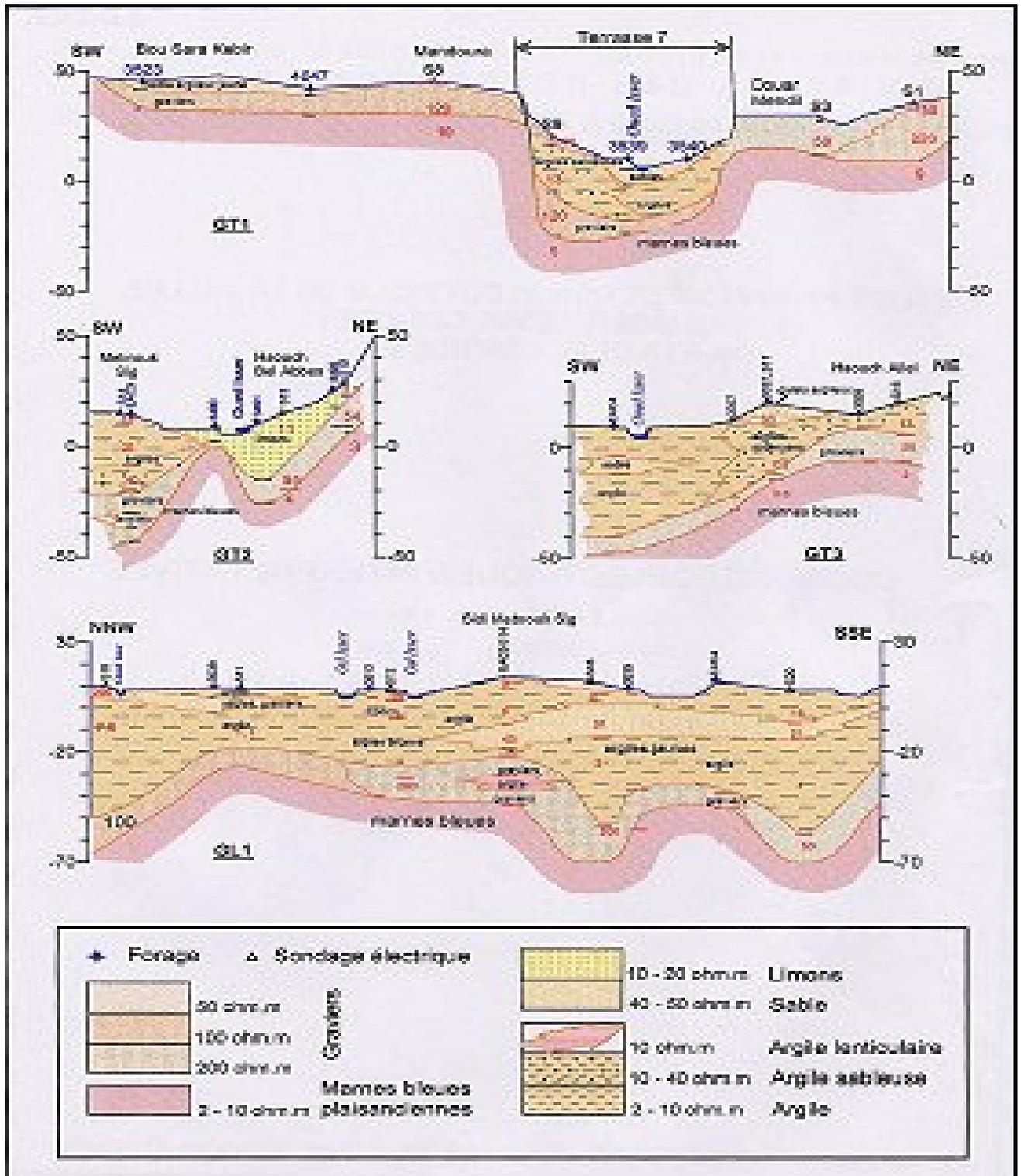


Figure.III-9 : Coupes géoélectriques interprétatives  
 Échelle horizontale : 1/60 000  
 Échelle verticale : 1/ 2000  
 (BURGAP, 2005)

### - *Conclusion*

La prospection électrique ainsi que les données géologiques ont montrés que la quasi-totalité du remplissage alluvial repose sur les marnes plaisanciennes. Ces dernières affleurent sur les bordures de la vallée et sont recoupées par de nombreux forages.

Dans la basse vallée de l'Oued Isser, les terrains alluviaux surmontant ce substrat occupent une bande ininterrompue large de 1200m à l'Est de Ouled Ziane à 3500m. Entre Beni Ksir et Haouch Allel. Ils forment l'essentiel de la septième terrasse.

Celle-ci présente la structure d'une aquifère bicouche depuis la limite méridionale jusqu'aux abords de Beni Ksir (SEV S12), et comporte :

- Un horizon aquifère inférieur formé de galets, de graviers, de sables grossiers et de sables argileux. Il forme la nappe d'eau la plus importante du Bas Isser. Elle se rapporte aux formations alluviales du quaternaire inférieur formant le lit ancien de l'Oued Isser. Cet horizon semble présenter de meilleures qualités hydrauliques en rive gauche, sur le secteur qui s'étend de l'embouchure jusqu'à Beni Ksir au Sud.
- Un horizon aquifère supérieur formé de sables grossiers à fins et de sables fins plus ou moins argileux. Cet horizon devient discontinu au Nord de Beni Ksir.

L'invasion marine ne semble pas se manifesté de façon nette puisque les résistivités observées au niveau des horizons aquifères supérieurs et inférieurs témoignent d'une salinité modérée avec des valeurs toujours supérieures à 50 ohm.m

Ce risque n'est pas pour autant à écarter à l'avenir car la carte du substrat montre une baisse générale de la cote du substrat des bordures vers l'axe de la vallée, accusant des valeurs négatives sur toute l'étendue de la septième terrasse.

La présence de brusques enfouissements du substratum et de chenaux près de l'embouchure, ainsi qu'en rive gauche entre Beni Ksir et Ouled Ziane, accroît donc considérablement le risque d'intrusion marine au niveau de la terrasse.

Par ailleurs au vu du nombre élevé de forages déjà présents dans la zone, l'ANRH ne prendra pas le risque d'en proposer d'autres ; au contraire, l'arrêt des pompages prêts de la mer, assortis d'une modulation de l'exploitation en amont pourra palier au danger que représentent les intrusions marines.

### ***IV-1. Définition***

La cartographie hydrogéologique comprend toutes les activités et techniques nécessaires pour recueillir, documenter, interpréter et représenter l'information hydrogéologique sous forme cartographique et numérique, dans le but d'arriver à une compréhension globale du fonctionnement hydrodynamique des systèmes aquifères. Elles sont établies par synthèse des données sur la géologie, et les paramètres physiques et hydrodynamiques des aquifères,

L'interprétation globale des cartes hydrogéologiques aboutit à l'identification des zones privilégiées pour l'implantation des stations d'essais et des ouvrages de captages. Donc elle représente l'outil de communication le plus efficace, d'expression et de distribution des caractères zonaux dans l'espace.

Elle contribue également à la prescription des mesures de protection de la qualité des eaux souterraines captées pour l'alimentation humaine. Elle porte sur les variations locales des paramètres étudiés par rapport au contexte général.

### ***IV-2-Notion de vulnérabilité***

La vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine est fonction de facteurs et caractéristiques du milieu aquifère, qui rend possible la pénétration des polluants et leur propagation dans le sol et la zone insaturée. Ces polluants sont entraînés par les eaux d'infiltration.

La propagation de la pollution par le mouvement naturel des eaux de la nappe peut être plus ou moins rapide selon les caractéristiques de la roche aquifère et de la pente hydraulique.

En effet, les propriétés physico-chimiques et hydrodynamique de aquifère, mais pédo-morphologiques déterminent la sensibilité de la nappe à une pollution. La notion de vulnérabilité est donc liée à la caractérisation de la sensibilité du milieu aquifère sans tenir compte de la nature du polluant. Le concept de vulnérabilité a donc évolué depuis les définitions les plus simples à des notions plus complexes

En 1968, Mare indiquait qu'on peut définir "comme le fait, pour une nappe souterraine d'être plus au moins exposée par les conditions naturelles, à un risqué de pollution

En 1971, Albinet reprend cette définition sous la forme suivante "La vulnérabilité des nappes correspond aux possibilités de pénétration et de propagation des polluants dans les terrains rencontrés en surface et au niveau des réservoirs dans lesquels est contenue la première nappe d'eau souterraine ; généralement libre".

En 1980, Parascondola précise que définir le degré de vulnérabilité suppose la connaissance préalable du :

-mode d'agression par les polluants et de défense de l'aquifère.

-l'établissement d'une fonction et d'une échelle de vulnérabilité

En 1982, Castany définissait la vulnérabilité des nappes à la pollution comme leur sensibilité aux différents facteurs de contaminations à partir de la surface du sol. Elle étudie les possibilités de propagations des polluants dans l'espace souterrain.

Elle est en premier lieu liée à l'auto-épuration naturelle du sol, donc à la présence de conditions indispensables à son action. En second lieu elle est favorisée par la circulation de l'eau.

En 1994, Daly et Warren définissent la vulnérabilité comme la sensibilité des eaux souterraines à la contamination engendrée par l'activité humaine. Cette sensibilité est fonction des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques d'aquifère.

De ces définitions, il ressort que l'analyse de la vulnérabilité des nappes repose sur deux critères essentiels:

-Les caractéristiques propres aux types de polluants dans le milieu naturel entre la surface du sol et les nappes, ceci conduit à prendre en compte trois grands ensembles au comportement spécifique:

- Sol au sens strict pédologique

-La zone non saturée: c'est la partie des terrains aquifères non saturés en eaux;

-La zone saturée: c'est la nappe elle même ;

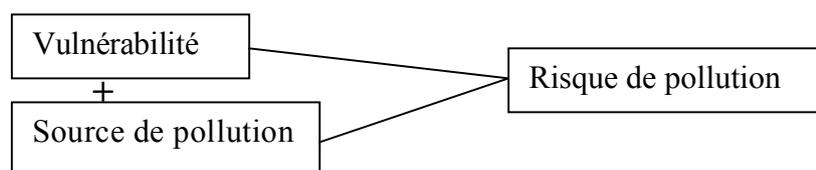
La notion de pollution est très sujette à celle de risque elle même liée à l'occupation du sol et à typologie des activités humaines la plupart des cartes dans ce domaine sont qualitatives .11 est donc difficile de déterminer des classes et à priori des échelles de vulnérabilité. Les représentations les plus fréquentes consistent à distinguer:

- Les différentes catégories d'activités (urbaines, agricoles, industrielles)

- Les principaux types de rejets (solides ou liquides, superficiels ou enterrés)

Par ailleurs, il est difficile de dissocier les notions de vulnérabilité et de risque de pollution. La vulnérabilité est un élément de l'évaluation de la sensibilité d'une nappe à la pollution .Une carte de vulnérabilité superposée a une carte d'inventaire des sources de pollution, nous donnera un aperçu sur les sites susceptibles aux risques de pollution des eaux souterraines.

- La notion de risque de pollution intègre donc la vulnérabilité de la nappe et les sources de pollution.



L'objectif de l'hydrogéologie est donc de fournir aux gestionnaires des ressources hydriques et aux aménageurs du territoire, un document cartographique facilement utilisable permettant de localiser les zones où la nappe présente un degré de vulnérabilité élevé.

Ces zones nécessiteront alors une protection particulière dans les futurs plans d'aménagement du territoire en vue de limiter tous les risques éventuels qui peuvent contaminer la nappe et donc dégrader la qualité des eaux souterraines

#### ***IV-3-Cartographie de la vulnérabilité:***

La représentation cartographique de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, représente l'outil de communication le plus efficace, d'expression et de distribution des caractères zonaux dans l'espace.

DRASTIC et PRAST, sont les méthodes utilisées parmi les autres pour, l'évaluation de la vulnérabilité, et elles se basent sur une cotation numérique de la vulnérabilité

Donc une cartographie multi-critères

Les principales étapes qui mènent à la création des cartes de vulnérabilité sont:

a) Acquisition des données ceci nécessite une recherche bibliographique très intense et parfois des investigations de terrains pour compléter ou actualiser certaines données telles que la profondeur de l'eau qui varie dans le temps.

b) Tracé des cartes thématiques propres à chacun des paramètres considérés en attribuant des cotes aux différents paramètres puis en délimitant les zones en fonction des intervalles établis par le système de cotation DRASTIC ou PRAST .

Chacune des zones ainsi délimitées reçoit une cote de 1 à 10 relative au paramètre représenté.

Pour cela il est toujours nécessaire d'utiliser des couleurs, afin de mettre en évidence les intersections des zones dans la phase superposition pour chaque carte thématique.

c) Effectuer une série de superposition des différentes cartes ainsi déterminées afin de visualiser les intersections des grandes unités et les sous unités hydrogéologiques.

d) Calculer l'indice de vulnérabilité global pour chaque sous-unité obtenue.

e) l'identification des unités se fait par une lettre et des chiffres (2A3 -143) qui représente le code du bassin(2) l'unité hydrogéologique (A), les sous unités hydrogéologique(3) et l'indice générale de vulnérabilité(143)

f) Utiliser des couleurs propre à chaque unité pour distinguer entre degré de vulnérabilité .Les couleurs rouge, orange, et jaune indiquent les sites à fort potentiel de vulnérabilité, tandis que les couleurs bleu, et violet indiquent les sites les moins vulnérables (tableau N°6)

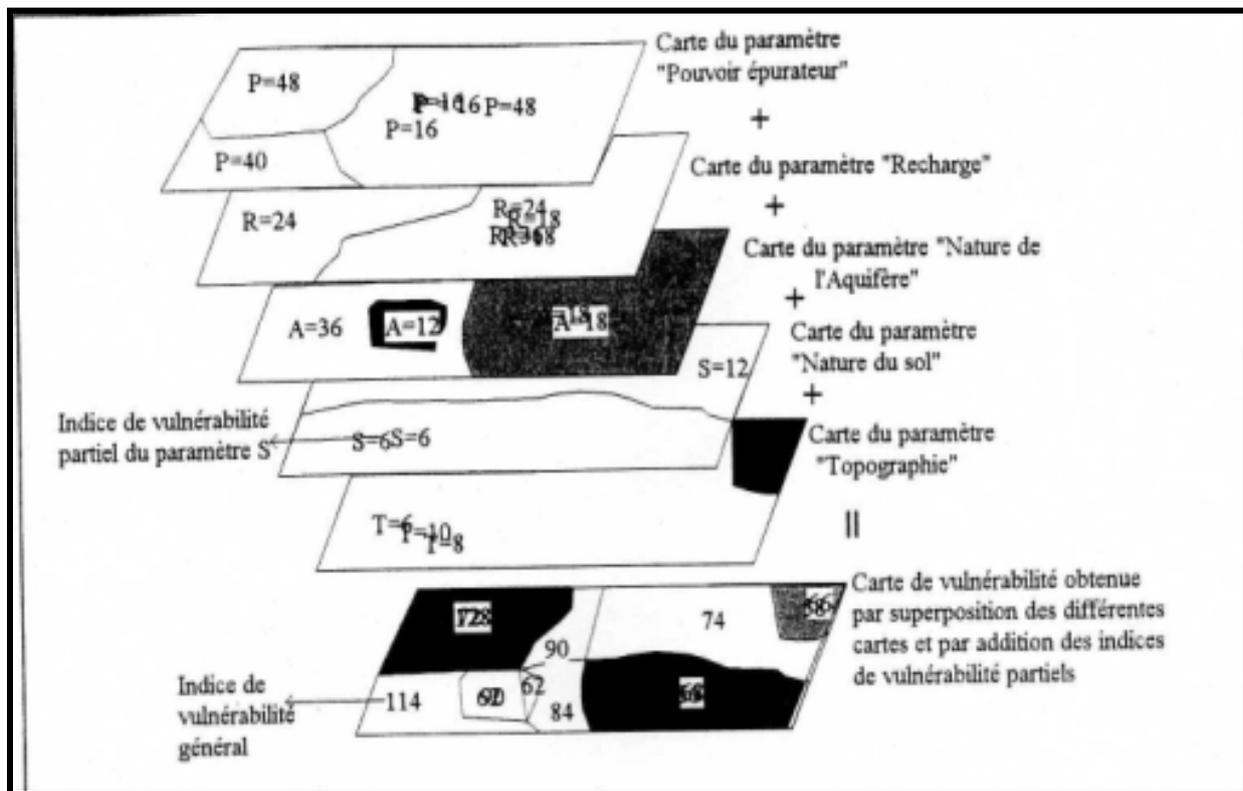


Figure IV-1- Construction de la carte de vulnérabilité (exemple de la méthode PRAST) (Salhi, 2003)

### IV-3- Réalisation

- Les principales étapes qui mènent à la création des cartes hydrogéologiques sont :
- Acquisition des données ceci nécessite une recherche bibliographique très intense et parfois des investigations de terrains pour compléter ou actualiser certaines données,
  - tracé des cartes thématiques ou paramétriques propre à chaque paramètre. Considérés, toutefois on procède à la digitalisation soit par tablette ou à l'écran,
  - effectuer une série de superposition des différentes cartes ainsi déterminées.

### IV-3- Optimisation D'un SIG Pour La Cartographie Hydrogéologique

#### IV-3-1- Introduction

L'utilisation des techniques informatiques dans la cartographie hydrogéologique compte tenu de la rapide obsolescence de ces documents qui nécessiteraient une actualisation fréquente.

C'est d'ailleurs grâce aux techniques infographiques que les États-Unis d'Amérique ont pu mettre en œuvre, à l'échelle nationale, un système de cartographie des ressources en eaux souterraines au moyen des systèmes multicritères (Aller et Al, 1985).

Les descriptions paramétriques ou d'autres descripteurs de caractères zonaux, présentés sous formes de cartes de base ou non sont les entrées d'une base de données spatiales. Adéquates, ces dernières peuvent être utilisées par des logiciels appropriés qui permettent d'éditer des cartes spécifiques sans contraintes d'échelles.

L'intégration des SIG (système d'information géographique) tels que Atlas-Gis, Map-Info, Arc-Info, Synergis...- etc-, permettent l'usage de bases de données graphiques digitalisées ou directement saisies par l'utilisateur. Ce qui permet alors de rendre les cartes hydrogéologiques facilement révisables, actualisables, adaptables et modulables en fonction de nouvelles conditions hydrogéologiques et des objectifs.

Dans notre étude nous avons utilisé pour la cartographie hydrogéologique de la nappe alluviale du Bas Isser, le logiciel Map-Info version 6.5,

#### ***IV-3-2 Présentation Du Logiciel Map-Info***

Map-Info est un système d'information géographique (SIG) qui fonctionne sous l'environnement Windows, Ce logiciel permet de lier les données d'une base ou d'un tableur à des entités spatiales, Il permet ainsi d'analyser et de présenter les données sur une carte à l'aide de couleurs, de figures ou de symboles,

#### ***IV-3-3- Gestion Des Informations***

Map-Info dispose d'un moteur de gestion de base de données, Ceci lui permet d'accéder directement aux bases de données compatibles ODBC (Open Data Base Connectivity). Un moteur de recherche en SQL est intégré, il gère également les accès mises à jour par plusieurs utilisateurs en évitant les conflits.

#### ***IV-3-4- Système de projection***

Il existe un choix important de projections, de plus l'utilisateur peut créer son propre système de coordonnées.

- Type de données
- Bases de données

Le logiciel peut utiliser tous les formats gérant les bases de données numériques.

#### ***IV-3-5- Vecteur***

Map-Info met à disposition divers outils d'édition et création de cartes (points, polygones et polygones).

Il est possible d'exploiter des cartes existantes issues de différents formats : DXF, DWG, DGN, SHP tant à l'importation qu'à l'exportation.

On peut également créer ses propres cartes directement grâce aux outils de digitalisation (par tablette ou à l'écran),

#### ***IV-3-6- Image Raster :***

L'introduction d'images raster n'est qu'un élément d'habillage (pas de croisement données raster - données vecteur), Les images importées sous l'application sont calées dans un des systèmes de coordonnées proposés. Map-Info permet de gérer leur affichage fond transparent, luminosité...

### ***IV-3-7 Facilité d'emploi***

Les objets des cartes peuvent être déformés, déplacés, fusionnés ; le tout est géré sous forme de couches où l'utilisateur contrôle différentes fonctions de visualisations (habillage, ordre de superposition, zoom de visualisation, échelle, annotations, projection).

De nombreuses fonctions de calcul et d'opérateurs géographiques permettant l'élaboration de requêtes SQL (la formulation de ces requêtes est simplifiée par des assistants), l'analyse mono et multi-variables propose différentes représentations : par dégradés de couleurs, symboles proportionnels, graphiques à secteurs, histogrammes et hémicycles, densité de points, valeurs individuelles, de plus une fonction de "coloration continue" permet de réaliser à partir de données ponctuelles une grille par interpolation qui est représentée sous la forme d'une image raster,

Les statistiques sont représentées par des graphes enrichis d'un module 3D offrant un vaste choix (histogramme 3D, cubes ou sphères flottantes, bulles, colonnes, anneaux, etc.).

L'application est compatible avec Windows XP et Office (barres d'outils paramétrables, menus contextuels, assistants, etc.-,-). Ce logiciel dispose de la fonction d'incorporation OLE et intègre la technologie drag&drop disponible en environnement 32 bits,

On peut exécuter des applications en langage MapBasic (module optionnel) qui permet de personnaliser et d'automatiser le fonctionnement de Map-Info,

Map-info est. Un logiciel intéressant pour tout ce qui concerne la gestion graphique

Des couches vecteurs (importation, projection, création, édition et gestion des objets de différents types) et des bases de données (requêtes SQL, etc.)

Toutes ces caractéristiques en font un outil à la fois puissant et simple d'utilisation, pour des usages variés en cartographie-

Un certain nombre (limité) de fonctions ouvre également des perspectives d'analyse

### ***IV-3-8- Données générées par Map-Info***

Le logiciel Map-info peut, en plus des données saisies directement dans la tableur, générer des Données vectorielles repérées dans l'espace par leurs coordonnées X, Y dans tous les systèmes de projection (digitalisation, ou vectorisation de carte), De données, L'image raster ne peut être exploitée que sous forme de fond de carte,

#### **a) Carte des teneurs en NO<sub>3</sub>-**

Les nitrates sont des sels d'acide nitrique solubles dans l'eau et sont très nocifs à des concentrations élevées (>50 mg/l).

La nappe d'eau du Bas Isser est marquée par endroit, par des teneurs en nitrates alarmantes, dépassant les normes de l'O.M.S. Ces valeurs sont observées principalement en rive

droite, au Sud et au Nord de Ain El Hamra, elles atteignent des teneurs entre 86 et 135 mg/l. Cette zone a été signalée précédemment comme étant vulnérable à la pollution par les nitrates, conséquence d'utilisation abusive des engrais azotés, ainsi les rejets des eaux usées urbaines et la présence des fosses septiques peuvent avoir un effet sur les fortes teneurs en nitrates dans les eaux souterraines.

#### b) Carte des teneurs en Cl-

Dans la vallée de Oued Isser les teneurs en chlorures des eaux souterraines sont importantes, elles sont comprises entre 70 mg/l (P36 situé à Bordj Menaïel) et 908 mg/l (P30 à l'Est de Serrira). La moyenne est de 253 mg/l, Les concentrations les plus fréquentes sont comprises entre 100 et 300 mg/l.

A l'amont de la plaine les teneurs sont faibles (128 mg/l P25, 85 mg/l P3CH, 188 mg/l P13), par contre elles sont élevées au Nord de Bordj Menaïel sur la rive droite de Oued Isser, où les concentrations atteignent les 900 mg/l. A l'aval les teneurs sont moyennes à l'exception du point P42 (660 mg/l).

L'origine de ces fortes concentrations en chlorures peut être expliquée par :

- lessivage des argiles plaisanciennes, qui affleurent essentiellement sur la rive gauche de l'Oued Isser ;
- évaporation intense de la nappe supérieure, aux endroits où elle est peu profonde ;
- rejets d'eaux usées domestiques et industriels ;
- lessivage des terres agricoles.

#### c) Carte du SAR

- La qualité d'une eau destinée pour l'agriculture, est en étroite relation avec son degré d'alcalinité. En effet, la dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables que contient l'eau d'irrigation. L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec une eau concentrée en sodium, réduit la perméabilité particulièrement en surface. Ce phénomène est dû à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la quantité en Na échangeable augmente. Toute fois, pour une certaine valeur du rapport d'adsorption du sodium (SAR), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue en fonction du niveau de salinité. Par conséquent, le SAR et la CE doivent être employés en association pour évaluer les problèmes potentiels éventuels.

- Le problème du sodium est diminué si la quantité de calcium plus magnésium est élevée par rapport à la quantité de sodium. Cette relation est nommée taux d'adsorption du sodium (SAR), une valeur calculée par la formule:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{[Mg^{++}] + [Ca^{++}]}{2}}}$$

C'est le rapport du Sodium par rapport aux autres cations.

Ce terme est très utilisé et exprime le niveau d'alcalinité de l'eau selon les conditions suivantes :

Si le  $SAR < 6$  : l'eau n'est pas alcaline

Si  $6 < SAR < 9$  : l'eau est alcaline et peut avoir un effet important sur la structure du sol (réduction importante de l'infiltration), et ce phénomène est d'autant plus important si le sol est argileux.

**d) Carte du rapport de Todd**

**La formule du rapport de Todd est :  $rCl/rHco3+rCo3-$**

Le rapport de Todd est supérieur à l'unité au niveau de la bande littorale en allant d'Est en Ouest, ce qui atteste d'une progression des eaux salées de cap-Djanet jusqu'à Bordj Menail, et se prolonge à l'intérieur du continent sur une distance avoisinant les 15km.

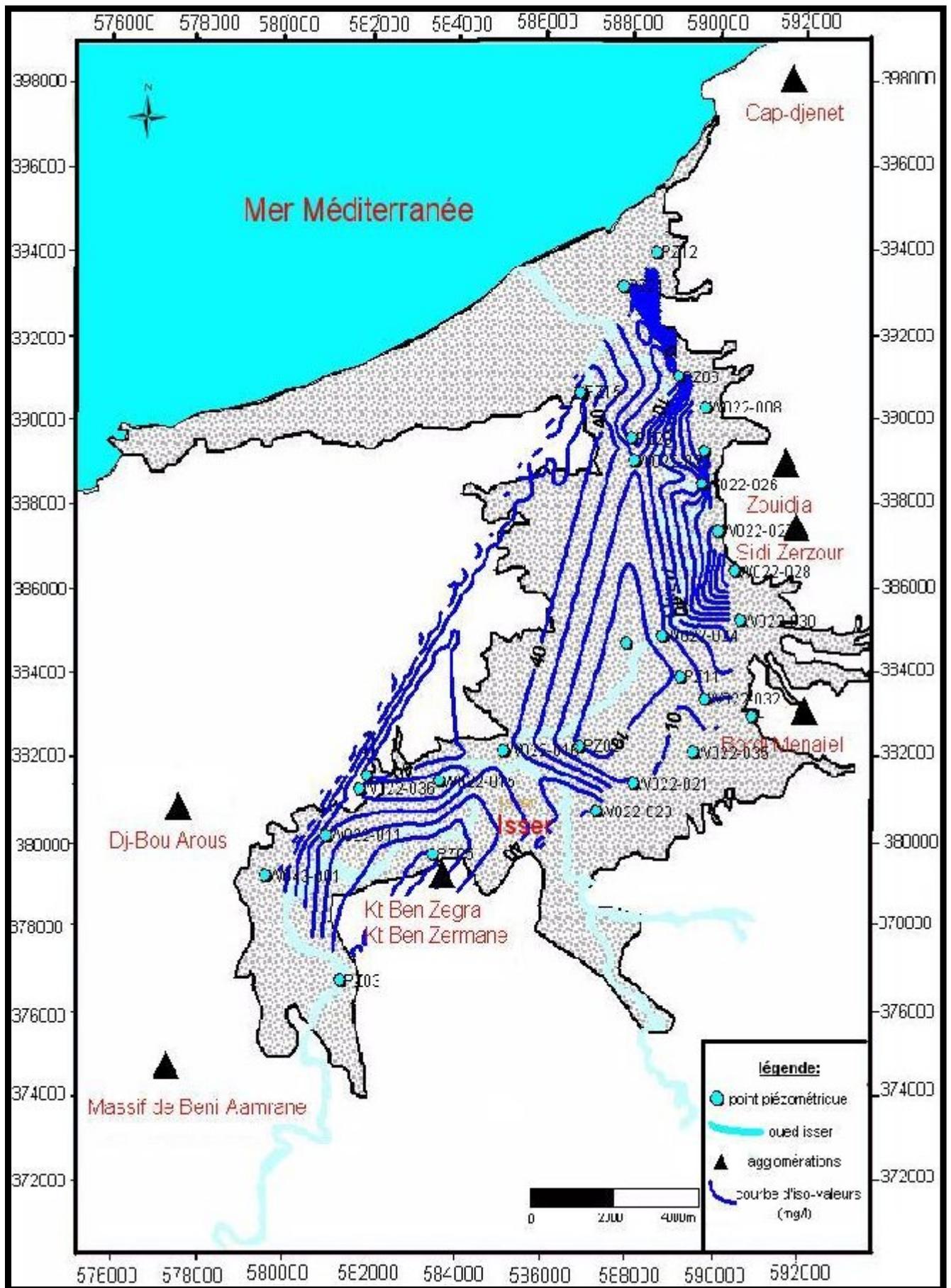


Figure IV-2: Carte d'iso-teneur en Nitrates des eaux de la nappe alluviale Du Bas Isser (basses eaux 2008)

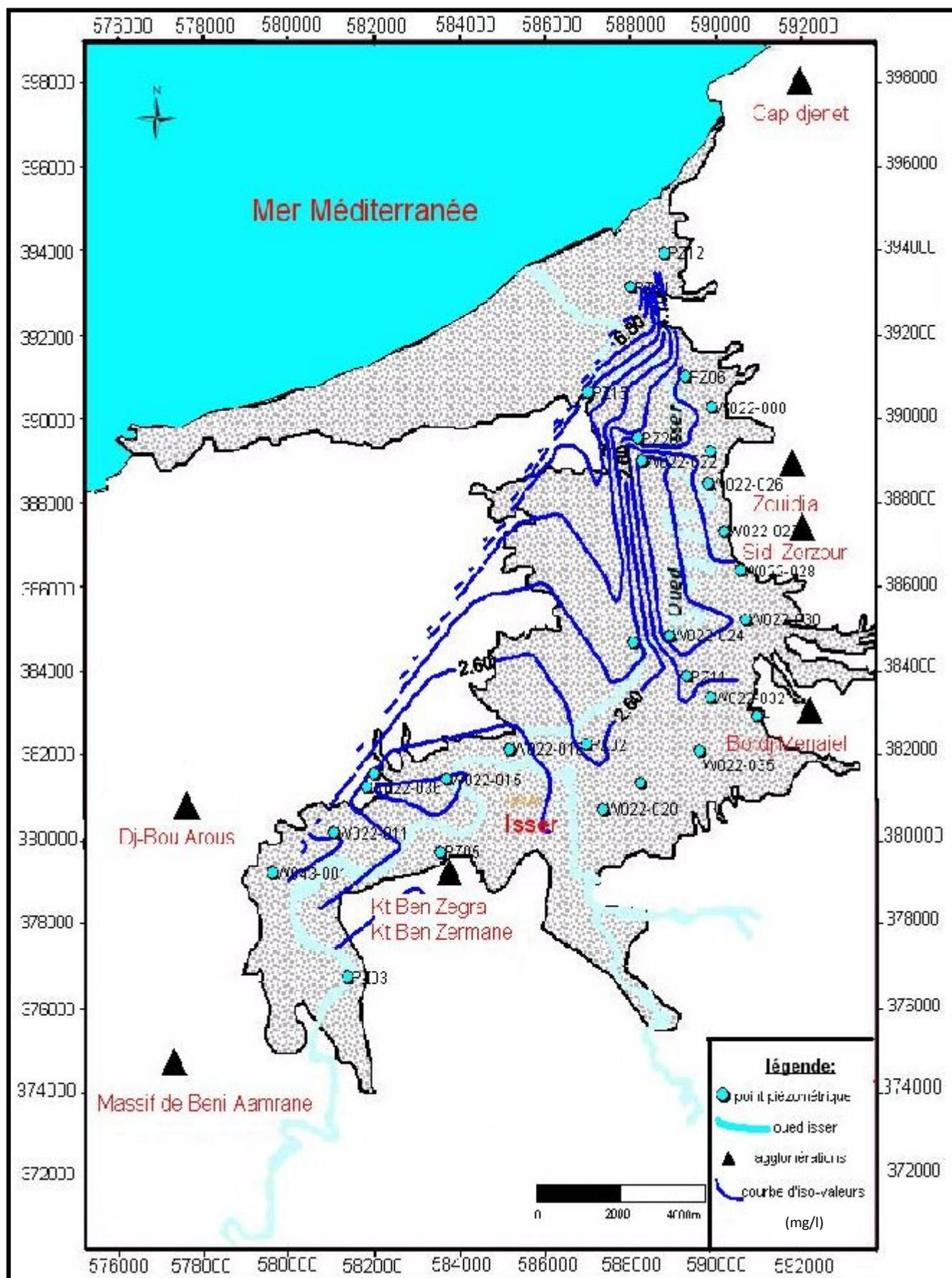


Figure IV-3: Carte d'iso-teneur en chlores des eaux de la nappe alluviale du bas isser (basses eaux 2008)

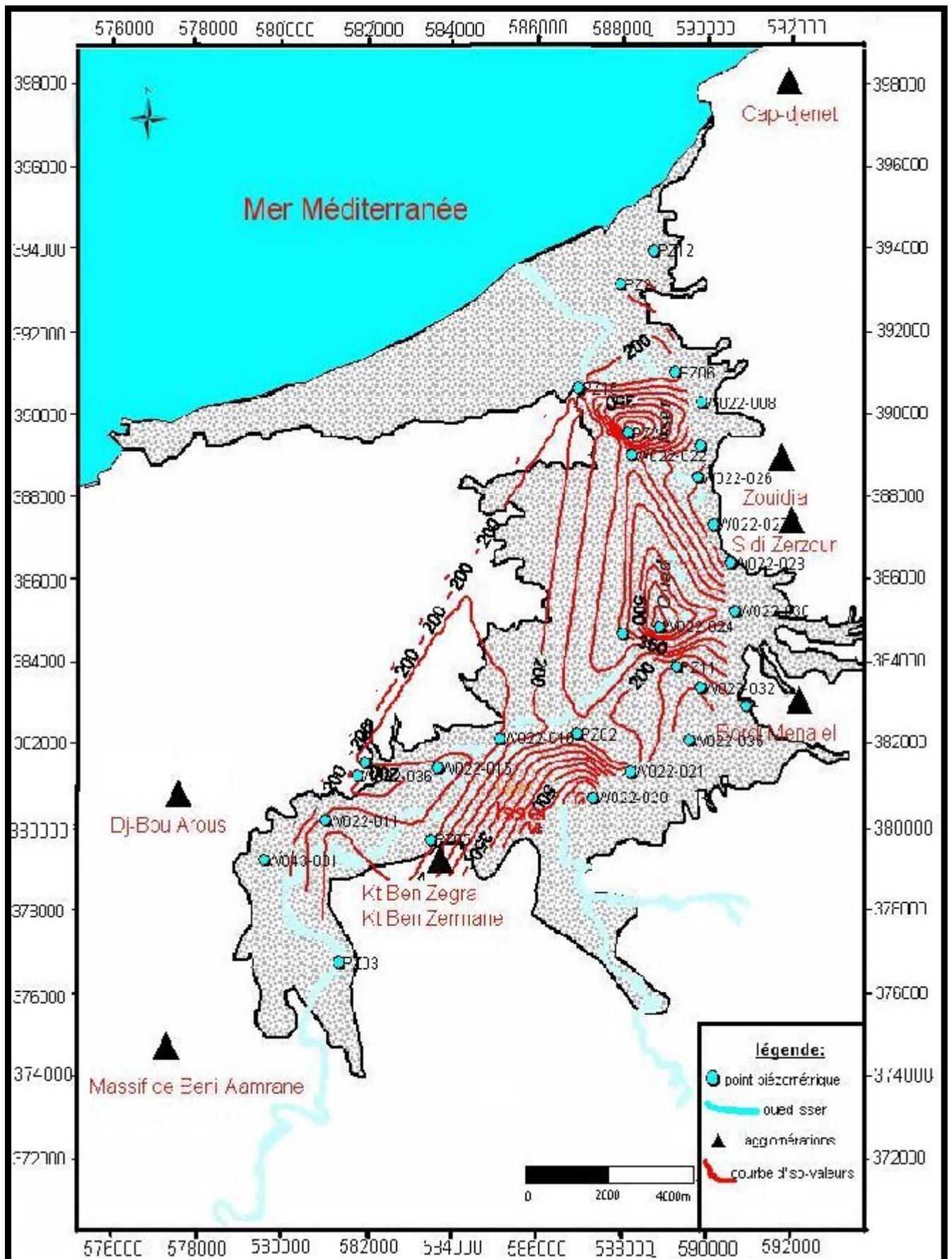


Figure IV-4: Carte du SAR des eaux de la nappe alluviale Du Bas Isser (basses eaux 2008)

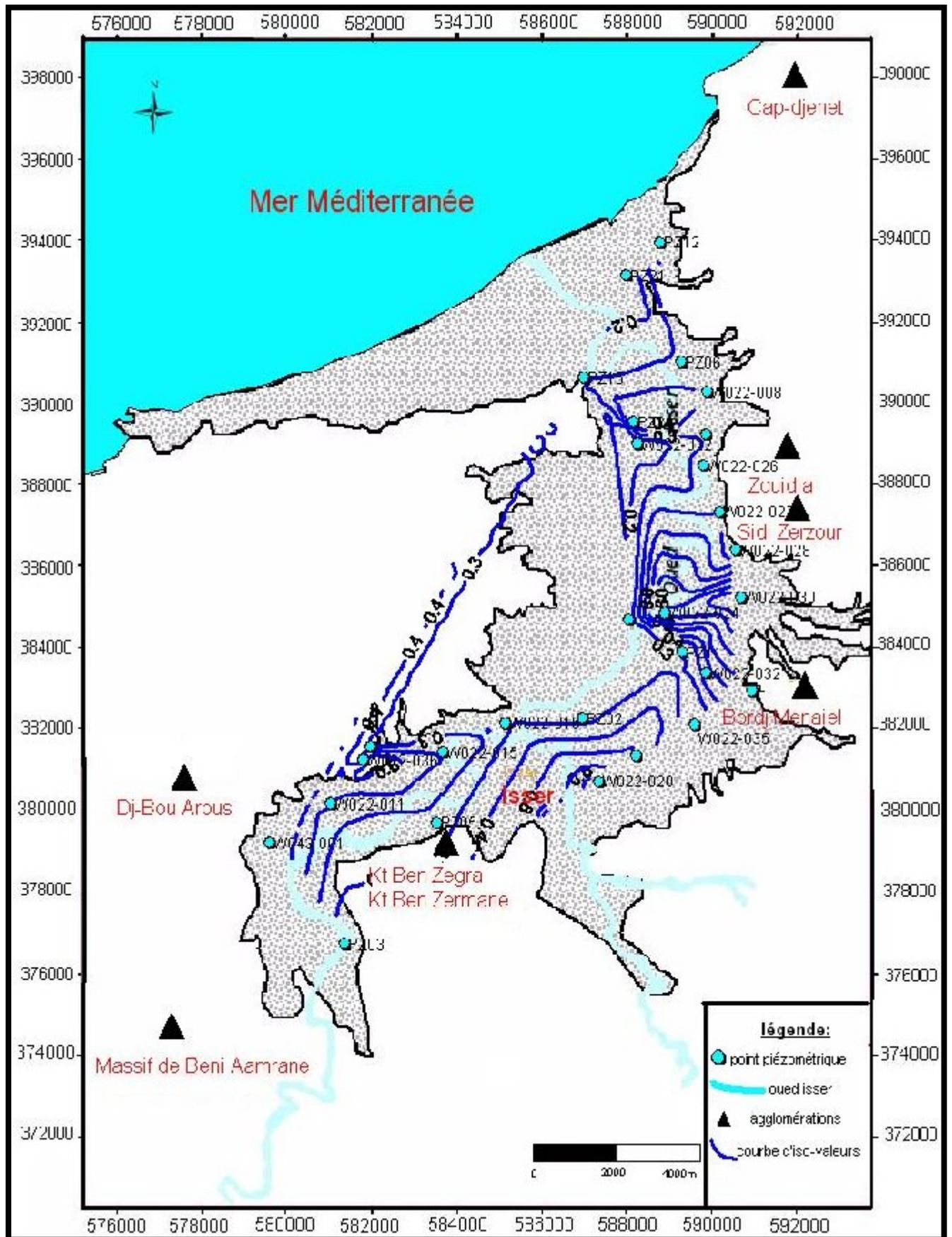


Figure IV-5: Carte du rapport de TODD des eaux de la nappe alluviale Du Bas Isser (Basses eaux 2008)

#### ***IV-4-METHODE PRAST***

La méthodologie PRAST est une version simplifiée de la méthode DRASTIC. Elle consiste en un remplacement des trois paramètres (D), (C) et (I), difficile à acquérir ou à quantifier, par un seul paramètre qui est le pouvoir épurateur vertical (P) définie par Rehse en 1977.

Le pouvoir épurateur du sol et celui de la zone non saturée, sont importants pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes. Ils jouent un rôle particulièrement déterminant vis-à-vis des problèmes d'assainissement individuel, de pollution par les décharges et les épandages.

Dans le cas des captages des nappes alluviales, implantés près d'une rivière l'effet filtre des berges, peut limiter la pollution de la nappe par le cours d'eau. Cependant, il semble que dans le cas d'une pollution par les métaux lourds, le pouvoir épurateur des sédiments des berges ne suffise pas et que certains métaux soient remis en circulation par désorption ne sont pas retenus.

La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe si le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée est efficace.

A noter à ce propos, qu'en Allemagne et en Suisse, le pouvoir épurateur du sol n'est pas pris en compte pour la délimitation des périmètres de protection que si l'épaisseur de la zone non saturée est supérieure à 4m. Cette épaisseur est considérée comme la marge de sécurité permettant des travaux de fouilles, d'excavations et de tranchées.

##### ***IV-4-1-Les paramètres PRAST***

Dans cette méthode, le paramètre le plus important utilisé est le pouvoir épurateur vertical du sous-sol (P) qui intègre la nature du matériel de la zone non saturée, son épaisseur, sa perméabilité verticale et la profondeur de la nappe. Elle utilise également quatre (04) paramètres de la méthode DRASTIC, en l'occurrence :

- La recharge nette (R) ;**
- Le type d'aquifère (A) ;**
- Le type de sol (S) ;**
- La topographie (T).**

Les initiales de ces cinq paramètres constituent l'acronyme PRAST.

##### ***IV-4-2-Méthode utilisée pour l'estimation du pouvoir épurateur***

Une méthode empirique mise au point par Rehse en 1977, elle consiste à estimer dans quelle mesure un polluant déversé à la surface du sol verra sa teneur diminuer après un parcours vertical jusqu'à la nappe, puis un parcours horizontal dans la nappe jusqu'au point de prélèvement ou de détection. Pour ce faire, des indices sont attribués aux différents types de roches, sur la base de :

- leur perméabilité et de leur porosité ;
- la surface spécifique et du pouvoir de rétention des grains qui les constituent ;

- du temps de parcours nécessaire pour une auto épuration ;
- du volume utilisé (épaisseur de la couche) pour une épuration ;
- leur teneur en matière organique.

Les différentes catégories de sols pouvant être rencontrées ont été classées en fonction de leur granulométrie. De plus, l'auteur a défini les épaisseurs de sol nécessaires, en condition non saturée, pour une épuration des eaux polluées.

Le pouvoir épurateur des terrains est calculé par la formule :

$M_x = M_d + M_r$  avec  $M_x$  : pouvoir épurateur de la totalité du transfert ;

$M_d$  : pouvoir épurateur sur le trajet vertical ;

$M_r$  : pouvoir épurateur sur la distance horizontale.

L'épuration est complète si :  $M_x = 1$

Sur le trajet vertical, le pouvoir épurateur est égale à:  $M_d = h_1 I_1 + h_2 I_2 + h_3 I_3$  avec  $h_1$ ,  $h_2$  et  $h_3$ : hauteur des différentes catégories de terrains rencontrées et  $I_1$ ,  $I_2$  et  $I_3$ : index correspondants.

-Si  $M_d \geq 1$  : l'épuration est totale dans les couches de couverture et la délimitation d'un périmètre de protection rapprochée n'est pas nécessaire selon Rehse.

-Si  $M_d \leq 1$  : la dépollution n'est pas totale. Elle doit se poursuivre dans la roche aquifère lors du transfert horizontal.

Soit  $M_r = 1 - M_d$ , le pouvoir épurateur dans l'aquifère, la distance  $l$  à parcourir horizontalement pour une épuration totale sera  $l = M_r / l_a$

$l_a$  : index correspondant au matériau aquifère,

$l$  : correspondrait dans ce cas à la limite de la zone de protection rapprochée.

S'il n'y a pas de couverture, toute l'épuration doit se faire horizontalement et  $M_r$  doit être égale à 1.  $l = 1/l_a$  (Annexe 4)

Bolsenkotter (1984) complète la méthode de Rehse, en considérant que l'épuration est très faible dans les milieux fissurés que dans le milieu poreux. Dans la roche fissurée, le pouvoir épurateur est supposé égale à 0,5 ; d'où  $l = 0.5 / H$

**Tableau IV-1. Pouvoir épurateur du sol dans la couverture (zone non saturée)-Rhesse.1977**

M	DESCRIPTION DU MATERIAU	H (m)	L = L/ H
1	Humus, 5-10% argiles	1,2	0,8
2	Argiles sans fentes de retrait, limons argileux, sables très argileux	2	0,5
3	Silts argileux à silts	2,5	0,4
4	Silts, sables silteux, sables peu silteux et peu argileux	3- 4,5	0,33-0,22
5	Sables fins à moyens	6	0,17
6	Sables moyens à grossiers	10	0,1
7	Sables grossiers	15	0,07
8	Graviers silteux, riches en sables et en argiles	8	0,13
9	Graviers peu silteux, beaucoup de sables	12	0,08
10	Graviers fins à moyens, riches en sables	25	0,04
11	Graviers moyens à grossiers, peu de sables	35	0,03
12	Galets	50	0,02

#### **IV-4-3- Système de cotation**

L'indice PRAST est basé sur l'évaluation des cinq paramètres décrits précédemment, chaque paramètre est assigné d'un poids relatif dont la valeur comprise entre 8 et 1, indique son importance dans les processus d'atténuation des polluants (tableau IV.2)

**Tableau IV.2-poids des paramètres PRAST (Rehse 1977)**

symboles	paramètres	poids
P	pouvoir épurateur vertical de la zone non saturée	8
R	recharge nette	4
A	milieu aquifère	3
S	type de sol	2
T	pentés des terrains (topographie)	1

Par la suite, chaque paramètre est assigné d'une cote pouvant varier de 1 à 10 (annexe 1). Une cote élevée correspond aux conditions de vulnérabilité élevée.

L'indice PRAST général correspond à la somme modérée de cinq indices partiels relatifs aux cinq paramètres PRAST.

$$\text{Indice PRAST} = (\text{Pc.Pp}) + (\text{Rc.Rp}) + (\text{Ac.Ap}) + (\text{Sc.Sp}) + (\text{Tc.Tp})$$

- C = cote du paramètre considéré

- P = poids relatif du paramètre considéré

#### **IV-4-4- Indice PRAST**

Par analogie à l'échelle d'évaluation de la vulnérabilité établie par le groupe JRB (1982), le diagramme de classification de la vulnérabilité, a été ajusté sur la base d'applications faites sur la partie Nord Est d'Alger par Touileb (1997), Mitidja Orientale par Djoudar (2003) et sur les nappes du Sebaou et de la Mitidja centrale par Said (1999).

Pour évaluer la vulnérabilité par la méthode PRAST, nous avons adopté la classification donnée par le diagramme suivant :

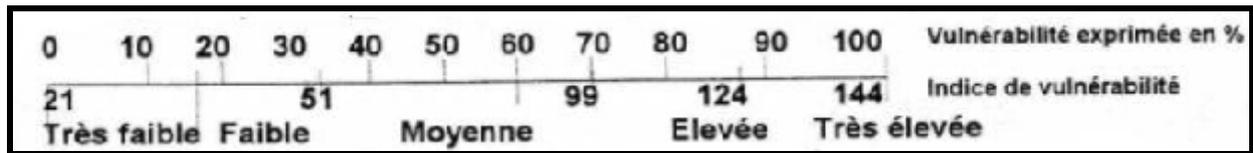


Figure : IV-6 Diagramme des classes de vulnérabilité selon la méthode PRAST

#### IV-5-Description des paramètres PRAST

##### *Recharge nette (R)*

La recharge nette est le paramètre le plus délicat à évaluer à cause de sa dépendance de plusieurs facteurs (climatologiques, géologiques et topographiques). Généralement, après consultation des rapports hydrogéologiques et hydrologiques, c'est à l'utilisateur de décider. L'infiltration efficace est le seul paramètre responsable de la recharge des nappes (il représente le moyen de transport du polluant vers le milieu aquifère) dont l'augmentation accroît le potentiel polluant. Cette conclusion n'est valable que lorsque l'infiltration provoque la dilution du polluant. Mais, puisque ce point est difficile à évaluer, le système de notation ne reflète pas le facteur de dilution. Pour un site donné, en plus de l'estimation du taux d'infiltration des précipitations, il faut tenir compte des eaux d'irrigation, de l'alimentation artificielle des nappes et du rejet de substances liquides.

##### *-Nature du matériel aquifère (A)*

Le milieu aquifère ou la zone saturée est le lieu approprié où peuvent être stockés des quantités d'eaux importantes. Son rôle dans l'atténuation du polluant dépend de la nature lithologique et texturale des formations qui constituent le milieu aquifère. Le potentiel de pollution est proportionnel au degré de porosité des terrains qui constituent l'aquifère, en particulier la perméabilité des interstices et des fissures.

Les concepteurs de la méthodologie PRAST ont établi une liste de neuf types de formations aquifères de nature lithologiques différentes.

-Argile massive (argile schisteuse) : permet de stocker une faible quantité d'eau à partir des fractures. Le potentiel de pollution est souvent faible, dépend du degré de fracturation.

-Roche métamorphique et ignée consolidée : comme pour les argiles massives, le potentiel de polluant est fonction du degré de fissuration.

-Roche métamorphique altérée et ignée non consolidée : le potentiel de pollution est largement influencé par la présence d'argiles. Plus la présence d'argiles est importante, plus le potentiel de pollution est faible.

-Till : c'est une roche formée par la stratification de particules d'argile, sable et gravier, généralement de faible perméabilité. Le potentiel de pollution est fonction du taux de fissuration.

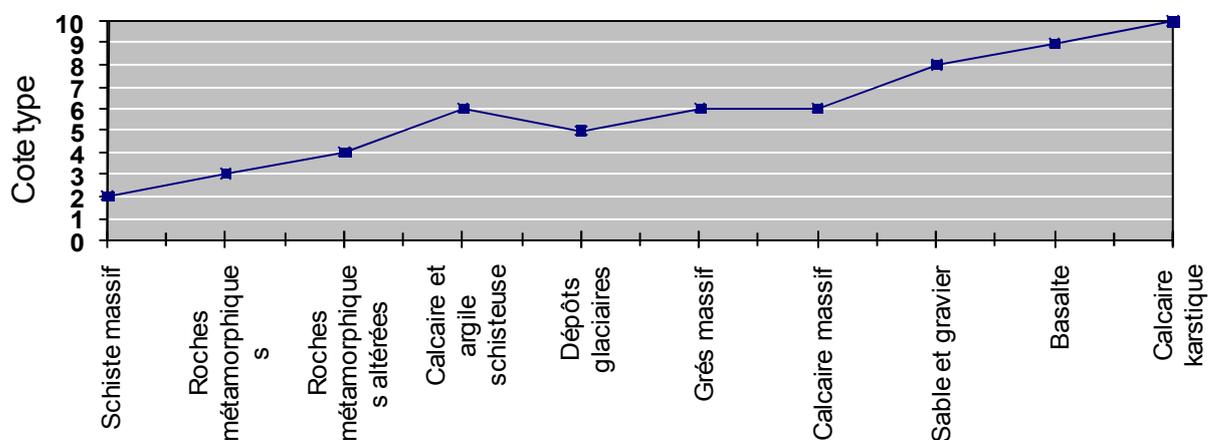
-Grès massif : d'une porosité assez importante, le potentiel de pollution est contrôlé par la présence de fissures et le degré de porosité des grès.

-Calcaire massif : le potentiel de pollution est largement influencé par la présence de fissures et de pores.

-Sable et gravier : le potentiel de pollution est fonction de la répartition des pourcentages du gravier et du sable. Plus la présence du gravier est importante, plus le potentiel de pollution est grand.

-Basalte : possède une forte porosité résultant d'un important taux de fissuration à l'origine d'un potentiel de pollution souvent élevé.

-Calcaire karstique : caractérisé par une forte présence de pores et de fissures d'où leur très fort potentiel de pollution.



**Figure IV-7 : représentation graphique de la variation de la cote en fonction des caractéristiques du milieu aquifère (aller et al; 1987 in touileb, 1997).**

### **-Type de sol (S)**

On s'intéresse à la couche végétale du sol de 1 à 2,5m d'épaisseur, siège d'une activité biologique et chimique intense. Le sol au sens pédologique du terme résulte de l'altération des roches mères. Le SCS « soil conservation service » a établi en 1984 une classification des sols sur la base du potentiel de pollution décroissant :

- ✓ Peu épais ou absent ;
- ✓ Gravier ;
- ✓ Sables ;
- ✓ Tourbes, matières organiques non décomposées ;
- ✓ Couches très minces et/ou en association de couches d'argiles ;
- ✓ Terres grasses limono-sableuses ;
- ✓ Terres grasses équilibrées en argiles, limons et sables ;
- ✓ Terres vaseuses, limoneuses ;
- ✓ Terres argileuses, limono-argileuses ;

- ✓ Matières organiques décomposées ;
- ✓ Argiles non épaisses et non en association.

L'attribution d'une côte standardisée pour un type de sol repose essentiellement sur la granulométrie. Une côte élevée, reflétant des conditions de haute vulnérabilité, est ainsi attribuée aux sols caractérisés par des particules grossières. Pour la sélection d'un type de sol, il est recommandé de :

- ✓ consulter la carte générale de l'occupation du sol ;
- ✓ définir les grandes classes de type de sol ;

### ***-Topographie (T)***

La variation de la pente des terrains contrôle la possibilité d'infiltration des polluants : les terrains dont la pente est supérieure à 18 % sont caractérisés par un ruissellement important qui favorise l'évacuation des substances polluantes vers l'aval ;

Les secteurs dont la pente est comprise entre 0 et 6% sont plus favorables à l'infiltration d'eau éventuellement polluée.

#### ***-Les couleurs utilisées dans la carte de vulnérabilité :***

Utiliser des couleurs propres à chaque unité pour distinguer entre degré de vulnérabilité. Les couleurs rouge, orange, et jaune indique les sites à fort potentiel de vulnérabilité, tandis que les couleurs bleu, et violet indiquent les sites les moins vulnérables

**Tableau VI .3.les couleurs utilisées dans les methods PRAST et DRASTIC**

intervalle de l'indice global		couleurs
méthode DRASTIC	méthode PRAST	
<79	<30	violet
80-99	30-39	indigo
100-119	40-49	bleu
120-139	50-69	vert foncé
140-159	70-99	vert clair
160-179	100-109	jaune

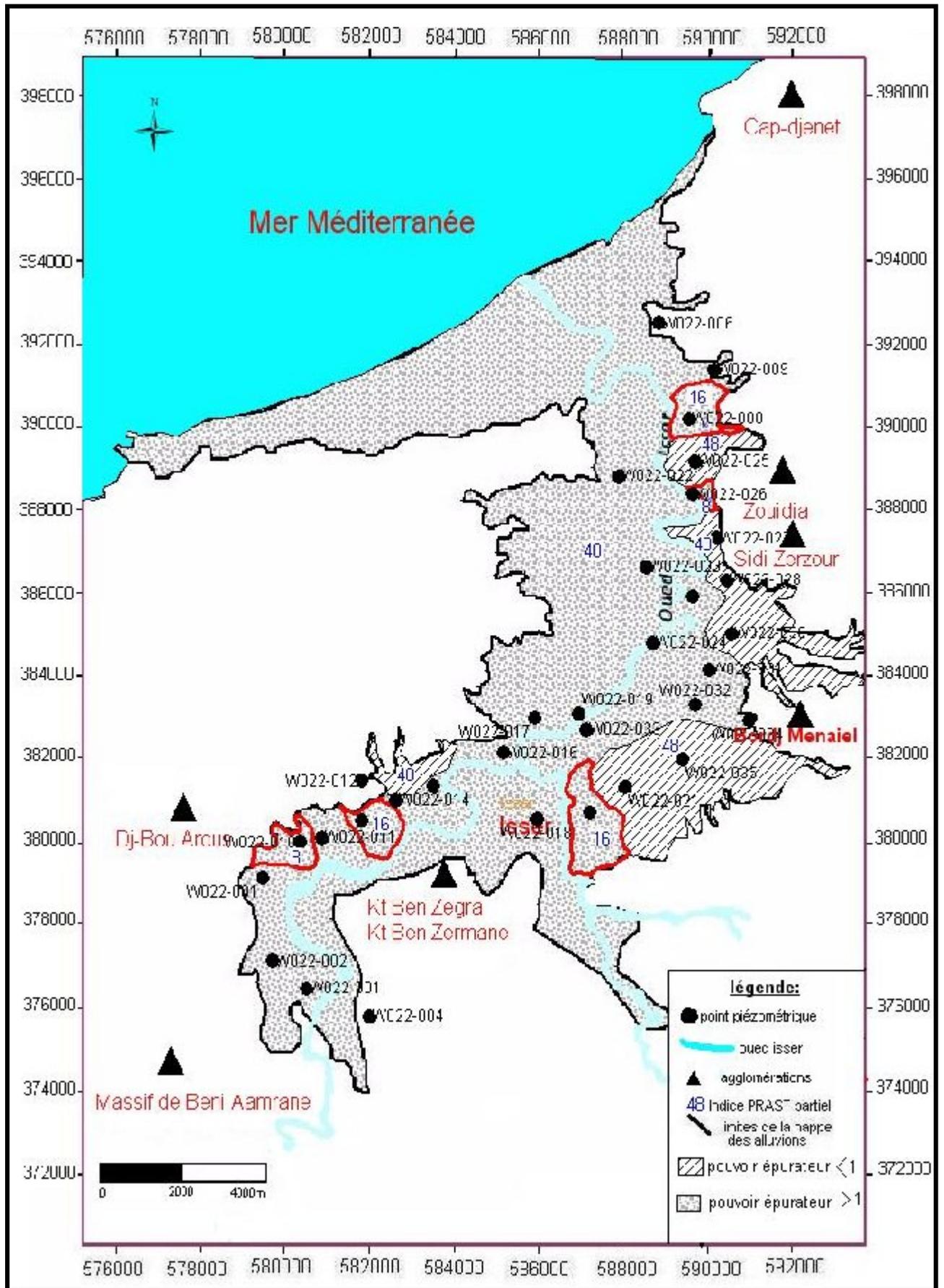


Figure IV-8: carte de paramètre pouvoir épurateur vertical (P) de la nappe alluviale du bas Isser

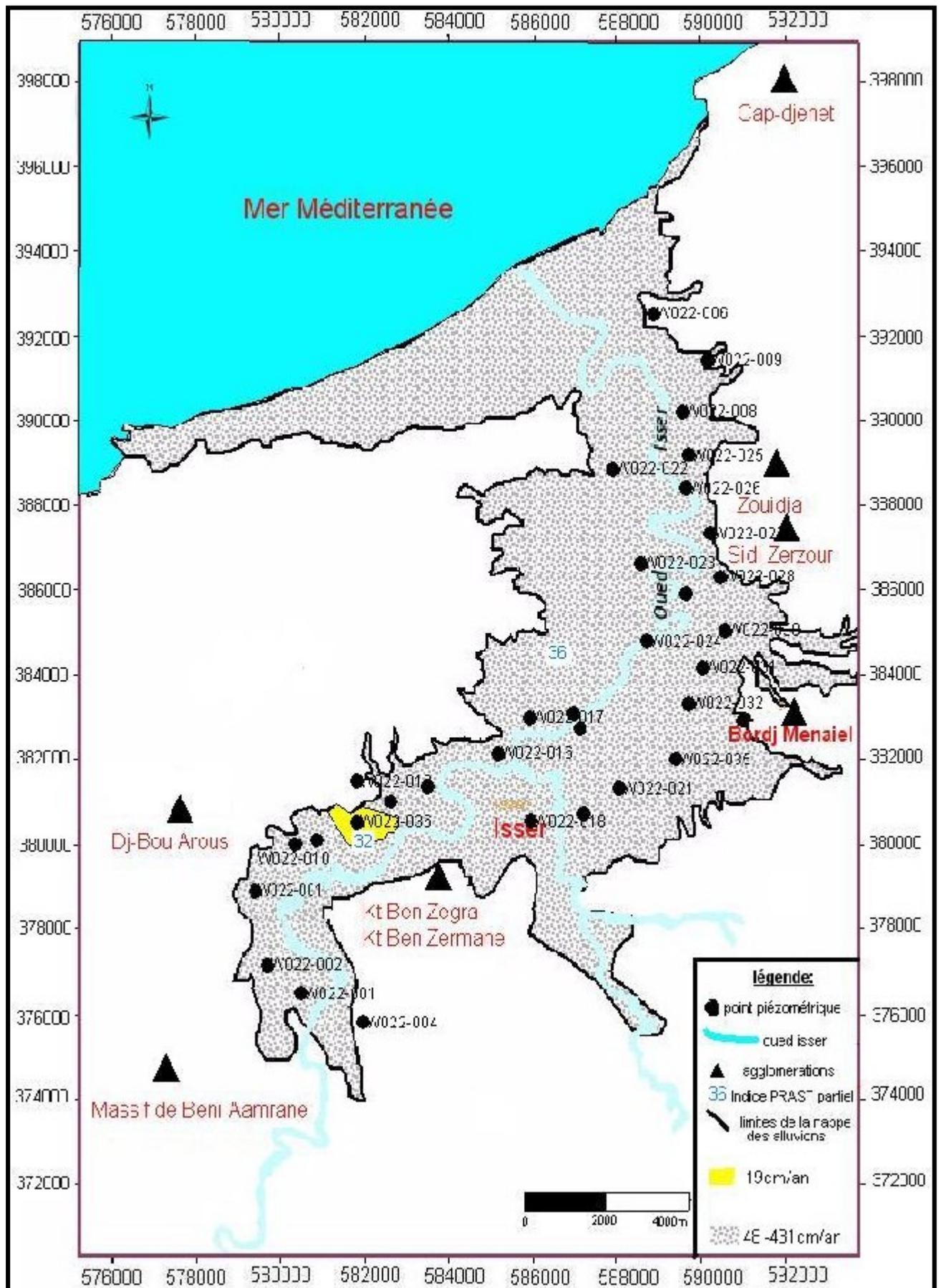


Figure IV-9: carte de paramètre recharge nette (R) de la nappe alluviale Du bas isser

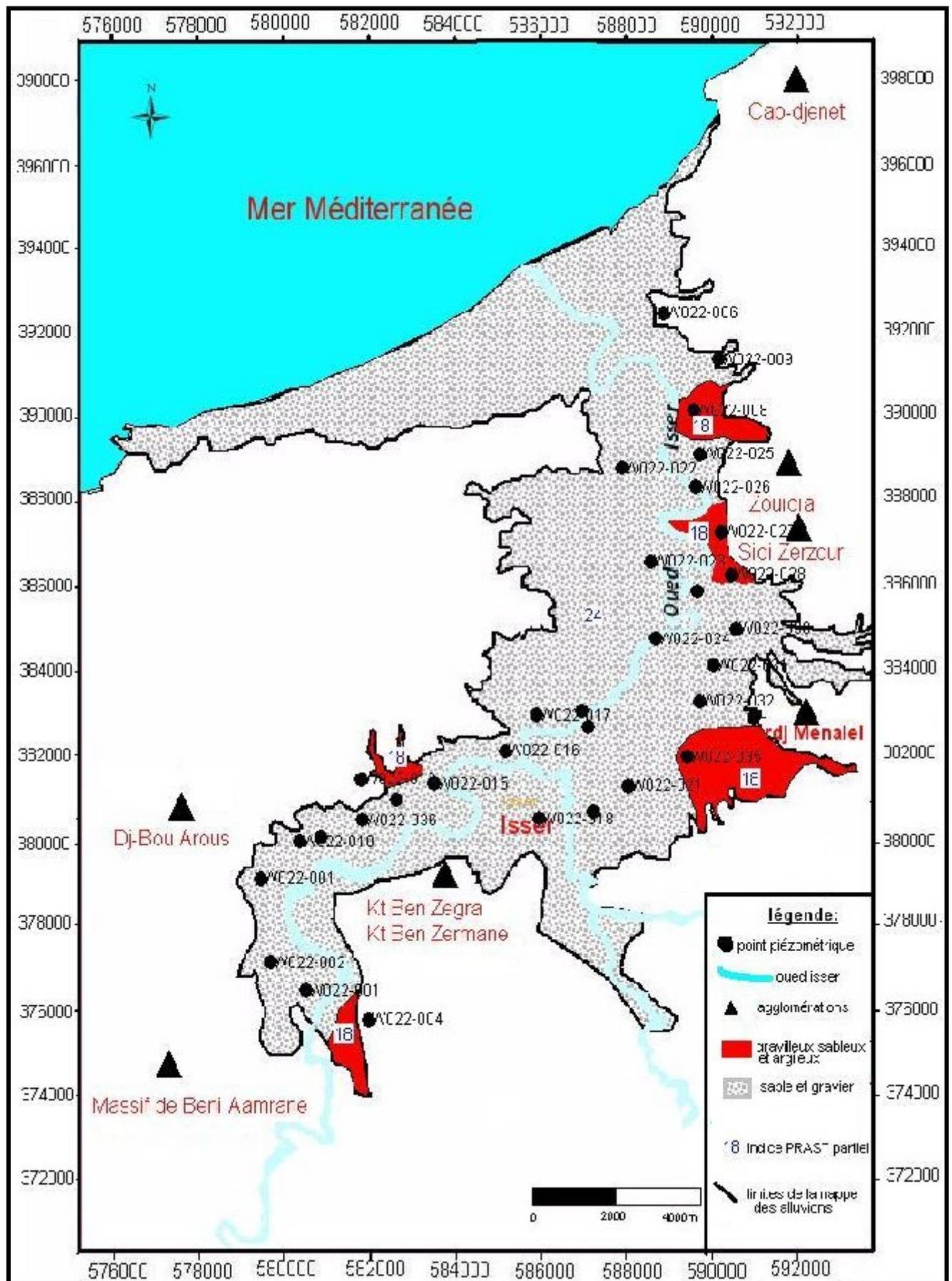


Figure IV-10-: carte des paramètres milieu aquifer (A) de la nappe alluviale Du bas isser

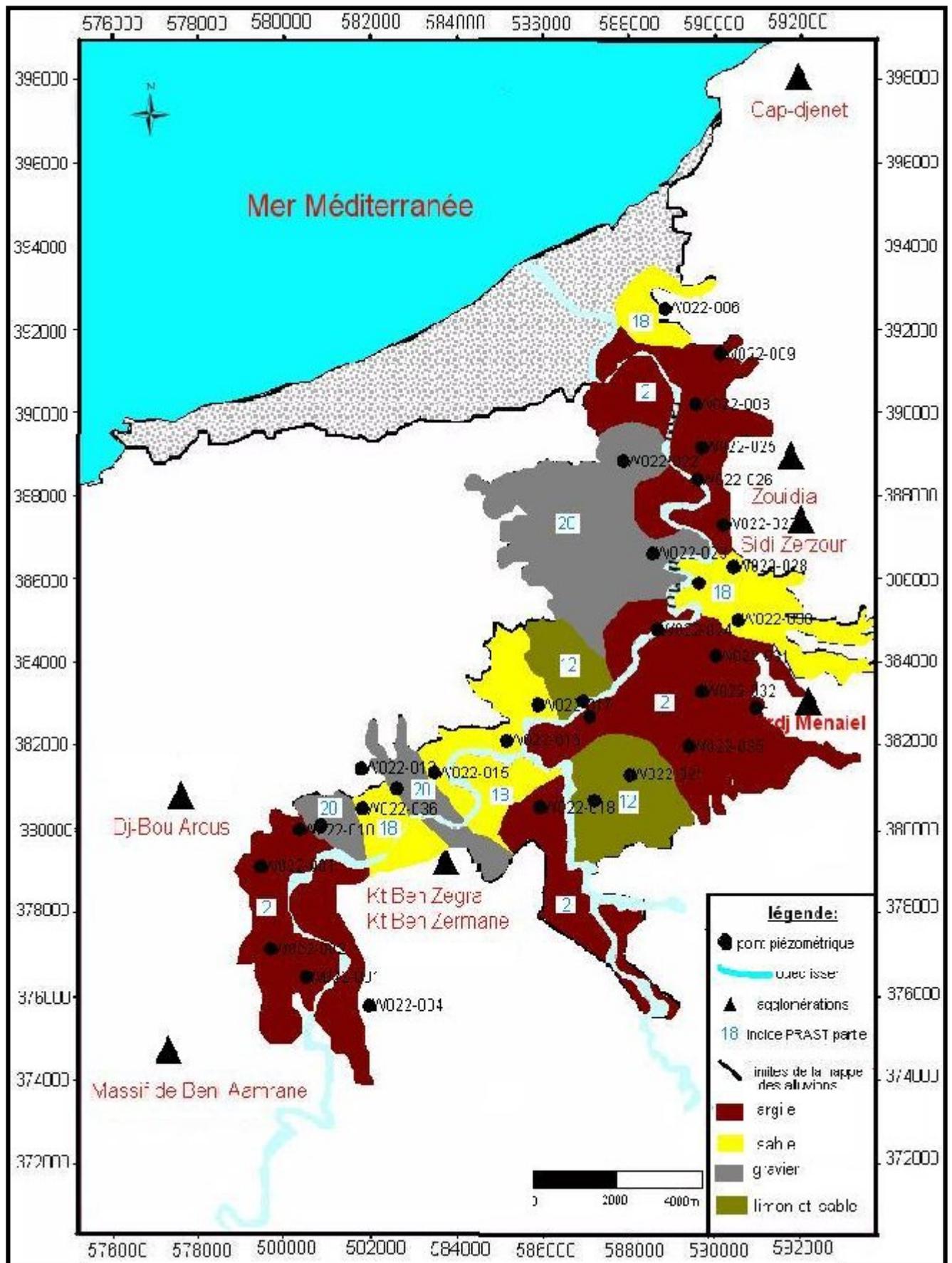


Figure IV-11:- carte de paramètre nature du sol (S) de la nappe alluviale  
Du bas Isser

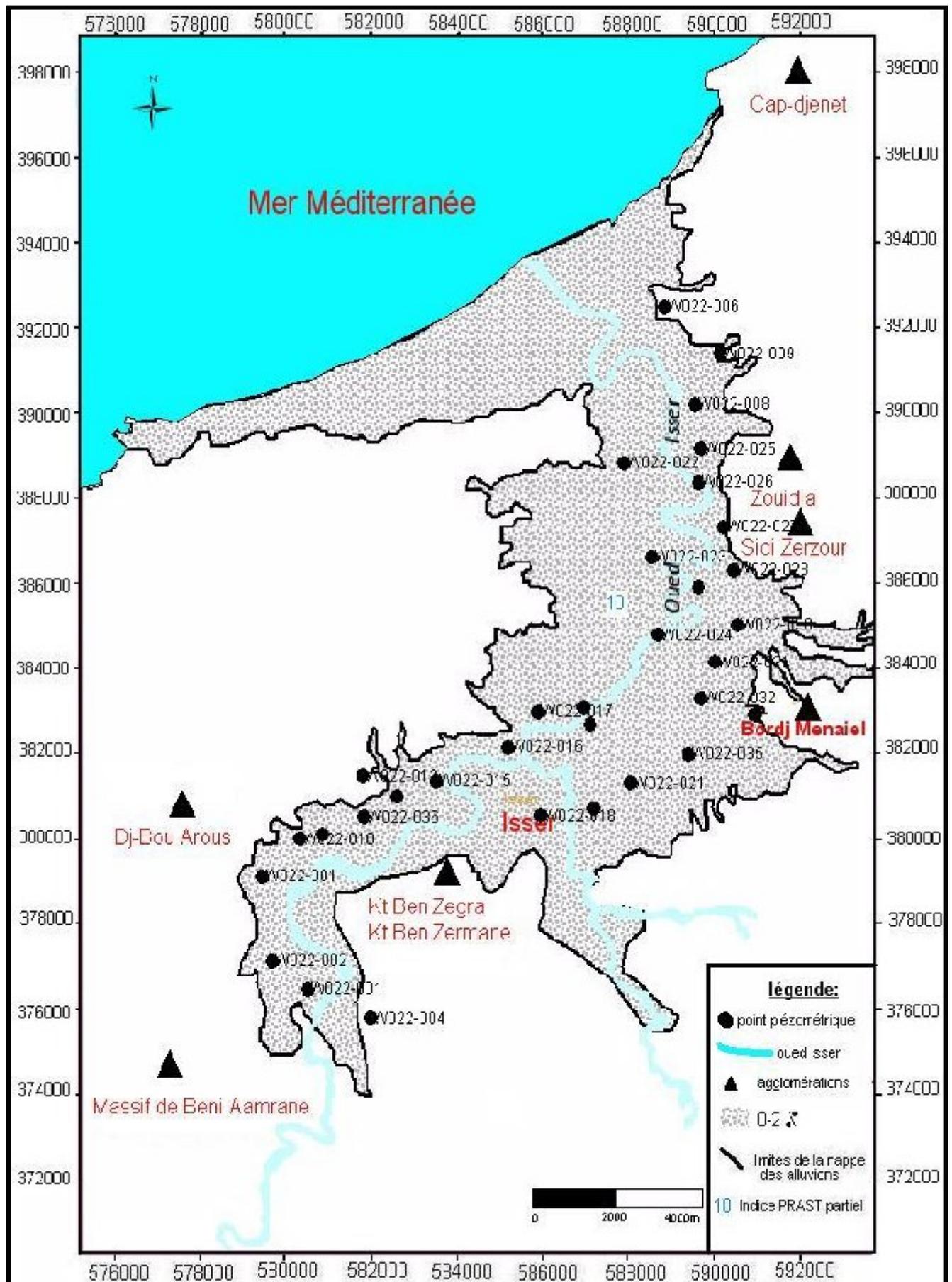


Figure IV.12: carte de paramètre topographie (T) de la nappe alluviale  
Du bas Isser

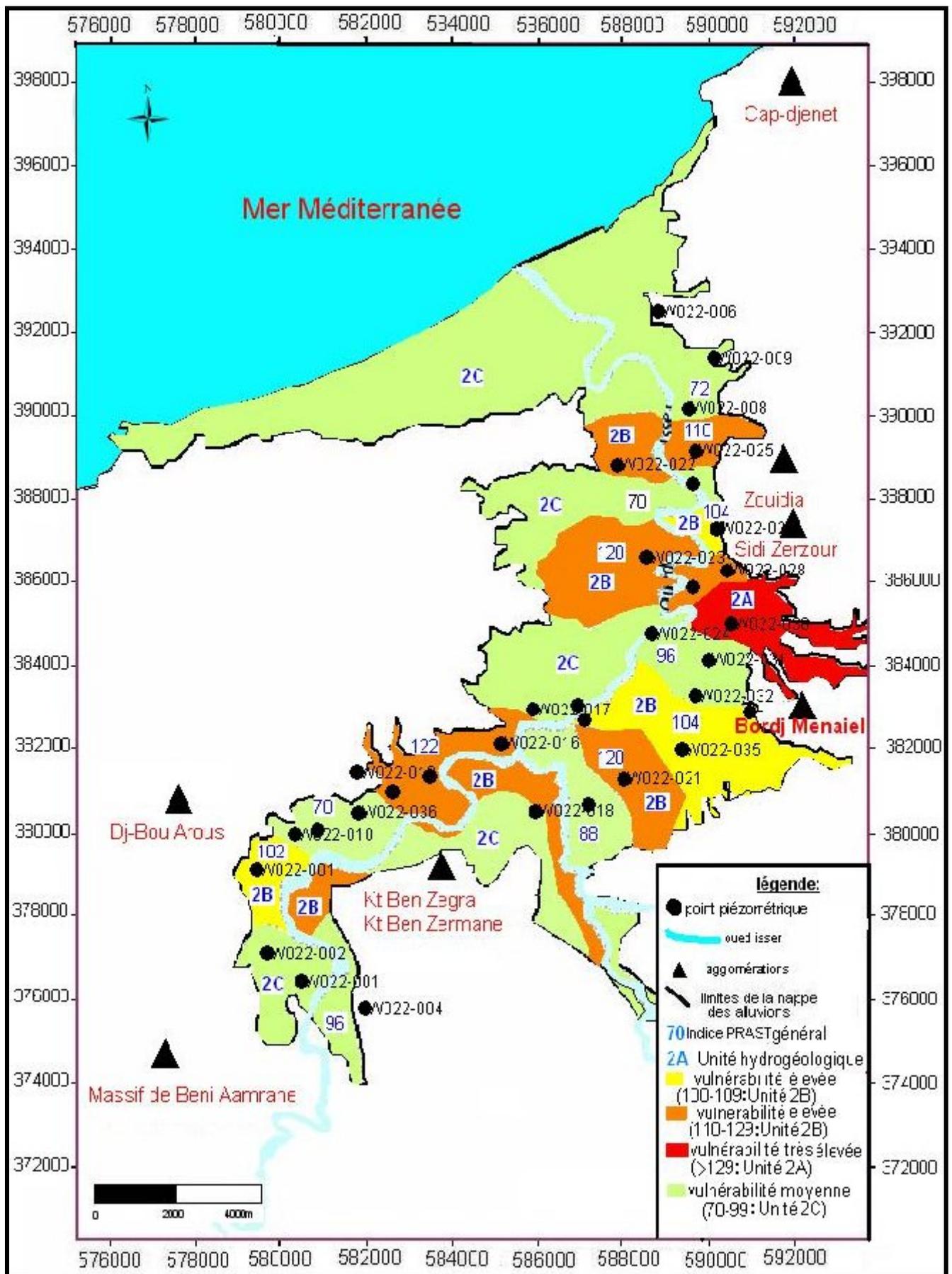


Figure IV-13: Carte de Vulnérabilité a la pollution De la nappe alluviale Du Bas Isser Application de méthode de PRAST

**IV-6. Identification et commentaire sur les différentes unités hydrogéologiques**

La carte PRAST permet de distinguer trois unités hydrogéologiques (Tableau 9) ayant des degrés de vulnérabilité comparables à ceux obtenus par la méthode DRASTIC à l'exception de l'unité à vulnérabilité faible. Ceux-ci peuvent s'expliquer par le nombre de paramètres que fait intervenir cette méthode ; le paramètre « P » relatif au pouvoir épurateur vertical du sol et du sous-sol qui remplace à lui seul les trois paramètres de la Méthode DRASTIC et qui sont : « D : profondeur de l'eau ; I : zone non saturée et C : conductivité hydraulique »

Unités hydrogéologiques (U.H.)		
2A : Très élevée	2B : Elevée	2C : Moyenne
124 – 130	99 – 124	70 – 99
Sous-unités hydrogéologiques (S.U.H.)		
124, 125, 127	99, 101, 104, 106, 107, 109, 110, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 121, 122, 123	83, 98

**Tableau 9 : Unités et sous-unités hydrogéologiques et leurs indices de vulnérabilité PRAST**

**Unité hydrogéologique : 2A (124-130) :**

De faible superficie, cette unité caractérise la région de au Nord-Est entre Sidi zerzour et Bordj –Menauel Elle correspond à des conditions de vulnérabilité très élevées. L'indice PRAST est supérieur à 129.

**Unité hydrogéologique : 2B (99 – 124)**

C'est une unité de grande extension, à vulnérabilité élevée avec un indice PRAST supérieur à 99. Les paramètres ; la topographie plane, la recharge supérieure à 48 cm/an. favorisent la propagation du polluant de la surface du sol vers le réservoir aquifère.

**Unité hydrogéologique : 2C (70 – 99)**

Elle est définie par un indice PRAST général qui varie entre 70 et 99. Elle correspond à des conditions de vulnérabilité moyenne. Elle occupe la grande zone littorale, la ville de Isser, East de Dj-bou Arous et le Nord-East de massif de beni Aamrane.

**Conclusion**

Les cartes de vulnérabilité aux pollutions sont une base d'information pour la gestion des ressources en eau et pour la prévention des pollutions accidentelles.

L'étude présente l'application de la méthode PRAST de façon intégrale à l'aquifère de Bas Isser. Cette méthode est basée sur un système de cotation numérique et permet l'établissement des cartes de vulnérabilité qui prend en compte les facteurs lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région qui interviennent dans l'atténuation des polluant déversés à la surface du sol lors de leur transfert dans le milieu aquifère.

La démarche PRAST mise au point par Rehse(1977) est une version simplifiée de la méthode DRASTIC. Cette dernière paraissant simple et efficace demeure néanmoins difficile d'application aux régions hydrogéologiques où les informations nécessaires font souvent défaut.

La méthode proposée consiste en un remplacement des trois paramètres (D), (C) et (I) difficile à acquérir par un seul paramètre qui est le pouvoir épurateur vertical (P) défini par Rehse (1977).

La représentation par cartes des degrés de vulnérabilité des nappes aux pollutions permet une zonation de la vulnérabilité. Il s'agit de montrer que la protection naturelle des nappes est

Variable suivant la localisation des aires pour lesquelles des mesures de protection doivent être envisagées.

### ***V.1. Définition***

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

### ***V-2 -Calendrier D'occupation Des Sols***

La répartition d'occupation des sols, relative aux cycles culturaux retenus pour le projet, est tracée dans le calendrier ci-dessous

**Tableau V-1 : Calendrier D'occupation Des Sols**

mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aoû
Tomate												
maïs												
Vigne de table												
poivre												
OIGNON (SEC)												
P. de terre primeur												

### ***V-3- Besoins en eau des cultures***

Les cultures pour se développer, puisent du sol l'eau et les éléments nutritifs. La quantité d'eau donnée à la culture n'est pas entièrement absorbée par la culture, une partie percole et se perd en profondeur.

L'eau qui constitue la plante est libérée par transpiration à travers l'appareil foliacé, le reste est évaporé par le sol. L'ensemble de ces deux actions est l'évapotranspiration. Ce phénomène conditionne et détermine les besoins en eau des cultures.

### ***V-4- Détermination de l'évapotranspiration***

#### ***V-4-1- Définition***

L'évapotranspiration se définit comme étant le rejet global de vapeur d'eau par le sol et par les feuilles d'une plante. On distingue deux types d'évapotranspiration :

Evapotranspiration potentielle ETP

Evapotranspiration réelle ETR

L'évapotranspiration potentielle représente la quantité d'eau évaporée, et transpirée par une végétation qui recouvrirait totalement le sol en eau n'est pas limité.

L'évapotranspiration réelle représente la quantité d'eau effectivement évaporée, à un moment donné, par le sol et la végétation.

#### ***V-4-2- Méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration***

L'évapotranspiration potentielle est rarement mesurée à l'aide de bacs, et d'évaporomètres. Le plus souvent elle est calculée par des formules à partir des données climatiques mesurées, mais ces formules (Turc, Blaney-criddle, Penman...) ne sont pas toutes équivalentes, leur représentativité varie selon les paramètres utilisés et des régions climatiques où elles ont été établies.

Les formules, les plus utilisées en Algérie sont celles de Blaney-criddle (U.S.A 1945), Turc (France 1960), et Penman (Angleterre 1948). pour notre cas on doit utiliser la formule de Turc, et celle de Penman

### 1) *Formule de Turc*

Cette formule est appliquée dans les régions relativement humides. Elle donne des résultats très surs, et qui se rapprochent de l'ETP mesurée

Celle-ci est donnée par l'expression suivante :

$$ETP = 0.4(Ig + 50) \cdot \left(\frac{t}{t+15}\right) \quad \text{Pour } hr \geq 50 \%$$

$$ETP = 0.4 \left[ (Ig + 50) \cdot \left(\frac{t}{t+15}\right) \right] \cdot \left[ 1 + \left(\frac{50 - hr}{70}\right) \right] \quad \text{Pour } hr < 50 \%$$

Avec :

ETP: évapotranspiration mensuelle	(mm)
t : température moyenne mensuelle	(c°)
Ig : radiation globale mensuelle	(cal / cm <sup>2</sup> / jour)
hr : humidité relative de l'air	(%)

Remarque :

Le 0,4 devient 0,37 pour le mois de février.

Le 0,4 devient 0,13 si on fait le calcul par décade.

Ig est rarement mesurée directement, mais elle peut être calculée par la relation suivante :

$$Ig = Iga(0,18 + 0,62 h / H)$$

Avec : Iga : radiation maximale donnée par des tables en fonction de la latitude.

h / H : insolation relative, en heures.

h : durée d'insolation de la station considérée, en heures / mois.

H : durée mensuelle du jour, en heures / mois.

### 2) *Formule de Penman*

Pour calculer l'ETP au pas de temps journalier, il est préférable d'utiliser la formule de Penman-Monteth, cette formule a pour avantage, au pas de temps journalier, de mieux prendre en compte, que celle de Penman, l'effet de la turbulence due au vent.

La formule est la suivante :

$$ETP = P / (t) \cdot \frac{Rn}{L} + \gamma \frac{Ea}{P(t) + \gamma}$$

Avec :

Rn : rayonnement net « climatique »

Ea : pouvoir évaporant de l'air, fonction du vent et du déficit de saturation de l'air.

L : chaleur latente de vaporisation (2,5. 106 J/Kg)

$\gamma$  : constante psychrométrique (0,65 hPa / °C)

$p'(t)$ : valeur de dérivée de la fonction de pression partielle de vapeur d'eau saturante en fonction de la pression partielle de vapeur d'eau en fonction de la température, pour la température de l'air T.

### ***Avec la formule Penman***

Le calcul se fait par le logiciel cropwat pour la détermination de l'ETP.

**Tableau V.2. : Évapotranspiration en mm / jour**

Mois	T°min (°c)	T°max (°c)	Humidit é (%)	Vent (km/jour)	Insolation (heurs)	Radiation (MJ/m <sup>2</sup> J)	ETP (mm/jour)
Jan	5.4	16.5	72	3.1	5.3	9.1	1.81
Fev	6.4	17.1	73	3.3	5.4	11.3	2.13
Mars	6.7	18.6	71	3.3	6.9	15.8	2.84
Avr	8.7	20	72	3.3	7.2	18.8	3.37
Mai	11.4	22.4	71	3.1	8.1	21.6	4.02
Juin	15.4	26.9	69	3.3	10	24.8	5.16
Juil	18.4	30.6	66	3.4	10.9	25.8	6.07
Août	18.7	30.7	67	3.1	9.9	23	5.55
Sep	16.8	28.8	68	2.9	8.6	18.8	4.51
Oct	13.1	24.8	69	3	7	13.8	3.29
Nov	9.2	20.3	71	2.9	5.7	9.9	2.23
Dec	7.3	17.6	72	3.4	4.8	8	1.89
Année	11.5	22.9	70	3.2	7.5	16.7	3.57

### ***V-5 -Traitement des données pluviométriques***

Afin d'estimer le déficit des précipitations pour les besoins en eau d'irrigation, une analyse statistique a été faite. Pour déterminer la fraction des pluies qui contribuent effectivement à couvrir les besoins en eau d'une culture, nous proposons quelques définitions des précipitations :

#### ***V-5-1-Précipitation moyenne mensuelle***

Moyenne déterminée mathématiquement pour une série de relevés pluviométriques. Elle est utilisée pour le calcul des besoins eau des cultures lorsque nous voudrions représenter les conditions climatiques moyennes.

**V-5-2-Précipitation en année humide, normale ou sèche :**

Une année humide, normale ou sèche est définie par la pluie ayant une probabilité de dépassement respective de : 20, 50 et 80%. Les précipitations en année normale (probabilité de 50%) sont, d'une manière générale représentée par les précipitations moyennes.

**V-5-3-Précipitation de projet**

La quantité de précipitations sur la quelle on peut compter quatre années sur cinq, correspond à une probabilité de 80% et représente une année sèche. La précipitation ayant une probabilité de dépassement de 80% est utilisée dans le dimensionnement d'un réseau d'irrigation, appelé souvent précipitation de projet.

**A -Calcul de la précipitation en année humide ou sèche**

Concernant notre projet, on s'est référé aux données de pluies de la station de Bordj Ménaïel Pépinière (09510), représentant la zone du Bas Isser Algérois., pour la détermination de la pluie des années : sèche, normale et humide, par un calcul de probabilités, L'expression si dessous, nous a permis la détermination des valeurs mensuelles pour les années : sèche 80%, normale 50% et humide 20%.

$$P_{iP\%} = P_{iMoy} * \frac{P_{P\%}}{P_{Moy}}$$

Dans la quelle :

$P_{iP\%}$  : Pluie mensuelle de l'année de probabilité de dépassement de P%, du mois i, en (mm).

$P_{iMoy}$  : Pluie moyenne mensuelle du mois i, en (mm).

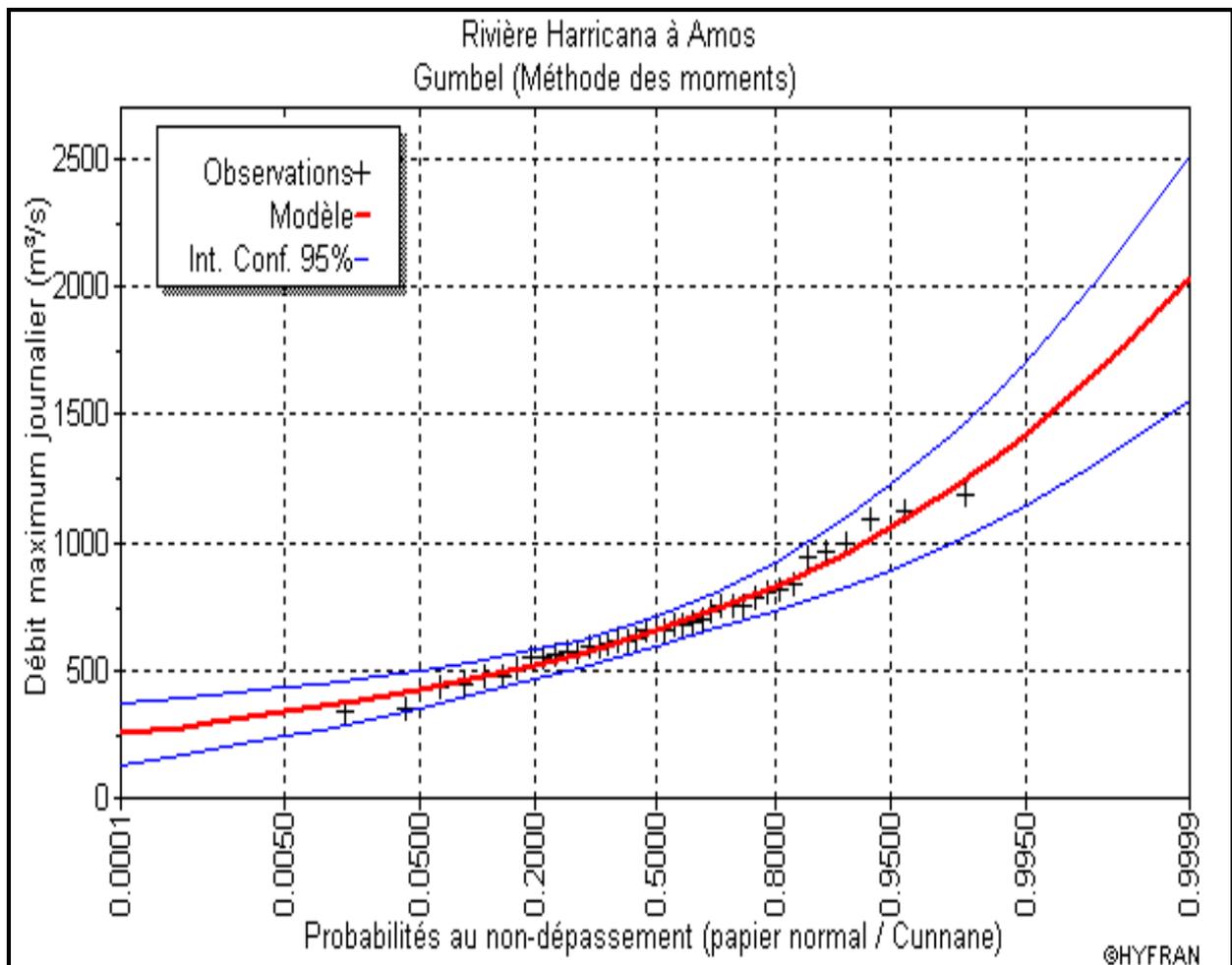
$P_{P\%}$  : Pluie annuelle à une probabilité de dépassement de P%, en (mm).

$P_{Moy}$  : Pluie moyenne annuelle en (mm).

Tableau V-3. Ajustement de lois de GUMBEL

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	inférieure	supérieure
1127	342.5	1	0.013	-1.472	342.5	365.5493	294.028	416.0394
1095.5	346.9	2	0.038	-1.181	346.9	410.8835	349.457	455.6897
965	437.2	3	0.064	-1.011	437.2	437.4897	381.579	479.3689
592.5	446.5	4	0.09	-0.88	446.5	457.8732	405.917	497.7809
691.2	471.2	5	0.115	-0.77	471.2	475.0488	426.203	513.5171
471.2	473.7	6	0.141	-0.672	473.7	490.2651	443.976	527.6563
572.1	508.2	7	0.167	-0.583	508.2	504.1725	460.036	540.7644
566.4	549.9	8	0.192	-0.5	549.9	517.1587	474.854	553.1821
751.3	555.3	9	0.218	-0.421	555.3	529.4769	488.736	565.1351
622.6	566.4	10	0.244	-0.345	566.4	541.3043	501.893	576.7837
555.3	566.9	11	0.269	-0.272	566.9	552.772	514.479	588.2486
694	572.1	12	0.295	-0.2	572.1	563.9816	526.612	599.6254
610.3	592.5	13	0.321	-0.129	592.5	575.0151	538.385	610.9927
805.7	597.5	14	0.346	-0.059	597.5	585.9416	549.876	622.418
678.7	605.8	15	0.372	0.011	605.8	596.8213	561.151	633.9612
747.1	610.3	16	0.397	0.08	610.3	607.7088	572.269	645.6774
508.2	614.8	17	0.423	0.151	614.8	618.6551	583.284	657.619
614.8	622.6	18	0.449	0.221	622.6	629.7096	594.25	669.8377
446.5	654.3	19	0.474	0.293	654.3	640.9219	605.217	682.3859
657.5	657.5	20	0.5	0.367	657.5	652.3427	616.238	695.3186
831.6	659.5	21	0.526	0.441	659.5	664.0259	627.364	708.6949
597.5	678.3	22	0.551	0.518	678.3	676.03	638.655	722.5805
437.2	678.7	23	0.577	0.598	678.7	688.4198	650.171	737.0495
678.3	691.2	24	0.603	0.68	691.2	701.2689	661.981	752.1876
659.5	694	25	0.628	0.766	694	714.6625	674.163	768.0959
346.9	725.4	26	0.654	0.856	725.4	728.7013	686.807	784.8952
939.6	747.1	27	0.679	0.951	747.1	743.5068	700.02	802.7335
605.8	751.3	28	0.705	1.052	751.3	759.2285	713.932	821.7944
473.7	756.4	29	0.731	1.159	756.4	776.0541	728.704	842.311
549.9	787.5	30	0.756	1.276	787.5	794.2263	744.541	864.5857
342.5	805.7	31	0.782	1.403	805.7	814.0661	761.715	889.0215
1189.2	816.4	32	0.808	1.544	816.4	836.0139	780.595	916.1726
654.3	831.6	33	0.833	1.702	831.6	860.6975	801.704	946.8318
725.4	939.6	34	0.859	1.884	939.6	889.0589	825.828	982.1907
566.9	965	35	0.885	2.099	965	922.6087	854.219	1024.163
787.5	990.6	36	0.91	2.364	990.6	964.0066	889.083	1076.122
990.6	1095.5	37	0.936	2.714	1095.5	1018.64	934.883	1144.903
816.4	1127	38	0.962	3.239	1127	1100.427	1003.13	1248.183
756.4	1189.2	39	0.987	4.35	1189.2	1273.872	1147.15	1467.93

Fréquence	U.Gumbel	Val.théo.	Borne inf.	Borne sup.	Valeur	Fréq. théo.	Pér. Ret.
0.8	1.5	829.176	774.725	907.701	829.176	0.8	5
0.2	-0.476	520.915	479.106	556.809	520.915	0.2	1.25
0.5	0.367	652.343	616.238	695.319	652.343	0.5	2



**Figure V-1 : courbe d'Ajustement de lois de GUMBEL**

Les valeurs annuelles correspondantes aux probabilités de dépassements de : 80%, 50% et 20% sont :

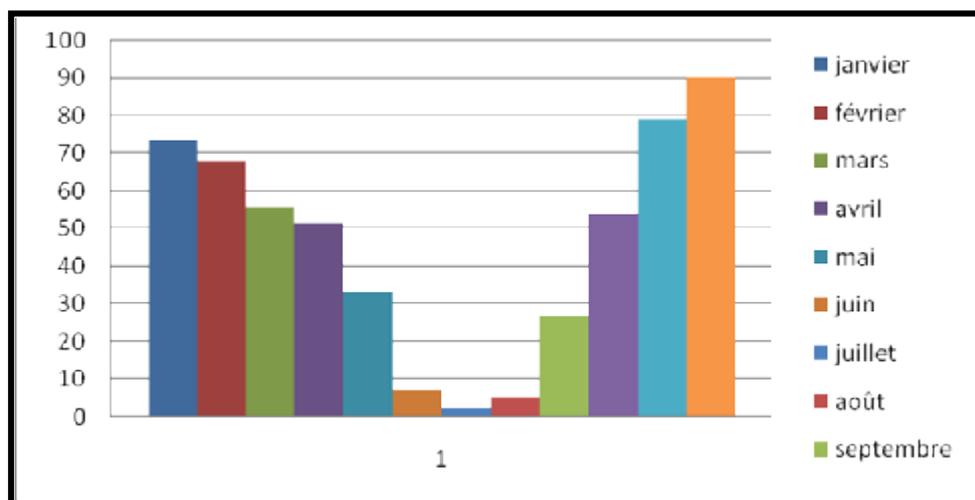
P80%= 829.176 mm.

P50%= 652.343 mm.

P20%= 520.915mm

**Tableau V-4. Les valeurs de pluie moyenne mensuelles**

mois	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	août	sep	oct	nove	déc
P <sub>moy</sub> (mm)	92.1	85	70	64.4	41.5	9.1	3.13	6.9	33.6	67.4	99.17	112.75

**Figure V-2: la pluviométrie mensuelle****V-6--Calcul de la pluie efficace :**

Pour tenir compte des pertes, le programme Cropwat 8.0, nous permettra de calculer la précipitation efficace, définie comme étant la fraction des précipitations contribuant effectivement à la satisfaction des besoins de l'évapotranspiration de la culture après déduction des pertes par ruissellement de surface, par percolation en profondeur, etc.

Il est difficile d'évaluer les pluies efficaces sans avoir recours à des mesures effectuées pendant de longues périodes,

Les valeurs mensuelles de  $ET_0$ ,  $P_{30\%}$  et  $P_{eff}$  sont regroupées dans le tableau V-5.

**Tableau V- 5 : Précipitations efficaces dans la zone de projet.**

mois	ETO (mm/jour)	Pluie (mm)	Pluie eff (mm)
Janvier	1.8	73.7	59
Février	2.13	68.2	54.6
Mars	2.84	55.9	44.7
Avril	3.37	51.5	41.2
Mai	4.02	33.2	26.6
Juin	5.16	7.3	5.8
Juillet	6.07	2.5	2
Août	5.55	5.5	4.4
Septembre	4.51	26.9	21.5
Octobre	3.29	53.9	43.1
Novembre	2.23	79.3	63.4
Décembre	1.89	90.2	72.2
Total	3.57	548.1	438.5

**V-6-1- Détermination des besoins d'irrigation des cultures****V-6-1-1 Définition**

Le besoin en eau d'irrigation,  $b$ , est la quantité d'eau que l'on doit apporter à la culture pour être sûr qu'elle reçoit la totalité de son besoin en eau ou une fraction déterminée de celui-ci. Si l'irrigation est la seule ressource en eau, le besoin en eau d'irrigation sera au moins égale au besoin en eau de la culture et il est souvent plus important en raison des pertes à la parcelle (besoin de lessivage, percolation profonde, inégalités de répartition, etc.).

**V-6-1-2-Calcul des besoins en eau d'irrigation pour les cultures d'assolement**

Les besoins théoriques mensuels sont déterminés par le bilan hydrique

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

$B$  : besoin en eau d'irrigation (mm)

E.T.P : évapotranspiration (mm / jour)

RFU : réserve facilement utilisable

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

$Y$  : degré de tarissement

$D_a$  : densité apparente

$Z$  : profondeur d'enracinement mm

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

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

$P_{eff}$  : pluie efficace

$P_{eff} = A \cdot \text{pluie}$  ; ou  $A = 0,8$  à  $0,9$  (pour notre cas on a prendre  $A = 0,8$ )

L'irrigation est fait lorsque  $B > 0$ , (d'après la formule 10)

Pour notre travail on a utilisé le logiciel cropwat

Les résultats de calcul pour les différentes cultures sont : voir annexe 5

**V-6-1-3. Besoins mensuel en eau d'irrigation des cultures****Tableau V-6 : Détermination des besoins en eau des cultures**

mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	jui	juil	aoû	besoins net (mm)	superficie (ha)	besoins net (m <sup>3</sup> /ha)	besoins net total (m <sup>3</sup> )
Tomate	83.8								49.6	123.9	212.5	192.5	662.3	94.17	6623	623687.91
mais							0.9	59.4	129	124.2	6.2		319.5	100	3195	319500
Vigne de table	95.8	46	3.3	0	0	0	0	0	11.7	70.1	148.1	143.7	518.7	200	5187	1037400
poivre					0	0.8	49.2	65	12.5				127.5	50	1275	63750
OIGNON (SEC)							16.5	40.6	93.1	140.4	138.7		429.3	60	4293	257580
Pomme de terre			0	0	7.2	8.8	5.3						21.3	90	213	19170
total	179.6	46	3.7	0	7.2	9.6	71.9	165	296	458.6	505.5	336.2	2078.6	594.17	20786	2321087.91

Les besoins en eau de la période de mars jusqu'à aout est égale a : 18332 m<sup>3</sup>/ha

### V-7 Lessivage Des Sols

Le lessivage est une pratique qui consiste à appliquer des doses d'eau supplémentaires, en dehors des besoins en eau des plantes, cela, afin d'entraîner tout ou une partie des sels dissout dans le sol en profondeur, hors de la zone racinaire des cultures.

Il permet le maintient de la salinité du sol à un seuil souhaité. Un lessivage ne peut être efficace que s'il est accompagné d'un drainage.

#### V-7-1- Le Rôle Du Lessivage

En culture irriguée, l'objectif de lessivage du sol est d'éliminer le sels qui s'est accumulés sous l'effet de l'évapotranspiration dans la partie du sol exploitée par les racines (sels préexistants ou apportés par les eaux d'irrigation)

Le lessivage implique donc :

- La connaissance de la dose (excès) d'eau à apporter pour abaisser la salinité à un niveau satisfaisant.
- Les conditions de drainage interne suffisantes pour permettre l'évacuation des sels en excès hors de la zone racinaire ou au minimum de leur maintien à une profondeur telle qu'ils soient sans effets sur la culture

#### V-7-2- Notions du bilan salin dans un sol

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

$$\Delta S = I_w \times C_i - D_w \times C_d + S_a + S_s + S_p + S_e$$

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

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

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

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

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

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

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

L'idéal serait de parvenir à un modèle où  $\Delta S$  serait égale à zéro, c'est-à-dire supposé.

$$S_a + S_s + S_p + S_e = 0$$

#### V-7-2-Calcul Du Lessivage D'entretien

Pour ce mode, la dose de lessivage est apportée par fraction en même temps que les doses d'irrigation, c'est à dire qu'on ne laissera pas les sels s'accumuler dans le sol, ils seront progressivement lessivés.

Le système d'irrigation en place sert donc à l'application des doses de lessivage avec les doses d'irrigation.

La formule, la plus simple pour l'estimation de la fraction de lessivage d'entretien serait:

$$LR = \frac{D_w}{I_w} = \frac{C_i}{C_d} = \frac{C E_i w}{C E_d w}$$

Cependant l'expression de  $\Delta S$ , est jugée trop grossière, car elle découle de la supposition  $\Delta S = 0$ .

Ainsi, plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de la fraction de lessivage par des formules empiriques, qui dépendent essentiellement ; de la salinité de l'eau d'irrigation, de la salinité de sol que l'on voudrait obtenir et de la tolérance des plantes aux sels.

En 1972 Mr Rhodes a présenté la formule, qui permet l'appréciation de la fraction de lessivage d'entretien d'une manière plus raisonnable

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w}$$

Suivant la quelle :

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

$EC_w$  : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation ( $EC_w = 1.78 \text{ mmhos/cm}$ ).

$EC_e$  : Conductivité électrique du sol qui provoque une chute de rendement de 10% (d'après la table de FAO)

donc: pour  $EC_e = 7 \text{ mmhos/cm}$

$$LR = \frac{1.78}{5(7) - 1.78} = 0.05 \approx 5\%$$

Il faudra donc à chaque irrigation augmenté la dose de **5%**

**-Besoin en eaux d'irrigation +lessivage**

$$VIE = ETM \frac{1}{1 - LR}$$

ETM : l'évapotranspiration

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

$\frac{1}{1 - LR}$  : Coefficient de lessivage.

**Tableau V-7: Estimation la dose de lessivage**

IR	besoin net	lessivage	(irrigation +lessivage)
	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{m}^3/\text{h}$
<b>0.05</b>	<b>18332</b>	<b>916.6</b>	<b>19248.6</b>

## Conclusion

L'étude qui a été faite au niveau de notre région dans le but de déterminer la formule exacte pour l'estimation de l'évapotranspiration; la connaissance des apports, des pertes d'eau et les besoins en eau des plantes, nous ont permis de déterminer les besoins en eau d'irrigation pour les cultures que nous avons proposés précédemment.

## ***Introduction***

Quelle que soit l'origine de l'eau et son mode de transport (canaux ou conduites), le problème le plus délicat est le choix de la méthode pour de répartition de cette eau sur le sol de façon que les plantes en tirent le maximum de profit.

### ***VI- 1- Les Différentes Techniques D'irrigation***

Les techniques d'irrigations peuvent être rangées en trois (03) classes, soit :

#### ***VI-1-1- L'irrigation De Surface***

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

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

#### ***VI-1-2- Irrigation Par Ruissellement***

##### ***a) – Les planches de ruissellement***

On divise la surface à irriguer en bandes rectangulaires prise dans le sens de la plus grande pente.

En général, la longueur des planches varie de 5 à 30 m. et leur largeur de 50 à 800 m.

L'irrigation par planches convient le mieux aux pentes inférieures à 0,5 %. Cependant, les pentes longitudinales maximales des planches peuvent atteindre 4 % à 5 %.

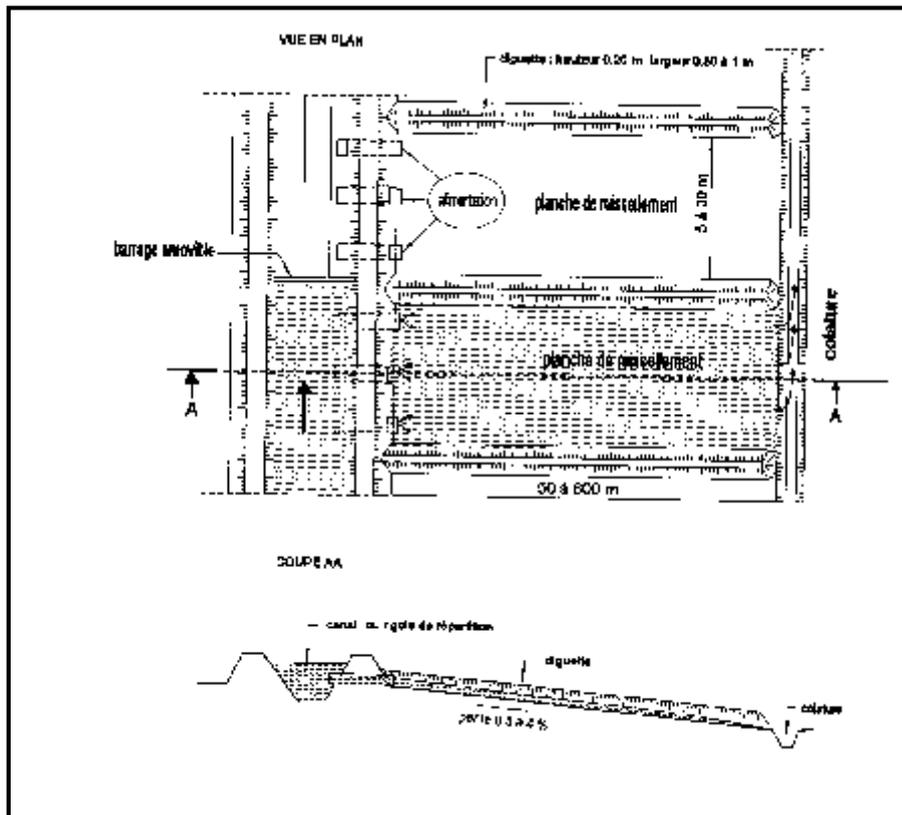
Les sols convenant le mieux à cette technique sont les sols moyennement filtrants.

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

La préparation des planches est minutieuse et coûteuse et exige une main-d'œuvre qualifiée et des équipements de terrassement performants.

Les pertes par percolation profonde et en culture est importante, et font remonter dangereusement le niveau des nappes phréatiques.

Les efficacités observées, s'échelonnent dans une gamme très large allant de 45 % à 85 %.



**Figure.VI.1. Irrigation par planche de ruissellement (Tamzi, 2003)**

***b) – L'arrosage à la raie***

Consiste à amener l'eau à la plante, par une série plus au moins dense (espacement d'environ 0,75 à 1 m.) de petits fossés à ciel ouvert à pente faible mais régulière.

Les raies sont tracées suivant la ligne de plus grande pente du terrain pour des pentes < 02 %. Pour des pentes > 02 % les raies sont orientées obliquement par rapport à la ligne de plus grande pente. La forme des sections des raies peut être triangulaire, trapézoïdale ou parabolique avec :

- Largeur : 25 à 40 cm.
- Profondeur : 15 à 30 cm.

L'arrosage à la raie se pratique sur les terrains d'environ 0,5 à 4 % de pente et convient à toutes les cultures de céréales et de plantes sarclées (Maïs, Coton, Pomme de terre etc. ....). L'arrosage à la raie pose de sérieux problèmes d'application de l'eau lorsque la longueur des raies devient importante (supérieure à 250 m.).

Il exige une main d'œuvre abondante et qualifiée pour la conduite des arrosages.

L'efficacité des arrosages telle qu'elle est constatée peut se situer entre 40 % et 70 %.

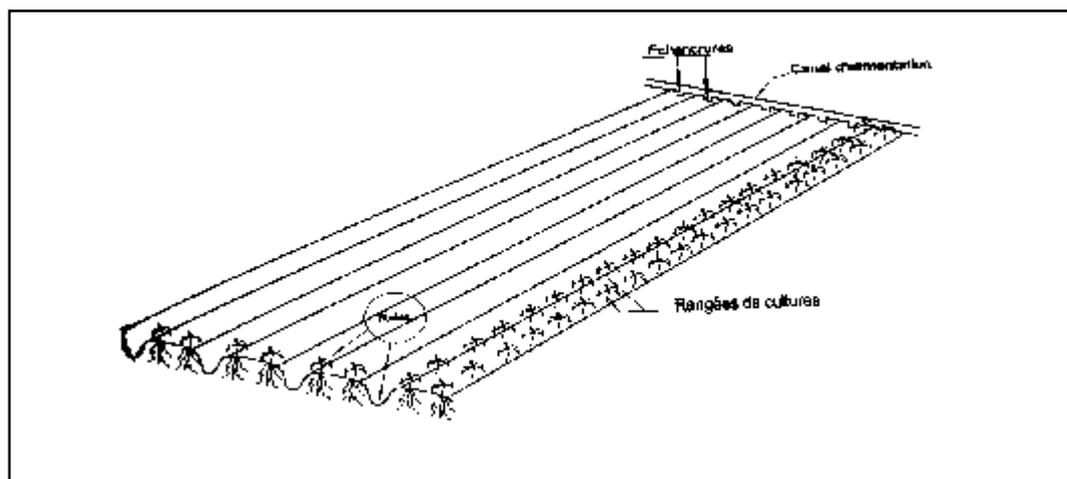


Figure. VI.2. Irrigation à la raie (Tamzi, 2003)

### VI-1-3-Irrigation Par Submersion

Dans la pratique de la submersion, l'eau est apportée et répandue aussi vite que possible sur l'ensemble de la parcelle à irriguer avant la phase d'infiltration proprement dite. La pratique de la submersion, nécessite l'aménagement du terrain en bassins de submersion, avec des petites digues de 30 à 40 cm. de hauteur et une revanche minimum de 10 cm.

L'irrigation par submersion est une technique d'arrosage appliquée de préférence en terrain presque plat (moins de 0,1 % de pente).

L'uniformité de l'arrosage est directement liée à trois (03) facteurs :

- 1). Faible perméabilité (terrain très peu ou moyennement perméable)
- 2). Qualité du nivellement.
- 3). Fort débit d'apport.

La nécessité du nivellement implique généralement des travaux de terrassement importants et coûteux.

Ce système d'irrigation s'emploie dans les rizicultures, les pâturages, les vergers, les prairies, les céréales en ligne, mais en raison du coût du nivellement des parcelles, il est généralement réservé à des terrains plats.

L'efficacité de la technique d'irrigation en submersion se situe entre 45 et 70%

L'application d'une couche d'eau sur la surface de sol à irriguer provoque leur tassement et le rend moins perméable et par conséquent gêne l'aération du sol.

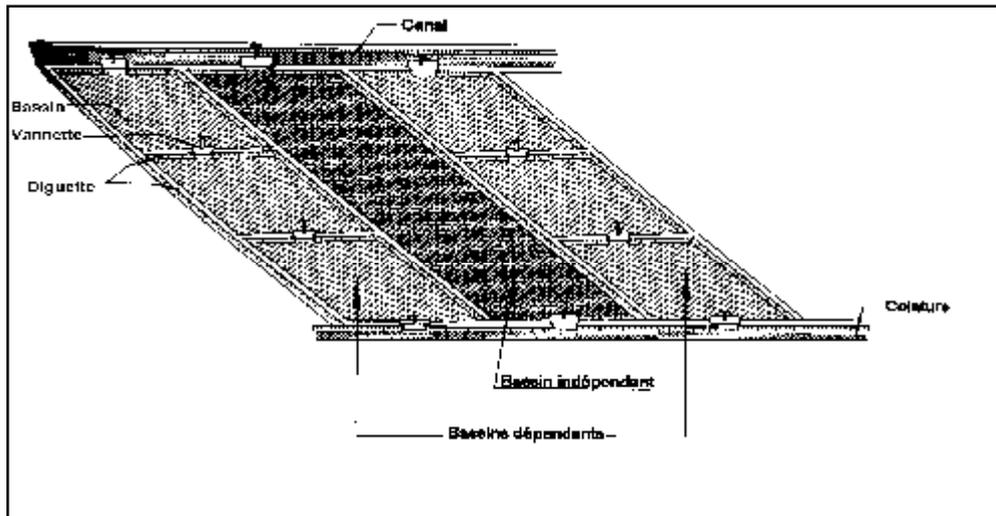


Figure.VI.3. Irrigation par submersion (Tamzi, 2003)

#### *VI-1-4-L'irrigation Mixte*

Il s'agit d'un ruissellement suivi d'une submersion. Les dispositions générales de ce mode d'irrigation sont identiques à celles que nous avons vu, mais lorsque l'eau atteint le niveau voulu dans le bassin, on continue à les alimenter en prenant soin d'évacuer les surplus.

A cet effet, les compartiments sont munis d'un déversoir arasé au niveau fixé pour le plan maximal. L'eau en excès est évacuée dans les colatures ou dans un bassin contigu.

L'avantage de ce système est que l'eau est plus aérée apporte plus de matières nutritives et présente une température plus régulière ce qui peut être intéressant pour les cultures.

#### *VI-1-5- L'irrigation Par Aspersion*

En irrigation par aspersion, l'eau parvient aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie, grâce à l'utilisation de divers appareils de projection, alimentés sous pression.

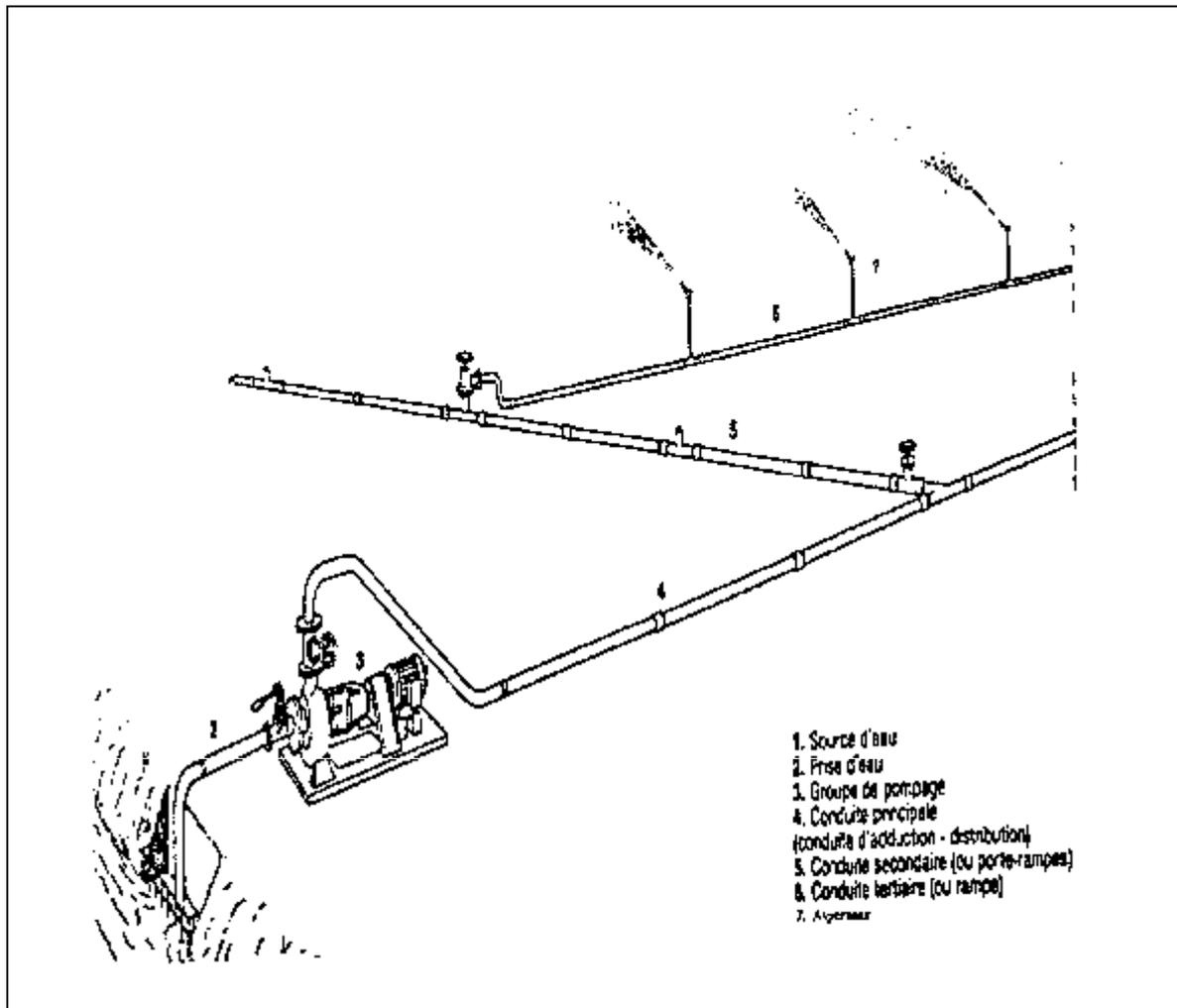
Pour cette technique d'irrigation aucun nivellement de la surface n'est nécessaire. Cependant, la pente générale du sol ne doit pas en principe dépasser 10% pour les machines à irriguer.

Tous les types de sols peuvent convenir : on peut obtenir la même efficacité d'arrosage sur les sols les plus sableux que sur les sols les plus argileux, grâce à la large gamme des intensités pluviométriques (I) offertes par les différents matériels (  $I < 4$  mm /h pour sols peu perméables, jusqu'à  $I < 50$  mm /h pour sols perméables).

Cette technique d'irrigation présente une excellente efficacité située entre - 85 %, essentiellement en fonction de la maîtrise technique des irrigants. L'irrigation par aspersion est utilisée pour l'arrosage des cultures les plus Diverses : fourragères, maraîchères, céréales, vergers, vigne, etc....

Les techniques d'arrosage appliquées en irrigation par aspersion dépendent du matériel utilisé. Elles se divisent en deux grandes catégories :

- L'aspersion simple (rampes perforées, asperseurs, canons)
- Les machines à irriguer (rampes frontales, pivots, enrouleurs, etc. ....)



**Figure.VI.4. Partie essentielle d'une installation en aspersion classique**  
 (Tamzi, 2003)

### ***VIII-1-6-L'irrigation Localisée***

L'irrigation localisée ou micro-irrigation, est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution de l'eau à la parcelle. Elle se caractérise par :

la mise en place sur la parcelle d'un réseau de canalisation,  
 une discontinuité des points d'apport permettant de n'irriguer que les zones utiles à la plante,  
 des débits faibles généralement inférieurs à 100 l/h,

Une distribution fréquente pour maintenir un certain volume d'eau à un niveau voisin de la capacité au champ.

Selon le type de distribution utilisé, l'eau se localise par points (goûteurs, gaines), par lignes (tubes poreux) ou par surface plus au moins grandes (muni diffuseurs, micro-asperseurs). L'efficacité de l'irrigation localisée est excellente. Elle est située entre 70% à 95%.

L'irrigation localisée est surtout pratiquée en cultures maraîchères ou fruitières.

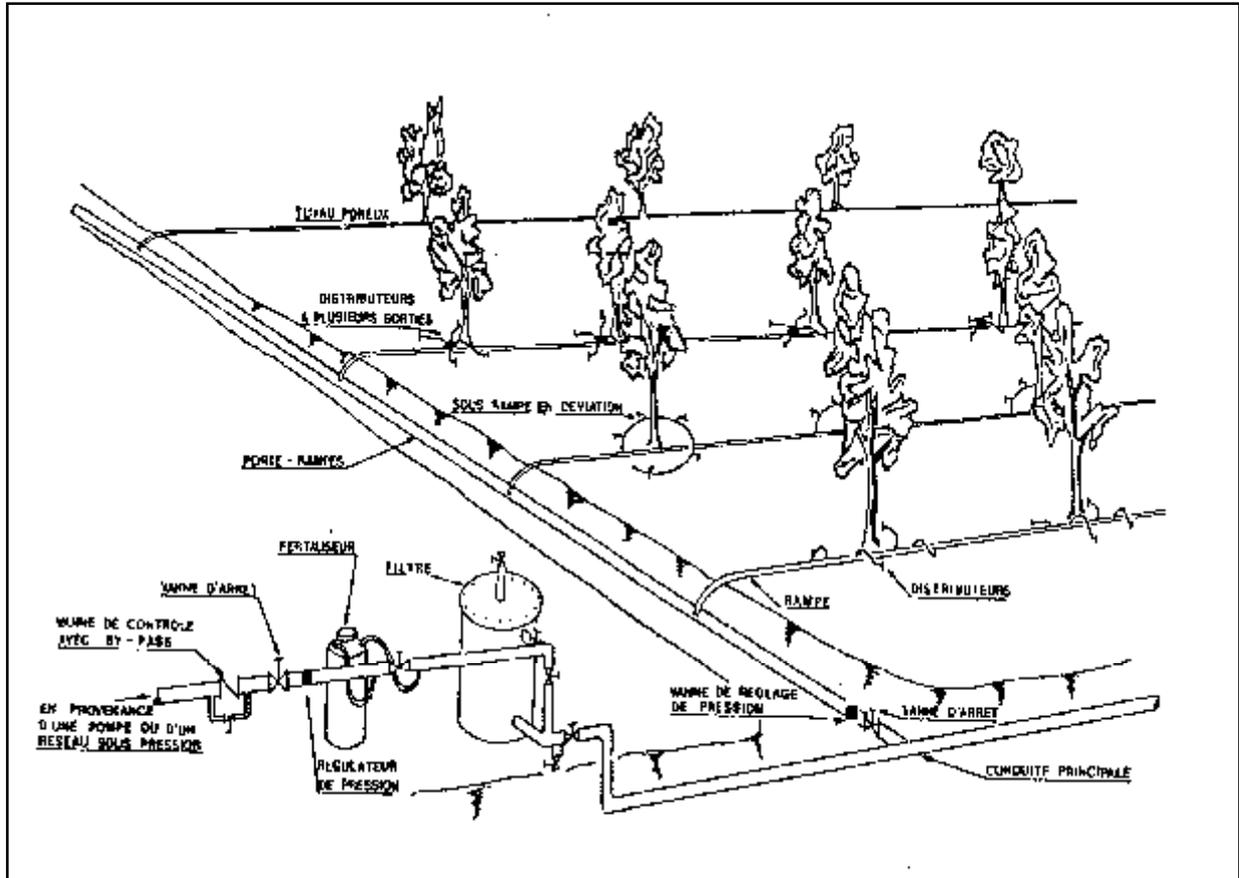


Figure. VI.5. Partie essentielle d'une installation localisée (Tamzi, 2003)

## VI-2- Les avantages et les inconvénients des techniques d'arrosages

### VI-2-1- Techniques D'irrigation De Surface

#### - Avantage :

- Coût d'investissement relativement faible,
- Besoins en énergie faibles ou nuls,
- Insensibilité au vent,
- Bonne adaptation aux eaux usées,
- Les végétaux ne sont pas mouillés ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire,
- Possibilité d'utilisation d'eau salées (en pratiquant le lessivage du Sol)

#### Inconvénients :

- Besoins importants en main d'œuvre,
- Inadaptation aux sols très filtrants,
- Planage nécessaire des parcelles qui donne une surface consommée par les canaux et rigoles,
- Pertes d'eau importante c'est-à-dire efficacité d'arrosage faible.

### ***VI-2-2- Techniques d'irrigation sous pression***

- **Avantages :**
  - Absence de nivellement préalable,
  - Bonne adaptation à tous les types de sol,
  - Possibilité de mélanger facilement des engrais et pesticides à l'eau d'irrigation
  - Possibilité de contrôle précis des doses appliquées et Possibilité d'automatisation
- **Inconvénients :**
  - Coût d'investissement élevé,
  - Dépense énergétique élevée,
  - Difficultés d'utilisation et efficacité réduite en régions ventées,
  - Mouillage des feuilles favorisant les maladies cryptogamiques  
Chez certaines espèces végétales,
  - Ne convient pas aux eaux salées sur beaucoup de cultures (risque De brûlure du feuillage ou de dépôts inesthétiques sur les fruits).

### ***VI-2-3- L'irrigation Localisée***

- **Avantage :**
  - Excellent rendement des cultures
  - Excellente efficacité d'arrosage à la parcelle,
  - Très faible besoin de main d'œuvre.
  - Insensibilité au vent.
  - Ne mouille pas le feuillage ce qui est favorable du point de vue Phytosanitaire.
- **Inconvénients :**
  - Nécessite une maintenance rigoureuse, en raison des risques liés à d'éventuelle interruption des arrosages,
  - Nécessite la filtration de l'eau d'irrigation,
  - Coût globalement élevé qui fait réserver cette technique aux cultures À forte valeur ajoutée.
  - Fonctionne avec du matériel délicat à durée de vie relativement Faible.

### ***VI-2-4- L'irrigation Souterraine***

- **Avantages :**
  - Absence de matériel en surface, d'où aucune gêne pour l'exploitation,
  - Très faible coût d'investissement et de fonctionnement sur des parcelles préalablement équipées en drainage souterrain,

- Ne mouille pas le feuillage, ni le sol ce qui est favorable du point de vue phytosanitaire et aux façons culturales.

- **Inconvénients :**

- Technique utilisable seulement dans certaines conditions pédologiques sur des parcelles justiciables d'un drainage souterrain,
- Maîtrise incomplète et aléatoire de l'alimentation hydrique des cultures qui fait réserver cette technique aux productions à faible valeur ajoutée.

### ***VI-3- Choix Des Techniques D'irrigation***

Plusieurs facteurs entrent en considération pour le choix des techniques d'irrigation et en particulier :

- Topographie (pente du terrain à irriguer, relief, géométrie de la parcelle)
- Ressource en eau (quantité, qualité, débit dont on dispose)
- Nature du sol (perméabilité)
- Nature des cultures
- Facteurs économiques
- Rentabilité de l'opération
- Facteurs sociologiques et culturels

On ne doit pas considérer chacun de ces critères de manière isolée. Au contraire, il faut en avoir une vision globale afin de mieux évaluer les potentialités d'irrigation d'un site ou d'une région donnée. Pour mieux aider à conduire le choix, il est proposé au préalable, un examen des avantages et des inconvénients de chacun des grands types de techniques d'irrigation. Par ailleurs, quelques constats remarquables à prendre en considération permettent de définir de façon plus avertie des solutions adaptées aux différentes situations que l'on rencontre dans le monde :

-Dès que l'on peut économiser l'eau, les deux techniques à promouvoir sont l'aspersion par les grandes machines à irriguer ou l'irrigation localisée, mieux adaptée aux cultures fruitières et maraîchères ainsi qu'aux petites ou moyennes exploitations.

-Quand les quantités d'eau à apporter à la plante sont faibles et que l'énergie n'est pas très chère, les machines à enrouleur sont adaptées, les coûts d'investissement étant faibles.

-Au contraire, les techniques d'irrigation de surface peuvent alors être recommandées dans le cas où la main d'œuvre est bon marché. Elles le sont encore plus lorsque le réseau lui-même est gravitaire, par exemple à l'aval d'un barrage ou d'une prise en rivière.

-Les grandes machines à irriguer, rampe pivotante ou rampe frontale, ne sont pas adaptées aux petites exploitations, obligées de cultiver les mêmes spéculations aux mêmes périodes.

### ***VI-4-Les Contraintes A La Mise En Valeur***

#### ***VI-4-1- Les Contraintes Climatiques***

Le climat en tant que contraintes à la mise en valeur en irrigué, agit par trois principales composantes : les températures, les gelées et les vents. Le déficit pluviométrique enregistré dans

la zone est compensé par l'irrigation. Reste à craindre les violents orages fréquents en automne et en hiver.

### ***VI-4-2- Les Contraintes Edaphiques***

L'étude des sols a fait ressortir certaines caractéristiques qui représentent des contraintes pour la mise en valeur en irrigué, il s'agit principalement du calcaire (total et actif), de la texture et la salure.

#### **- Le taux de calcaire**

Qu'il soit actif ou total, le taux en cet élément dans les sols quand il est élevé constitue une contrainte sérieuse pour les cultures arboricoles et réduit la gamme des cultures maraîchères, il entraîne également une insolubilisation de certains éléments nutritifs (phosphore et fer) et favorise une augmentation du PH.

#### **- La texture**

Les sols du périmètre présentent en général une texture fine, cette finesse favorise l'exclusion de nombreuses espèces arboricoles et de limiter la gamme des cultures Maraîchères et industrielles.

#### **- La salure**

La majorité des sols sont affectés par une faible salure, la conductivité électrique (CE) croît avec la profondeur du sol sans dépasser les valeurs limites. Cette salure combinée à une texture fine favorise la limitation de certaines cultures maraîchères et arboricoles envisagées.

### ***VI-5-La Micro Irrigation (Irrigation Localisée)***

#### ***VI-5-1-Définition, Principe Et Origine***

La micro irrigation (ou 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 :

Une alimentation en eau à proximité immédiate du système racinaire des plantes cultivées, L'utilisation souvent répétée et, à la limite, continu 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.

C'est d'ailleurs la faiblesse des débits et des doses qui a conduit les Anglo-Saxons à désigner cette technique sous le vocable micro irrigation.

Des systèmes anciens d'inspiration déjà plus ou moins de cette conception ceux dits à la raie en cuvettes mais ils nécessitaient beaucoup de main d'œuvre et conduisaient à un certain gaspillage de l'eau.

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-5-2- Dispositions Générales***

Bien que des dispositions un peu différentes puissent être envisagées, la disposition de principe de l'arrosage localisé est la suivante.

Une conduite principale (alimente sous faible pression), alimente plusieurs lignes secondaires (rampes) qui sont ou disposés au fond de rigoles très peu profondes tracées parallèlement aux rangées de plantation ou posées simplement sur le sol, en même suspendues au palissage.

Ces rampes sont perforées ou poreuses ou bien comportent des orifices dont l'espacement adopté dépend de la plantation. Ces orifices comportent un ajustage calibré avec brise-jet que nous désignerons sous le nom de goutteurs et dont il existe différentes conceptions.

### ***VI-5-3- Avantages Et Inconvénients***

Les succès des arrosages localisés et spécialement le goutte à goutte est dû à un certain nombre d'avantages qui apparaissent nettement, à condition que l'installation soit bien conduite. Enumérons les divers avantages :

Efficiencie 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.

#### **- 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 des goutteurs, cause de difficultés et de dépenses. Parmi les inévitables inconvénients potentiels qu'il faut chercher à éliminer a priori, nous en retiendrons trois principaux :

-L'obstruction des goutteurs

Des particules de sable des dépôts lents d'argile ou de limon des précipitations chimiques, le développement de micro-organisme sont les causes les plus souvent rencontrées d'obstructions des orifices des goutteurs. Or cela provoque une mauvaise répartition de l'eau, très nuisible aux cultures s'il n'est porté remède.

Or le repérage et l'élimination des goutteurs obstrués sont longs et onéreux. Le meilleur moyen est de prévenir ces obstructions par une filtration de l'eau.

- Accumulation de sels

Les eaux d'irrigation contiennent toujours plus ou moins de sels dissous. Les plantes prennent l'eau et la majorité des sels restent dans le sol.

Pendant la période d'irrigation, les sels sont peu à 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.

Certes, on peut lutter contre l'accumulation de sels en apportant un excès d'eau par rapport à la consommation de la plante, on lessive ainsi une grande partie des sels et on les déplace en dessous de la zone radiculaire. Mais le procédé le plus efficace, surtout dans les régions où la pluviométrie naturelle est trop faible ( $P < 200$  mm).

#### **Avantages cultureux**

- Les activités culturelles ne sont pas gênées par les arrosages. Ces activités sont d'ailleurs très réduites, peu de mauvaises herbes, peu de tassement en profondeur et pas de ruissellement en surface donc pas d'érosion.

- Cette technique est compatible avec les cultures faites sous paille ou paillage plastique les rampes se trouvent sous la couverture.

- **Avantages économiques :**

Le prix de revient est très influencé par l'espacement des lignes :

- S'il s'agit de cultures à grands espacements, le prix de revient est nettement moins élevé que celui d'autres réseaux fixes, comme l'aspersion, à niveau d'automatisme égal.
- Lorsque la distance entre les lignes descend en dessous de 3 m, le coût s'élève beaucoup et une étude s'impose.

En ce qui concerne le coût d'exploitation, il est peu élevé à noter la faible pression nécessaire.

La méthode se prête en effet à une grande automatisation éliminant une grande partie des frais de main-d'œuvre. Cependant pour une exploitation économique et aisée, il faut éliminer les obstructions des petits orifices.

#### ***VI-5-4 Difficulté A Déterminer Le Volume Minimal Du Sol Humidifier***

Le développement racinaire se limitant à la zone humidifiée, la croissance optimale de la culture globale exige l'humidification d'un volume minimum de sol.

Il apparaît que les dimensions de ce volume sont liées à différentes variables et, plus spécialement, au débit des goutteurs, à leur distance et à la nature du sol.

Comme il est très difficile, une fois le projet réalisé, d'en modifier les données, il importe de déterminer ces données avec soin pour avoir le début une répartition qualitative et quantitative de l'eau satisfaisante.

En fin, on peut noter le risque d'une quatrième difficulté si la région est soumise à des vents forts, il y a érosion éolienne dans la partie sèche des interlignes et la poussière soulevée peut venir recouvrir les cultures et les endommager.

#### ***VI-6 -Efficience de l'irrigation***

Les besoins bruts du périmètre, dépendent de l'efficacité de l'irrigation, c'est à dire des pertes d'eau qui se produisent à partir du point du captage, jusqu'à la satisfaction des besoins du rapport plante/sol. L'efficacité d'un réseau 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 ce réseau.

La différence entre les deux volumes indique les pertes, qui évidemment devront être les plus limitées, afin d'éviter le gaspillage plus particulièrement, si les ressources en eau s'avéraient rares.

La formule communément employée pour l'estimation de l'efficacité d'un réseau d'irrigation, est donnée par l'expression [6-7] :

$$E_i = E_t * E_a$$

Avec :

$E_i$  : Efficacité d'irrigation en %.

$E_t$  : Efficacité de transport en %.

$E_a$  : Efficacité d'application de l'eau (Agronomique) en %.

Certains auteurs font une distinction ultérieure, tel que la formule [6-7'] :

$$E_a = E_d * E_u$$

Dans la quelle :

$E_d$  : Efficacité de type de distribution en %.

$E_u$  : Efficacité de l'uniformité de la distribution en %.

La thématique développée ci-après se base sur la formule [6-7''] :

$$E_i = E_t * E_d * E_u$$

### ***VI-6-1-Efficacité De Transport***

On entend par transport, le trajet parcouru par l'eau du point de prélèvement (barrages, réservoirs, puits, etc....), au point de livraison à la parcelle (borne ou prise), qui peuvent être de nature diverses et avoir une incidence plus au moins forte en fonction des caractéristiques de l'adduction.

### ***VI-6-2-Efficacité De Distribution :***

L'efficacité de la distribution de l'eau à la parcelle, varie très sensiblement en fonction des modalités de la desserte adoptée, qui peuvent se grouper en cinq grandes catégories :

- Irrigation par submersion.
- Irrigation par ruissellement.
- Irrigation par aspersion.
- Irrigation localisée.
- Irrigation souterraine.

### ***VI-6-3-Efficacité De L'uniformité :***

Elle est indépendamment liée à la méthode de distribution adoptée. C'est la livraison égale, par une quantité d'eau optimale en tout point de la superficie irriguée, ce qui se produit très rarement. Pour assurer une bonne répartition, il faudra apporter un volume supérieur, dont l'excédent par rapport à la quantité nécessaire, se traduit par une perte.

L'évaluation exacte des pertes (efficacité d'un réseau d'irrigation) est très difficile et même presque impossible, suite des multiples variables qui interviennent dans ces conditions.

En se basant sur le mode d'irrigation et les cultures envisagées, il est possible d'avoir en moyenne, les degrés d'efficacité suivants :

\*Céréales, Luzernes, Vesce-avoines et Pommes de terre  $\approx 0,75$

\*Cultures Maraîchers  $\approx 0,80$

\*Agrumes, Arbres fruitiers et Vignes  $\approx 0,85$

\*Plasticultures  $\approx 0,85$  (temzi, 2003)

#### VI-6-4- Système d'irrigation appliqué dans la zone d'étude :

Dans cette zone on appuie sur l'aspersion pour l'irrigation de la culture maraîchère (tomate, pomme de terre, .....), et le système goutte à goutte pour les viticultures, et l'irrigation gravitaire dans certaines zones pour toutes les cultures.

#### VI-6-5- Utilisation des éléments fertilisants :

Dans la zone d'étude il y a des périmètres cultivés intensivement, ce qui conduit à la fatigue de la terre et à la pauvreté en matière organique pour avoir un meilleur rendement

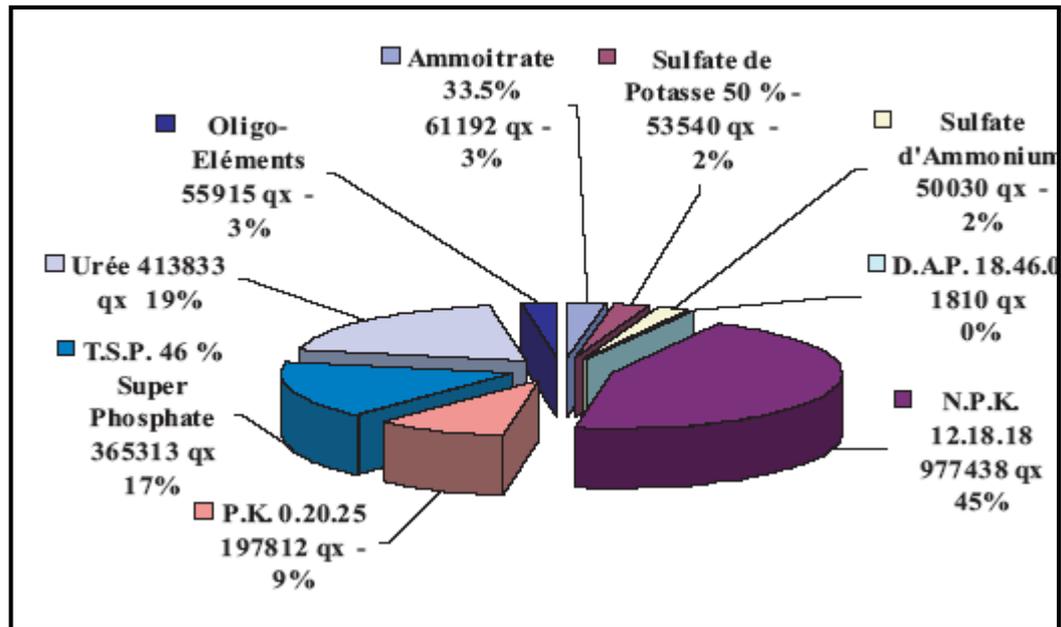


Figure. IV-6- livraison des engrais par produit (DAC, 2008)

Les quantités d'engrais chimiques consommées dans la zone, ont été converties en quantités d'azote de la manière suivante :

- L'Urée 46% : engrais contenant 46% d'azote.
- Le N.P.K (12-18-1) : engrais contenant 12% d'azote, 18% de phosphore et 1% de Potassium ;
- L'Ammonitrate 33,5% : engrais contenant 33,5 % d'azote ;
- Le sulfate d'ammonium 21% : engrais contenant 21% d'azote.

#### Conclusion :

Le système d'irrigation choisi dépend de la texture des sols et le type de culture. On a estimé l'efficacité à 75% et cette estimation basée sur les pertes dues aux défauts de l'installation

En se basant sur ce qui précède, nous constatons que l'ensemble des activités Socio-économiques, concourent à des degrés différents, à la pollution de la nappe aquifère par les nitrates.

La pollution de la nappe est essentiellement due à l'agriculture plus prononcée avec une utilisation fortement avérée en fertilisants, mais aussi aux rejets urbains.

## ***INTRODUCTION***

Devant l'ampleur que peut engendrer le problème de salinité et les dégâts susceptibles d'être causées par l'utilisation intensive des produits phytosanitaires en agriculture, il est important de dégager des mesures efficaces de lutte contre la salinité et aussi de préserver la nappe d'eau souterraine contre la pollution, d'autant plus que la ressource en eau est devenue rare.

L'objectif de la lutte est de limiter l'extension des terres salées, de récupérer les sols, mais aussi d'améliorer les rendements des cultures.

Dans la première partie, nous allons définir les zones à lessiver et la méthodologie de lutte, afin d'identifier les moyens pour que le critère de l'hydro-morphe ne soit pas accentué à terme par une salinisation des sols et de quantifier les besoins en eau nécessaires pour le lessivage.

La lutte contre la salinité revêt deux aspects ; un, qui consiste en l'amélioration des rendements des cultures et l'autre concernant la préservation des sols.

### **VII-1.Partie théorique**

#### **VII-1.1. Drainage par gravité, enterre**

Ce type de drainage se base sur le mode de projection du réseau, avec une disposition des tuyaux dans le sol répondant aux exigences de l'assainissement et l'aération de ce dernier.svp la bibliographie

Le réseau de drainage se compose de plusieurs éléments assurant le même fonctionnement : évacuer l'eau en excès en dehors de la zone à assainir.

L'eau abondante dans le sol, pénètre dans les drains en premier lieu, puis elle se déverse dans les collecteurs d'ordre inférieur, qui la déversent dans les collecteurs d'ordre secondaire, qui déverse dans les collecteurs de parcours, cette eau s'évacue des collecteurs principaux dans l'émissaire, qui l'acheminent à son exutoire par ou elle sera drainée en dehors de la zone considérée.par le drainage

La direction des drains se définit par rapport à la ligne de plus grande pente du sol. On peut distinguer deux techniques principales.

Les drains peuvent être placés :

-Soit parallèlement à la direction de la plus grande pente (pour le drainage longitudinal avec la pente  $i < 0,003$ ).

-Soit transversalement à cette direction (pour le drainage transversal).

Dans le cas des terrains compacts (argileux), les drains doivent être placés transversalement, non seulement à la pente, mais également au sens de labour des parcelles.

Les drains présentent une profondeur et un écartement très liés suivant les conditions hydrologiques données, la profondeur des drains est souvent imposée par les exigences pédologiques et hydrologiques. De nos jours, le drainage profond (0,8 à 1,4m) est adopté partout, et ceci, pour les terres très argileuses dont la capacité de rétention est élevée, tel est notre cas, la perméabilité est faible et la remonté capillaire est négligeable.

### VII-1.2 Régime de Drainage (Permanant ou Variable)

Les méthodes de calcul d'un réseau de drainage sont, en fait, différentes suivant le climat et le sol en l'occurrence.

Dans une région, ou, en hiver et au printemps en particulier, les pluies sont longues, fréquentes et ne laissent entre elles que les intervalles trop courts pour permettre un ressuyage du sol suffisant sur une profondeur convenable, on adoptera un régime permanent d'évacuation de l'eau, qui maintiendra la nappe en dessous d'un niveau maximum à ne pas déterminer après la fin de la pluie (régime variable de drainage).

Le choix entre ces deux extrêmes est beaucoup plus difficile à faire lorsque la pluviosité est moins nettement définie. En plus, il y a aussi la nature du sol qui intervient :

Le régime permanent s'applique notamment sur des sols lourds et imperméables qui ne permettent pas de stockage temporaire, et qui ont une faible infiltration.

Le régime variable est employé sur les sols plus perméables, qui permettent une remontée temporaire de la nappe ainsi qu'une vidange assez rapide.

En Algérie, on applique le régime permanent dans les régions côtières, à climat humide, sur les sols lourds.

### VII-2. Le Débit Caractéristique

C'est le débit par unité de surface que le réseau collecte et évacue de la parcelle, il est proportionnel à l'intensité de la pluie contre laquelle on veut se protéger.

Le réseau de drainage doit donc être conçu de telle façon que la submersion des plantes ne dépasse pas, en principe, la durée admissible. Connaissant la pluie critique, qui tombe dans ce délai, et la fraction de cette pluie qui reste à évacuer, on est en mesure de calculer le débit caractéristique.

#### -Définition :

Le débit caractéristique d'un réseau de drainage est le débit par unité de surface à véhiculer par le réseau pour évacuer la pluie critique.

Le calcul du débit caractéristique se fait différemment pour les deux régimes de drainage, et en tenant compte ou non de la possibilité de stockage.

#### -Débit Caractéristique En Régime Permanant.

##### • Débit Caractéristique en Régime Permanent sans Stockage.

Soit  $i_p$  l'intensité de la pluie critique, qui tombe en une durée de  $t_p$  jours.

On suppose, que la fraction de cette pluie à drainer par le réseau est la somme du ruissellement direct et de l'infiltration :  $(r + i) = (I - e)$ .

Le débit à évacuer par unité de surface est :

$$q_c = (I - e) \cdot i_p \quad (\text{mm/h})$$

Ou, après reconversion en litres par seconde par hectare :

$$= \frac{\dots}{\dots} \cdot (\dots)$$

Le facteur de reconversion est  $1 \quad = \frac{\dots}{\dots} / = \frac{\dots}{\dots} /$

##### • Débit Caractéristique en Régime Permanent en Tenant Compte Du Stockage.

Le débit caractéristique calculé précédemment suppose pour une culture un coefficient constant d'évaporation, indépendamment des autres conditions. En fait, si l'on connaît l'évaporation et les

caractéristiques du sol, on est en mesure de déterminer plus exactement le débit caractéristique, en tenant compte du stockage temporaire dans le sol.

Soit P la pluie critique qui tombe sur la parcelle à drainer, E l'évaporation mesurée pendant les jours de pluie, et S le stockage dans le sol suite à une remontée temporaire du niveau de la nappe. Toutes les quantités sont exprimées en mm.

Une partie S de la pluie nette (P-E) peut être stockée dans le sol. Il reste alors à évacuer par le réseau de drainage : (P-E)-S mm dans un délai de  $\theta$  jours.

Le débit caractéristique est donc :

$$= \frac{(P - E) - S}{\theta} \quad /$$

Ou

$$= \frac{(P - E) - S}{\theta} \times \frac{1}{8,64} \quad /$$

1/8,64 étant le facteur de reconversion de mm/jour en l/s.ha

Graphiquement le débit caractéristique est déterminé sur la courbe pluie-durée. Il est égal au coefficient angulaire de la droite qui relie la pluie critique pour un délai  $\theta$  (Pc), au stockage reporté sur l'ordonnée (S).

**Remarque :**

Comme indiqué précédemment, l'évaporation lors des journées de pluie à des valeurs très faibles (de 1 à 2 mm/j seulement). C'est pour cela que dans les calculs, on néglige parfois l'effet de l'évaporation sur le débit caractéristique, on prend comme pluie nette la pluie critique, sans retrancher l'évaporation E.

Dans la formule, on suppose que le sol est susceptible de recevoir la quantité de stockage (S) immédiatement après le début de la pluie. Dans les sols peu perméables, la vitesse de l'infiltration pourrait limiter la quantité journalière stockée.

Le stockage est dans ce cas fonction du temps, et augmente de jour en jour durant la période de pluie :

$$S = K_v \cdot \theta$$

Ou :

S: stockage (mm)

$K_v$  : vitesse de l'infiltration (mm/j)

$\theta$  : Durée (jours)

Pour simplifier le raisonnement, on admet l'hypothèse que toute l'eau de stockage peut être recueillie par la couche superficielle du sol, qui toujours une porosité plus grande. Au cours de quelques jours, cette eau sera transmise au sous sol (là, ou on a calculé la capacité de stockage). Ainsi on peut appliquer la formule, même dans le cas où la perméabilité est inférieure au stockage.Q

Les résultats de calculs seront donnés par la suite en utilisant plusieurs variantes.

• **Débit Caractéristique En Régime Variable :**

Dans les régions, où le climat impose un régime variable (averses de grandes intensités avec des périodes inter pluviales assez longues), on calcule le débit caractéristique uniquement en fonction de la capacité de stockage.

Soit  $S$  la fraction de la pluie, stockée dans le sol à la suite d'une averse. La quantité de  $S$  sera limitée par le niveau de la nappe à ne pas dépasser ( $h_1$ ).

Le rôle du réseau de drainage en régime variable, est de rabattre le niveau de la nappe au niveau initial, dans un délai déterminé .

Le débit caractéristique est donc :

$$= \text{---} = - \cdot \frac{1}{8,64} ( / h)$$

### VII-3. Calcul hydrologique

#### VII-3.1 Collecte des données

La collecte des données consiste à rechercher toutes les informations pluviométriques disponibles dans la région étudiée.

Cette étape constitue la phase la plus importante de notre travail. Elle consiste à collecter l'information brute, mais aussi de vérifier sa fiabilité pour une prise de décision

La station pluviométrique retenue pour cette étude est parmi celle que l'ANRH a sélectionnée pour l'établissement de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord avec la collaboration scientifique de Jean Pierre Laborde (1992). Ces séries de pluie ont été jugées fiables et de bonne qualité.

L'appréciation de la pluviométrie a été faite sur la base des observations de la pluviométrie enregistrée aux stations de Bordj-Mniel, cette station est considérée comme les plus représentatives de la zone du projet en raison de leurs localisations et la longueur de la série d'observations.

#### Remarque :

A l'aide du logiciel **HYFRAN** on a fait l'ajustement des pluies maximales journalières avec la loi de gumbel

VII-3.2 Les courbes H.D.F

Tableau VII-1: Module de drainage par tuyaux pour trimestre 1

T	1J	2J	3J	4J	5J	6J	7J
2	9.69	7.88	6.69	3.93			
5	20.1	19.4	22.8	22	3.04		
10	27	27.1	33.5	33.9	5.07		

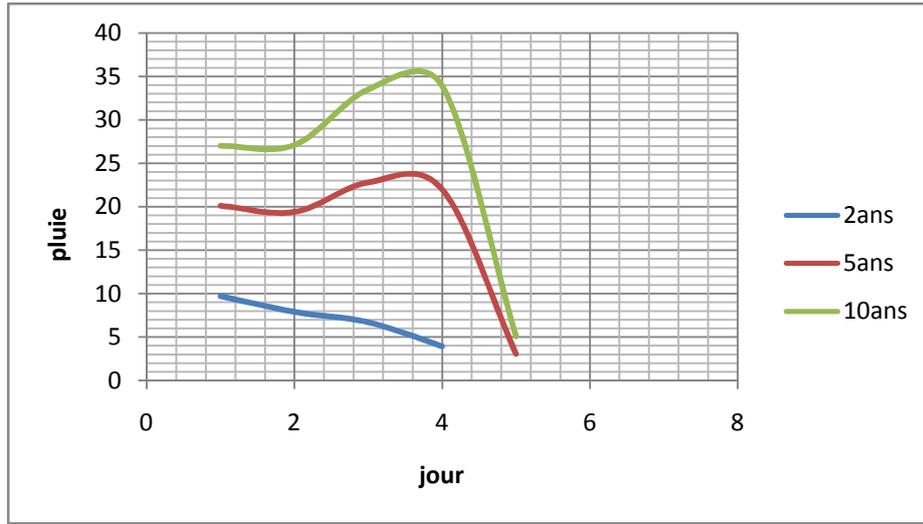
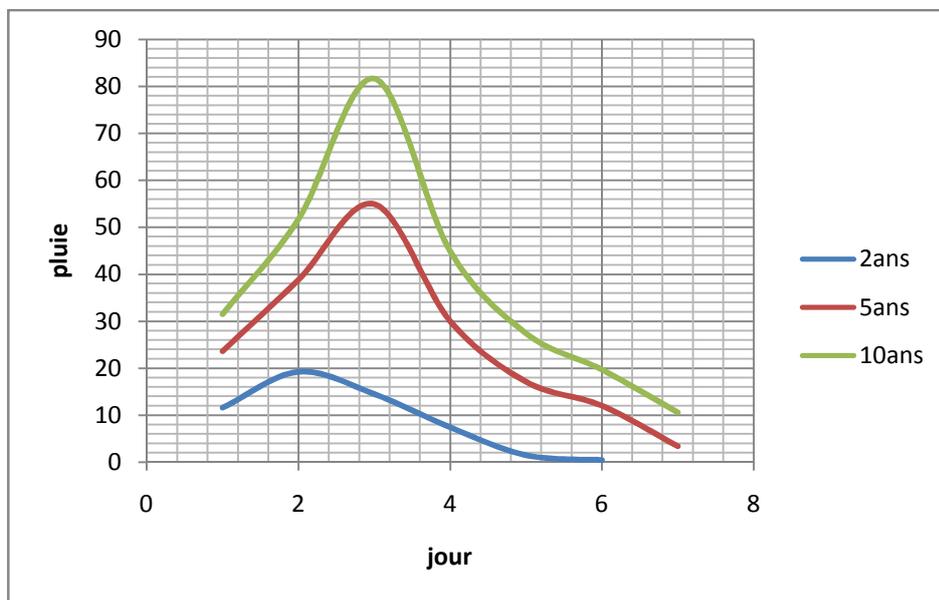


Figure VII-1 : Courbes H.D.F POUR trimestre 1

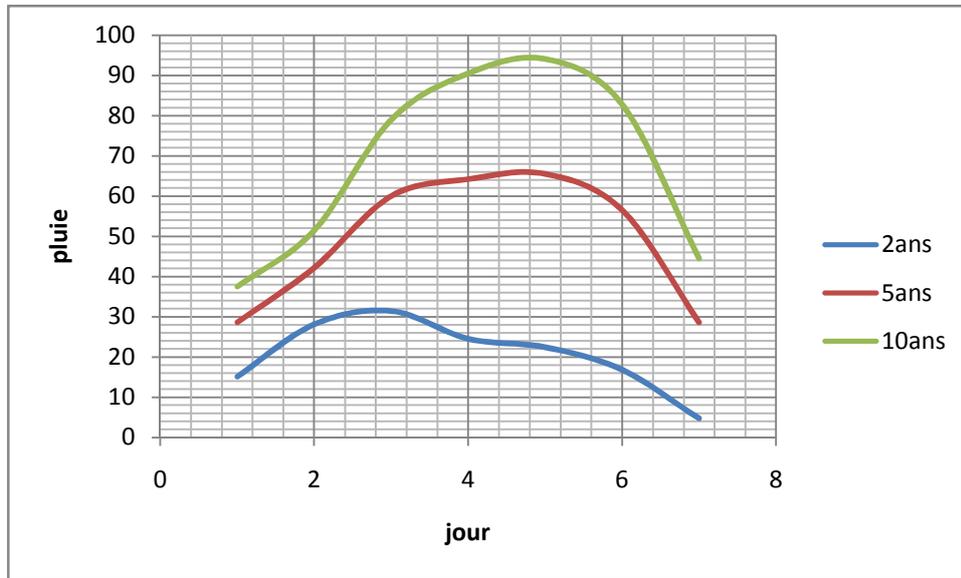
Tableau VII-2: Module de drainage par tuyaux pour trimestre 2

T	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
2	11.6	19.2	14.5	7.42	1.5	0.48	
5	23.6	38.8	54.9	30	17.1	12	3.37
10	31.5	51.7	81.6	44.9	27.4	19.7	10.6



**Figure VII-2 : Les courbes H.D.F POUR trimestre 2****Tableau VII-3: Module de drainage par tuyaux pour trimestre 3**

T	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
2	15.1	28.1	31.4	24.5	22.4	16.8	4.7
5	28.6	42.2	60	64.2	65.5	56.5	28.6
10	37.5	51.5	79	90.5	94.1	82.8	44.5

**Figure VII -3 : Les courbes H.D.F POUR trimestre 3**

### VII-3. 3 Les pluies critiques

D'après les courbes H-D-F :

- viticulture  $\theta=5j$  pour  $T=5ans$  ; donc :
  - pour le premier trimestre :  $P_C=3.04mm$
  - pour le deuxième trimestre :  $pc=17.1mm$
  - pour le troisième trimestre :  $pc=65.5mm$
- Culture maraîchères  $\theta=2j$  pour  $T=5ans$ 
  - pour le premier trimestre ;  $P_C=19.4mm$
  - pour le deuxième trimestre :  $pc=38.8mm$
  - pour le troisième trimestre :  $pc=42.2mm$
- Céréales  $\theta=3j$  pour  $T=2ans$ 
  - pour le premier trimestre ;  $P_C=6.69mm$
  - pour le deuxième trimestre :  $pc=14.5mm$
  - pour le troisième trimestre :  $pc=31.4mm$

#### Résultats :

Du tableau précédent, on peut conclure que le meilleur ajustement, qu'on doit adopter, est bien celui de « GUMBEL » à la méthode de maximum de vraisemblance. Les résultats de l'ajustement figurent en annexe (ajustement des pluies maximales journalières).

Ces graphiques permettent de déterminer rapidement pour une période de retours et pour une durée (nombre de jours) donné ; quelle hauteur de pluie maximum est probable.

Dans ces divers graphiques, on peut remarquer qu'il y a une différence pour les maximums observés entre les quatre trimestres

**VII-3.4 CALCUL DES DEBITS CARACTERISTIQUES POUR CHAQUE CULTURE**

**Tableau VII-4 : Calcul des débits caractéristiques (cas des céréales)**

Zone	données	Excès d'eau provenant de la pluie		régime variable
		régime permanent		
		Sans stockage	avec stockage	
céréales	-type de sol: limono - argileuse à limono - sableux -niveau de la nappe =1,9m -CE de sol =7mmohs /cm -CEiW=2,4mmohs/cm -durées de submersion : θ=3jours -pluis critique=31.4mm	$= \frac{1 - 0.7}{0.36} \cdot (31.4 \cdot h)$ $= \frac{0.7}{0.36 * 24 * 3} \cdot 31.4$ $= 0.85 - /h$	$= \frac{(31.4 - 1.8) - 45}{3} \times \frac{1}{8.64} / .h$ <p>On pose : Pd=1.5m                      Et on a : Ht=0.6m                      Donc : hc=1.5-0.6=0.9m                      D'où :                      s=hc*μ=0.9*0.05=0.045m=45mm</p>	$= - \frac{1}{8.64} ( / h)$ $qc = \dots = 1.74l/s.ha$
		$= \dots / .$	$= - \dots / .$ <p><b>Pas drainage</b></p>	$= \dots / .$

**Tableau VII-5 : Calcul des débits caractéristiques (cas des cultures maraichères)**

Zone	données	Excès d'eau provenant de la pluie		régime variable
		régime permanent		
		Sans stockage	avec stockage	
<b>maraichères</b>	type de sol: limono - argileuse à limono - sableux -niveau de la nappe =1.9m -Ce de sol =7mmohs /cm -Ceiw=2,4mmohs/cm -durées de submersion : =2jours -pluis critique=42.2mm	$= \frac{1 -}{0,36} \cdot ( \ .h )$ $= \frac{0.8}{0,36 * 24 * 2} \cdot 42.2$ $= 1.95 - /h$ $= \ . \ / \ .$	On pose : Pd=1.2m Et on a : Ht=0.6m Donc : hc=1.2-0.6=0.6m D'où : s=hc*μ=0.6*0.05=0.03m=30mm $= \frac{(42.2 - 1.8) - 30}{2} \times \frac{1}{8,64} = 0.6 \ / \ .h$ $= \ . \ / \ .$	$qc = \frac{\dots}{* \ .} = 1.74l/s.ha$ $= \ . \ / \ .$

Tableau VII-6 : Calcul des débits caractéristiques (cas de la viticulture)

Zone	données	Excès d'eau provenant de la pluie		
		régime permanent		régime variable
		Sans stockage	avec stockage	
viticulture	type de sol: limono - argileuse à limono - sableux -niveau de la nappe =1.9m -Ce de sol =7mmohs /cm -Ceiw=2,4mmohs/cm -durées de submersion : θ=5jours -pluis critique=65.5mm	$= \frac{0.5}{0,36 * 24 * 5} .65.5$ $= 0.76 - /h$ $= . / .$	n pose : Pd=1.8m Et on a : Ht=1.1m Donc : hc=1.8-1.1=0.7m D'où : s=hc*μ=0.7*0.05=0.035m=35mm  $= \frac{(65.5 - 1.8) - 35}{5} \times \frac{1}{8,64}$ $= 0.66 / .h$ $= , / .$	$qc = \frac{.}{* .} = 0.811/s.ha$ $= . / .$

### VII-3.5 Calcul des débits caractéristiques -Excédant d'eau provenant l'irrigation

-Besoin nette

$$B_{net}=19248.6\text{m}^3/\text{ha} \text{ pour 6 mois}$$

On prend l'efficience de système d'irrigation égale a : 0.75

-Besoin brute :

$$B_{brute}=\frac{B_{net}}{0.75}=25664.8 \text{ m}^3/\text{ha}$$

-Les pertes totales

$$\text{Pertes totales}=25664.8-19248.6=6416.2 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Les pertes par percolation :  $0.75*6416.2=2.67\text{mm}/\text{jour}$

-Débits caractéristiques

$$= \dots / \dots$$

**Tableau VII-7: les débits caractéristiques**

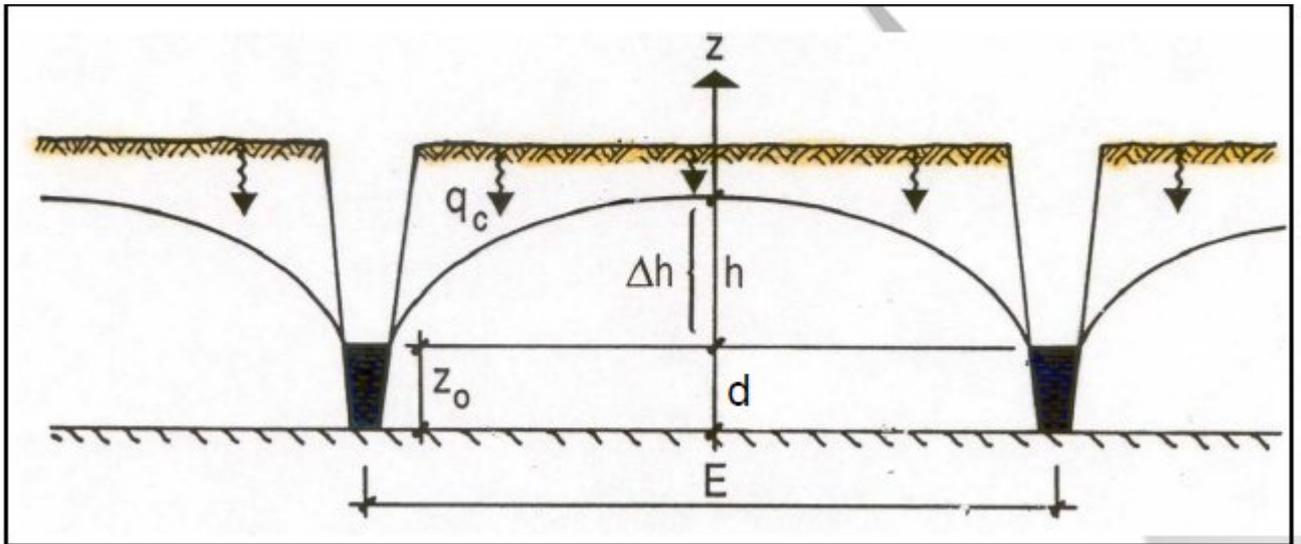
DEBITS CARACTERISTIQUES ( / . )				
Zone	Excès d'eau provenant de la pluie			Irrigation
	régime permanent		régime variable	
	sans stockage	avec stockage		
<b>céréales</b>	0.85	0.59	1.74	0.3
<b>maraichères</b>	1.95	0.6	1.74	
<b>viticulture</b>	0.76	0.66	0.81	

-on prend la valeur maximale pour calcule l'écartement

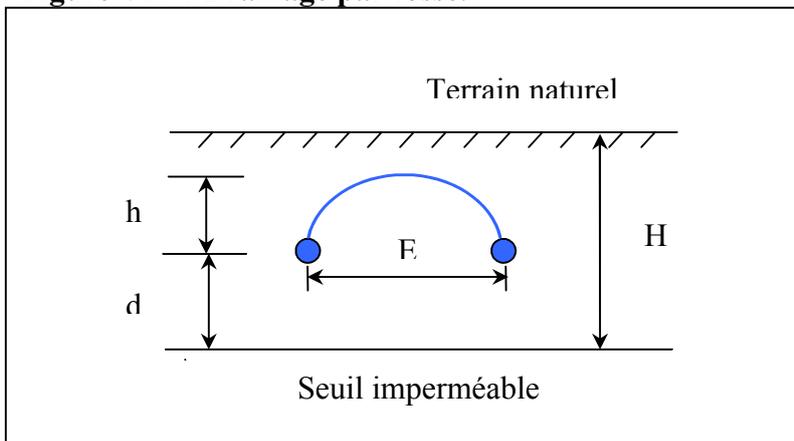
$$= \dots / \dots$$

**VII- 4. Calcul de l'écartement théorique**

Théoriquement l'écartement des drains se calcule avec les équations du régime permanent



**Figure VII-4 Drainage par fossé.**



**Figure VII-5 Drainage par tuyaux enterrés**

**VII-4.1 les paramètres intéressants pour calculer l'écartement**

Pour le calcul de l'écartement nous avons utilisé le logiciel de calcul "drflow" c'est un logiciel qui permet d'utiliser la formule de "HOOGHOUDT"

$$E = \sqrt{\frac{4 Kh^2 + 8 Kdh}{q}}$$

Avec :

- E      Ecartement des drains (m)
- K      Perméabilité de terrain (m/j)
- q      Module de drainage ou débit à évacuer (mm/j)
- d      la profondeur fictif de l'imperméable
- h      charge des drains (m)

VII-4.2 Calcul de l'écartement entre les drains

Tableau VII-8: Les paramètres qu'il faut entrer dans le logiciel "drflow"

<i>Le paramètre</i>
1. <i>La conductivité hydraulique</i>
2. <i>Le niveau de l'imperméable</i>
3. <i>Profondeur des drains</i>
4. <i>Le rayon de drain circulaire équivalent</i>
5. <i>Le niveau optimum de la nappe</i>
6. <i>Le débit caractéristique</i>

- Cas des Céréales

Tableau VII-9: Les paramètres de Céréales Qu'il faut entrer dans le logiciel "drflow"

<i>Le paramètre</i>	<i>Valeur</i>
1. <i>La conductivité hydraulique</i>	<b>0.72 m/j</b>
2. <i>Le niveau de l'imperméable</i>	<b>5m</b>
3. <i>Profondeur des drains</i>	<b>1.5m</b>
4. <i>Le rayon de drain circulaire équivalent</i>	<b>0.9m</b>
5. <i>Le niveau optimum de la nappe</i>	<b>0.6 m</b>
6. <i>Le débit caractéristique</i>	<b>16.8 mm/j</b>

Hooghoudt's steady-state drain-spacing equation (ILRI Publ. 16 of 1994, p. 268, equation 8.8)

$$L = r_0 \sqrt{\frac{8Kah + 4Kh^2}{q}}$$

Valid for one soil layer over impervious base

Input data:			
<b>Soil</b>	conductivity K	0.72	m/d
	aquiclude at	5.00	not < 0
<b>System</b>	drain level	1.50	not < 0
	drain radius r0	0.10	m
<b>Agric.crt.</b>	allowed w.t.	0.60	not < 0
<b>Recharge</b>	R = q	16.8	mm/d
Derived data:			
<b>Soil</b>	D	3.50	m
	d	2.62	m
<b>Hydr.head</b>	w.t. height = h	0.90	m + d1
Output:			
	<input type="button" value="Find L"/>		
	spacing L	31	m

Give input data in green area; then click button "Find L"
Calculations are to the right

Figure VII-6 : photo de logiciel "drflow"

- Cas des cultures Maraichères

Tableau VII-10: Les paramètres des cultures maraichères Qu'il faut entrer dans le logiciel 'drflow'

<i>Le paramètre</i>	<i>Valeur</i>
1. La conductivité hydraulique	0.72 m/j
2. Le niveau de l'imperméable	5m
3. Profondeur des drains	1.2m
4. Le rayon de drain circulaire équivalent	0.6m
5. Le niveau optimum de la nappe	0.6m
6. Le débit caractéristique	16.8 mm/j

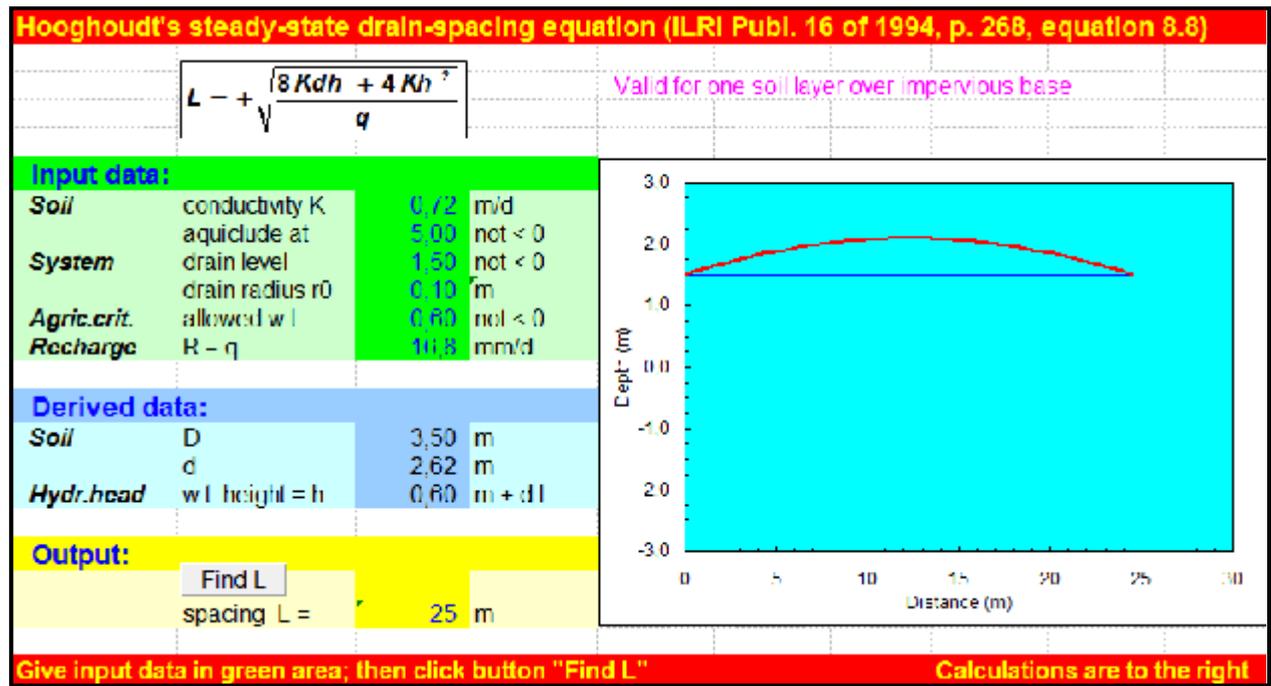


Figure VII-7 photo de logiciel "drflow"

- Cas de la viticulture

Tableau VII-10: Les paramètres de viticulture qu'il faut entrer dans le logiciel 'drflow'

<i>Le paramètre</i>	<i>Valeur</i>
1. La conductivité hydraulique	0.72 m/j
2. Le niveau de l'imperméable	5m
3. Profondeur des drains	1.8m
4. Le rayon de drain circulaire équivalent	0.7m
5. Le niveau optimum de la nappe	1.1m
6. Le débit caractéristique	16.8 mm/j

**Hooghoudt's steady-state drain-spacing equation (ILRI Publ. 16 of 1994, p. 268, equation 8.8)**

$$L = \sqrt{\frac{8Kdh}{q} + 4Kh^2}$$

valid for one soil layer over impervious base

Input data:			
Soil	conductivity $K$	0.72	m/d
	acutude $d$	5.00	not < 0
System	drain level	1.30	not < 0
	drain radius $r_0$	0.10	m
Agric.crit.	allowed wt	1.0	not < 0
Recharge	$R = c$	16.8	mm/d

Derived data:			
Soil	$\alpha$	0.20	m
	$\beta$	0.47	m
Hydr.head	$w = \text{height} = h$	0.70	m + c.l

**Output:**

Find L

drain spacing L = 26 m

**Give input data in green area; then click button "Find L" Calculations are to the right**

Figure VII-8 photo de logiciel "drflow"

Tableau VII-11 : des valeurs de l'écartement

type de culture	l'écartement (m)
Céréales	31
maraiçhères	25
viticulture	26

**Conclusion :**

Le grand projet de l'émissaire de drainage a des effets positifs sur le Plan environnemental. A terme, il constituera une solution durable pour l'épineux problème du drainage agricole Dans la zone. Mais l'évacuation des eaux doit se faire d'une manière sûre. Il est aussi indispensable de procéder à des analyses de résidus de pesticides, de métaux lourds (zinc, plomb etc.) et physico- Chimiques périodiques des eaux évacuées dans l'émissaire pour déterminer la qualité des eaux et prendre des décisions idoines.

## Conclusion générale

La nappe alluviale du Bas Isser fait partie du domaine septentrional de l'Algérie. Du point de vue administratif la région du per est circonscrite dans la wilaya de Boumerdes, à 60 Km à l'Est d'Alger. Celle-ci est limitée :

Au Nord, par la mer méditerranée ;

A l'Est par le massif de cap Djenet;

A l'Ouest par Djebel Bou-Arous (400 m d'altitude en moyenne)

Au Sud par les contreforts de la dorsale Kabyle.

Le sous bassin versant du Bas Isser s'étend, des gorges de Lakhdaria à l'embouchure de l'Oued Isser, couvre une superficie de 549 km<sup>2</sup> et un périmètre de 112 Km. Il est orienté généralement Sud-Ouest, Nord-Est.

Le sous bassin versant présente une topographie peu accidentée, elle est surtout caractérisée par des reliefs modérés. Le réseau hydrographique est particulièrement dense à l'amont.

La région du Bas-Isser appartient au Tell Septentrional, domaine interne des M aghrébides, caractérisé par sa complexité tant structurale que lithologique.

La plaine alluviale du Bas Isser est caractérisée par un réseau hydrographique très dense en amont et s'étend de Beni Amrane jusqu'à l'embouchure. Il s'agit d'une plaine à remplissage Plio-quadernaire qui s'étale sur un substratum marneux Plaisancien.

Notre région se caractérise par un climat méditerranéen avec deux saisons d'égale durée, une saison humide allant de novembre en avril, caractérisée par des précipitations irrégulières et une saison sèche qui s'étale de mai en octobre. La température moyenne annuelle est de 17.69 C°.

L'étude géologique a mis en évidence une structure complexe, constituée par un empilement de nappes imbriquées, mises en place lors de l'orogénèse alpine et s'insérant chacune dans un domaine structural propre.

Ces structures sont marquées par l'existence des formations métamorphiques d'âge précambrien recoupées localement par des roches intrusives acides et basiques d'une part et des formations sédimentaires d'autre part.

La synthèse géologique des formations quadernaires basée sur des travaux anciens, a mis en évidence sept terrasses alluviales disposées en gradins étagés, partiellement emboîtées.

Ces dernières ont permis de distinguer deux horizons susceptibles d'être aquifères, représentés par des galets, graviers et sables peu ou pas argileux, dont l'épaisseur est maximale dans l'axe de la vallée et diminue vers les bordures. Ces deux niveaux sont séparés par une masse d'argile parfois épaisse (20 mètres), qui disparaît par endroit et permettant alors une relation hydraulique très étroite entre les deux horizons aquifères.

D'autre part, l'étude piézométrique a permis d'individualiser deux types d'écoulement, liés à la configuration morphologique du substratum. On a d'une part, un écoulement vers la mer et d'autre part, un écoulement des bordures situées sur les deux rives de la vallée vers l'axe de drainage qui coïncide avec un ancien sillon.

Les eaux souterraines de la nappe sont caractérisées par une prédominance de faciès chimique bicarbonaté calcique et le résidu sec n'est pas assez important. Les eaux de la nappe du Bas Isser sont caractérisées par une dureté relativement élevée. La source Ain Serrira

située sur la rive gauche de l'oued Isser répond parfaitement aux normes de potabilité. L'alimentation de la source se fait à partir des terrasses supérieures (troisièmes et quatrièmes terrasses).

L'analyse en composante principale (ACP) nous a permis d'identifier (04) groupes, à savoir : **Groupe A**: caractérise les eaux des points (Fg7) avec une forte teneur en NO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>. Ce groupe explique une pollution bien illustrée par les puissantes valeurs en Nitrates et sulfates

**Groupe B** traduit un faciès bicarbonaté calcique. Les points d'eau (Fg4 et P1)

**Groupe C** il présente les points (P6, P7 et P4) avec de fortes teneurs en (Cl, Mg et K), et traduit le faciès Chloruré Potassique

**Groupe D** il présente le puit 8 avec de fortes teneurs en (Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, RS et Mg), et traduit le faciès chloruré sulfaté, chloruré calcique et sulfaté magnésien

**Groupe E** traduit en place les autres points d'eau qui présentent une approche au niveau des deux axes principaux et un peu proche du cercle. En effet, ces individus illustrent des valeurs moyennes peu représentatives. Ce dernier groupe représente les bicarbonates et le Magnésium ayant une répartition sur toute la plaine.

La prospection électrique ainsi que les données géologiques ont montrés que la quasi-totalité du remplissage alluvial repose sur les rr-rries plaisanciennes.

*La salinité au niveau des horizons aquifère toujours supérieure à 5ûohm.m peut être due à l'intrusif marine ou alors au rabattement des nappes par pompage et le nombre élevé des forages, et l'ANRH arrêt Le pompage prêt de la mer.*

D'après la méthode PRAST on distingue trois unités hydrogéologiques comme suite : Unité hydrogéologique : 2A (124-130) :

De faible superficie, cette unité caractérise la région de au Nord-Est entre Sidi zerzour et Bordj — Menauel Elle correspond à des conditions de vulnérabilité très élevées. L'indice PRAST est supérieur à 129.

Unité hydrogéologique : 2B (99 —124)

C'est une unité de grande extension, à vulnérabilité élevée avec un indice PRAST supérieur à 99. Les paramètres ; la topographie plane, la recharge supérieure à 48 cm/an. Favorisent la propagation du polluant de la surface du sol vers le réservoir aquifère.

Unité hydrogéologique : 2C (70 — 99)

Elle est définie par un indice PRAST général qui varie entre 70 et 99. Elle correspond à des conditions de vulnérabilité moyenne. Elle occupe la grande zone littorale, la ville de Isser, Est Je Dj-bou Arous et le Nord-East de massif de beni Aamrane.

Les besoins en eau de la période de jusqu'au mois d'Aout est égale a : 18332 m<sup>3</sup>/ha

Le lessivage est une pratique qui consiste à maintenir la salinité du sol à un seuil souhaité. Un lessivage ne peut être efficace que s'il est accompagné d'un drainage. La dose de Lessivage est de l'ordre de 916,6 m<sup>3</sup>/ha.

En nous basant sur les résultats du bilan hydrologique de la période (mars jusqu'au mois cr Aout), nous avons obtenu :

- net=19248.6m<sup>3</sup>/ha pour 6 mois avec effcience 0.75,
  - brute=25664.8 m<sup>3</sup>/ha,
  - ertes totales=6416.2 m<sup>3</sup>/ha,
-

- Les pertes par percolation :  $0.75 \cdot 6416.2.2.67 \text{ mm/jour}$ .

Pour la détermination des écartements entre les drains, nous avons utilisé le logiciel '*drflow*', avec un débit de  $16.0 \text{ ,,nlj}$

- *les céréales E=31m*
- *les cultures maraîchères E=25m*
- *et en fin la viticulture E=26m*

Le système d'irrigation choisit dépend de la texture des sols et le type de culture.

Le grand projet de l'émissaire de drainage a des effets positifs sur le plan environnemental. À terme, il constituera une solution durable pour l'épineux problème du drainage agricole.

## ***Recommandations***

- Etendre la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution à toute la plaine de Bas Isser
- Tester la méthode PRAST sur plusieurs aquifères judicieusement  
Choisis en fonction de leurs conditions hydrogéologiques.  
Développement d'une politique de protection des zones vulnérables et  
réglementation des activités industrielles, agricoles et urbaines ayant un potentiel  
de contamination des eaux souterraines.
- on recommande un réseau de drainage dans la zone d'étude pour la protection de  
la nappe de l'eau agricole et urbaine.
- L'utilisation des produits phytosanitaires chimiques excessive n'est pas recommandée,  
par contre l'utilisation des produits biologiques constituera un meilleur moyen de  
préservation de l'environnement.

**ANNEXE 1****ANALYSE CHIMIQUE (octobre 2008)**

NA(x)	LNA(y)	DDP	DDE	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l	CE mmhos	Minéralisation mg/l
582253	381286	12/10/08	13/10/08	189	58	75	1	238	245	345	0	0	56.0	1.85	1 144
584170	381470	12/10/08	13/10/08	189	78	65	1	171	208	449	0	0	62.0	1.98	1 226
582450	381600	12/10/08	13/10/08	169	37	93	2	110	128	485	0	0	32.0	1.47	909
585700	382200	12/10/08	13/10/08	148	37	86	1	143	115	431	0	0	44.0	1.30	806
589600	384900	12/10/08	13/10/08	438	197	65	0	710	590	525	0	0	17.0	4.43	2 746
589080	389040	12/10/08	13/10/08	175	41	40	1	322	9	317	0	0	19.0	1.38	856
581440	380200	13/10/08	14/10/08	135	39	145	2	99	172	442	31	0	34.0	1.71	1 058
587880	380760	13/10/08	14/10/08	294	137	185	3	705	379	392	33	0	63.0	3.49	2 164
588780	381400	13/10/08	14/10/08	155	54	135	4	229	275	404	10	0	15.0	1.78	1 104
591360	386440	13/10/08	14/10/08	207	46	110	4	149	143	458	15	0	135.0	1.66	1 029
591440	385280	13/10/08	14/10/08	285	70	95	3	440	288	205	0	0	49.0	2.34	1 451
590540	383420	13/10/08	14/10/08	112	41	102	2	106	178	329	0	0	20.0	1.19	738
591620	382980	13/10/08	14/10/08	138	50	120	2	150	251	333	0	0	10.9	1.47	911
590220	382150	13/10/08	14/10/08	45	20	65	2	38	43	292	0	0	3.0	0.65	401

R.Sec mg/l	pH	TH ° F	TAC ° F	TA ° F	facies	Na(Méq/l)	Mg(Méq/l)	Ca(Méq/l)	SAR
1 343	7.1	71	28	0	CHLORURECALCIQUE	3.26	4.83	9.45	1.22
1 305	7.2	80	36	0	BICARBONATECALCIQUE	2.83	6.49	9.45	1.00
967	7.2	58	39	0	BICARBONATECALCIQUE	4.04	3.08	8.45	1.68
907	7.1	52	35	0	BICARBONATECALCIQUE	3.74	3.08	7.40	1.63
2 924	7.2	192	42	0	CHLORURECALCIQUE	2.83	16.39	21.89	0.65
911	7.3	61	26	0	CHLORURECALCIQUE	1.74	3.41	8.75	0.71
1 127	8.5	50	41	5	BICARBONATECALCIQUE	6.30	3.24	6.75	2.82
2 331	8.5	131	37	5	CHLORURECALCIQUE	8.04	11.40	14.69	2.23
1 072	8.4	61	34	2	BICARBONATECALCIQUE	5.87	4.49	7.75	2.37
1 099	8.5	71	39	3	BICARBONATECALCIQUE	4.78	3.83	10.34	1.80
1 544	8.2	100	17	0	CHLORURECALCIQUE	4.13	5.82	14.24	1.30
785	7.9	45	27	0	BICARBONATECALCIQUE	4.43	3.41	5.60	2.09
970	8.2	55	27	0	BICARBONATECALCIQUE	5.22	4.16	6.90	2.22
427	7.8	20	24	0	BICARBONATESODIQUE	2.83	1.66	2.25	2.02

LNA(x)	LNA(y)	DDP	DDE	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	CO3H mg/l	CO3 mg/l	OH mg/l	NO3 mg/l	CE mmhos	Minéralisation mg/l
579950	379250	14/10/08	15/10/08	202	96	194	3	281	415	526	0	0	92.0	3.04	1 883
587533	382296	14/10/08	15/10/08	130	70	157	2	231	136	549	0	0	7.0	1.61	998
581641	376761	14/10/08	15/10/08	32	11	17	2	51	3	122	0	0	9.0	0.31	192
583946	379742	13/10/08	15/10/08	112	91	81	2	131	132	610	0	0	7.0	1.45	899
588721	384721	13/10/08	15/10/08	74	50	173	3	356	53	244	0	0	0.0	1.48	918
589982	383931	14/10/08	15/10/08	142	83	109	1	128	157	610	0	0	11.0	1.87	1 159
589031	389592	13/10/08	15/10/08	77	74	170	2	628	4	6	0	0	0.0	1.84	1 141
590820	390320	14/10/08	15/10/08	179	65	151	3	268	231	491	0	0	95.0	2.25	1 395
590750	389280	15/10/08	18/10/08	175	47	123	3	189	141	481	0	0	86.0	1.61	998
590660	388500	15/10/08	18/10/08	167	41	130	2	205	165	433	0	0	44.0	1.90	1 177
591010	387380	15/10/08	18/10/08	131	50	125	3	134	187	432	0	0	91.0	1.41	874
590206	391046	15/10/08	18/10/08	100	51	115	3	150	140	430	0	0	3.0	1.30	806
589799	393996	15/10/08	18/10/08	233	67	185	2	380	159	294	0	0	265.0	2.64	1 638
587862	390675	15/10/08	18/10/08	119	25	240	2	200	162	610	0	0	53.0	1.76	1 091
588976	393188	15/10/08	15/10/08	34	9	228	1	262	5	307	3	0	8.0	1.18	732

R.Sec mg/l	pH	TH°F	TAC°F	TA°F	facies	Na(Méq/l)	Mg(Méq/l)	Ca(Méq/l)	SAR	R(todd)
2 005	7.6	91	42	0	SULFATECALCIQUE	8.43	7.99	10.09	2.81	0.53
1 063	7.4	62	44	0	BICARBONATESODIQUE	6.83	5.82	6.50	2.75	0.42
205	6.6	13	10	0	BICARBONATECALCIQUE	0.74	0.92	1.60	0.66	0.42
957	7.4	66	49	0	BICARBONATEMAGNESIQUE	3.52	7.57	5.60	1.37	0.21
957	7.3	39	20	0	CHLORURESODIQUE	7.52	4.16	3.70	3.79	1.46
1 234	7.4	70	49	0	BICARBONATECALCIQUE	4.74	6.91	7.10	1.79	0.21
1 214	5.3	50	1	0	CHLORURESODIQUE	7.39	6.16	3.85	3.30	97.97
1 485	7.1	72	40	0	BICARBONATECALCIQUE	6.57	5.41	8.95	2.45	0.55
1 063	7.2	63	39	0	BICARBONATECALCIQUE	5.35	3.91	8.75	2.13	0.39
1 253	7.0	59	35	0	BICARBONATECALCIQUE	5.65	3.41	8.35	2.33	0.47
931	7.4	54	35	0	BICARBONATECALCIQUE	5.43	4.16	6.55	2.35	0.31
858	7.1	46	35	0	BICARBONATESODIQUE	5.00	4.24	5.00	2.33	0.35
1 743	7.5	86	24	0	CHLORURECALCIQUE	8.04	5.57	11.64	2.74	1.29
1 162	6.9	40	49	0	BICARBONATESODIQUE	10.43	2.08	5.95	5.21	0.33
779	8.4	12	25	1	CHLORURESODIQUE	9.91	0.75	1.70	8.96	0.84

## ANNEXE 2

### -VALEURS DE NIVEAU STATIQUE

N° BIRH	X	Y	Z-RR(m)	Cata	Birh	niveau statique(Mai2008)	niveau statique(Octobre2008)
P21	579768	379172	46.363	E008-4599	W022-001		4.25
P23	579942	377183	45.124	E008-4600	W022-002	5.32	8.18
P3Ch	580737	376517	46.940	E008-0001	W022-001		
P10 OedDj	582216	375837	48.526	E008-4602	W022-004	1.92	2.47
P46	589800	392560	52.577	E008-4607	W022-006	3.64	4.15
P5 HA	590444	390263	12.500	E008-4609	W022-008	3.03	5.61
P39	591080	391460	24.529	E008-4610	W022-009	2.37	6.68
P25	580704	380044	42.025	E008-4611	W022-010	6.07	9.71
P17SM	581224	380151	39.574	E008-4612	W022-011	5.92	8.81
P20	582240	381524	44.517	E008-4613	W022-012	2.37	3.3
F(K,S)	583049	381049	34.719	E008-4615	W022-014	13.53	14.87
P19 L	583965	381413	33.086	E008-4616	W022-015	3.73	4.35
P26	585700	382200	30.067	E008-4617	W022-016	5.98	6.65
P28	586469	383035	39.887	E008-4618	W022-017	13.98	14.95
F Socothye 2	586439	380590	30.240	E008-4619	W022-018	4.69	5.7
P29	587544	383134	26.650	E008-4620	W022-019	5.82	6.3
P13	587709	380746	28.971	E008-4621	W022-020	4.1	4.95
P14	588591	381361	25.993	E008-4622	W022-021	2.19	3.6
P41Bis	588698	388888	14.973	E008-4623	W022-022	4.08	5.05
P33	589299	386684	17.556	E008-4624	W022-023	2.69	4.42
P30	589372	384848	20.657	E008-4625	W022-024	5.43	6.4
P7 HA	590556	389227	18.207	E008-4626	W022-025	3.82	6.35
P8 HA	590457	388446	18.625	E008-4627	W022-026	4.98	8.44
P9 (ML)	591010	387380	26.132	E008-4628	W022-027	3.38	5.32
P10 (M)	591212	386361	24.899	E008-4629	W022-028	1.3	3.5
F(MKH)	590381	385967	17.455	E008-4630	W022-029		20.6
P12 (M)	591280	385083	18.587	E008-4631	W022-030	2.02	4.35
P16	590697	384211	20.626	E008-4632	W022-031	2.15	3.6
P36	590347	383363	24.551	E008-4633	W022-032	2.25	3.75
P34	587688	382758	22.344	E008-4634	W022-033	6.14	7.56
P35	591620	382980		E008-4635	W022-034	4.14	5.76
P4(BM)	589992	382053	24.725	E008-4636	W022-035	2.98	4.37
P18	582202	380513	42.015	E008-4637	W022-036	8.68	8.87

# ANNEXE 3

TABLEAU SYSTEME DE COTATION DRASTIC ET PRAST

DRASTIC Paramètres	Poids général	Poids pesticide
profondeur de la nappe	5	5
Recharge annuelle	4	4
Milieu aquifère	3	3
Type de sol	2	5
Topographie	1	3
Impact de la zone non saturée	5	4
Perméabilité de aquifère	3	2

Profondeur de la nappe	Cote
Intervalle (m)	
0 - 1,5	10
1,5 - 4,5	9
4,5 - 9	7
9 - 15	5
15 - 22	3
22,5 - 30	2
> 30	1

Recharge annuelle	
Intervalle (cm)	Cote
0 - 5	1
5 - 10	3
10 - 18	6
18 - 25	8
> 25	9

Milieu aquifère		
Nature	Cote	Cote type
shistes massifs	1 - 3	2
Roches métamorphiques	2 - 5	3
Roches métamorphiques alté	3 - 5	4
Shales en séquence	5 - 9	6
Grès massif	4 - 9	6
Calcaire massif	4 - 9	6
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	9 - 10	10

Type de sol	
Nature	Cote type
Peu épais ou absent	10
Gravier	10
Sable	9
Argile fissure	7
Limon sableux	6
Limon	5
Limon silteux	4
Limon argileux	3
Argile non fissure	1

Topographie	
Intervalle (%)	Cote
0 - 2	10
2 - 6	9
6 - 12	5
12 - 18	3
> 18	

Impact de la zone non saturée		
Nature	Cote	Cote typique
Limon et argile	1 - 2	1
Argile schisteuse	2 - 5	3
Calcaire	2 - 7	6
Gres	4 - 8	6
Calcaire lite, gres et schisteuse	4 - 8	6
Sable et gravier avec silt et argile	4 - 8	6
Roche métamorphique / ignée	2 - 8	4
Sable et gravier	6 - 9	8
Basalte	2 - 10	9
Calcaire karstique	8 - 10	10

Perméabilité	Cote
$4.7.10^{-7}$ - $4.7.10^{-5}$ m/s	1
$4.7.10^{-6}$ - $14.7.10^{-6}$ m/s	2
$14.7.10^{-6}$ - $32.9.10^{-6}$ m/s	4
$32.9.10^{-6}$ - $4.7.10^{-4}$ m/s	6
$4.7.10^{-4}$ - $9.4.10^{-4}$ m/s	8
> $9.4.10^{-2}$ m/s	10

PRAST	
Paramètres	Poids
Pouvoir épurateur vertical du sous sol	8
Recharge annuelle	4
Milieu aquifère	3
Type de sol	2
Topographie	1

Pouvoir épurateur vertical du sous sol (sans ufre)	Cote
< 1	6
1 - 2	5
2 - 3	2
> 3	1

**ANNEXE 4**

Le classement par trimestre des pluies :

-TABLEAU TRIMESTRE 1 :(septembre- octobre -novembre)

Année	Temps (jour)						
	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
1971	32	0	58	0	0	0	0
1972	19.5	1.8	0	0	0	0	0
1973	4.3	2.1	0	0	0	0	0
1974	18	28	0	0	0	0	0
1975	7.8	19.1	23	0	0	0	0
1976	2.1	20.3	15.7	0	0	0	0
1977	28.4	27	0	0	0	0	0
1978	6.3	2	0	0	0	0	0
1979	12.5	0	0	0	0	0	0
1980	30.7	0	0	0	0	0	0
1981	11.1	11.6	0	0	0	0	0
1982	8.9	0	3.4	0	0	0	0
1983	21	26.7	0	30.7	0	0	0
1984	14.2	31.9	0	32.8	0	0	0
1985	9.9	17.2	0	0	0	0	0
1986	32.1	0.7	10.6	0	0	0	0
1987	7.3	5.5	0	0	0	0	0
1988	4	0	0	0	0	0	0
1989	13	30	0	18.5	0	0	0
1990	0.8	28.8	0	0	0	0	0
1991	18.7	13.8	44.7	7.2	0	0	0
1992	21.6	3	0	0	0	0	0
1993	4.5	0	0	0	0	0	0
1994	0.5	16.2	0	0	0	0	0
1995	3	0	19.4	0	0	0	0
1996	5.3	10	0	0	0	0	0
1997	10	0	43.3	98.7	0	0	0
1998	0	5.6	0	0	0	0	0
1999	2.2	0	69.2	0	0	0	0
2000	2.5	0	0	0	21.6	0	0
2001	5.4	22.9	0	0	0	0	0
2002	0.9	1.7	6.5	0	0	0	0
2003	4.3	2	41.1	71.6	0	0	0
2004	3	0	0	0	0	0	0
2005	2.1	0	0	0	0	0	0
2006	2.4	0	7.3	24.6	0	0	0
2007	12.8	14.3	35.8	0	0	0	0
2008	56	0	0	0	0	0	0
2009	14.2	3	0	0	0	0	0

**-TABLEAU TRIMESTRE 2 (décembre –janvier-fièvre)**

Année	Temps (jour)						
	1j	2j	3j	4j	5j	6j	7j
1971	16.5	1.8	44.9	0	0	0	0
1972	40.5	35.5	54	77	0	0	0
1973	0.4	71	0	113	0	0	0
1974	15.3	53	0	0	0	0	45.2
1975	3	14.5	17	0	0	0	0
1976	8.1	15.3	15.3	0	0	33.6	0
1977	6.1	0	0	0	0	0	0
1978	7.9	72	10	0	0	0	0
1979	3.5	0	56.5	0	100.3	0	0
1980	19.5	14.5	27.2	0	0	0	0
1981	10.1	0	0	41.3	0	0	0
1982	7.7	0	62.4	0	38.1	0	0
1983	28.3	0	0	0	0	0	0
1984	1.2	16.6	12.1	0	0	0	0
1985	2.8	50.2	0	49.3	0	0	0
1986	6.3	7.9	29.1	0	0	0	0
1987	37	10.6	0	0	0	0	0
1988	3.3	8	0	44.6	0	0	0
1989	21	30.1	0	0	0	0	0
1990	38.5	6.5	0	0	0	0	0
1991	3.5	14.1	139.1	0	0	0	0
1992	3.5	59.3	0	10.3	0	0	0
1993	6.7	45	1.2	0	0	0	0
1994	18.4	37.2	24.8	66.9	0	0	0
1995	6.1	22.2	0	0	0	0	0
1996	27.7	28.5	0	0	0	0	0
1997	4.1	19.6	65	0	0	0	0
1998	64.6	0	18.3	0	33.1	0	0
1999	6.2	11.9	0	0	0	0	0
2000	8.5	11.5	21.5	0	0	0	0
2001	24.5	17.3	0	0	0	0	0
2002	3.6	16.6	0	0	0	0	0
2003	11.5	21.5	19.8	0	0	0	0
2004	21.6	6.3	0	0	0	0	0
2005	4	39.5	0	0	0	0	0
2006	4.7	0	0	28.9	0	0	0
2007	10.8	55.7	241.8	0	0	0	0
2008	18.4	4.5	0	13.5	0	0	0
2009	12.7	72	0	19.9	0	0	0

**-TABLEAU TRIMESTRE 3 : (mars –avril –mai)**

<b>Année</b>	<b>Temps (jour)</b>						
	<b>1j</b>	<b>2j</b>	<b>3j</b>	<b>4j</b>	<b>5j</b>	<b>6j</b>	<b>7j</b>
<b>1971</b>	15.5	21.9	80	199	64.2	0	0
<b>1972</b>	26.5	29	43.8	77.5	0	0	0
<b>1973</b>	10.5	22.2	6.8	122.8	0	0	0
<b>1974</b>	0	32.4	28	48	0	0	0
<b>1975</b>	3.5	15.2	62.7	132.3	0	0	129.4
<b>1976</b>	17	20.1	25.5	0	35.5	0	0
<b>1977</b>	11.3	33.2	0	0	76.5	0	0
<b>1978</b>	5.1	20.4	0	52.3	0	0	0
<b>1979</b>	23	22.7	84.7	25.8	0	0	0
<b>1980</b>	11.5	35	20.5	38.2	49.6	127.4	0
<b>1981</b>	5.7	24.9	0	47.9	0	0	0
<b>1982</b>	40	15	0	0	71.9	46.5	0
<b>1983</b>	10.3	50.1	20.9	0	40.1	0	0
<b>1984</b>	10.9	11.4	24.2	47.1	0	103.7	0
<b>1985</b>	7.1	23.7	31.2	52.7	28.8	0	0
<b>1986</b>	22.8	22.2	0	66	79.7	61.7	0
<b>1987</b>	8	29.2	60.4	0	0	0	0
<b>1988</b>	56.8	27.9	111.5	0	24.8	63.8	0
<b>1989</b>	34.9	28.6	40.4	0	0	0	0
<b>1990</b>	5.9	49.4	20.5	18	0	79.3	73.1
<b>1991</b>	44	1.7	15.2	0	0	0	0
<b>1992</b>	11.5	13.4	30	81.4	49.3	0	0
<b>1993</b>	10.5	51.7	31.2	0	0	0	0
<b>1994</b>	29	40.7	0	0	0	113.9	75.3
<b>1995</b>	70.9	43.6	43.1	47.8	0	0	0
<b>1996</b>	17.5	14.3	0	32.1	10.3	0	0
<b>1997</b>	16.5	61.4	33.9	0	28.2	0	0
<b>1998</b>	4.4	41.6	45.7	0	21.5	74.8	0
<b>1999</b>	3.6	31.2	0	37.5	48.9	155.1	0
<b>2000</b>	18.7	30.5	109.6	0	77.8	0	0
<b>2001</b>	6.4	20.4	52.1	0	0	0	0
<b>2002</b>	32	56.3	46	0	269.5	0	50
<b>2003</b>	29	22.1	49.2	0	40.4	0	0
<b>2004</b>	9.7	46.7	85	0	0	0	28.9
<b>2005</b>	13.7	25.3	66.2	0	22.8	0	0
<b>2006</b>	3.5	12.2	101.8	0	0	0	0
<b>2007</b>	8.7	78.5	13.1	78.9	0	0	0
<b>2008</b>	16.3	21.2	49.4	38.8	56.3	116.1	0
<b>2009</b>	14.5	50.7	0	0	90.1	0	0

**ANNEXE 5****1-Besoins d'irrigation de la tomate**

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jan	1	Init	0.6	1.1	11	20.9	0
Jan	2	Init	0.6	1.09	10.9	19.3	0
Jan	3	Crois	0.6	1.15	12.7	18.9	0
Fév	1	Crois	0.69	1.4	14	18.8	0
Fév	2	Crois	0.83	1.76	17.6	18.4	0
Fév	3	Crois	0.95	2.25	18	17.2	0.8
Mar	1	Mi-sais	1.06	2.76	27.6	15.8	11.7
Mar	2	Mi-sais	1.08	3.07	30.7	14.7	16
Mar	3	Mi-sais	1.08	3.26	35.8	14.3	21.5
Avr	1	Mi-sais	1.08	3.45	34.5	14.5	20
Avr	2	Arr-sais	1.07	3.6	36	14.2	21.7
Avr	3	Arr-sais	1	3.58	35.8	12.4	23.3
Mai	1	Arr-sais	0.94	3.57	17.9	5.3	12.5

**2- Besoins d'irrigation de poivron**

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jan	1	Init	0.6	1.1	11	20.9	0
Jan	2	Init	0.6	1.09	10.9	19.3	0
Jan	3	Crois	0.6	1.15	12.7	18.9	0
Fév	1	Crois	0.69	1.4	14	18.8	0
Fév	2	Crois	0.83	1.76	17.6	18.4	0
Fév	3	Crois	0.95	2.25	18	17.2	0.8
Mar	1	Mi-sais	1.06	2.76	27.6	15.8	11.7
Mar	2	Mi-sais	1.08	3.07	30.7	14.7	16
Mar	3	Mi-sais	1.08	3.26	35.8	14.3	21.5
Avr	1	Mi-sais	1.08	3.45	34.5	14.5	20
Avr	2	Arr-sais	1.07	3.6	36	14.2	21.7
Avr	3	Arr-sais	1	3.58	35.8	12.4	23.3
Mai	1	Arr-sais	0.94	3.57	17.9	5.3	12.5

### 3-Besoin en eau d'irrigation de maïs

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	1	Init	0.3	0.78	7.8	15.8	0
Mar	2	Init	0.3	0.85	8.5	14.7	0
Mar	3	Crois	0.46	1.38	15.2	14.3	0.9
Avr	1	Crois	0.74	2.35	23.5	14.5	9
Avr	2	Crois	1	3.37	33.7	14.2	19.5
Avr	3	Mi-sais	1.21	4.34	43.4	12.4	30.9
Mai	1	Mi-sais	1.22	4.66	46.6	10.6	36
Mai	2	Mi-sais	1.22	4.93	49.3	9.1	40.2
Mai	3	Mi-sais	1.22	5.39	59.3	6.7	52.6
Jui	1	Arr-sais	1.14	5.47	54.7	3.7	50.9
Jui	2	Arr-sais	0.86	4.44	44.4	1.2	43.2
Jui	3	Arr-sais	0.57	3.11	31.1	1	30.1
Jui	1	Arr-sais	0.38	2.21	6.6	0.3	6.2

### 4- Besoin en eau d'irrigation d'oignon

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Mar	1	Init	0.7	1.82	18.2	15.8	2.4
Mar	2	Init	0.7	1.99	19.9	14.7	5.2
Mar	3	Crois	0.7	2.11	23.2	14.3	8.9
Avr	1	Crois	0.74	2.37	23.7	14.5	9.2
Avr	2	Crois	0.8	2.71	27.1	14.2	12.8
Avr	3	Crois	0.87	3.11	31.1	12.4	18.6
Mai	1	Mi-sais	0.93	3.53	35.3	10.6	24.7
Mai	2	Mi-sais	0.95	3.82	38.2	9.1	29.1
Mai	3	Mi-sais	0.95	4.18	46	6.7	39.3
Jui	1	Mi-sais	0.95	4.54	45.4	3.7	41.7
Jui	2	Mi-sais	0.95	4.91	49.1	1.2	47.9
Jui	3	Arr-sais	0.95	5.18	51.8	1	50.8
Jui	1	Arr-sais	0.9	5.25	52.5	0.9	51.6
Jui	2	Arr-sais	0.83	5.14	51.4	0.4	51
Jui	3	Arr-sais	0.77	4.61	36.9	0.6	36.1

## 5-Besoin en eau d'irrigation de la Vigne de table

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Jan	1	Init	0.3	0.55	5.5	20.9	0
Jan	2	Init	0.3	0.54	5.4	19.3	0
Jan	3	Init	0.3	0.58	6.3	18.9	0
Fév	1	Init	0.3	0.61	6.1	18.8	0
Fév	2	Init	0.3	0.64	6.4	18.4	0
Fév	3	Init	0.3	0.71	5.7	17.2	0
Mar	1	Init	0.3	0.78	7.8	15.8	0
Mar	2	Init	0.3	0.85	8.5	14.7	0
Mar	3	Init	0.3	0.91	10	14.3	0
Avr	1	Init	0.3	0.96	9.6	14.5	0
Avr	2	Init	0.3	1.01	10.1	14.2	0
Avr	3	Init	0.3	1.08	10.8	12.4	0
Mai	1	Init	0.3	1.14	11.4	10.6	0.8
Mai	2	Init	0.3	1.21	12.1	9.1	3
Mai	3	Crois	0.3	1.33	14.6	6.7	7.9
Jui	1	Crois	0.37	1.79	17.9	3.7	14.2
Jui	2	Crois	0.49	2.52	25.2	1.2	24
Jui	3	Crois	0.6	3.3	33	1	31.9
Jui	1	Crois	0.72	4.19	41.9	0.9	40.9
Jui	2	Mi-sais	0.83	5.13	51.3	0.4	50.8
Jui	3	Mi-sais	0.87	5.2	57.2	0.8	56.4
Aoû	1	Mi-sais	0.87	4.99	49.9	0.8	49.1
Aoû	2	Mi-sais	0.87	4.84	48.4	0.8	47.6
Aoû	3	Mi-sais	0.87	4.54	49.9	2.9	47
Sep	1	Mi-sais	0.87	4.23	42.3	5.2	37.2
Sep	2	Mi-sais	0.87	3.93	39.3	7	32.3
Sep	3	Mi-sais	0.87	3.58	35.8	9.5	26.3
Oct	1	Mi-sais	0.87	3.22	32.2	12	20.2
Oct	2	Mi-sais	0.87	2.87	28.7	14.4	14.3
Oct	3	Mi-sais	0.87	2.56	28.1	16.6	11.5
Nov	1	Mi-sais	0.87	2.25	22.5	19.2	3.3
Nov	2	Mi-sais	0.87	1.94	19.4	21.6	0
Nov	3	Arr-sais	0.83	1.75	17.5	22.4	0
Déc	1	Arr-sais	0.73	1.46	14.6	23.8	0
Déc	2	Arr-sais	0.63	1.19	11.9	25.1	0
Déc	3	Arr-sais	0.52	0.98	10.7	23.3	0

## **6-Besoin en eau d'irrigation pomme de terre**

Mois	Décade	Phase	Kc	ETc	ETc	Pluie eff.	Bes. Irr.
			coeff	mm/jour	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Nov	1	Init	0.5	1.29	12.9	19.2	0
Nov	2	Init	0.5	1.11	11.1	21.6	0
Nov	3	Crois	0.53	1.13	11.3	22.4	0
Déc	1	Crois	0.73	1.46	14.6	23.8	0
Déc	2	Crois	0.94	1.78	17.8	25.1	0
Déc	3	Mi-sais	1.13	2.11	23.2	23.3	0
Jan	1	Mi-sais	1.15	2.11	21.1	20.9	0.3
Jan	2	Mi-sais	1.15	2.08	20.8	19.3	1.5
Jan	3	Mi-sais	1.15	2.21	24.3	18.9	5.4
Fév	1	Arr-sais	1.15	2.32	23.2	18.8	4.4
Fév	2	Arr-sais	1.05	2.24	22.4	18.4	4
Fév	3	Arr-sais	0.93	2.2	17.6	17.2	0.4
Mar	1	Arr-sais	0.81	2.11	21.1	15.8	5.3