

République Algérienne Démocratique et Populaire



Université de Batna

Faculté des sciences de l'ingénieur

Département d'hydraulique

Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée

(LARHYA)

Année : 2009

Mémoire :

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magistère en Hydraulique
Option : Mobilisation des ressources hydriques et leur impact sur l'environnement

***IMPACT DE LA POLLUTION AGRICOLE ET
URBAINE SUR LA QUALITE DES EAUX
SOUTERRAINES DE L'AQUIFERE DE AIN
DJASSER.EST ALGERIEN***

Présenté par : Dalila ZIANI

Ingénieur d'état en hydraulique

Soutenu devant le jury:

Président : Dr. LAHBARI Nouredine, MC. Université de Batna
Rapporteur : Pr. BOUDOUKHA Abderrahmane, Pr. Université de Batna
Examineur : Dr. BOUMEZBERE Abderrahmane, MC. Université de Tébessa
Examineur : Dr. CHABOUR Nabil, MC. Université de Constantine

Table des matières

Avant propos	01
Généralités	03

Premier chapitre

Cadre géographique

1. Situation et morphologie	05
2. Végétation et réseau hydrographique	05
2.1. Végétation	05
2.2. Réseau hydrographique	05
3. Contexte socio-économique	07
4. Conclusion	08

Deuxième chapitre

Cadre géologique

1. Introduction	09
2. Disposition générale dans la chaîne alpine	11
3. Disposition particulière en Algérie	12
3.1. Le socle kabyle	12
3.2. La dorsale	13
3.3. Les domaines des flyschs	13
3.4. La zone des nappes telliennes	13
3.5. L'ensemble néritique constantinois	13
3.6. L'ensemble sud-sétifien	13
3.7. Zone des écailles des Sellaoua	13
3.8. Le para-autochtone Nord-Aurassien	13
3.9. L'autochtone Nord-Aurassien	14
4. Analyse lithostratigraphique	14
4.1. Formations du Quaternaire	14

a. Terres arables : Q.....	14
b. Glacis polygéniques : Qt.....	14
4.2. Formations du Tertiaire.....	14
a. Mio-pliocène : mp.....	14
4.3. Formations du Secondaire.....	17
a. Barrémo-Aptien : n ⁴⁻⁵	17
b. Barrémien supérieur : n ^{4b}	17
c. Barrémien calcaire : n ^{4a}	17
d. Barrémien dolomitique : n ⁴	17
e. Néo-comien : n ¹⁻³	17
f. Jurassique supérieur calcaire : J ⁶	17
g. Jurassique supérieur dolomitique : J ^{6d}	17
4.4. Trias exotique.....	17
a. Trias : t.....	17
5. Tectonique et paléogéographie.....	18
5.1. Evolution paléogéographique.....	18
5.2. Tectonique.....	18
6. Analyse structurale.....	18
7. Conclusion.....	18

Troisième chapitre

Cadre géophysique

1. Introduction.....	20
a. Objectif de l'étude.....	20
b. Travaux effectués.....	22
c. Examen critique des résultats des interprétations.....	23
2. Echelle des résistivités.....	23
3. Examen des cartes de résistivité.....	24
3.1. Carte de résistivité en ligne AB=100 m.....	24
a. Les plages conductrices.....	25
b. Les plages résistantes.....	25
3.2. Carte de résistivité en ligne AB=1000 m.....	25

3.3. Coupes géoélectriques.....	28
Profil A.....	28
Profil D et G.....	28
3.4. Carte du toit du substratum.....	32
4. Conclusion.....	33

Quatrième chapitre

Cadre climatique

1. Introduction.....	35
2. Climatologie de la zone d'étude.....	35
3. précipitations météoriques.....	35
4. Températures.....	38
5. Les indices climatiques.....	39
5.1. Indice d'aridité de De Martonne.....	39
5.2. Le quotient pluviométrique annuel de Moral.....	42
6. Estimation des paramètres du bilan hydrologique.....	44
6.1. Evapotranspiration potentielle ETP.....	44
6.1.1. Méthode de Thornthwaite.....	44
6.1.2. Méthode de Blaney-Criddle.....	45
6.2. Evapotranspiration réelle ETR.....	46
6.2.1. Méthode de Coutagne.....	46
6.2.2. Méthode de Turc.....	46
6.2.3. Méthode de Verdeil.....	47
6.3. Bilans hydrologiques.....	49
6.3.1. Bilan hydrologique de Thornthwaite.....	49
6.3.2. Bilan hydrologique de Blaney-Criddle.....	51
6.3.3. Comparaison des deux bilans.....	53
6.4. Calcul du ruissellement.....	53
6.5. Calcul de l'infiltration.....	54
7. Conclusion.....	55

Cinquième chapitre

Cadre hydrogéologique

1. Introduction	56
2. Les formations aquifères	56
2.1. La nappe superficielle	56
2.1.1. Etendue des formations de la nappe superficielle	57
2.1.2. Piezométrie	57
2.1.2.1. Inventaire des points d'eau	57
2.1.2.2. Caractéristiques et destination des points d'eau	59
2.1.2.3. Examen des cartes piezométriques	59
2.1.2.3.1. Piézométrie de juillet 2007	59
2.1.2.3.2. Piézométrie de Février 2008	59
2.1.2.3.3. Les gradients hydrauliques	61
2.1.2.3.4. Evolution de la piézométrie	61
2.1.2.3.5. Caractéristiques hydrodynamiques	61
2.1.2.3.5.1. Transmissivité	63
2.1.2.3.5.2. Perméabilité	64
2.1.2.3.5.3. Estimation des réserves de la nappe superficielle	64
2.1.2.3.5.4. Bilan de la nappe	64
2.1.2.3.5.4.1. les entrées	64
2.1.2.3.5.4.1.1. Infiltration	64
2.1.2.3.5.4.1.2. Apports latéraux	65
2.1.2.3.5.4.2. les sorties	65
2.1.2.3.6. Conditions naturelles de la plaine	65
3. Conclusion	66

Sixième chapitre

Hydrochimie

1. Introduction	67
------------------------------	----

2. Méthodes et stratégie de travail	67
2.1. Prélèvements	67
3. Mesures in situ	69
4. analyse des éléments chimiques	69
4.1. Les apports anthropiques	69
4.1.1. les rejets des eaux usées	69
4.1.2. L'agriculture	70
4.2. Le facteur contamination	70
4.2.1. Les formations évaporétiques	70
4.2.2. La variation des conditions d'oxydoréduction	70
4.3. Résultats des analyses chimiques de l'eau	71
4.3.1. Les paramètres physicochimiques	71
4.3.1.1. Température	71
4.3.1.2. Conductivité électrique	71
4.3.1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH)	73
4.3.1.4. Potentiel d'oxydoréduction (Eh)	73
4.3.1.5. L'oxygène dissous (O ₂)	73
4.3.2. Etude analytique des éléments chimiques	78
4.3.2.1. Les éléments majeurs	78
4.3.2.1.1. Le calcium Ca ²⁺	78
4.3.2.1.2. Le magnésium Mg ²⁺	78
4.3.2.1.3. Les chlorures Cl ⁻ et le sodium Na ⁺	78
4.3.2.1.4. Le potassium K ⁺	81
4.3.2.1.5. Les sulfates SO ₄ ²⁻	81
4.3.2.1.6. les bicarbonates HCO ₃ ⁻	81
4.3.2.2. Le cycle de l'azote	87
4.3.2.2.1. Les nitrates NO ₃ ⁻	88
4.3.2.2.2. Les nitrites ou Azote nitreux NO ₂ ⁻	88
4.3.2.2.3. L'ammonium NH ₄ ⁺	88
4.3.3. Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants	90
4.3.3.1. Rapports caractéristiques	90
4.3.3.1.1. Rapport r Mg ²⁺ /r Ca ²⁺	90
4.3.3.1.2. Rapport r SO ₄ ²⁻ /r Cl ⁻	90

4.3.3.1.3. Rapport $r \text{ HCO}_3^-/r \text{ SO}_4^{2-}$	90
4.3.3.1.4. Rapport $r (\text{Na}^++\text{K}^+)/r (\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$	90
4.3.3.2. Origine des éléments dominants	95
4.3.3.2.1. Origine des éléments Na^+ et Cl^-	95
4.3.3.2.2. Origine des éléments Na^+ et SO_4^{2-}	95
4.3.3.2.3. Origine des éléments Ca^+ et SO_4^{2-}	95
4.3.3.2.4. Origine du calcium	95
4.3.3.2.5. Origine de la salinité	95
4.3.4. Faciès chimiques des eaux	101
4.3.4.1. Répartition graphique.....	101
4.3.5. Indices d'échange de base.....	109
4.3.5.1. Interprétation des résultats.....	110
4.3.6. Qualité des eaux.....	110
4.3.6.1. Teneurs maximales admissible pour l'A.E.P.....	110
4.3.6.1.1. Calcium et Magnesium.....	110
4.3.6.1.2. Sodium et potassium.....	111
4.3.6.1.3. Carbonates et bicarbonates.....	111
4.3.6.1.4. Les chlorures.....	111
4.3.6.1.5. Les nitrates.....	111
4.3.7. Aptitude de l'eau à l'irrigation.....	111
4.3.7.1. Salinité.....	112
4.3.7.2. Infiltration.....	113
4.3.7.2.1. Eaux peu salées.....	113
4.3.7.2.2. Eaux à forte teneur en sodium.....	113
4.3.7.2.2.1. Classification en fonction du sodium absorbé par le sol «SAR» RICHARDS (1954).....	114
4.3.7.2.3. Etude de la toxicité des végétaux.....	114
4.3.7.2.3.1. Sodium	114
5.3.7.2.3.1.1. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de WILCOX (1948).....	115
4.3.7.2.3.2. Chlore	116
4.3.8. Analyse en composantes principales (ACP).....	121
4.3.8.1. Principe	121

4.3.8.2. Résultats et interprétations	121
4.3.8.3. Application de l'ACP aux données chimiques des eaux de la plaine de Ain Djasser	122
4.3.8.3.1. Statistique descriptive des différentes variables	122
4.3.8.3.2. Matrice de corrélation	123
4.3.8.3.3. Etude des variables	124
4.3.8.3.3.1. Projection des variables	124
5. Conclusion	126
Conclusion générale	127
Bibliographie	130
Annexes	132

Liste des tableaux

Tableau 3.1 : valeurs des résistivités (C.G.G 1972).....	24
Tableau 4.1 : Caractéristiques des stations pluviométriques	37
Tableau 4.2 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en mm.....	37
Tableau 4.3 : variations mensuelles des températures au niveau de la station de Ain Djasser(1973-1998).....	38
Tableau 4.4 : variations mensuelles des températures au niveau de la station de Batna aéroport (1998-2003).....	38
Tableau 4.5 : Indices d'aridité de De Martonne.....	40
Tableau 4.6 : Indice d'aridité de Moral	42
Tableau 4.7 : valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc	47
Tableau 4.8 : valeurs de l'ETR selon la méthode de Verdeil	47
Tableau 4.9 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station de Ain Djasser (1969-2003).....	49
Tableau 4.10 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite Station de Batna aéroport (1998-2003).....	50
Tableau 4.11 : Bilan hydrologique selon la méthode de Planey-Criddle Station de Ain Djasser	52
Tableau 4.12 : Bilan hydrologique selon la méthode de Blaney-Criddle Station de Batna aéroport	52
Tableau 4.13 : valeurs du ruissellement selon la méthode de Tixeront-Berkaloff	54
Tableau 4.14 : les différents paramètres du bilan hydrologique	55
Tableau 5.1 : Bilan estimatif de la nappe superficielle de la plaine de Ain Djasser.	65
Tableau 6.1 : paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines de plaine de Ain Djasser (Juillet 2007 et Février 2008).....	67
Tableau 6.2 : analyses physicochimiques de l'eau du rejet urbain de l'agglomération de Ain Djasser.....	69
Tableau 6.3 : Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité électrique.....	71
Tableau 6.4 : faciès chimiques des eaux selon le diagramme de Schoeller_Berkaloff.....	101

Tableau 6.5: Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (salinité).....	112
Tableau 6.6: Baisse de rendements de certaines culture en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT).....	112
Tableau 6.7: Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR	114
Tableau 6.8: Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation (Toxicité spécifique de certains ions).....	115
Tableau 6.9: Classification des eaux d'irrigation selon Wilcox	115
Tableau 6.10: Variation des éléments chimiques des eaux souterraines de la plaine de Ain Djasser	123
Tableau 6.11: Matrice de corrélation des paramètres chimiques	123
Tableau 6.12: Pourcentage de variance exprimée	124
Tableau 6.13: Corrélation facteurs_variables	124

Liste des figures

Figure 1.1: Limites administratives.....	06
Figure 1.2: Extrait de la carte topographique.....	07
Figure 2.1 : Plan de position simplifié des formations sud-setifiennes. (J.M Vila 1980).....	10
Figure 2.2 : Les grands ensembles structuraux de l'Afrique du Nord.....	11
Figure 2.3 : Les grands ensembles structuraux de l'Algérie septentrionale.....	12
Figure 2.4 : Carte géologique du Nord-Est Algérien Extrait de la carte géologique au 1 :500000.....	15
Figure 2.5 : Tableau de corrélation des séries typiques de l'ensemble sud-setifien. (J.M Vila 1980).....	16
Figure 3.1: plan de situation de l'étude (C.G.G 1972).....	21
Figure 3.2: Plan de situation des sondages électriques.....	22
Figure 3.3: Carte de résistivités (AB=100m).....	26
Figure 3.4: Carte de résistivités (AB=1000m).....	27
Figure 3.5: Profil A	29
Figure 3.6: Profil D.....	30
Figure 3.7: Profil G.....	31
Figure 3.8: Carte du substratum résistant et de la fracturation (C.G.G 1972).....	33
Figure 4.1: Carte des sous bassins.....	36
Figure 4.2 : Variation des précipitations moyennes mensuelles interannuelles.....	38
Figure 4.3 : Variation des températures moyennes mensuelles interannuelles.....	39
Figure 4.4 : Abaque de De Martonne.....	41
Figure 4.5 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Établie d'après Côte M., 1998a).....	43
Figure 4.6 : Abaque de Verdeil.....	48
Figure 4.7 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite.....	50
Figure 4.8 : courbes de l'évapotranspiration potentielle mensuelle.....	53
Figure 5.1 : Position des points d'eau retenus pour la piézométrie et les analyses chimiques.....	58
Figure 5.2 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser (Juillet 2007).....	60
Figure 5.3 : Courbe de battement de la nappe superficielle de Ain Djasser.....	62

Figure 5.4 : Profil de dépression (Abaissement du niveau piézométrique).....	62
Figure 5.5 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser (Février 2008).....	63
Figure 6.1 : Position des points d'eau retenus pour la piézométrie et les analyses chimique.....	68
Figure 6.2 : Carte de la température (°C) (Juillet 2007).....	72
Figure 6.3 : Carte de la température (°C) (Février (2008).....	72
Figure 6.4 : Carte de la conductivité (µs/cm) (Juillet 2007).....	74
Figure 6.5 : Carte de la conductivité (µs/cm) (Février (2008).....	74
Figure 6.6 : Carte de pH (Juillet 2007).....	75
Figure 6.7 : Carte de pH (Février (2008).....	75
Figure 6.8 : Carte de Eh (mv) (Juillet 2007).....	76
Figure 6.9 : Carte de Eh (mv) (Février(2008).....	76
Figure 6.10 : Diagramme de Eh en fonction du pH (Juillet 2007).....	77
Figure 6.11 : Diagramme de Eh en fonction du pH (Février 2008).....	77
Figure 6.12 : Carte de Ca ⁺⁺ (mg/l) (Juillet 2007).....	79
Figure 6.13 : Carte de Ca ⁺⁺ (mg/l) (Février (2008).....	79
Figure 6.14 : Carte de Mg ⁺⁺ (mg/l) (Juillet 2007).....	80
Figure 6.15 : Carte de Mg ⁺⁺ (mg/l) (Février (2008).....	80
Figure 6.16 : Carte de Cl ⁻ (mg/l) (Juillet 2007).....	82
Figure 6.17 : Carte de Cl ⁻ (mg/l) (Février (2008).....	82
Figure 6.18 : Carte de Na ⁺ (mg/l) (Juillet 2007).....	83
Figure 6.19 : Carte de Na ⁺ (mg/l) (Février (2008).....	83
Figure 6.20 : Carte de K ⁺ (mg/l) (Juillet 2007).....	84
Figure 6.21 : Carte de K ⁺ (mg/l) (Février (2008).....	84
Figure 6.22 : Carte de SO ₄ ²⁻ (mg/l) (Juillet 2007).....	85
Figure 6.23 : Carte de SO ₄ ²⁻ (mg/l) (Février (2008).....	85
Figure 6.24 : Carte de HCO ₃ ⁻ (mg/l) (Juillet 2007).....	86
Figure 6.25 : Carte de HCO ₃ ⁻ (mg/l) (Février (2008).....	86
Figure 6.26 : Cycle de l'azote.....	87
Figure 6.27 : Carte de NO ₃ ⁻ (mg/l) (Juillet 2007).....	89
Figure 6.28 : Carte de NO ₃ ⁻ (mg/l) (Février(2008).....	89
Figure 6.29 : Carte de rapport rMg ⁺⁺ /rCa ⁺⁺ (Juillet 2007).....	91
Figure 6.30 : Carte de rapport rMg ⁺⁺ /rCa ⁺⁺ (Février 2008).....	91

Figure 6.31: Carte du rapport $r \text{SO}_4\text{-2}/r \text{Cl}^-$ (Juillet 2007).....	92
Figure 6.32 : Carte du rapport $r \text{SO}_4\text{-2}/r \text{Cl}^-$ (Février 2008).....	92
Figure 6.33 : Carte du rapport $r \text{HCO}_3^-/\text{SO}_4\text{-2}$ (Juillet 2007).....	93
Figure 6.34 : Carte du rapport $r \text{HCO}_3^-/\text{SO}_4\text{-2}$ (Février 2008).....	93
Figure 6.35: Carte du rapport $r (\text{Na}^{++}+\text{K}+)/r (\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2})$ (Juillet 2007).....	94
Figure 6.36: Carte du rapport $r (\text{Na}^{++}+\text{K}+)/r (\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2})$ (Février 2008).....	94
Figure 6.37: Origine des éléments Na^+ et Cl^- (Juillet 2007).....	96
Figure 6.38: Origine des éléments Na^+ et Cl^- (février 2008).....	96
Figure 6.39: Origine des éléments Na^+ et SO_4^{2-} (Juillet 2007).....	97
Figure 6.40: Origine des éléments Na^+ et SO_4^{2-} (février 2008).....	97
Figure 6.41: Origine des éléments SO_4^{2-} et Ca^+ (Juillet 2007).....	98
Figure 6.42: Origine des éléments SO_4^{2-} et Ca^+ (février 2008).....	98
Figure 6.43: Origine du calcium Ca^+ (Juillet 2007).....	99
Figure 6.44: Origine du calcium Ca^+ (février 2008).....	99
Figure 6.45: Origine de la salinité (Juillet 2007).....	100
Figure 6.46: Origine de la salinité (février 2008).....	100
Figure 6.47: Répartition des faciès chimiques (Juillet 2007).....	101
Figure 6.48: Répartition des faciès chimiques (Février 2008).....	101
Figure 6.49 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Juillet 2007_F1 à F10).....	102
Figure 6.50 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Juillet 2007_F11 à F20).....	103
Figure 6.51 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Juillet 2007_F21 à F30).....	104
Figure 6.52 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Février 2008_F1 à F10).....	105
Figure 6.53 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Février 2008_F11 à F20).....	106
Figure 6.54 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Février 2008_F21 à F30).....	107
Figure 6.55 : Diagramme de Piper (Juillet 2007_F1 à F30).....	108
Figure 6.56: Diagramme de Piper (Février 2008_F1 à F30).....	109
Figure 6.57 : Diagramme du S.A.R (Juillet 2007).....	117
Figure 6.58 : Diagramme du S.A.R (Février 2008).....	118
Figure 6.59 : Diagramme Wilcox (Juillet 2007).....	119
Figure 6.60 : Diagramme Wilcox (Février 2008).....	120
Figure 6.61: Cercle des corrélations, plan F1/F2	125
Figure 6.62: Cercle des corrélations, plan F1/F3.....	125

Avant propos

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui ont permis de mener bien ce modeste travail.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Boudoukha Abderrahmane, professeur à l'université de Batna, de m'avoir encadré et soutenu durant toute la période de ce travail. J'ai beaucoup appris à ses côtés grâce à ses conseils.

Je suis particulièrement reconnaissante envers l'ensemble des membres du jury d'avoir accepté de juger mon travail, je remercie Dr LAHBARI Nouredine maître de conférence à l'université de Batna d'avoir présider le jury, Pr. BOUDOUKHA Abderrahmane professeur à l'université de Batna en temps que rapporteur ainsi Dr BOUMEZBERE Abderrahmane maître de conférence à l'université de Tébessa et Dr CHABOUR Nabil maître de conférence à l'université de Constantine pour leur présence en temps qu'examineurs.

Mes remerciements vont également à tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.

Mes remerciements les plus vifs vont également à toutes les personnes qui m'ont facilité la tâche pour acquérir les documents nécessaires à la réalisation de ce travail. Sans oublier l'équipe du laboratoire de chimie des sciences de la terre à l'université de Constantine.

Ma reconnaissance à tous les habitants de Ain Djasser qui m'ont autorisé à utiliser leurs puits et forages pour effectuer les prélèvements et les mesures hydrodynamiques.

Mes meilleures reconnaissances vont également à mon père et mon frère AbdElali de m'avoir accompagné sur le terrain, à ma mère, à tous mes frères, sœurs, amis et collègues, en particulier Monsieur ATHAMENA Ali, qui m'ont encouragé et aider pour réaliser ce modeste travail. A tous je dis merci.



Généralités



Généralités

Le présent travail traite de la vulnérabilité et des risques de pollution de la nappe superficielle du Mio-plio-Quaternaire ainsi que la nappe profonde des calcaires fissurés du crétacé et du jurassique de la plaine d'Ain Djasser (ex Bourhzel) menacées par de nombreux foyers de pollution (urbanisations galopantes, industrie, élevages, décharges sauvages, activité agricole, etc.), qui se sont multipliés dans la région en dehors de toute mesure de protection de l'environnement ni de contrôle.

Ces ressources sont exposées à des risques potentiels d'altération continue (rejet d'assainissement et d'unité industriel) ou épisodique (engrais chimique), et seront menacées davantage dans l'avenir par l'insuffisance des volumes de recharge, vu que la région ne connaît pas de grands épisodes pluvieux (climat semi-aride) et au contraire connaît une surexploitation des ressources souterraine pour palier à l'expansion que connaît la région d'Ain Djasser surtout agricole.

Ce développement agricole, entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les composés azotés, surtout celle des nitrates, en raison de leur grande solubilité. Cela est dû à l'utilisation parfois abusive des engrais chimiques et naturels dans l'agriculture vu la faible épaisseur de la couche pédologique dans la région de Ain Djasser.

Nous allons essayer de mettre en évidence l'impact de l'agriculture sur l'augmentation de la teneur des nitrates dans les eaux souterraines et d'étudier ce phénomène dans une région de l'Est Algérien, qui est celle d'Ain Djasser, située dans la wilaya de Batna.

La plaine d'Ain Djasser est située à soixante dix kilomètres au Nord Ouest du chef lieu de la wilaya de Batna et appartient au bassin versant des hautes plateaux Constantinois, caractérisé par un relief diversifié, à faible altitude pour la plaine et accentué pour les massifs. Cette région est formée par un remplissage Miocène et Plio-Quaternaire dans la plaine et par des massifs calcaires du Jurassique et du Crétacé. Le climat est semi aride avec un faible couvert végétal type steppe et armoise. Ce type de végétation est le signe d'une salinité assez élevée des terrains. L'autre partie des terrains est occupée par des cultures céréalières et potagères. La pollution azotée n'est pas visible, bien que la région soit à vocation agricole.

La plaine abrite deux aquifères superposés et probablement communiquant entre eux :

- ✓ Un aquifère superficiel se trouvant dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire;
- ✓ Un aquifère relativement profond dans les calcaires fissurés.

L'étude de ces aquifères se fera par l'intermédiaire des chapitres suivants :

- ✓ généralités ;
- ✓ Géologie ;
- ✓ Climatologie ;
- ✓ Géophysique ;
- ✓ Hydrogéologie ;
- ✓ Hydrochimie ;



Cadre géographique



Premier chapitre

Cadre géographique

1. Situation et morphologie :

La plaine de Ain Djasser se trouve dans le Sud-est algérien, située au Nord-ouest de la wilaya de Batna à quelques dizaines de kilomètres du chef lieu de la wilaya (voire Figure 1.1).

La plaine fait partie du bassin versant des hauts plateaux constantinois et précisément du sous bassin versant Merdja Zana (B.V 07-02), s'étalant sur superficie de 210km² environ, elle est délimitée topographiquement comme suit (voir figure 1.2):

- ✓ Au Sud, elle est insérée entre Djebel Zana culminant à 1280m et kef Bouchareb atteignant 1030m entraînant un fort rétrécissement dont l'altitude moyenne avoisine 920m à Draâ Eloust.
- ✓ Au centre, la plaine est plus large et limitée par Djebel Agmeroual (1230m) à l'Ouest et par Djebel Tabelkha (1020m) à l'Est.

Géographiquement elle se situe dans la partie limitant des deux wilayas Batna et Sétif, la majeure partie se situe sur les terres de la wilaya de Batna, la partie nord appartient à la wilaya de Sétif.

2. Végétation et réseau hydrographique :

2.1. Végétation :

Les reliefs carbonatés de la région sont pratiquement nus présentant une rare couverture végétale qui se résume en quelques genévriers, les glacis sont recouverts d'une maigre steppe à armoise et alfa tandis que la plaine, elle est cultivée en céréales et maraichages.

2.2. Réseau hydrographique :

Du fait de sa morphologie plane, cette plaine présente un faible réseau hydrographique endoréique où seul oued Boughezal qui ne coule qu'à la faveur des fortes pluies, traverse la localité de Ain Djasser de l'Ouest vers l'Est et se perd à environ 10km à l'Est de cette localité.

Du point de vue mobilisation des eaux de surface, les conditions topographiques et hydrologiques ne permettent pas la construction d'un barrage quant aux petites retenues collinaires il y a des sites situés en dehors de la plaine qui pourront faire l'objet d'études de faisabilité.



Figure 1.2: Extrait de la carte topographique

3. Contexte socio-économique :

L'activité se limite essentiellement à l'agriculture et peu d'élevage, l'industrie se résume en une petite unité textile dont le personnel est en majorité allochtone.

D'après le recensement général de 1998 la population de cette plaine est de l'ordre de :

- 13000 habitants à Ain Djasser ;
- 9000 habitants à El Taya.

C'est une population à caractère rural, dispersée entre plusieurs douars répartis administrativement et géographiquement entre la wilaya de Batna (Ain Djasser) et la wilaya de Sétif (El Taya).

L'agriculture étant l'enjeu de développement et d'aménagement de la région, ne peut être promue que par une exploitation étudiée du facteur essentiel «l'eau» de l'amélioration des techniques agricoles (étude du sol, chimie des eaux, type de culture) et la mise en place d'une politique d'état dans le domaine de l'agriculture et de l'hydraulique.

4. Conclusion :

La plaine de Ain Djasser située à 70 km au Nord de la ville de Batna, caractérisée par une morphologie à faible altitude dans la plaine (850m) et accentuée pour les massifs (1230m), cette morphologie nous donne l'impression que la plaine est une dépression plane. Elle est caractérisée par un couvert végétal maigre qui est le résultat du climat semi aride de la région, la faible pluviométrie et aussi la forte salinité des eaux de la plaine.



Cadre géologique



Deuxième chapitre

Cadre géologique

1. Introduction :

La plaine de Ain Djasser est une vaste dépression typique des hautes plaines de l'Est algérien, constituée essentiellement de formations sédimentaires d'âge Quaternaire et Mio-pliocène.

Cette étendue plaine est entourée de reliefs en général carbonatés appartenant à l'ensemble sud sétifien d'âge Secondaire, repartis comme suit :

- ✓ A L'Ouest : Djebel Agmeroual culminant à 1241m ;
- ✓ Au Sud : Djebel Tissouras et Djebel Zana ;
- ✓ Au Sud Est : Djebel Roknia ;
- ✓ A l'Est : Bled M'harba ;
- ✓ Au Nord : les collines d'Ouled Haif où affleurent d'une manière considérable les formations salées du Trias.

Les formations sud sétifiennes aux quelles appartient la région de Ain Djasser (figure 2.1) s'étalent entre le méridien de Aïn Taghrout à l'Ouest et celui de Aïn M'lila à l'Est en déterminant d'Ouest en Est et du Nord au Sud des alignements de petits reliefs carbonatés de Koudiat Della, des Djebels Zdim, Youssef, Braou et Tnoutit, puis plus au Sud des Djebels Sekrine, Kalaoun, Tella, Tafourer, Agmeroual, Azraouet, Tizourit, Guedamne et Hamouda et enfin au Sud l'ensemble montagneux des Djebels Messaouda, Roknia, Zana et Mestaoua.

Selon J.M Vila (1980), à l'exception des Djebels Guergour et Anini, qui apparaissent en fenêtres sous les nappes telliennes, ces formations constituent un vaste paquet d'écailles, cet auteur leur a attribué le caractère d'allochtonie.

L'hypothèse d'allochtonie de cet ensemble sud sétifien peut être mise en cause après les résultats de l'étude géophysique effectué par la compagnie générale de la géophysique (C.G.G) en 1972 pour le compte de la direction de l'hydraulique de la wilaya de Sétif. Cette étude a montré que ces massifs carbonatés ont des racines en profondeur qui peuvent atteindre 1000 m par endroit (Athamena 2006).

On remarque que le lien entre les reliefs abrupts carbonatés et la dépression du Quaternaire est recouvert par des glaciés polygéniques, des alluvions et des formations de pente.

Dans le présent chapitre nous allons essayer de donner une description générale de la géologie globale puis celle de la plaine de Ain Djasser but de notre dite étude.

2. Disposition générale dans la chaîne alpine:

Transversalement, la chaîne alpine au droit de la méditerranée occidentale, permet de voir la distribution suivante (figure 2.2).

- ✓ Au centre, une zone interne caractérisée par la prédominance des affleurements métamorphiques ;
- ✓ Latéralement, apparaissent successivement :
 - les séries sédimentaires du Secondaire et du Tertiaire qui constituent la chaîne calcaire sous forme de bande étroite et discontinue;
 - la zone externe ou zone de nappes.
- ✓ A l'extérieur, ce seront les domaines parautochtones et autochtones : Mésétras Ibériques et Marocaines auxquelles on peut rattacher en Algérie, l'ensemble Atlasique.

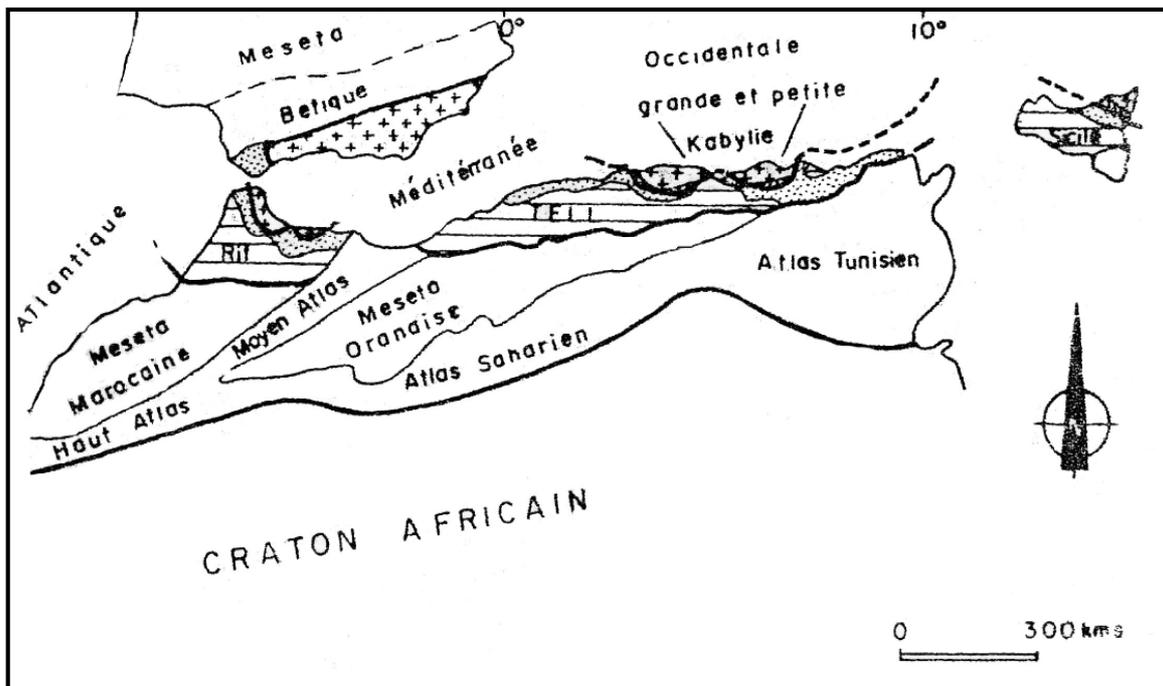


Figure 2.2 : Les grands ensembles structuraux de l'Afrique du Nord.

3. Disposition particulière en Algérie:

Quatre grands ensembles structuraux caractérisent la géologie de l'Algérie (Figure 2.3).

On distingue du Nord au Sud:

- ✓ Le domaine des massifs Primaires kabyles;
- ✓ Le domaine tellien;
- ✓ Le domaine présaharien (les hauts plateaux, les hautes plaines et l'atlas saharien);
- ✓ Le domaine de la plate forme saharienne.

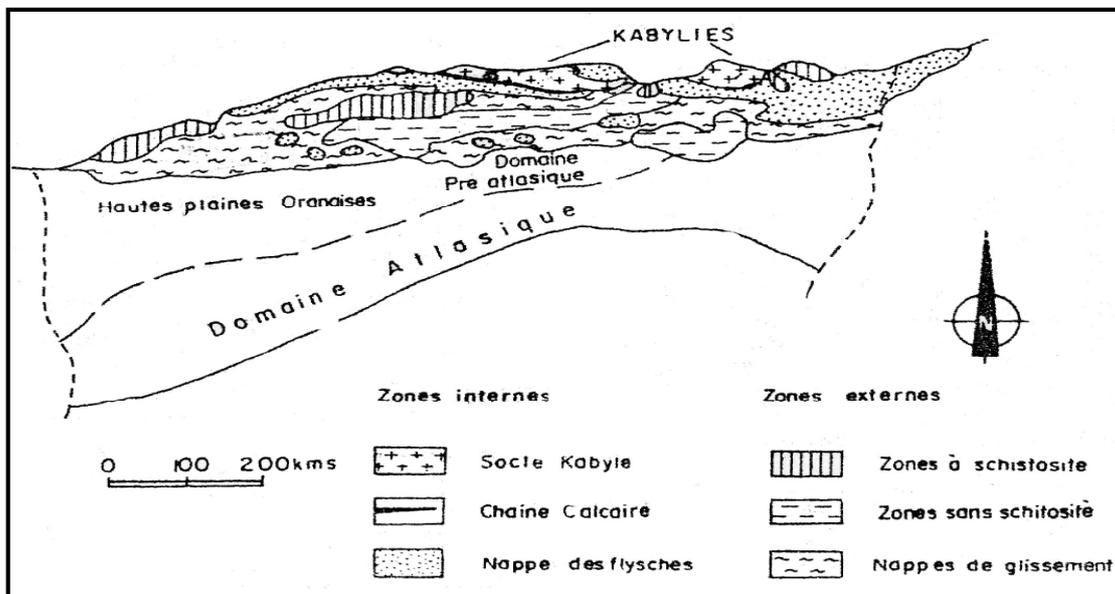


Figure 2.3 : Les grands ensembles structuraux de l'Algérie septentrionale.

A l'échelle de l'Algérie du Nord-Est, une zonation plus fine montre du Nord au Sud les domaines qu'on va examiner successivement.

3.1. Le socle kabyle:

C'est un ensemble métamorphique surmonté en discordance par le Paléozoïque.

3.2. La dorsale:

C'est une zone étroite, discontinue qui correspond à un ensemble de lames épilées. Elle est subdivisée en dorsale interne, médiane et externe.

3.3. Les domaines des flyschs :

Les flyschs ont rempli du Néocomien à l'Aquitainien un large sillon que l'on divise en une partie interne (zones des flyschs mauritaniens) et une partie externe (zones des flyschs massyliens).

3.4. La zone des nappes telliennes:

Il s'agit d'importantes masses allochtones caractérisées par des faciès marneux et marno-calcaires. Structuralement, ces masses présentent un caractère chevauchant vers le Sud.

On distingue :

- ✓ les nappes ultra-telliennes;
- ✓ les nappes telliennes;
- ✓ les nappes peni-telliennes.

3.5. L'ensemble néritique constantinois:

Il correspond aux séries carbonatées de la région constantinoise qui sont relayées à l'Ouest aux séries sud-sétifiennes.

3.6. L'ensemble sud-sétifien:

Il s'agit d'une série de massifs calcaires karstifiés qui détermine d'Ouest à l'Est des alignements de petits reliefs, d'une grande homogénéité de caractère. Cet ensemble fait l'objet de la présente étude.

3.7. Zone des écailles des Sellaoua:

Il s'agit d'une série marneuse ou marno-calcaire à caractère essentiellement pélagique.

3.8. Le para-autochtone Nord-Aurassien:

Représenté par les monts de Ain Yagout, les Djebels Hanout, Marshel, Oum Kchrid, Sidi Rerhis, et Guellif. Ces massifs présentent des plis de direction soit atlasique soit hodnéenne.

3.9. L'autochtone Nord-Aurassien:

Il correspond aux plis lourds de direction atlasique.

4. Analyse lithostratigraphique:

Les formations du Mio-plio-quaternaire reposent sur des structures d'ère secondaire montrant une variation lithologique (figure 2.4).

On distingue dans l'ordre chronologique et de bas en haut :

- ✓ Les formations carbonatées du Secondaire de l'ensemble sud sétifien et le Trias exotique.
- ✓ Les formations Mio-Pliocènes continentales formées essentiellement de conglomérats.
- ✓ Les formations quaternaires qui occupent en grande parties la plaine de Ain Djasser.

4.1. Formations du Quaternaire :

La zone d'étude est largement recouverte de terres arables, d'alluvions récentes, d'alluvions anciennes et de glacis polygéniques :

a- Terres arables : Q

Ce sont les terres cultivables à sols bruns installées sur des limons et des graviers

b- Glacis polygéniques : Qt

Ils correspondent à des surfaces de faible pente au niveau des dépressions (niveau plaine) et des pentes plus au moins fortes au niveau du relief montagneux .Ils sont formés d'un matériel faiblement calibré et fragmenté vers le bas allant vers un matériel anguleux et plus grossié aux pieds des reliefs abrupts. Ces talus inclinés sont parcourus par de petits ruisseaux divergents inexistantes au bas de la pente. Ce sont des terres incultes livrées au pâturage.

4.2. Formations du Tertiaire :

a-Mio-pliocène : mp

Ce sont des conglomérats roux mal consolidés affleurant assez largement dans la zone nord à Ouled Haif et peu visible au Sud à Bled El Merdja. L'épaisseur est variable et n'excédera pas 250m.

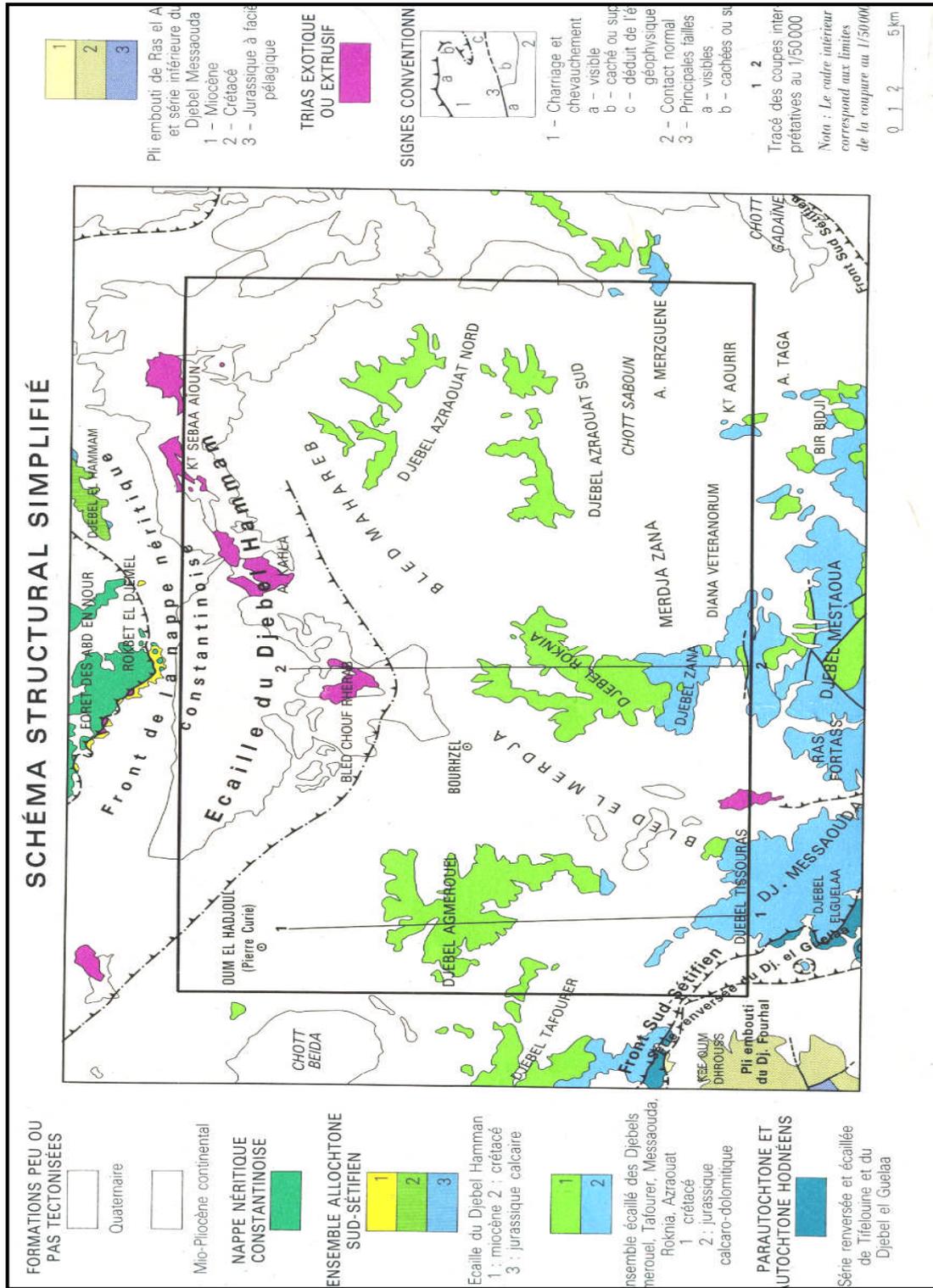


Figure 2.4 : Carte géologique du Nord-Est Algérien Extrait de la carte géologique au 1 :500000.

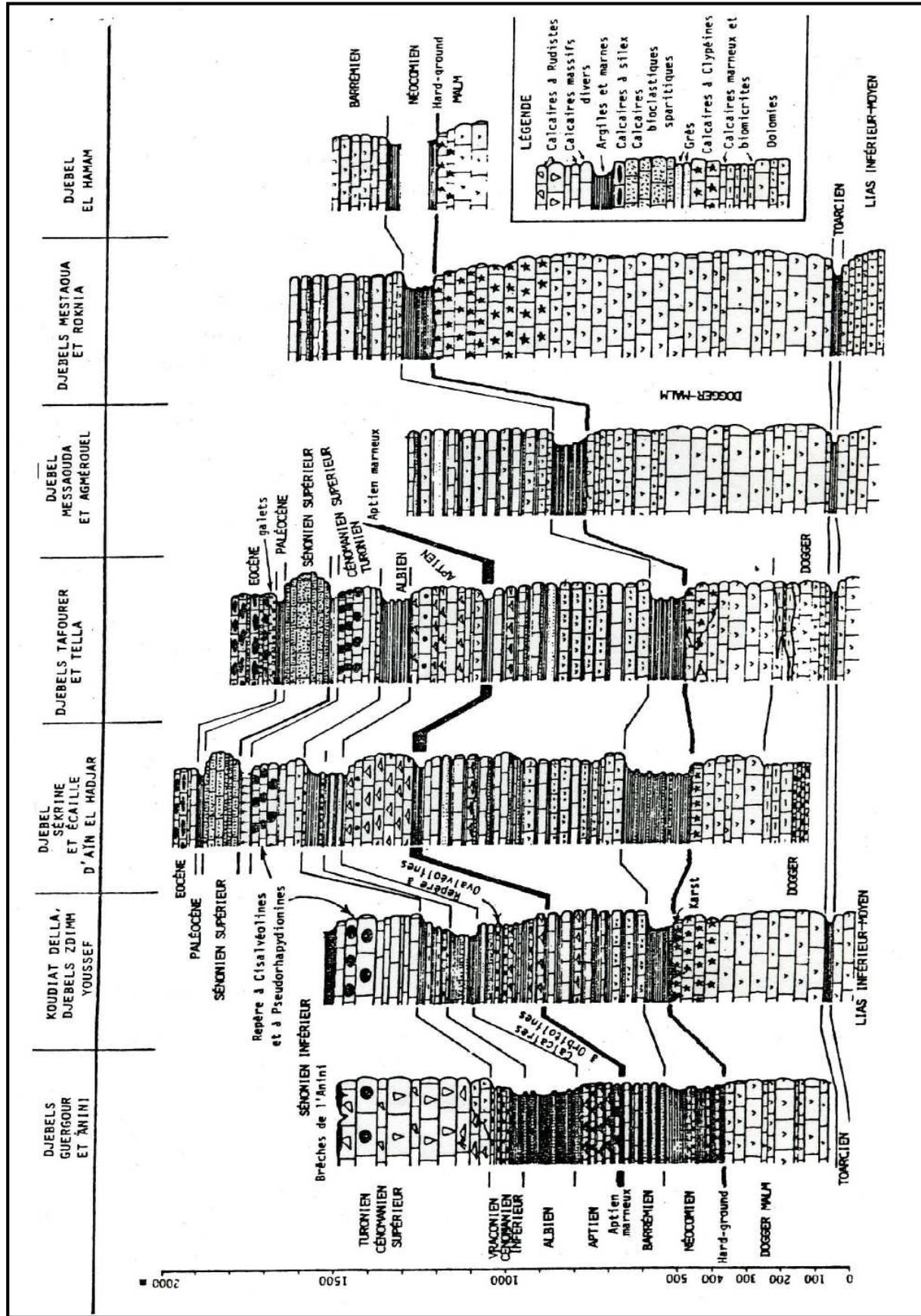


Figure 2.5 : Tableau de corrélation des séries typiques de l'ensemble sud-setifien.(J.M Vila 1980)

4.3. Formations du Secondaire:

Ces formations correspondent à l'ensemble sud sétifien :

a-Barrémo-Aptien :n⁴⁻⁵

Ce sont des calcaires organogènes massifs blancs correspondant à une barre calcaire d'épaisseur maximale de 70m bio micritique reformant des débris de fossiles.

b-Barrémien supérieur :n^{4b}

C'est une alternance épaisse de 120 à 150m de bancs de grés roux, de calcaires gréseux, de calcaires oolithiques ou graveleux et de calcaires à algues. C'est une formation qui affleure à Djebel Roknia.

c-Barrémien calcaire :n^{4a}

C'est une série à grosses barres calcaires graveleux oolithiques à sommet micritique avec de petits niveaux dolomitiques roux et rares joints argileux. Son épaisseur est de 200m environ visible à Djebel Roknia.

d-Barrémien dolomitique :n⁴

Il s'agit d'une succession de séquences comportant successivement des argiles calcaires, des grés roux, des calcaires gréseux, des dolomies et des calcaires graveleux. L'épaisseur de cette formation atteint 300m visible aux Djebel Agmeroual et Tissouras.

e-Néo-comien :n¹⁻³

C'est une série à dominance argileuse bariolée ;elle est visible à Djebel Bou Hedfane et présente une épaisseur d'environ 100m.

f-Jurassique supérieur calcaire :J⁶

C'est une formation de calcaire massif disposé en gros bancs de plusieurs mètres d'épaisseur, L'ensemble est caractérisé par une grande puissance atteignant les 300m à Djebel Zana. Elle renferme de gros débris de lamellibranches et de polypiers.

g-Jurassique supérieur dolomitique :J^{6d}

Ce sont des dolomies sombres litées en gros bancs de 2 à 5 m. Elles apparaissent aux sommets des reliefs de l'Agmeroual et du Tissouras.

4.4. Trias exotique:

a-Trias : t

Il est formé par des argiles et des marnes variolées et gypsifères à glaçons calcaro-dolomitiques. Il affleure au Sud à Draâ Djebbas et au Nord à Bled Chouf Rhehab. Cette

formation correspond à de gros paquets de roches stratifiées montrant des calcaires gris rubanés à intercalations de marnes jaunâtres et des dolomies grises d'aspect bréchiq.

5. Tectonique et paléogéographie:

5.1. Evolution paléogéographique:

La zone d'étude appartient au vaste ensemble structural des hautes plaines constantinoises et plus précisément à l'ensemble sud sétifien compris entre les Aurès et l'atlas tellien représentant un bassin fermé entouré de reliefs fortement plissés et tectonisés.

5.2. Tectonique:

Du point de vue tectonique, l'ensemble des formations sont souvent fortement inclinées avec des pointements diapiriques du trias.

La tectonique prédominante est la tectonique atlasique des Aurès avec des structures plissées et de grandes fractures de direction Sud ouest, Nord est.

Cette tectonique est rendue plus complexe par la combinaison des plis atlasiques et des plis telliens.

6. Analyse structurale:

L'ensemble sud sétifien est constitué essentiellement :

- ✓ Des écailles des Djebel Agmeroual et Roknia d'âge crétacé.
- ✓ Des écailles des Djebel Tissouras-Messouda d'âge jurassique.
- ✓ D'une plaine de remplissage Mio-Plio-Quaternaire.

D'une manière plus détaillée, on aura :

- ✓ Djebel Zana : c'est le flanc nord d'un ensemble anticlinale dont le flanc ouest est le Djebel Agmeroual probablement effondré et érodé.
- ✓ Djebel Agmeroual : c'est un bloc surélevé et faillé séparé du Belzma par un accident tectonique important

7. Conclusion:

La zone d'étude fait partie de l'ensemble sud sétifien formé de roches sédimentaires, où on distingue :

- ✓ Des terrains du Mio-Plio-Quaternaire de la plaine de Ain Djasser formés essentiellement de conglomérats et d'alluvions. Ces formations dont l'épaisseur moyenne dépasse 100m, constituent une structure favorable au développement de la nappe superficielle.
- ✓ Les reliefs carbonatés du Crétacé et du Jurassique qui entourent la plaine et qui sont favorables à l'existence d'une nappe profonde de grande capacité.

La nature et la qualité des roches de cette région sont déterminantes aussi bien pour la connaissance du potentiel aquifère que pour le chimisme des eaux souterraines.



Cadre géophysique



Troisième chapitre

Cadre géophysique

1. Introduction :

Une étude géophysique a été effectuée par la compagnie générale de géophysique « C.G.G » pour le compte de l'agence nationale des ressources hydrauliques (l'A.N.R.H) par méthode électrique dans la plaine de Ain Djasser, au Nord-ouest de la wilaya de Batna. Les travaux ont été réalisés du 29 novembre 1971 au 20 février 1972. Les lignes AB des sondages électriques verticales sont égales ou supérieures à 2000m. Les profils de sondages électriques sont orientés généralement Ouest- Est et sont distant de 1 km (Figure 3.1 et 3.2).

Nous n'examinerons ici que la partie concernant la plaine de Ain Djasser proprement dite, ce qui correspond à la zone qui est limité comme suit:

- ✓ au Sud, par les massifs des Djebels Massaouda et Mestaoua ;
- ✓ à l'Ouest par les massifs du Djebel Agmeroual ;
- ✓ à l'Est par les Djebels Roknia et Zana ;
- ✓ au Nord, par la région de Bled Chouf Gherbi où n'affleure pratiquement que le Mio-pliocène.

a. Objectif de l'étude :

L'étude géophysique réalisée dans la plaine de Ain Djasser avait pour objectifs de :

- ✓ Voir l'extension de la continuité des massifs Calcaires Crétacés;
- ✓ Voir l'extension en profondeur des calcaires lacustres et du Trias;
- ✓ Localiser les zones de meilleure perméabilité dans le remplissage mio-plio-quadernaire.

Les renseignements que l'on peut tirer grâce à cette prospection sont multiples :

- ✓ Déterminer l'épaisseur des niveaux surmontant les massifs calcaires ainsi que leurs caractéristiques;
- ✓ localiser les accidents tectoniques qui déterminent soit une zone de fissuration susceptible de donner le meilleur rendement à un ouvrage de captage, soit un

compartiment du massif calcaire conduisant à l'isolation de certains secteurs par rapport à d'autres.

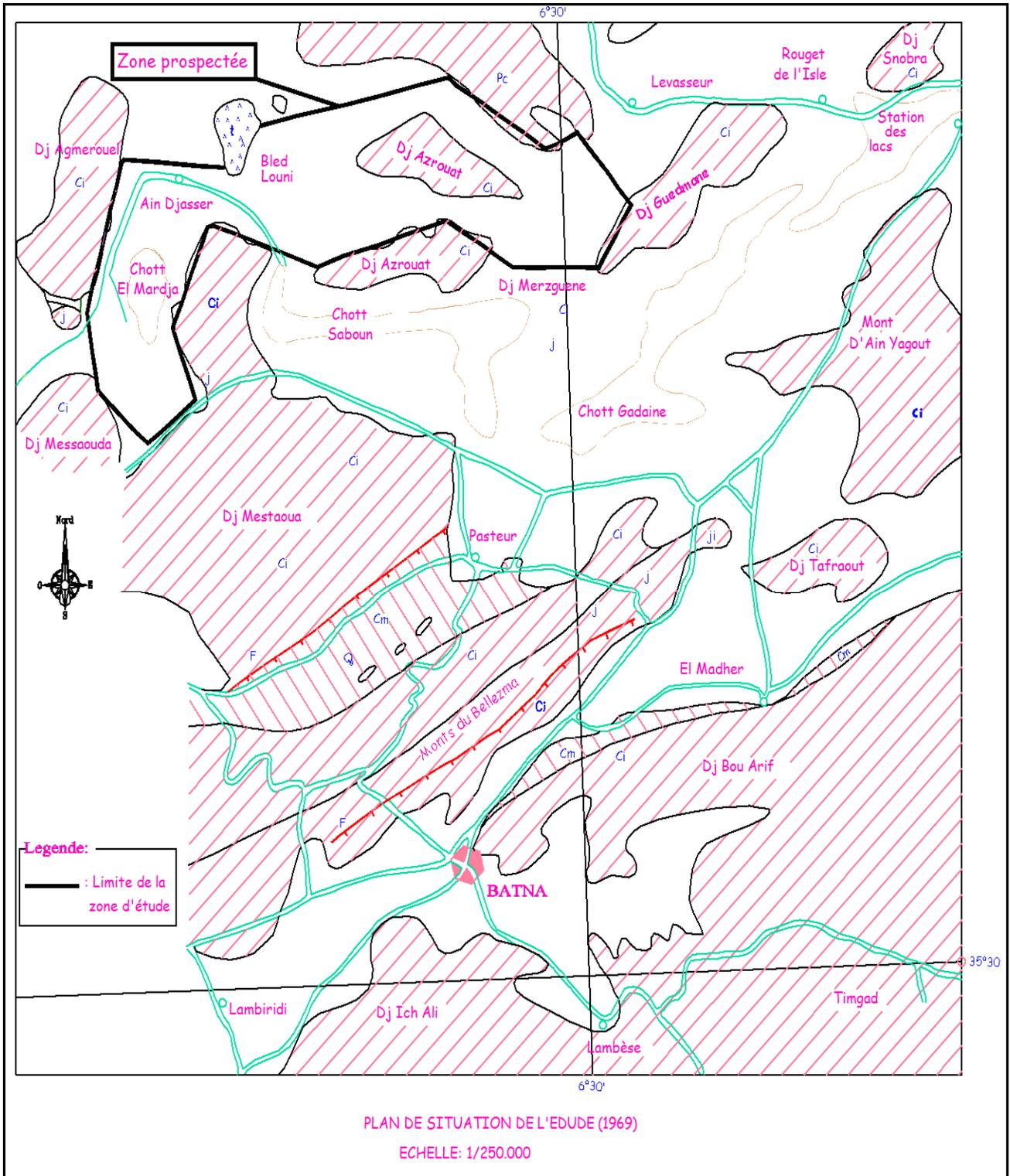


Figure 3.1: plan de situation de l'étude (C.G.G 1972)

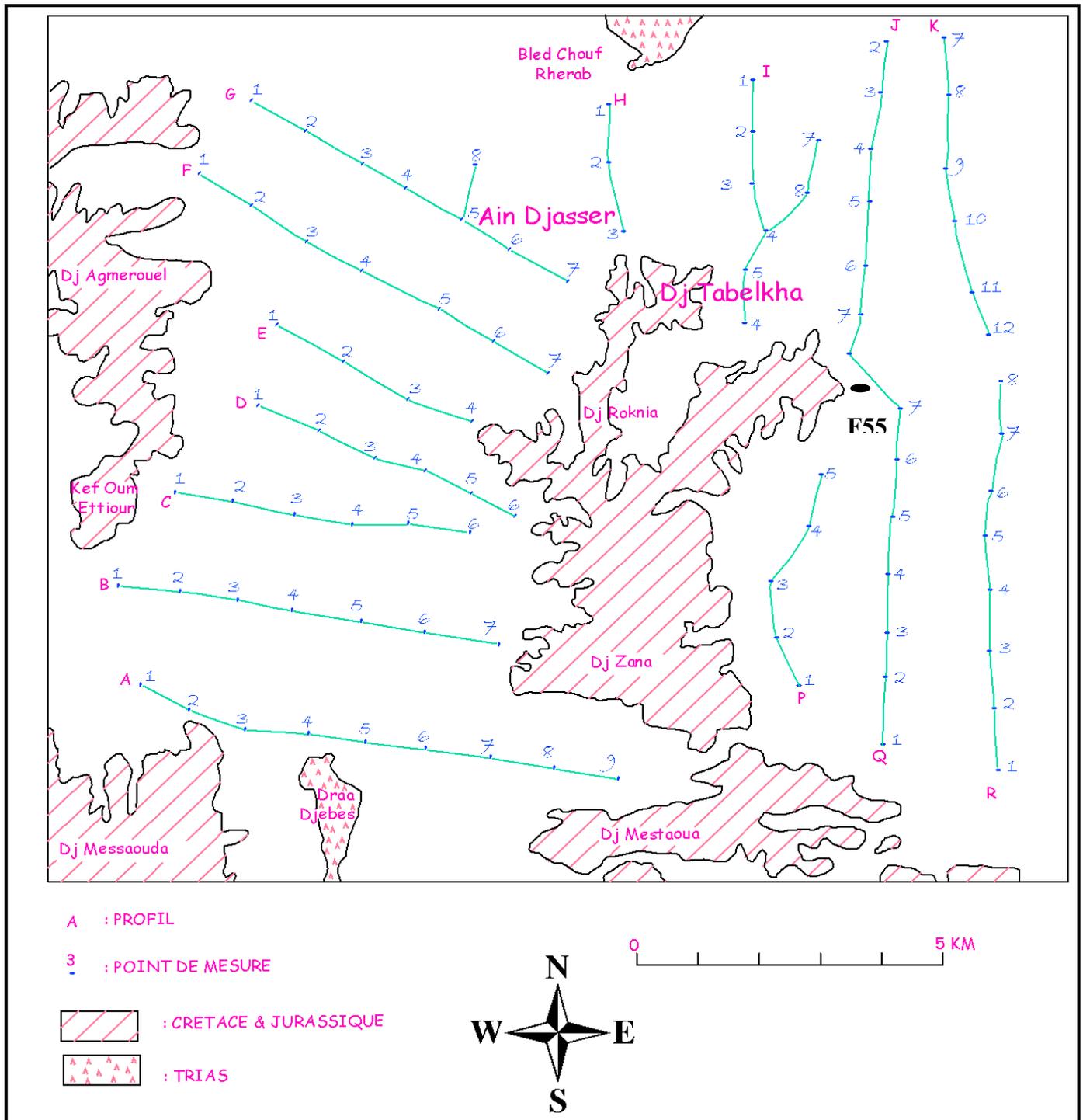


Figure 3.2: Plan de situation des sondages électriques

b. Travaux effectués :

Dans le cadre des travaux géophysiques de cette étude, il a été réalisé les travaux suivants :

- ✓ 22 profils de sondages électriques orientés pratiquement Ouest-Est dans la zone de Bled El Mardja et nord sud dans la zone de Bled Louni.
- ✓ les sondages au nombre de 146 sont distants de 1km et d'une longueur de ligne AB égale ou supérieure à 2000 m.

c. Examen critique des résultats et interprétations :

Cette étude a permis l'établissement :

- ✓ d'une carte des isobathes du substratum résistant (du toit) et de la fracturation;
- ✓ des cartes de résistivités: AB=100m et AB=1000m
- ✓ des coupes géo-électriques;

Les difficultés rencontrées lors de l'interprétation sont essentiellement dues:

- ✓ à la tectonique: pendages accusés et succession de divers niveaux de résistivités différentes;
- ✓ à la présence d'un niveau superficiel fortement salé dans la zone centrale, ce qui rend difficile l'estimation des épaisseurs et des profondeurs;
- ✓ à la variation des faciès en particulier dans les horizons marneux;
- ✓ à l'absence de forages servant à l'étalonnage d'où l'obligation d'utiliser des forages situés plus loin voir de l'autre coté des massifs ce qui a pour conséquences de fausser l'échelle des résistivités.

2. Echelle des résistivités :

La plupart des ouvrages n'ayant pas été implantées à l'époque où furent exécutées les mesures. L'étalonnage a été réalisé à cette époque avec le seul forage F55 qui se situe dans la zone où la couverture est très réduite (Figure 3.2). L'étalonnage concerne donc en premier lieu les formations calcaires du substratum.

Les résultats obtenus ont été reportés dans le tableau 3.1:

Tableau 3.1 : valeurs des résistivités (C.G.G 1972)

Formations géologiques	Résistivité (Ωm)
Terrains salés des chotts.	0.5-2
Argiles plio-quaternaires.	2-10
Sables argileux, graviers plio-quaternaires.	10-50
Calcaires lacustres du pliocène	15-50
Marnes du Mio-Pliocène.	3-10
Marnes du miocène.	2-5
Conglomérats du miocène.	100-150
Marnes du sénonien.	5-10
Calcaires du cénonanien.	100-150
Marnes du cénonanien.	2-5
Calcaires du crétacé inférieur.	100-300
Calcaire du jurassique.	100-500

3. Examen des cartes de résistivité :

En fonction de l'importance de la profondeur d'investigation, on a choisi d'analyser deux cartes de résistivités en ligne AB=100 m et en ligne AB=1000 m.

3.1. Carte de résistivité en ligne AB=100 m:

D'après la longueur de ligne adoptée et compte tenu des résistivités des terrains superficiels, la profondeur d'investigation est de l'ordre de 15 à 20 m. les valeurs de la résistivité apparente, dans ce cas sont relatives au niveau du recouvrement mio-plio-quaternaire. Les lignes d'isorésistivité délimitent des plages conductrices et des plages résistantes (Figure 3.3).

a. Les plages conductrices:

Ces plages indiquent un recouvrement marno-argileux et la présence de niveau salé. Sur cette carte nous observons deux plages formant une gouttière orientée Nord-Sud, l'une est centrée sur les sondages électriques C4, C5, D4 et E3 (Figure 3.2) et indique un recouvrement essentiellement argilo-marneux avec la présence d'un niveau salé (formation à faibles résistivités).

L'autre plage est située plus au Sud et elle est centrée sur les sondages électriques A6 et A7 (Figure 3.2).

b. Les plages résistantes:

Ces plages peuvent être attribuées à l'influence en profondeur des formations calcaires qui entourent la dépression. Elles permettent ainsi de fixer à priori la limite de ces massifs qui plongent sous le recouvrement ainsi que la situation des niveaux grossiers de remplissage: tels les niveaux à graviers ou encore des calcaires pliocènes. L'étude de l'évolution des deux cartes nous permettra de distinguer les deux formations. Ainsi Djebel Tabelkha semble se poursuivre à faible profondeur plus au Nord. Il en est de même pour la gouttière qui sépare le Djebel Agmerouel et le Djebel Messaouda où l'influence du substratum reliant ces deux massifs se fait sentir à faible profondeur.

3.2. Carte de résistivité en ligne AB=1000 m:

La longueur de ligne adoptée permet une profondeur d'investigation d'une moyenne allant de 100m à de 200 m. les lignes de résistivité seront nettement influencées par le substratum calcaire (Figure 3.5).

La carte met en évidence deux fosses de remplissage, l'une axée selon une direction nord-sud à Bled El Merja et centrée sur la ville d'Ain Djasser, l'autre plus au Sud et centrée sur les sondages électriques A6 ET A7 et orienté NW-SE.

Le plongement des formations résistantes vers l'Ouest se fait très rapidement, comme le montre le gradient des courbes de résistivité. Les formations résistantes des massifs de Djebel Agmerouel et Djebel Messaouda plongent elles vers l'Est avec une pente plus faible.

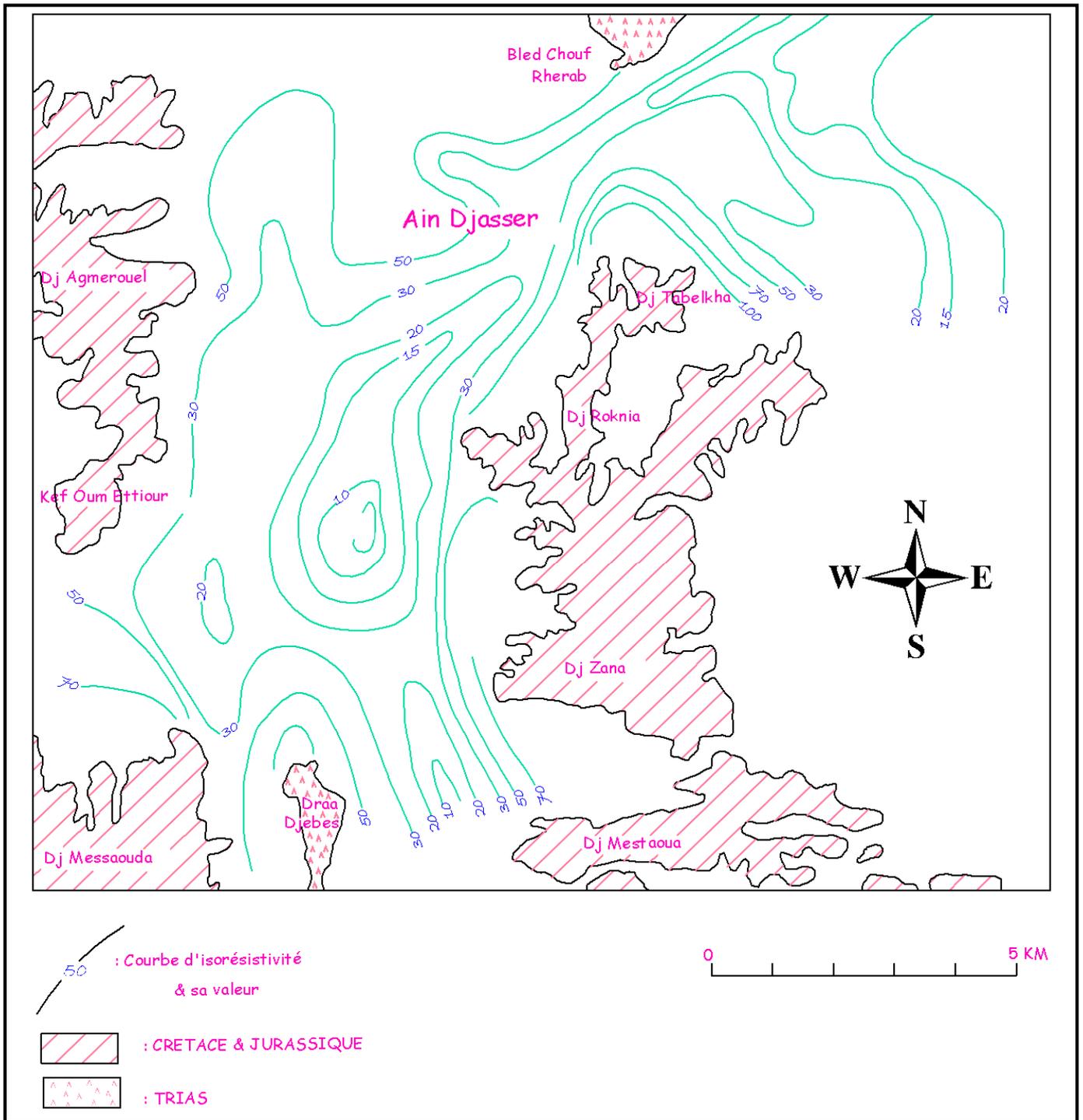


Figure 3.3: Carte de résistivités (AB=100m)

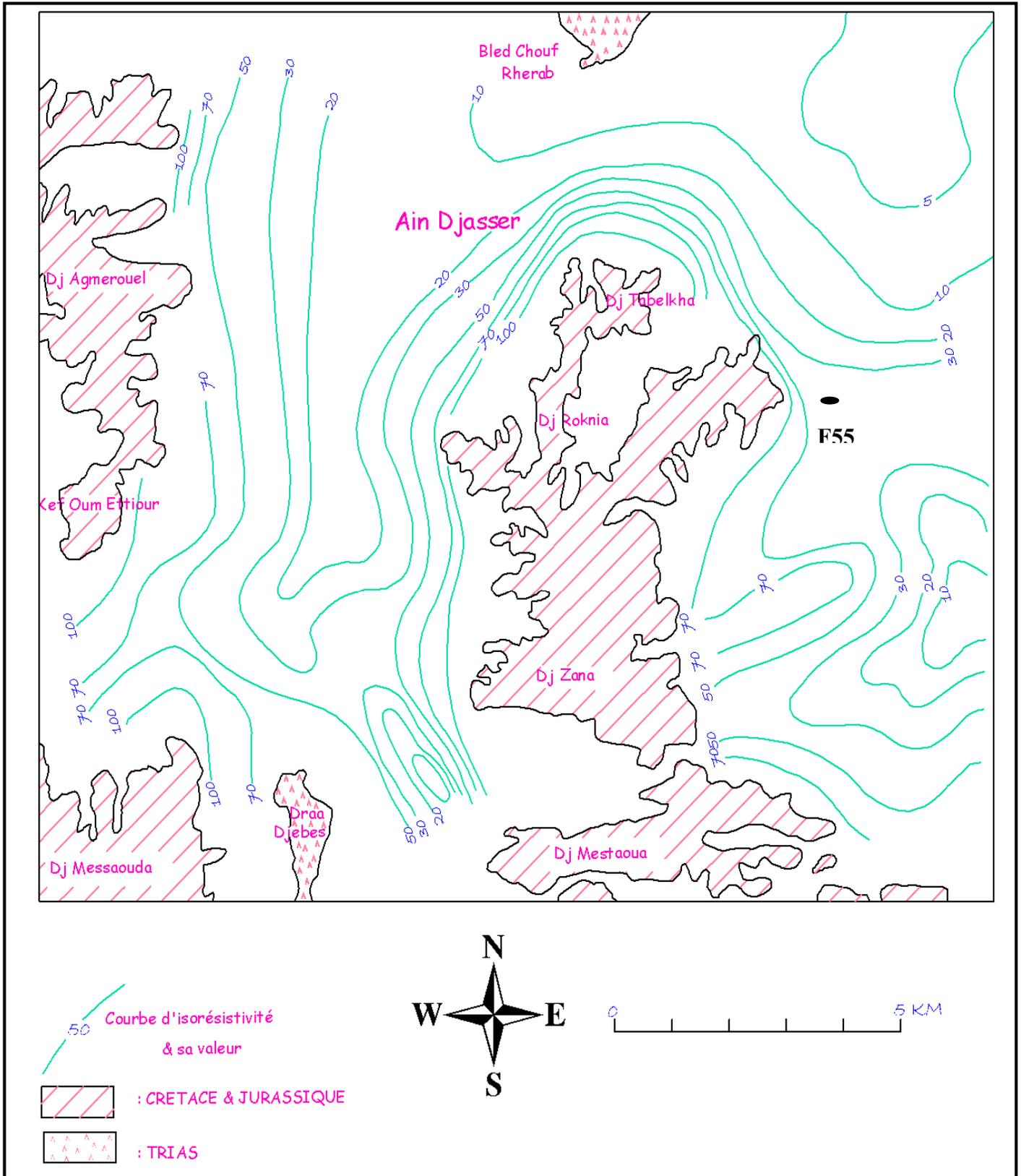


Figure 3.4: Carte de résistivités (AB=1000m)

3.3. Coupes géoélectriques:

Ces coupes ont été réalisées suivant les profils de sondages électriques de A à H (Figure 3.5 à 3.7). Nous étudierons le recouvrement renfermant l'aquifère superficiel et la géométrie du substratum du remplissage. Pour cela nous avons choisi trois coupes géoélectriques A, D et G repartis au sud, au centre et au Nord de la plaine.

Profil A :

L'épaisseur du recouvrement ne dépasse généralement pas la centaine de mètres (S.E A3, A5 et A7). Au niveau du sondage A7, il existe une intercalation d'une cinquantaine de mètres.

Profils D et G :

L'épaisseur maximum au niveau de ces profils est de 200 m à 300 m et centrée sur les sondages D2, D4, E2, G3 et G5.

Ce recouvrement est constitué de bas en haut:

D'un horizon de résistivité de 20 à 50 ohm.m, dont l'épaisseur maximum est de l'ordre de 75 m (S.E.D2, F4, F5, G3, G4). Il s'y présente parfois des intercalations plus conductrices ayant une résistivité de 10 ohm.m (S.E.G3, G4) où au contraire plus résistant en bordure de la plaine (S.E F2, G1). Ce dernier niveau correspond vraisemblablement à des niveaux qui sont le siège de la nappe phréatique ; d'un horizon argileux dont la résistivité varie entre 5 et 10 ohm.m et dont l'épaisseur moyenne est de 150 à 200m.

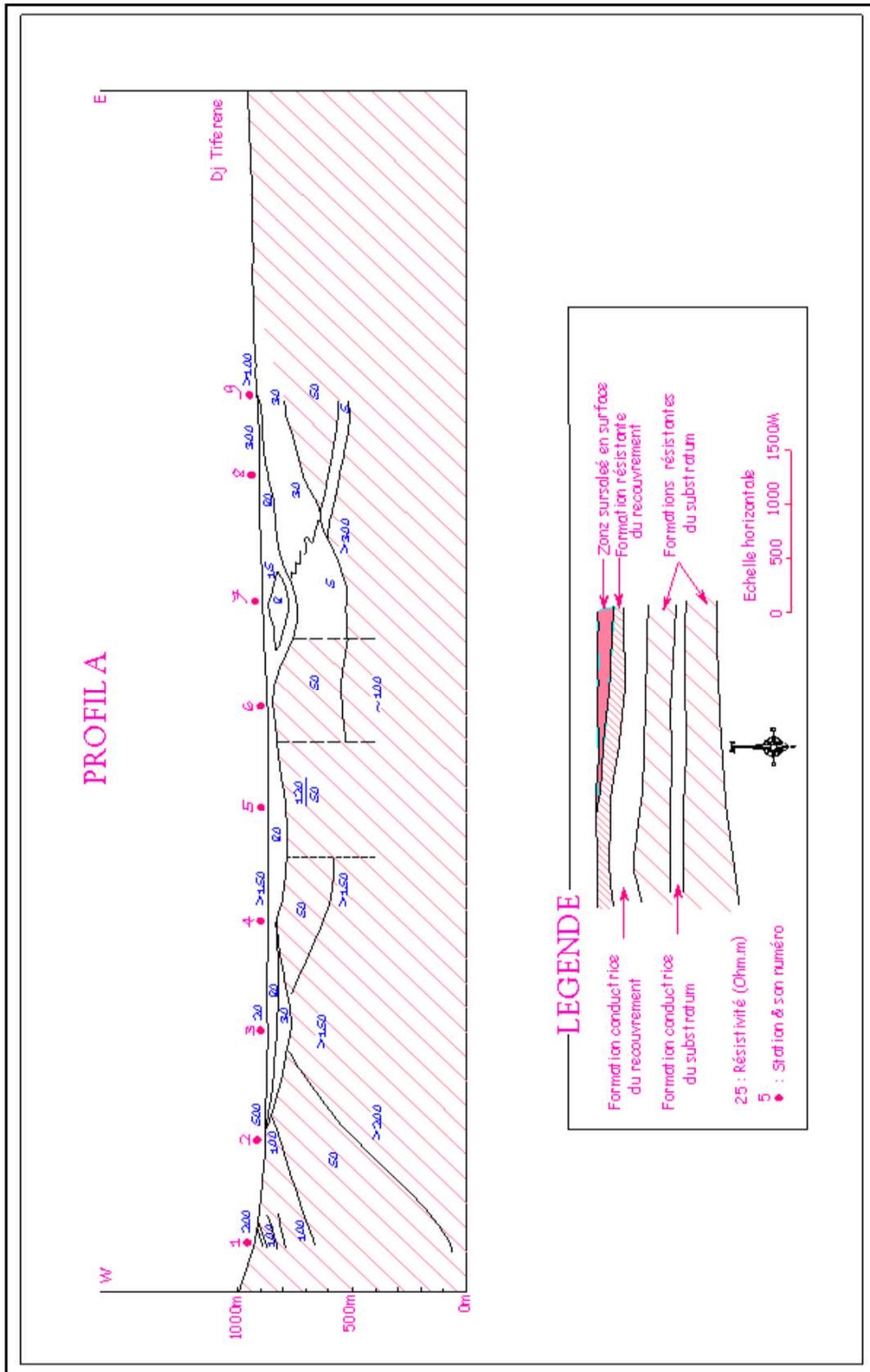


Figure 3.5: Profil A

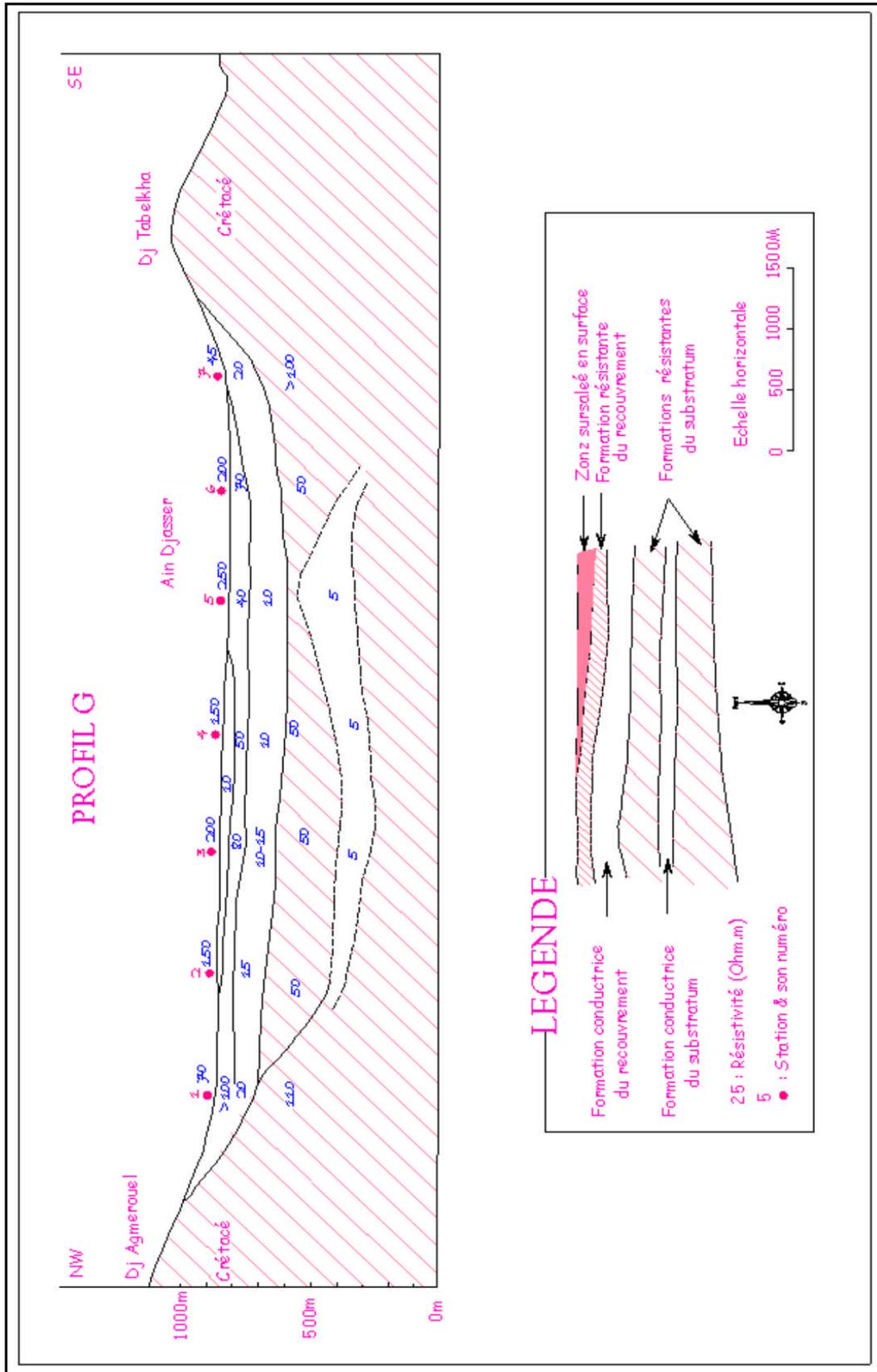


Figure 3.7: Profil G

3.4. Carte du substratum:

On appelle substratum les formations résistantes épaisses ; qui sont en général les calcaires et les dolomies du Crétacé et Jurassique. Ce substratum constitue l'aquifère karstique. Les niveaux moins résistants ainsi que les calcaires lacustres font partie de la couverture (Figure 3.11).

La région apparaît tectoniquement très complexe et l'extrapolation entre les différents sondages électriques s'avère parfois très difficile. Nous observons une structure synforme large et calme sur les profils E et G et devient plus tourmentée le long des profils B, C et D montrant un substratum compartimenté. Cette structure synclinale ou en gouttière est limitée à l'Ouest au niveau de Ain Djasser par la faille F4 de direction nord-sud qui est responsable (ainsi que la faille F5) du décrochement de l'accident F0. De cette manière le prolongement vers l'ouest de cette dernière (F0) limite brutalement le synclinal vers le Sud. Les failles F5 et F1' semble limiter un compartiment soulevé (horst) en forme de coin au niveau des sondages électriques C1 et C2 plus au Sud et limitée par les failles F5 et F1' apparaît une structure en graben située au début du profil B. Alors que la partie sud est très perturbée par les failles F5 et F1 et en même temps par la présence du Trias. Il semble que l'accident F5 soit le prolongement de celui qui borde l'affleurement triasique de Draâ El Djebbs.

Il est à noter que l'accident F0 est certainement en relation étroite avec le pointement triasique marquant le contact anormal limitant l'ensemble sud sétifien et l'écaille du Djebel Hammam.

Les sources situées dans cette région sont en liaison directe avec la fracturation et c'est ainsi que:

- ✓ La source de Ain Djasser et celle de Ain Soltane se trouvent à la jonction des failles F0 et F4;
- ✓ La source d'Oum El Djerana se trouve à la jonction des failles F0 et F4;
- ✓ La source de Ain Beida se trouve à la jonction des failles F5 et F1';
- ✓ La source de Zana se trouve à la jonction des failles F1 et F1'.

En général l'épaisseur de la couverture augmente d'Ouest en Est. Nous avons pu mettre en évidence, qu'à l'Ouest le massif Agmerouel plonge sous la couverture avec un léger pendance, tandis qu'à l'Est au niveau des Djebels Roknia et Zana la pente est beaucoup plus accentuée. La tectonique (faille F4) semble être responsable de cet état de fait (rejet très important).

Dans la partie centrale de la Merdja la couverture présente un faciès essentiellement argileux avec des niveaux de surface sursalés, tandis que dans la région de Ain Djasser (S.E.G3 à G5) au droit de Draâ Klalouch et sur l'étroite bande plongeant Djebel Agmerouel les formations seront beaucoup plus graveleuses ou même conglomératiques. Ceci entraînera une localisation des puits et forages sur la bordure occidentale de la plaine alors que les point d'eau sont pratiquement inexistant à l'Est.

Du point de vue tectonique, l'étude géophysique permet de faire ressortir l'existence d'accidents tectoniques de directions NE-SW, décrochés par des accidents transversaux de directions Nord-Sud associés à des accidents de direction NW-SE.

Donc le traitement des données géophysiques nous a permis de mettre en évidence les indications suivantes :

- ✓ Un aquifère superficiel contenu dans les formations Mio-plio-quadernaire alluvionnaires, de quelques dizaines de mètres d'épaisseur avec un maximum au niveau de la localité de Ain Djasser où il atteint entre 50 et 100 m d'épaisseur, parfois couvert par une mince dalle de calcaire lacustres. C'est la zone de remplissage argileux dans la partie de Bled El Mardja et Bled Louni avec la présence parfois de niveaux salés ;

- ✓ Un aquifère captif contenu dans les calcaires fissures dont le toit est atteint à des profondeurs variables ;

- ✓ le substratum résistant formé de calcaires a subi un certain nombre de cassures et de mouvements, qui a abouti à une structure synclinale au centre de la plaine de Ain Djasser. Il est réduit à l'état de lambeaux en allant vers le Nord sous l'effet de l'érosion et la tectonique ;

- ✓ la présence d'une fosse d'effondrement au N-E de Ain Djasser.



Cadre climatique



Quatrième chapitre

Cadre climatique

1. Introduction :

La bonne connaissance des conditions climatiques de la zone d'étude, des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère et des directions d'écoulement des eaux souterraines joue un rôle majeur dans la compréhension de l'évolution des éléments chimiques, la protection et la compréhension des phénomènes de pollution au niveau de la nappe. Pour cela il est impératif de faire une étude climatique de la région de Ain Djasser qui conditionne surtout les phénomènes de recharges.

2. Climatologie de la zone d'étude :

La zone d'étude appartient au sous bassin de Merdja Zana appartenant au bassin versant des hauts plateaux constantinois (07.02), qui couvre une superficie de 1036 km² environ (Figure 4.1).

Cette zone est caractérisée par un climat rude de type méditerranéen, froid et peu pluvieux en hiver et très chaud, sec en été avec des vents parfois violents. Son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation météorique et la température.

L'étude des données climatiques par l'intermédiaire des facteurs climatiques permet de nous renseigner sur :

- ✓ Le type de climat ;
- ✓ Le comportement hydrologique du bassin versant ;
- ✓ Le comportement hydrogéologique des aquifères ;
- ✓ Le bilan hydrologique.

3. précipitations météoriques :

L'analyse de la variabilité des précipitations se fera sur la base des données de deux stations pluviométriques (tableau n° 01) situées à l'intérieur du sous bassin (07.02)

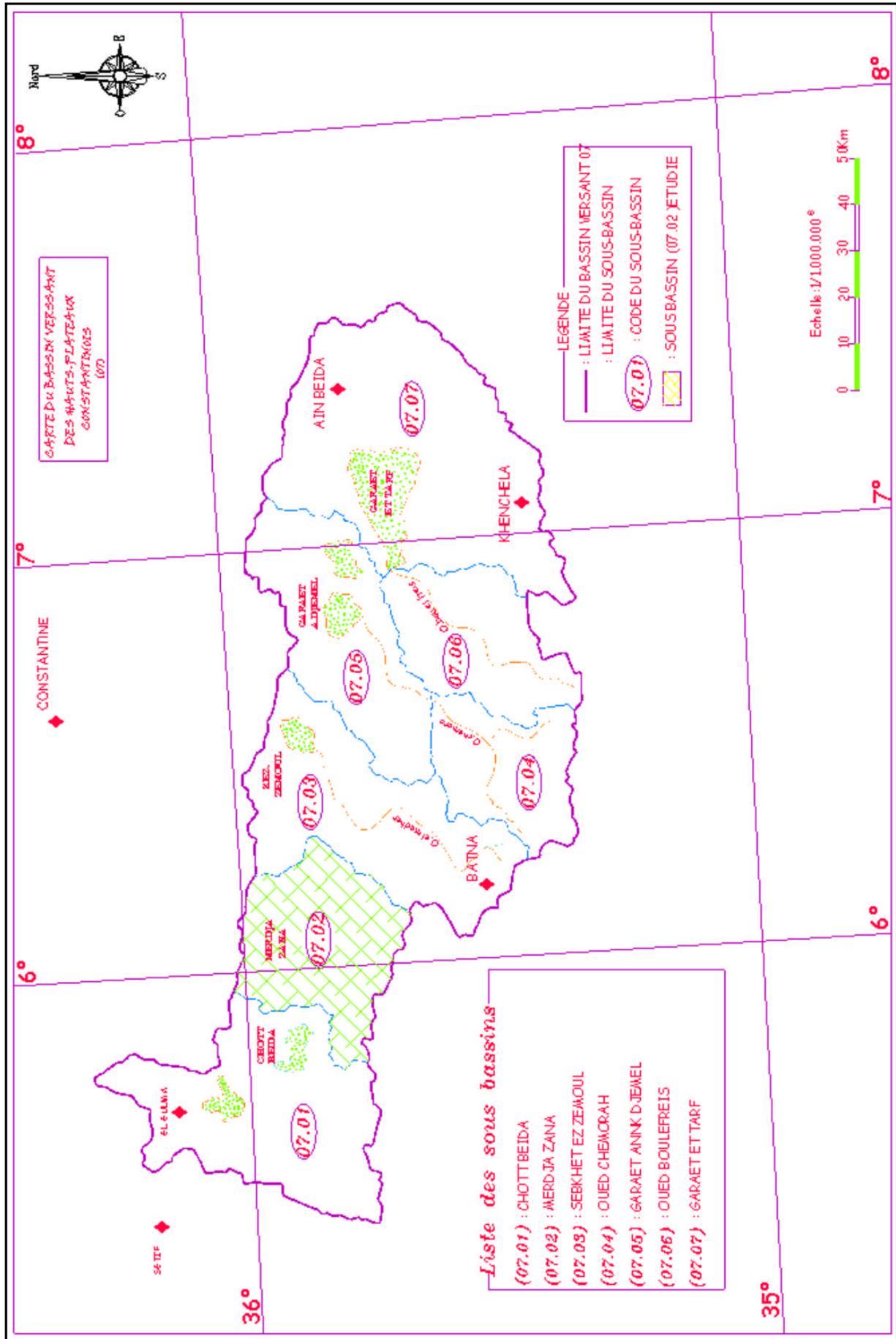


Figure n° 4.1: Carte des sous bassins du grand bassin versant constantinois 07

Tableau 4.1 : Caractéristiques des stations pluviométriques.

N°	Nom de la station	X (Km)	Y (Km)	Altitude (m)
01	Ain Djasser	798,325	289,100	865.000
02	Aéroport de Batna	814,220	255,700	1050.000

L'exploitation des données climatiques enregistrées au niveau des deux stations de mesure permet de caractériser les conditions climatiques de la zone d'étude.

Pour la station de Ain Djasser :

- ✓ Une série de 35 ans (1969-2003) pour les précipitations ;
- ✓ Une série de 26 ans (1973-1998) pour les températures.

Cette station est exploitée par l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH).

La station de l'aéroport de Batna nous a permis d'exploiter une série de 15 ans (1998-2003) pour l'ensemble des paramètres mesurés.

Cette station est exploitée par l'office national de la météorologie (ONM).

Les moyennes de ces données sont représentés dans les tableaux 4.2, 4.3 et 4.4.

Tableau 4.2 : Précipitations moyennes mensuelles interannuelles en mm.

Station	Période	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Ain Djasser	1969-2003	25	22	18	30	26	24	29	32	29	12	5	15	267.00
Aéroport de Batna	1998-2003	34	25	29	31	33	21	37	31	40	16	9	21	327.00

On remarque que les courbes sont quasiment parallèles puisque les deux stations sont soumises aux mêmes influences climatiques (Figure 4.2).

A l'échelle mensuelle on remarque que pour la station de Ain Djasser les mois les moins arrosés sont ceux de juin, juillet et aout avec un minimum de 5 mm enregistré au mois de juillet, par contre le mois le plus arrosé et le mois d'avril avec 32 mm, ce qui permet une recharge de la nappe et une dilution des éléments chimiques. De même pour la station de l'aéroport, le minimum est enregistré au mois de juillet avec 9mm alors que le maximum est enregistré au mois d'avril avec 40mm. (Figure 4.2).

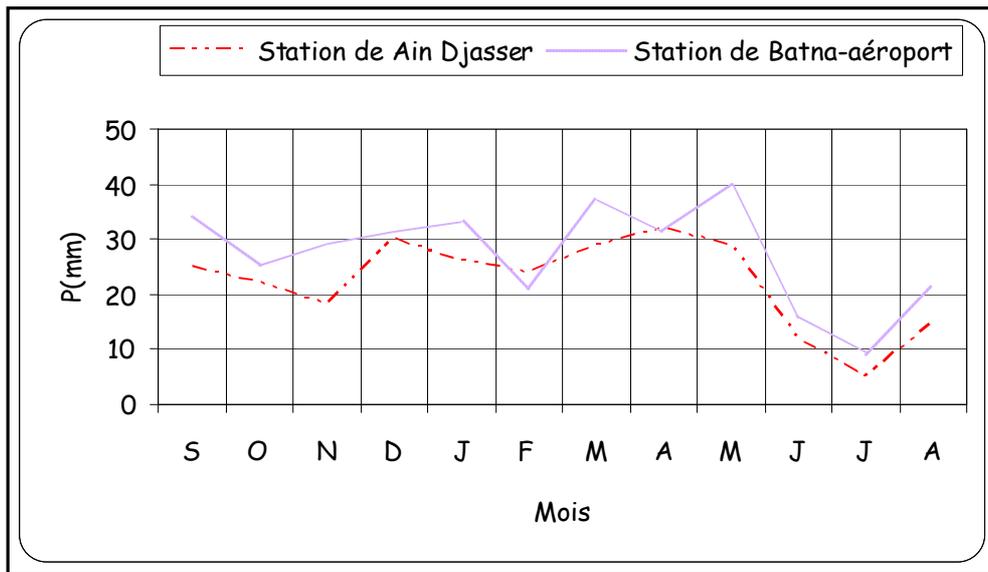


Figure 4.2 : Variation des précipitations moyennes mensuelles interannuelles

4. Températures :

L'étude des températures est d'un grand intérêt, car elle permet de quantifier l'évaporation et par conséquent les conditions d'alimentation des aquifères et la concentration des sels dissous dans leurs eaux. Les données utilisées sont portées dans les tableaux (4.3 et 4.4).

Tableau 4.3: variations mensuelles des températures au niveau de la station de Ain Djasser(1973-1998)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy.ann
T°C	23	17	11	8	7	8	11	13	18	24	28	25	16

Tableau 4.4: variations mensuelles des températures au niveau de la station de Batna aéroport (1998-2003)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy.ann
T°C	22	17	11	7	6	7	10	12	15	24	28	26	15

Ces données montrent que la zone d'étude est caractérisée par un climat doux en hiver et chaud en été, caractérisant le climat méditerranéen. Les moyennes mensuelles les plus élevées sont enregistrés essentiellement pendant l'été (juin à septembre) avec des températures allant de 22 à 28°C pour les deux stations, par contre les températures les plus basses (6 à 11 °C) sont observées pendant l'hiver (décembre à mars) avec un minimum

pendant le mois de janvier (6°C). Les autres mois présentent des températures intermédiaires allant de 12 à 17 °C (Figure 4.3).

Ces fortes températures provoquent une évaporation intense de l'eau ce qui entraîne une augmentation de la concentration des éléments chimiques dans l'eau en général.

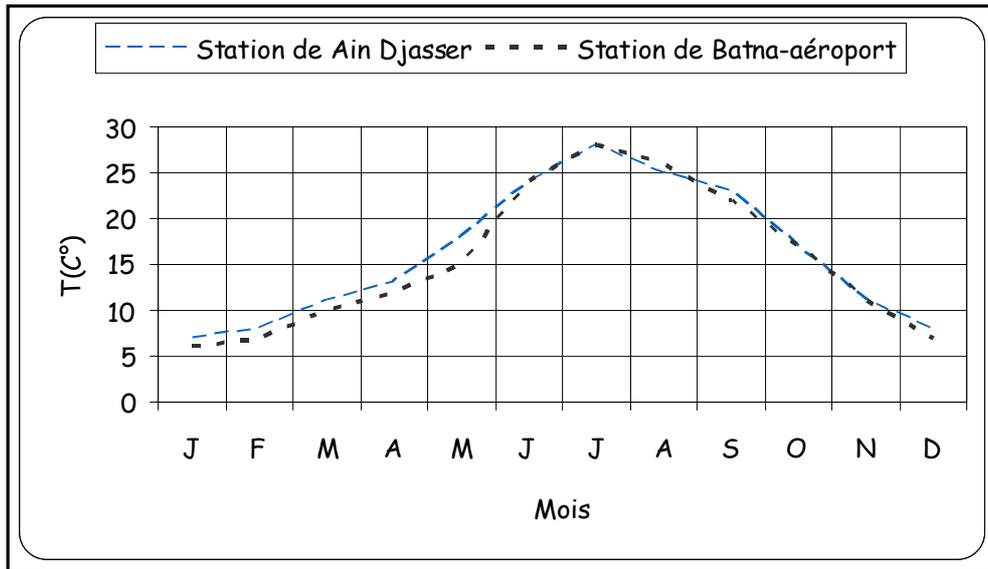


Figure 4.3 : Variation des températures moyennes mensuelles interannuelles

5. Les indices climatiques

Il existe beaucoup de méthodes et de formules qui permettent d'évaluer les indices climatiques, nous citons celle de De Martonne, d'Emberger, de Moral, de Stewart et celle d'Everte.

Pour notre cas nous nous contenterons de calculer l'indice d'aridité annuel de De Martonne et l'indice pluviométrique annuel de Moral et cela en se basant sur les températures mesurées dans la station de Ain Djasser et Batna aéroport.

5.1. Indice d'aridité de De Martonne:

Cet indice proposé par De Martonne en 1923 est fondé sur le régime des précipitations et sur les températures, il est calculé par la formule suivante :

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

Où :

I : indice d'aridité de De Martonne ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : température moyenne annuelle (°C).

Selon De Martonne :

- ✓ Pour des valeurs de I inférieur à 5 on est en présence d'un régime hyper aride ;
- ✓ Pour des valeurs de I comprises entre 5 et 10 on est en présence d'un régime désertique ;
- ✓ Pour des valeurs de I comprises entre 10 et 20 on est présence d'un régime semi aride, mai tout dépend de la répartition saisonnière des pluies.

Les valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la formule de De Martonne sont portées dans le tableau 4.5.

Tableau 4.5: Indices d'aridité de De Martonne.

Station	P (mm)	T(c°)	I	Cadre climatique
Ain Djasser	267	16,1	10	Semi aride
Site Aéroport de Batna	327	15.4	13	Semi aride

Selon cet indice, la zone d'étude est une zone ayant un climat semi aride. Pour préciser les conditions de la semi aridité estivale, les élèves de De Martonne avaient proposé l'utilisation d'un indice d'aridité mensuel donné par la relation suivante :

$$I = \frac{12P}{T+10}$$

Où :

P : précipitations du mois considère ; multiplie par 12 pour rendre cet indice annuel (mm).

Un abaque établi par De Martonne permet de représenter les différentes stations ce qui permet d'avoir plus de détail sur les caractéristiques du climat (figure n° 04). Les deux stations étudiées se trouvent dans la zone à régime semi aride à écoulement temporaire.

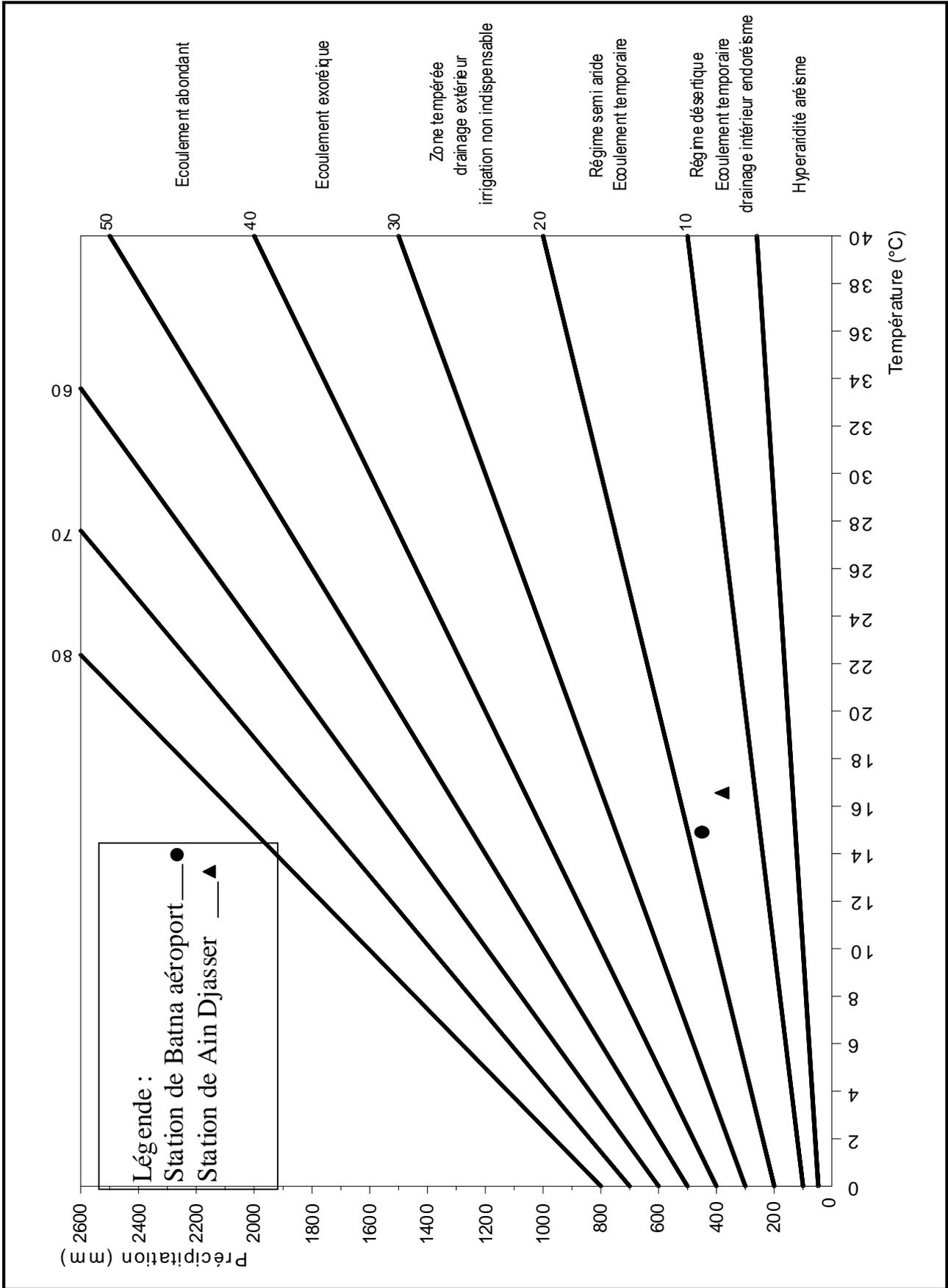


Figure 4.4 : Abaque de De Martonne.

5.2. Le quotient pluviométrique annuel de Moral:

Moral propose en 1964 d'utiliser la relation suivante :

$$I_A = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

Où :

I_A : quotient pluviométrique de Moral ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

T : température moyenne annuelle (°C).

Cet indice pluviométrique utilise également la hauteur annuelle des précipitations (P en mm) et les températures moyennes annuelles (T en °C) pour délimiter le type de climat.

Si :

- ✓ $I_A=1$, on est à la limite de la zone aride ;
- ✓ $I_A<1$, on est dans un climat sec ;
- ✓ $I_A>1$, on est dans un climat humide (Guyot 1999).

Les valeurs de l'indice d'aridité calculées selon la relation de Moral sont portées dans le tableau (n°06)

Tableau 4.6: Indice d'aridité de Moral

Station	P (mm)	T(c°)	I_A
Ain Djasser	267	16,1	0,90
Site Aéroport de Batna	327	15,4	1,15

Selon cet indice, la zone d'étude est une zone ayant un climat semi aride.

Ces différents indices confirment les travaux de M.Côte de 1998 qu'il a synthétisé dans une carte des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Figure 4.5).

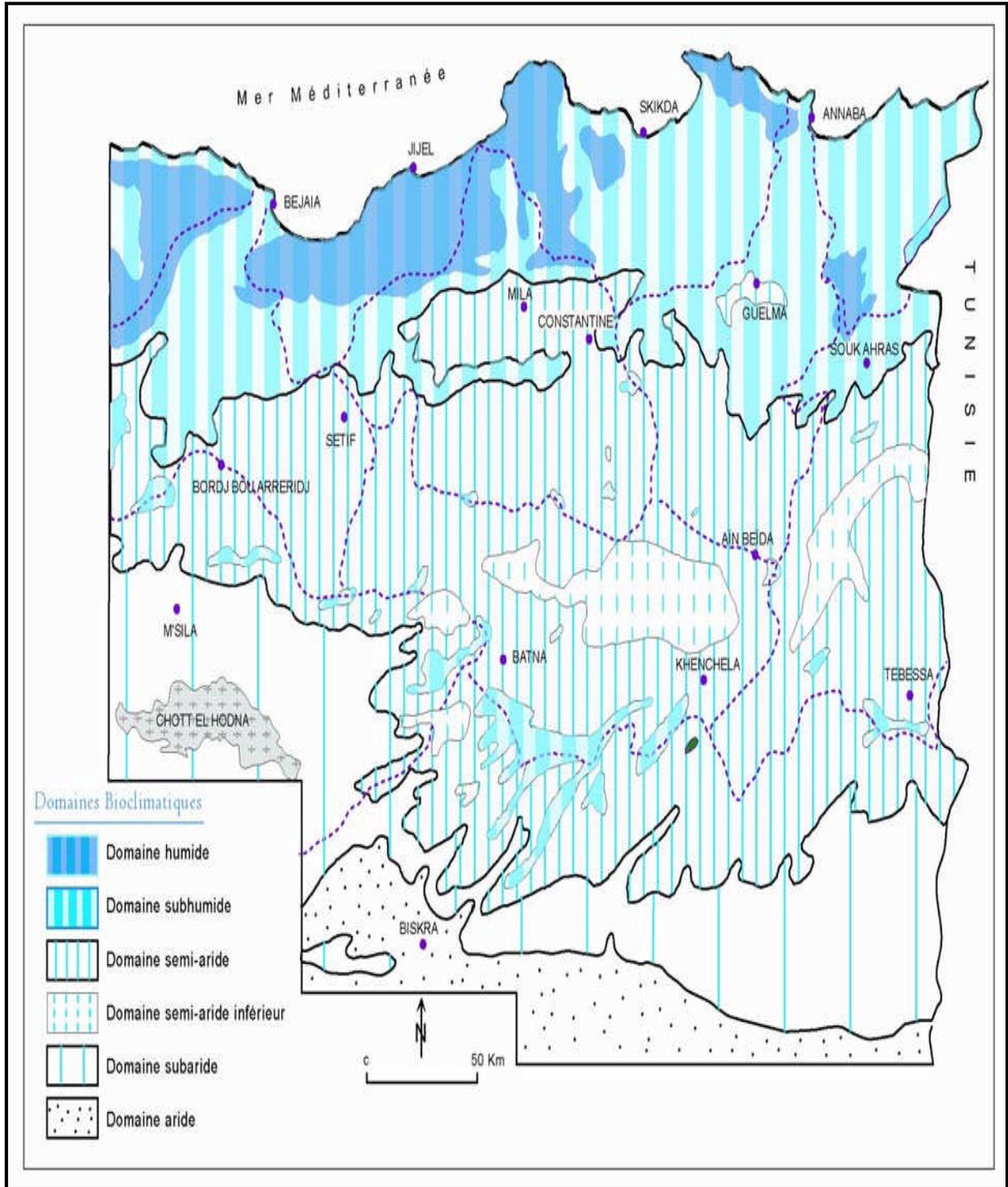


Figure 4.5 : Carte simplifiée des zones bioclimatiques de l'Est algérien (Établie d'après Côte M., 1998a)

6. Estimation des paramètres du bilan hydrologique:

6.1. Evapotranspiration potentielle ETP:

6.1.1. Méthode de Thornthwaite:

Selon Roche (1963) : « L'ETP correspond à l'évaporation d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques ». Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes, la plus répandue est celle de C.W.Thornthwaite présentée en 1948, et qui ne tient compte que de la température.

Cette méthode est utilisée pour les climats sub-humides et semi arides. Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU). On admet que la hauteur d'eau stockée dans le sol qui est reprise par l'évapotranspiration est de 50mm au maximum (Grande 1976).

La méthode de Thornthwaite nous permet à partir des données de base (précipitations, températures, le coefficient thermique mensuel K et l'indice thermique mensuel (i) de calculer l'évapotranspiration potentielle mensuelle selon la relation suivante :

$$ETP(mm) = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a$$

Où :

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (mm) ;

T : température moyenne mensuelle (°C) ;

I : indice thermique annuel ;

$$I = \sum i$$

i : indice thermique mensuel ;

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

a : exposant climatique donné par L.Serra en 1954 ;

$$a = 0,0161I + 0.5$$

Certains auteurs pensent que les valeurs de l'ETP calculées par la méthode de Thornthwaite sont sous estimées dans les régions arides, ou bien sur estimées dans les régions tropicales humides et équatoriales. C'est pour cette raison que l'ETP calculé est multiplié par un facteur de correction K qui est fonction du temps, du mois et de la latitude du lieu.

$$ETP_c = k * ETP$$

Où :

ETP : évapotranspiration potentielle mensuelle (mm) ;

ETP_c : évapotranspiration potentielle mensuelle corrigée (mm) ;

K : facteur de correction donné par un abaque.

6.1.2. Méthode de Blaney-Criddle:

Cette méthode est l'une des plus largement utilisée pour estimer les besoins en eau pour l'agriculture. Une adaptation de cette méthode aux zones arides et semi arides, est suggérée par la FAO.

Le calcul de l'ETP selon cette méthode, s'effectue en deux étapes ; la première concerne le terme climatique de l'ETP et la deuxième concerne l'ETP des cultures.

$$ETP_{c\lim} = aF + b$$

Où :

ETP_{clim} : évapotranspiration climatique (mm) ;

F : force évaporante de Blaney-Criddle (mm/mois) ;

a et b : coefficients de correction en fonction des trois paramètres climatiques : l'humidité relative, la vitesse du vent et l'insolation moyenne effective (rapport des heures d'insolation et de la durée astronomique du jour), (Voir annexe 01).

La force évaporante de Blaney-Criddle se calcule par la formule suivante :

$$F = P * (8,13 + 0,46t)$$

Où :

F : force évaporante de Blaney-Criddle (mm/mois) ;

P : pourcentage journalier moyen des heures de jour pour un mois et une latitude donnée ;

t : température moyenne mensuelle (°C)

$$ETP = K_c * F$$

ETP : évapotranspiration potentielle (mm) ;

K_c : coefficient cultural, il varie de 0.50 à 1.20 pour différentes cultures et diverses zones climatiques ;

F : force évaporante de Blaney-Criddle (mm/mois) ;

Les différentes valeurs de l'ETP calculée selon la méthode de Thornthwaite ainsi que celle de Blaney-Criddle, pour les deux stations de la région, seront portées ultérieurement dans les tableaux des bilans hydrologiques.

6.2. Evapotranspiration réelle ETR:

Elle correspond à l'évapotranspiration qui se produit pendant un intervalle de temps donné, dans des conditions réelles des teneurs en eau abondantes du sol.

Ce paramètre est calculé par plusieurs méthodes empiriques prenant en compte les précipitations et les températures.

6.2.1. Méthode de Coutagne:

C'est une méthode qui fait intervenir les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes annuelles.

$$ETR = P - \lambda P$$

Où :

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

λ : facteur dépendant de la température moyenne annuelle ;

$$\lambda = \frac{1}{(0,8 + 0,14T)}$$

Cette formule est applicable pour les précipitations comprises entre $1/8 \lambda$ et $1/2 \lambda$; cette condition n'est pas vérifiée pour nos stations par conséquent elle ne peut pas être appliquée.

6.2.2. Méthode de Turc:

C'est la méthode la plus utilisée, elle tient compte des précipitations et des températures moyennes annuelles.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Où :

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

L : le pouvoir évaporant de l'atmosphère ;

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

Où :

L : le pouvoir évaporant de l'atmosphère ;

T : température moyenne annuelle (°c).

Les valeurs de l'ETR calculées selon la méthode de Turc sont portées dans le tableau 4.7.

Tableau 4.7: valeurs de l'ETR selon la méthode de Turc :

Station	Période	P (mm)	T(c°)	ETR
Ain Djasser	1969-03	267	16.1	281
Site Aéroport de Batna	1998-03	327	15.4	345

6.2.3. Méthode de Verdeil:

Verdeil a établi pour l'Algérie (1988) un abaque pour le calcul du déficit d'écoulement pour des précipitations comprises entre 0 et 600mm.

La valeur du déficit d'écoulement est obtenue directement sur l'abaque (figure 4.6).

Cet abaque permet de calculer les différentes valeurs du déficit d'écoulement qui correspond en gros à l'ETR pour les deux stations (tableau 4.8).

Tableau 4.8: valeurs de l'ETR selon la méthode de Verdeil :

Station	Période	P (mm)	T(c°)	ETR
Ain Djasser	1969-03	267	16.1	254
Site Aéroport de Batna	1998-03	327	15.4	309

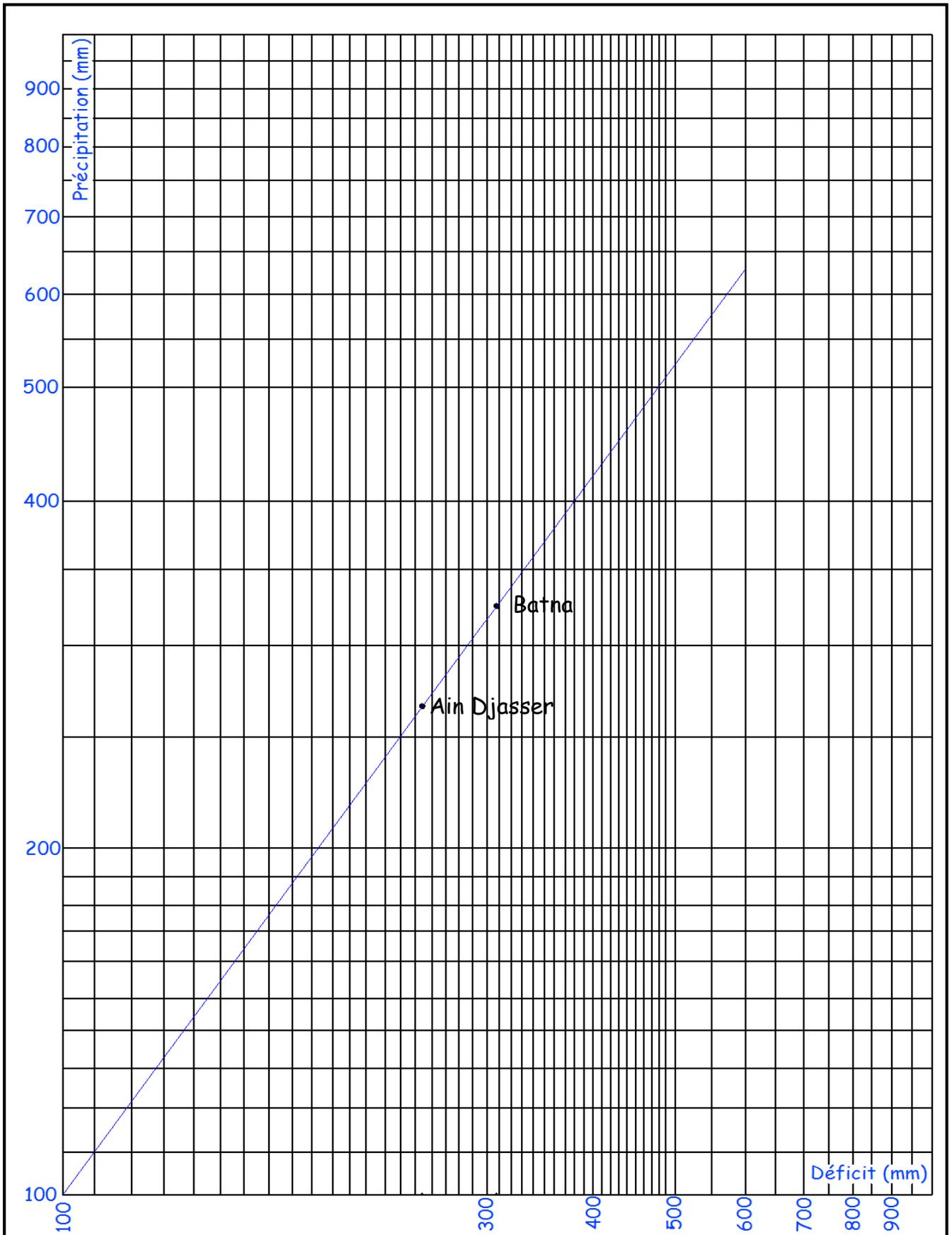


Figure 4.6 : abaques de Verdeil

6.3. Bilans hydrologiques:

6.3.1. Bilan hydrologique de Thornthwaite:

Le bilan hydrologique établi mensuellement à l'aide de la méthode de Thornthwaite a l'avantage d'estimer pour chaque mois : l'évapotranspiration réelle ETR, la réserve facilement utilisable RFU, le déficit agricole Da et l'excédent Ex.

La réserve facilement utilisable RFU est calculée par la formule de Hallaire (1960) donnée ci-dessous :

$$RFU = \frac{1}{3} Da * He * Pr$$

Où :

RFU : réserve facilement utilisable (mm) ;

Da : densité apparente du sol prise égale à 1.4 ;

He : capacité de rétention prise égale à 0.3/0.25 ;

Pr : profondeur des racines égale à 0.4m.

La RFU ainsi calculée pour la région est égale à 50.mm, les bilans hydrologiques selon la méthode de Thornthwaite, pour chaque station sont portés dans les tableaux (4.9 et 4.10)

Tableau 4.9 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite
 Station de Ain Djasser (1969-2003).

Désignation	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	23,0	17,0	11,0	8	7,0	8,0	11,0	13,0	18,0	24,0	28,0	25,0	16,1
I	10,08	6,38	3,30	2	1,66	2,04	3,30	4,25	6,95	10,75	13,58	11,44	75,76
a	1,7												
ETP	107,1	63,8	30,3	18	14,0	17,6	30,3	40,3	70,4	115,2	150,0	123,6	780,2
K	1,03	0,97	0,68	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,17	
ETPc	110	62	21	15	12	15	31	44	85	139	185	145	864
P	25	22	18	30	26	24	29	32	29	12	5	15	267
VR	-85	-40	-3	15	14	9	-2	-12	-56	-127	-180	-130	
RFU	0	0	0	15	29	38	36	24	0	0	0	0	
Da	85	40	3	0	0	0	0	0	32	127	180	130	597
Ex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETR	25	22	18	15	12	15	31	44	53	12	5	15	267

Tableau 4.10 : Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite
Station de Batna aéroport (1998-2003).

Désignation	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	22,0	17,0	11,0	7	6,0	7,0	10,0	12,0	15,0	24,0	28,0	26,0	15,4
I	9,42	6,38	3,30	2	1,32	1,66	2,86	3,76	5,28	10,75	13,58	12,13	72,10
a	1,7												
ETP	101,2	66,1	32,2	15	11,8	15,2	27,5	37,1	53,7	116,9	150,8	133,4	761,2
K	1,03	0,97	0,68	0,85	0,87	0,85	1,03	1,09	1,21	1,21	1,23	1,16	
ETPc	104	64	22	13	10	13	28	40	64	141	186	155	841
P	34	25	29	31	33	21	37	31	40	16	9	21	327
VR	-70	-39	7	18	23	8	9	-9	-24	-125	-177	-134	
RFU	0	0	7	25	48	50	50	41	16	0	0	0	
Da	70	39	0	0	0	0	0	0	0	109	177	134	529
Ex	0	0	0	0	0	6	9	0	0	0	0	0	15
ETR	34	25	22	13	10	13	28	40	64	32	9	21	312

Afin d'éclairer les résultats obtenus, une représentation graphique des données a été faite en (figure 4.7).

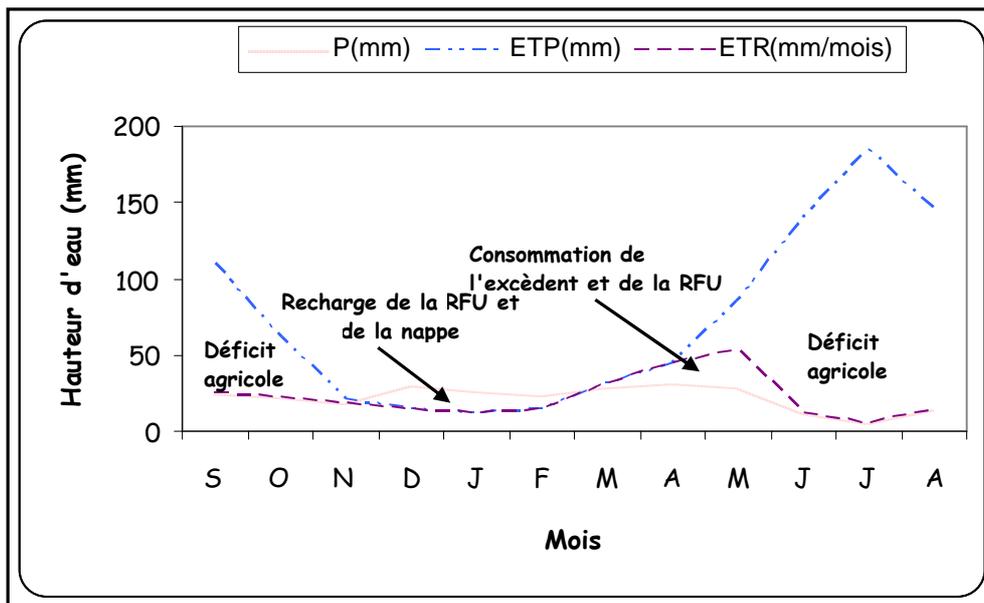


Figure 4.7 : Représentation graphique du bilan de Thornthwaite.

Ce graphe montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant les mois de juillet et d'août pour des valeurs de 185 et 145 mm pour la station de Ain Djasser et des valeurs de 186 à 155 pour la station de Batna aéroport, ce qui induit un déficit agricole et nécessite une irrigation pour les zones cultures, par contre entre les mois de Décembre et

Avril pour la station de Ain Djasser et entre les mois de Novembre et Mai pour la station de Batna aéroport, on observe un excédent de 15 mm uniquement pour la zone de l'aéroport.

6.3.2. Bilan hydrologique de Blaney-Criddle:

Le bilan hydrologique établie mensuellement selon la méthode de Blaney-Criddle permet d'avoir une idée sur l'étendue des périodes sèches, et notamment sur les seuils critiques au delà des quels l'irrigation devient indispensable.

Ce bilan nous permet aussi d'estimer pour chaque mois : l'évapotranspiration réelle ETR, la réserve facilement utilisable RFU, le déficit agricole Da et l'excédent Ex. La réserve facilement utilisable (RFU) est calculée par la formule de Haillare (1960) donnée plus haut..

Les bilans hydrologiques établis mensuellement selon la méthode de Blaney-Criddle pour chaque station sont portés dans les tableaux (4.11 et 4.12).

On constate que les bilans hydriques cultures des deux stations de la région établies en tenant compte des ETP calculées au pas mensuel, sont totalement déficitaires, vu le caractère semi aride de la région. Seule une analyse au pas journalier permet de développer un bilan assez précis.

Tableau 4.11 : Bilan hydrologique selon la méthode de Planey-Criddle

Station de Ain Djasser

Désignation	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	21,4	16,4	10,3	6,2	5,9	8,4	9,6	12,0	17,0	22,6	25,8	25,8	15,1
P (%)	8,37	7,86	6,94	6,80	6,99	6,90	8,34	8,83	9,81	9,81	9,96	9,40	8,33
F (mm/mois)	150,44	123,20	89,30	74,68	75,80	82,76	104,63	120,53	156,47	181,74	199,18	187,98	
a	1,25	1,14	0,96	0,96	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,59	1,59	1,59	
b	-1,84	-1,84	-1,66	-1,66	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-2,11	-2,11	
ETP _{clim.} (mm)	186	139	84	70	85	93	117	136	177	287	315	297	1984
K _c	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	
ETP _{cult.} (mm)	105	86	63	52	53	58	73	84	110	200	219	207	1310
P (mm)	25	22	18	30	26	24	29	32	29	12	5	15	267
ETR (mm)	25	22	18	30	26	24	29	32	29	12	5	15	267
P-ETP (mm)	-80	-64	-45	-22	-27	-34	-44	-52	-81	-188	-214	-192	
RFU (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Da (mm)	80	64	45	22	27	34	44	52	81	188	214	192	1043
Ex (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4.12 : Bilan hydrologique selon la méthode de Blaney-Criddle

Station de Batna aéroport

Désignation	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
T (°C)	21,1	15,6	10,2	5,8	4,6	5,6	9,0	12,4	17,3	22,9	26,3	25,8	14,7
P (%)	8,37	7,86	6,94	6,80	6,99	6,90	8,34	8,83	9,81	9,81	9,96	9,40	8,33
F (mm/mois)	149,29	120,31	88,98	73,43	71,62	73,87	102,33	122,15	157,82	183,09	201,47	187,98	
a	1,25	1,14	0,96	0,96	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,59	1,59	1,59	
b	-1,84	-1,84	-1,66	-1,66	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-1,84	-2,11	-2,11	
ETP _{clim.} (mm)	185	135	84	69	80	82	115	137	178	289	318	297	1969
K _c	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,1	1,1	1,1	
ETP _{cult.} (mm)	105	84	62	51	50	52	72	86	110	201	222	207	1302
P (mm)	34	25	29	31	33	21	37	31	40	16	9	21	327
ETR (mm)	34	25	29	31	33	21	37	31	40	16	9	21	327
P-ETP (mm)	-71	-59	-33	-20	-17	-31	-35	-55	-70	-185	-213	-186	
RFU (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Da (mm)	71	59	33	20	17	31	35	55	70	185	213	186	975
Ex (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.3.3. Comparaison des deux bilans:

On constate que les valeurs de l'ETP calculées par les deux méthodes sont différentes pour les deux stations considérées, la superposition des graphiques de l'ETP calculées par les deux méthodes, pour les deux stations (figure 4.8) illustre cette différence et qui résulte sans doute du fait que chaque méthode est adaptée pour un milieu bien déterminé.

L'absence de mesures expérimentales n'a pas permis de choisir la méthode la plus appropriée pour le calcul de l'ETP dans notre région. Ce qui nous nous permettra d'adopter la formule de Blaney-Criddle.

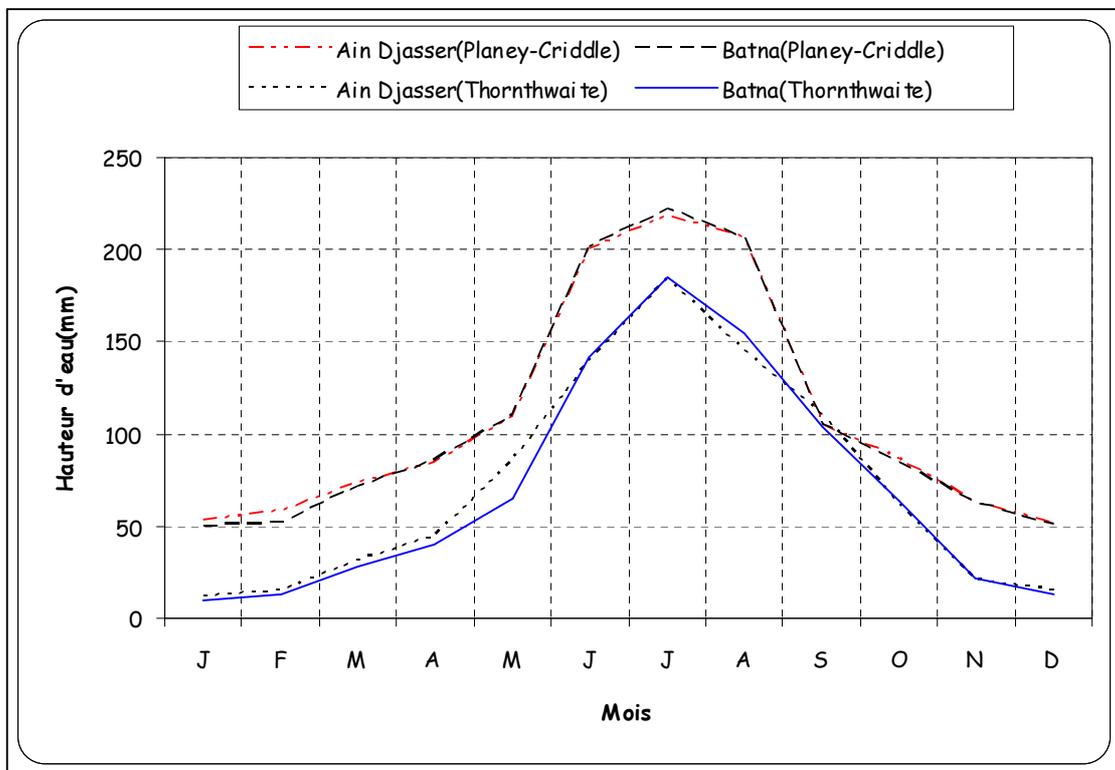


Figure 4.8 : courbes de l'évapotranspiration potentielle mensuelle

6.4. Calcul du ruissellement:

Le ruissellement est donne par la formule empirique de Tixeront-Berkaloff :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2} \quad \text{si } P \leq 600\text{mm}$$

Où :

R : ruissellement (mm) ;

P : précipitation moyenne annuelle (mm) ;

ETP : évapotranspiration potentielle annuelle (mm).

Cette méthode de calcul du ruissellement est critiquée car elle est empirique et donc elle nécessite des corrections à l'aide d'installations lysimétriques d'une part, et son utilisation est limitée aux précipitations moyennes annuelles inférieures à 600mm d'autre part.

Les valeurs du ruissellement selon la méthode de Tixeront et Berkaloff sont portées dans le tableau 4.13.

Tableau 4.13: valeurs du ruissellement selon la méthode de Tixeront-Berkaloff :

Station	Période	P(mm)	ETP(mm)	R(mm)
Ain Djasser	1969-03	267	864	9
Site Aéroport de Batna	1998-03	327	842	15

Cette formule a donné une valeur de 9 à 16mm/an ce qui représente 3% et 5% de la précipitation. Par contre la valeur de l'infiltration est nulle pour les deux stations étudiées.

Cette étude nous montre que les pluies ne permettent pas la reconstitution de la réserve d'eau facilement utilisable (RFU), ce qui induit un besoin des sols pour l'irrigation surtout pendant l'été.

6.5. Calcul de l'infiltration:

Par définition l'infiltration est la quantité d'eau qui pénètre dans le sous sol et alimente les aquifères. Ce paramètre peut être estimé à l'aide de la formule du bilan hydrologique donnée par la relation suivante :

$$P = ETR + R + I \Rightarrow I = P - (D + R)$$

Où :

P : précipitation en mm ;

ETR : évapotranspiration réelle (mm) ;

R : ruissellement (mm) ;

I : infiltration (mm).

Les valeurs des différents paramètres du bilan hydrologique sont portées dans le tableau 4.14.

Tableau 4.14: les différents paramètres du bilan hydrologique :

Station	Période	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	R mm)	I (mm)
Ain Djasser	1969-03	267	864	267	9	0
Site Aéroport de Batna	1998-03	327	842	312	15	0

On constate que l'infiltration directe à partir du sol est nulle pour les deux stations étudiées.

7. Conclusion :

L'étude climatologique a abouti aux conclusions suivantes :

- ✓ L'étude des indices climatiques a permis de dire que la région de Ain Djasser a un climat semi aride influencé par les courants humides de la méditerrané en hiver et chauds du Sahara en été. Cette semi aridité favorise une agressivité climatique qui se traduit par une insuffisance en eau, du essentiellement à l'irrégularité des précipitations et provoque une absence de couverture végétale, ceci expose la région à une augmentation des températures, de l'évaporation et à une érosion plus ou moins intense.
- ✓ Les valeurs de température élevées, la forte évaporation, la très faible infiltration expliquent un déficit d'écoulement qui s'étend du mois de mai au mois de novembre.
- ✓ Quand au bilan hydrologique ; on constate qu'il est déficitaire pour les deux stations étudiées avec un déficit de 597mm s'étalant sur 6 mois et un excédent nul pour la station de Ain Djasser et de l'ordre de 15mm pour la région de l'aéroport.



Cadre hydrogéologique



Cinquième chapitre

Cadre hydrogéologique

1. Introduction :

L'hydrogéologie est la science qui étudie l'eau souterraine. Elle consiste à faire une analyse des caractéristiques géologiques et géophysiques de la région qui sont les facteurs les plus déterminant de la répartition et de l'extension des aquifères, et à déterminer le compartiment hydrodynamique de ces derniers. Elle est donc essentiellement basée sur la géologie, la géophysique, l'étude des logs stratigraphiques des forages implantés sur la région et l'expérimentation par pompage.

Dans ce chapitre on s'intéressera au comportement hydraulique de la nappe superficielle et on étudiera essentiellement :

- ✓ La piézométrie de juillet 2007 et Février 2008.
- ✓ Evolution piézométrique.

2. Les formations aquifères :

Les études géologiques et géophysiques ont permis une bonne connaissance des différentes formations susceptibles d'être le siège d'un écoulement souterrain. On se basant sur les données piézométriques, on peut dire qu'il existe dans la région de Ain Djasser deux aquifère superposées :

- ✓ Un aquifère superficiel se trouvant dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire.
- ✓ Un aquifère profond dans les calcaires fissurés reconnu à l'aide des forages profonds réalisés par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Batna. Il s'agit des calcaires fissurés du crétaqué.

2.1. La nappe superficielle :

Contenu dans les formations Mio-plio-quaternaire alluvionnaires, de quelques dizaines de mètres d'épaisseur avec un maximum au niveau de la localité de Ain Djasser où il atteint entre 50 et 100 m d'épaisseur, parfois couvert par une mince dalle de calcaire lacustres. C'est

la zone de remplissage argileux dans la partie de Bled El Mardja et Bled Louni avec la présence parfois de niveaux salés.

2.1.1. Etendue des formations de la nappe superficielle :

La nappe en question va jusqu'à 80 m de profondeur dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire. L'aquifère est constituée essentiellement d'alluvions récentes et de conglomérats rosâtres. C'est une nappe étendue, où on assiste ces dernières années à un abaissement du niveau piézométrique suite à une surexploitation intense du fait de l'accroissement de la demande en eau et de la sécheresse. Cette situation a conduit à l'approfondissement des puits suite à leur assèchement. Cette nappe considérée alluviale est au contact des formations calcaires:

- ✓ Au Sud avec djebels Tissouras et Zana.
- ✓ A l'Est avec djebels Tabelkha et Roknia.
- ✓ A l'Ouest avec djebels Agmerouel et Bouhedfene.
- ✓ La partie nord est limitée par Bled Chouf Rherab ou affleure le Trias salifère.

2.1.2. Piezométrie :

L'analyse piézométrique a pour but d'étudier le comportement hydrodynamique de la nappe superficielle du Mio-Plio-Quaternaire dans son environnement géologique, et de caractériser sa fonction capacitive et conductrice. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique. Sa connaissance a nécessité deux campagnes piézométriques (juillet 2007 et février 2008).

2.1.2.1. Inventaire des points d'eau :

L'inventaire des points d'eau a permis de constater que la majorité des ouvrages sont des forages non profonds (Figure 5.1).

Les campagnes effectuées pendant deux périodes (juillet 2007 et février 2008) ont permis de mesurer les niveaux piézométriques et les paramètres physiques tel que la conductivité électrique et la température, le pH, le potentiel redox (Eh). Cette campagne ont permis également de prélever des échantillons d'eau pour analyses fondamentales au

laboratoire, Il a été retenu pour ces données relatives a la nappe superficielle les points suivants:

- ✓ 30 points d'eau pour la campagne de Juillet 2007.
- ✓ 30 points d'eau pour la campagne de Février 2008.

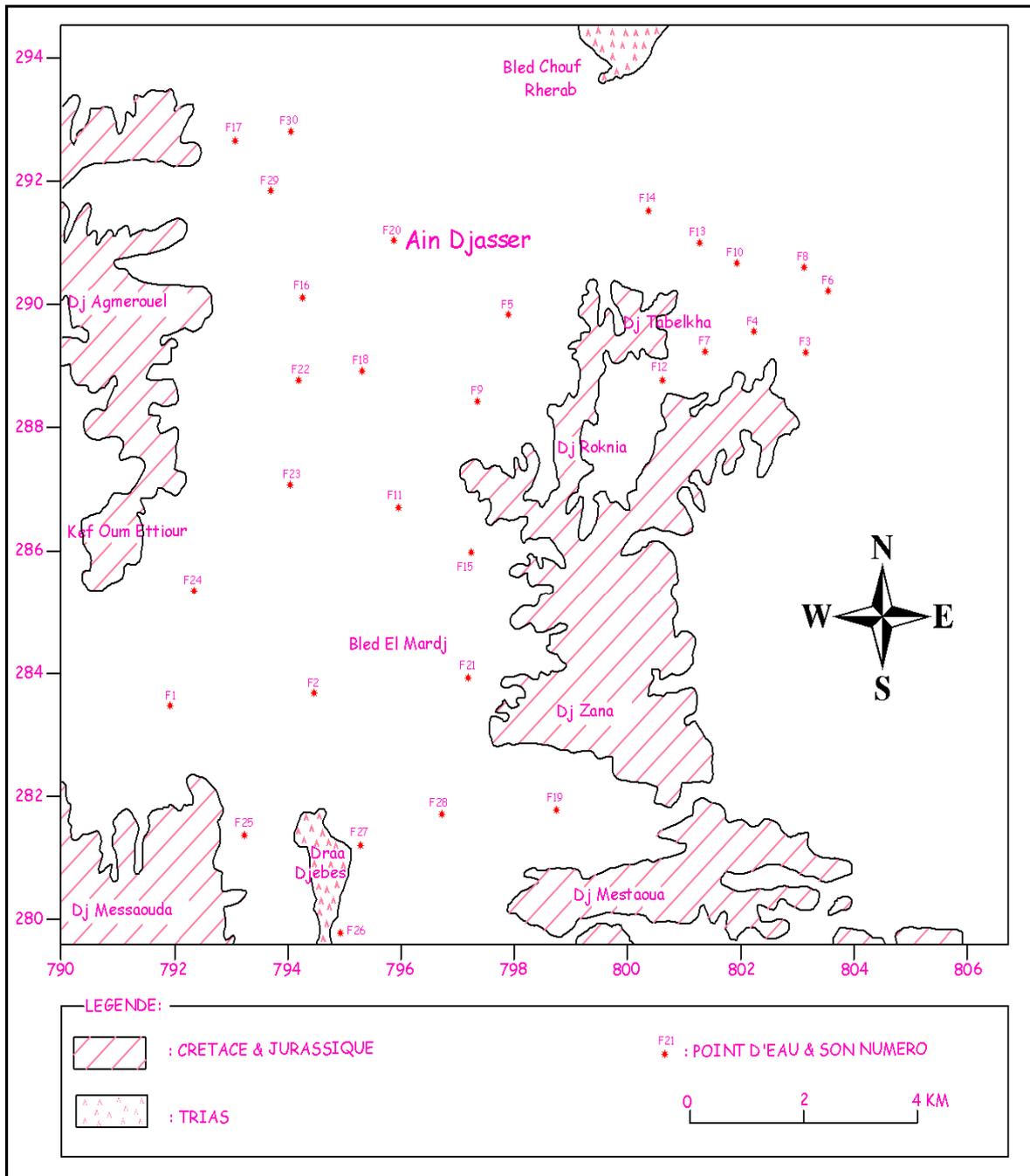


Figure 5.1 : Position des points d'eau retenus pour la piézométrie et les analyses chimiques.

2.1.2.2. Caractéristiques et destination des points d'eau :

Les points d'eau retenus durant les deux campagnes piézométriques sont répartis sur la majeure partie de la plaine de Ain Djasser, ils sont pour la plupart des puits domestiques, creusés à la main (forés plus tard), de profondeur et diamètre variable équipés généralement de motopompes non adaptées aux caractéristiques du puits. Ils sont destinés pour l'irrigation des cultures saisonnières et secondairement à l'alimentation en eau potable du fait de la salinité élevée de la majorité des puits.

2.1.2.3. Examen des cartes piézométriques :

Afin d'étudier le comportement de la nappe superficielle du Mio-Plio-Quaternaire de la plaine de Ain Djasser, on a tracé deux cartes piézométriques :

- ✓ Une carte piézométrique pour le mois de Juillet 2007.
- ✓ Une carte piézométrique pour le mois de Février 2008.

2.1.2.3.1. Piézométrie de juillet 2007 :

L'examen de cette carte fait ressortir une morphologie à deux zones:

- ✓ Zone nord: les courbes sont plus au moins serrées, l'écoulement se fait du Nord ouest et de l'Ouest vers la partie centrale de la plaine et de la localité de Ain Djasser avec un axe d'écoulement vers oued Boughezel.
- ✓ Zone sud: les courbes sont espacées, caractérisées par des écoulements convergents à partir de l'ouest et du sud vers la zone de Bled El Mardja considérée comme zone de drainage avec axe d'écoulement des eaux du sud vers le nord jusqu'à oued Boughezel (Figure 5.2).

2.1.2.3.2. Piézométrie de Février 2008:

L'examen de la carte montre que notre zone se caractérise par les mêmes conditions d'écoulement que précédemment (Figure 5.5) à savoir:

- ✓ L'écoulement suit la topographie.
- ✓ L'allure des courbes iso pièzes est presque la même.

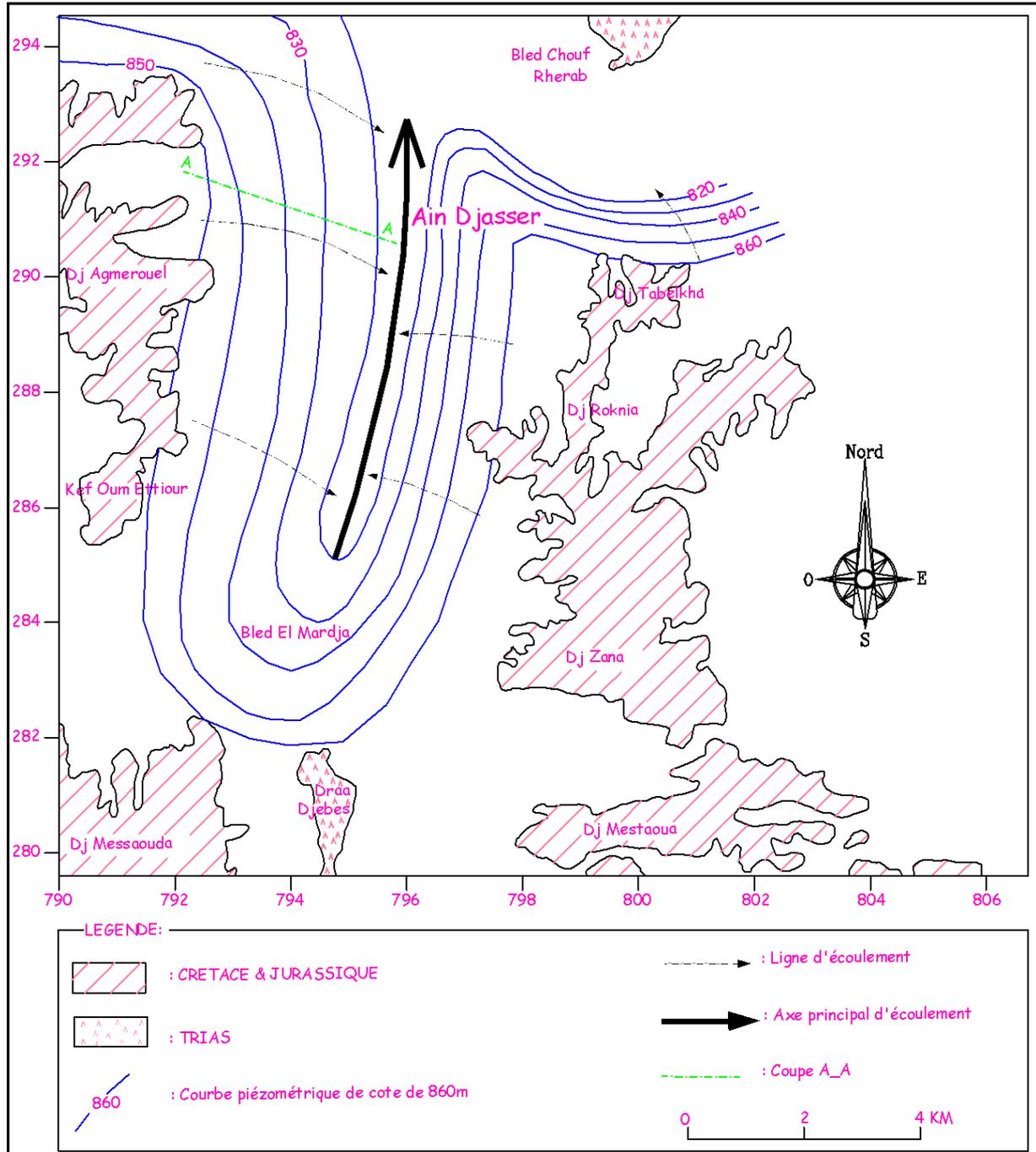


Figure 5.2 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser (Juillet 2007)

- ✓ L'écoulement se fait généralement de la même manière avec un axe principal qui converge vers oued Boughezal traversant la localité de Ain Djasser (du sud vers le nord).

Sauf que:

- ✓ Les niveaux piézométriques mesurés en février 2008 ont subi une élévation par rapport à celui mesuré en juillet 2007, ceci est probablement dû à deux facteurs:
- ✓ Le pompage est moins intense au mois de février qu'au mois de juillet qui correspond à la période des grands besoins d'eau pour l'irrigation.
- ✓ Les fortes pluies enregistrées entre juillet 2007 et février 2008 où l'apport pluviométrique était très important dépassant parfois la moyenne annuelle.

2.1.2.3.3. Les gradients hydrauliques :

L'écoulement est orienté généralement vers le centre de la plaine suivant l'axe principal d'écoulement traversant du sud vers le nord de la plaine. Le gradient hydraulique est très variable à une valeur moyenne de 0.025 à l'Est, par contre à l'Ouest de la plaine il est de l'ordre de 0.013 et au Sud de la plaine il est de l'ordre de 0.011.

2.1.2.3.4. Evolution de la piézométrie :

L'aquifère superficiel du Mio-Plio-Quaternaire est à nappe libre dont le niveau statistique est fortement exposé aux variations saisonnières en relation directe avec la pluviométrie.

La superposition des deux cartes piézométriques celle de juillet 2007 et celle de février 2008, nous a permis de tracer une courbe de battement de la nappe superficielle de la plaine de Ain Djasser (Figure 5.3), la fluctuation piézométrique entre les deux périodes varie entre 0.1 et 12.60m.

La comparaison de la piézométrie de juillet 2007 avec celle de BENCER.S (juillet 2004) a montré que le niveau piézométrique a connu un abaissement important entre les deux périodes (Figure 5.4) dû probablement aux fortes températures, faibles précipitations, la forte évaporation et surtout à la forte demande en eau qui conduit à la surexploitation de la nappe.

2.1.2.3.5. Caractéristiques hydrodynamiques :

Au cours de notre travail, la réalisation d'un essai de pompage était difficile voire impossible à effectuer, la détermination des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère de la plaine de Ain Djasser a été effectuée sur la base de données fournies par la DHW de Batna d'un essai de pompage effectué par cette dernière au niveau de la plaine

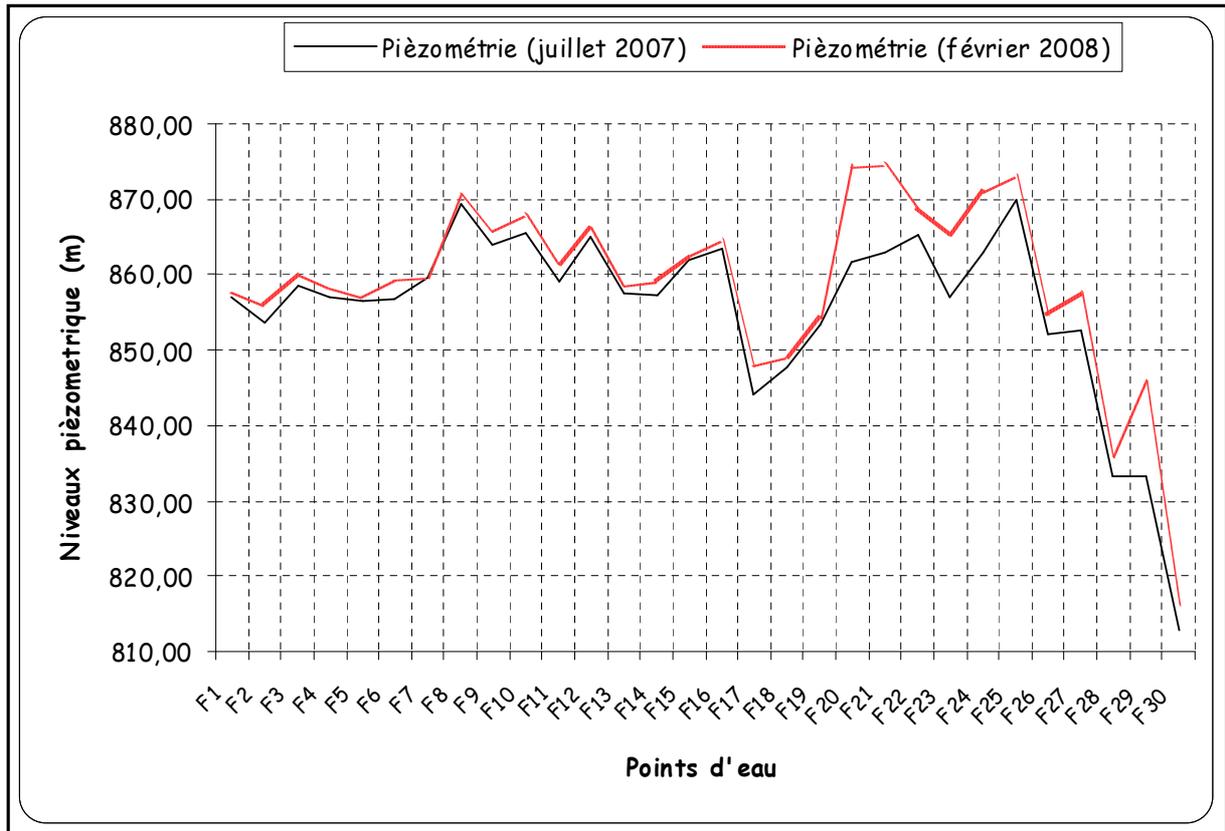


Figure 5.3 : Courbes de battement de la nappe superficielle de Ain Djasser.

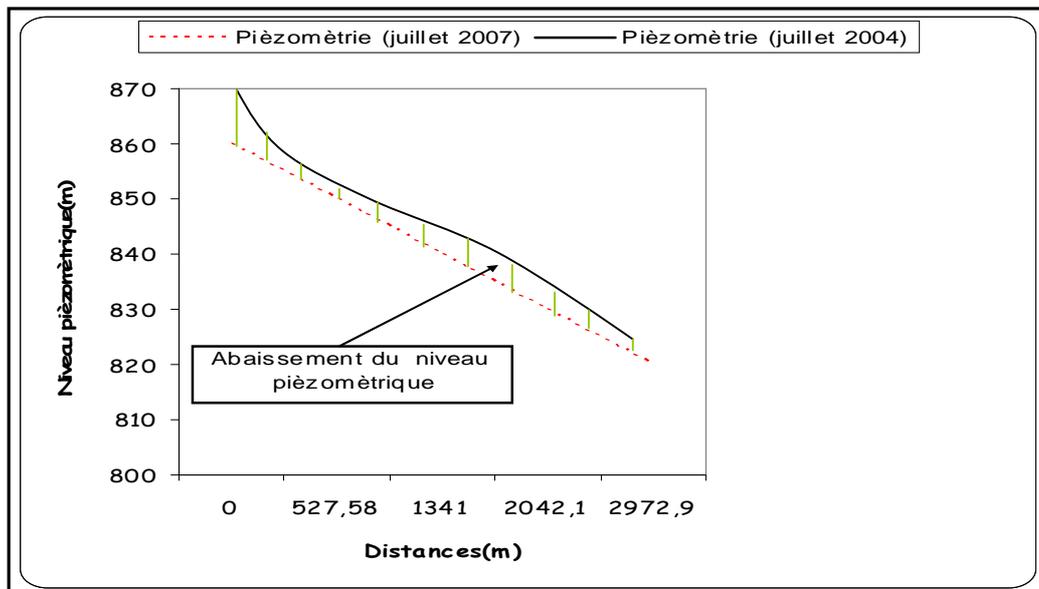


Figure 5.4 : Profil de dépression (Abaissement du niveau piézométrique).

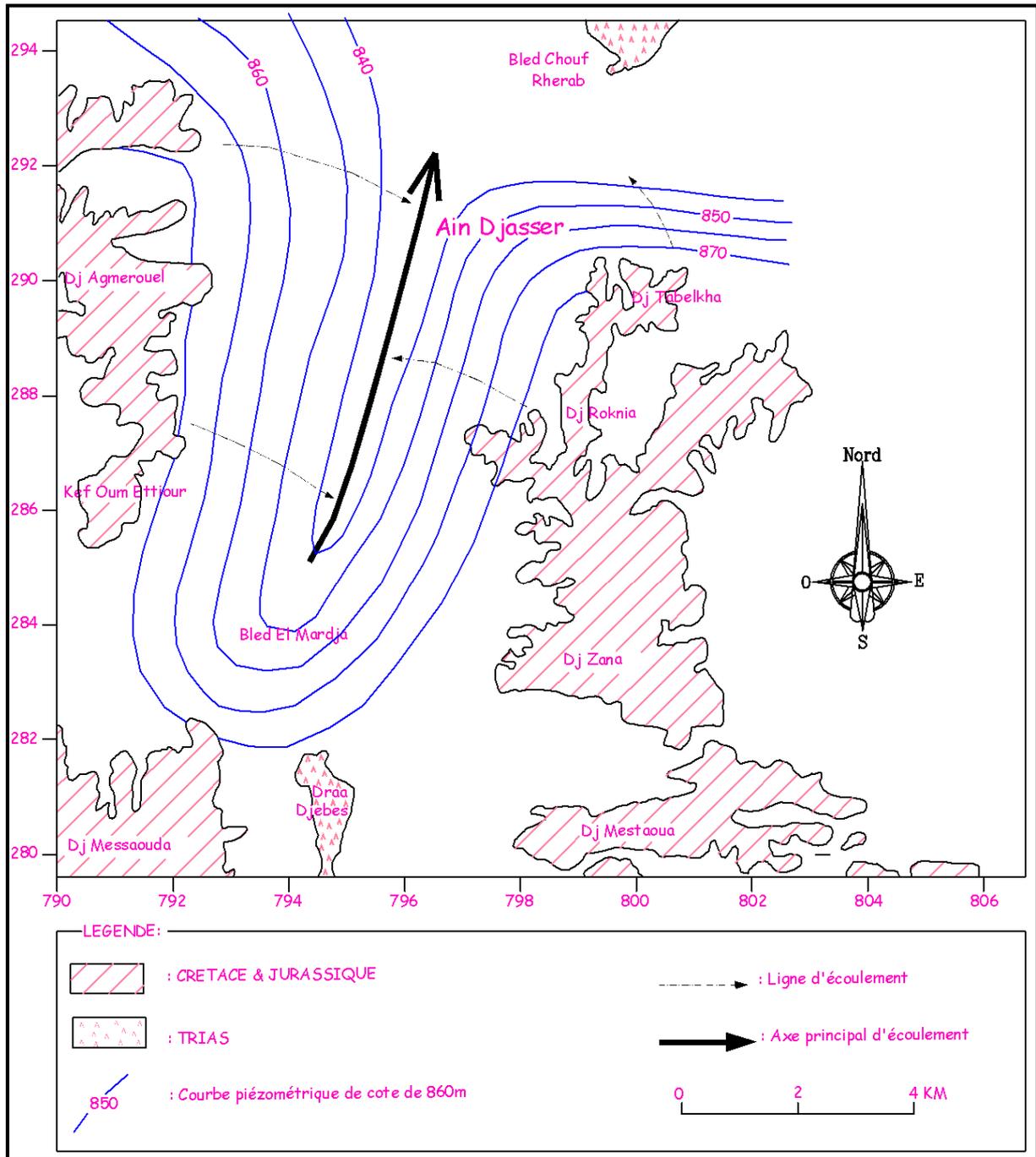


Figure 5.5 : Carte piézométrique de la plaine de Ain Djasser (Février 2008)

2.1.2.3.5.1. Transmissivité :

Elle mesure la quantité d'eau qui peut être transmise horizontalement sur toute l'épaisseur d'un aquifère saturé.

La Transmissivité du terrain est faible, elle est de l'ordre de $8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Donnée DHW de Batna).

2.1.2.3.5.2. Perméabilité :

Elle a obtenu à partir des Transmissivité et de l'épaisseur de la tranche saturée de la nappe. La valeur de la perméabilité K est de 10^{-4} m/s (Donnée DHW de Batna).

2.1.2.3.5.3. Estimation des réserves de la nappe superficielle :

Le coefficient d'emmagasinement, avec $t_0=1320$ s et $x=30$ m (Donnée DHW de Batna) est :

$$S = 2.25 * \frac{t_0 * T}{x^2} = 2.25 * \frac{8 * 10^{-3}}{(30)^2} * 1320 = 2.64 * 10^{-2}$$

Avec :

X : distance du piézomètre à l'axe du puits=30m.

Le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre de (0.2à0.01) pour les nappes libres et de (0.001à0.0001) pour les nappes captives.

Dans notre cas $S=2.64*10^{-2}$ donc on a dans le cas d'une nappe libre.

2.1.2.3.5.4. Bilan de la nappe :

Le bilan hydrogéologique ou bilan de la nappe est un moyen de contrôle de la cohérence des données (entrées, sorties).

Ce bilan s'écrit de la manière suivante :

$$\Delta R = Q_e - Q_s$$

Avec :

ΔR : variation de réserve de la nappe.

Q_e : les entrées (recharge de la nappe ou apports latéraux).

Q_s : les sorties (prélèvement).

On essayera d'établir ce bilan pour avoir actualiser les réserves en eau de la nappe superficielle.

2.1.2.3.5.4.1. Les entrées :

2.1.2.3.5.4.1.1. Infiltration :

La source d'alimentation du bassin hydrogéologique est fournie par les précipitations efficaces qui sont représentées sous forme d'infiltration, qui alimente le stock d'eau souterraine.

Cette composante du bilan est nulle pour les deux stations étudiées.

2.1.2.3.5.4.1.2. Apports latéraux :

Pour le calcul des apports latéraux, il faut connaître l'épaisseur de l'aquifère et l'écartement des courbes isopiezométriques et la perméabilité K, c.à.d la carte piézométrique et la carte de perméabilité. Pour cela on a utilisé la loi de Darcy:

$$Q = k * i * s = k * i * h * e$$

Avec:

k: perméabilité;

i: gradient hydraulique;

h: largeur de l'aquifère;

e: épaisseur utile de l'aquifère.

2.1.2.3.5.4.2. Les sorties :

Les sorties sont correspondent essentiellement aux :

- ✓ Prélèvements par pompage ;
- ✓ Evaporation directe.

Tableau 5.1: Bilan estimatif de la nappe superficielle de la plaine de Ain Djasser

Entrées 10⁶ m³	Sortiés 10⁶ m³
Infiltration: nulle	Prélèvement par pompage : 16,26
Apports latéraux: 50,99	*Evaporation : 56,07
50,99	72,33

*: Valeur calculée à partir du bilan hydrologique

Ce bilan montre que les sorties sont largement supérieures aux entrées criant un déséquilibre dans le bilan hydrogéologique, ce qui entraîne l'abaissement du niveau piézométrique.

2.1.2.3.6. Conditions naturelles de la plaine :

Les précipitations moyennes annuelles au niveau de la plaine de Ain Djasser sont de l'ordre de 267mm avec une température moyenne annuelle de 16.10°C, l'établissement du bilan montre que l'ETR annuelle est pratiquement nulle et seules les limites à flux imposé entrant au niveau des massifs carbonatés contribuent à sa recharge (Figure 5.2 et 5.5).

Les mesures piézométriques effectuées au mois de juillet 2007 et au mois de Février 2008, montre que la profondeur de la surface piézométrique pendant la première campagne

varie entre 12.40m et 59.20m alors que pendant la deuxième campagne elle varie entre 13.70m et 70.50m, la région est caractérisée par la présence d'une dépression centrale alimentée par les formations carbonatées, par contre la limite nord correspond à une zone de décharge vers l'extérieur du système.

A partir des deux cartes de la piezométrie (juillet 2007 et février 2008), on peut dire que l'aquifère de la plaine de Ain Djasser est limité comme suit:

- ✓ En profondeur que nous considérons imperméable;
- ✓ A l'Ouest, Sud et Est par une limite à flux imposé entrant;
- ✓ Au Nord par une limite à flux sortant.

3. Conclusion

L'ensemble aquifère de la région est forme de deux nappes:

- ✓ La nappe profonde présentant quelques indications des divers forages profonds en exploitation.
- ✓ L'épaisseur de la nappe superficielle du Moi- Plio- Quaternaire atteint 80m d'épaisseur.
- ✓ L'alimentation de cette nappe superficielle se fait par les précipitations:
 - Soit par infiltration directe lors du ruissellement qui est faible voir nulle (voir bilan hydrologique de la station de Ain Djasser).
 - Soit par alimentation latérale à partir des massifs calcaires entourant la plaine.

Dans notre cas, la nappe superficielle est alimentée par les formations calcaires fissures qui entourent la plaine. Les apports de surface sont négligeables tandis que l'influence latérale des limites calcaires contribue en grande partie à alimenter la nappe.

Le bilan établi au niveau de cet aquifère est déséquilibré ce qui a entraîné une baisse alarmante du niveau piezométrique.



Hydrochimie



Sixième chapitre

Hydrochimie

1. Introduction :

La composition chimique d'une eau joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable ou pour d'autres usages (irrigation, industrie...etc.). La chimie des différentes sources en eau (eaux de surface, eaux souterraines) est souvent influencée par la dissolution des formations géologiques, des rejets industriels et l'activité agricole (Nafa (1985), Kherici (1993), Djabri (1996), Lauhi (1996), Zenati (1999)). En raison de l'utilisation multiple de ces eaux, cette étude a été menée afin de contrôler l'état actuel de la chimie des eaux souterraines de l'aquifère de la plaine de Ain Djasser, son évolution dans le temps et dans l'espace.

Un plan de travail a été adopté pour atteindre ces buts, il consiste au début à faire un suivi chimique des différents points d'eau appartenant à la zone d'étude, pendant la période de juillet 2007 à février 2008.

2. Méthodes et stratégie de travail :

2.1. Prélèvements :

30 points d'eau ont été sélectionnés pour le suivi (Figure 6.1), Le but est de montrer l'évolution chimique des eaux de la nappe superficielle de la plaine de Ain Djasser (Tableau 6.1).

Tableau 6.1: paramètres statistiques des éléments chimiques des eaux souterraines de la plaine de Ain Djasser (Juillet 2007 et Février 2008)

Eléments chimiques	Valeur minimale		Valeur maximale		Moyenne arithmétique		Ecart type		Coefficient de variation	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
T (°C)	14,60	16,00	19,50	20,20	17,43	18,05	1,43	1,06	0,08	0,06
pH	7,15	7,09	7,90	8,15	7,54	7,50	0,20	0,25	0,03	0,03
Ca ⁺⁺ (mg/l)	88,00	90,00	308,00	370,00	161,60	167,80	74,70	73,34	0,46	0,44
Mg ⁺⁺ (mg/l)	45,00	41,00	146,00	166,00	89,13	95,87	29,52	35,40	0,33	0,37
Na ⁺ (mg/l)	99,00	86,00	640,00	690,00	259,90	265,03	150,45	171,90	0,58	0,65
K ⁺ (mg/l)	2,00	1,00	13,00	15,00	8,63	7,97	2,55	3,29	0,30	0,41
Cl ⁻ (mg/l)	220,00	95,00	940,00	995,00	414,63	428,33	217,32	228,30	0,52	0,53
SO ₄ ⁻⁻ (mg/l)	195,00	156,00	635,00	685,00	388,33	388,10	111,67	117,04	0,29	0,30
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	234,00	86,00	342,00	409,00	292,60	313,93	26,01	78,25	0,09	0,25
NO ₃ ⁻ (mg/l)	3,00	1,00	125,00	111,00	29,60	30,83	29,85	30,88	1,01	1,00
Conductivité (µs/cm)	910,00	900,00	3580,00	3580,00	2518,33	2437,67	701,70	686,10	0,28	0,28

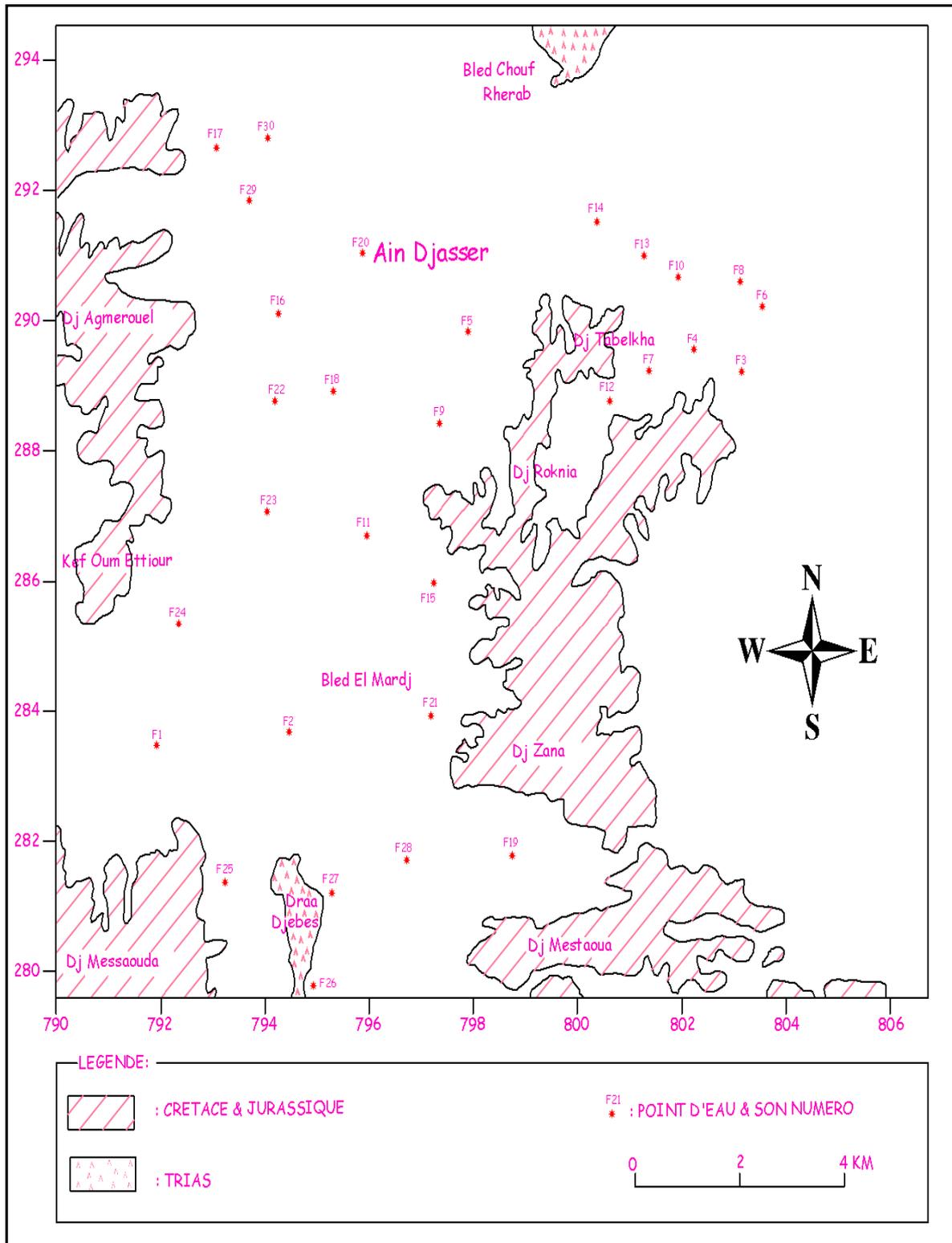


Figure 6.1 : Position des points d'eau retenus pour la piézométrie et les analyses chimiques.

3. Mesures in situ :

Cinq paramètres (T, pH, Eh, la conductivité électrique et le niveau piézométrique ont été mesurés in situ, immédiatement après le prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un multi paramètres.

4. analyse des éléments chimiques :

Une analyse des éléments chimiques fondamentaux (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} et HCO_3^-) a été effectuée ainsi que le cycle de l'azote (NO_3^- , NO_2^- et NH_4^+).

Environ 62 échantillons ont été analysés au total, avec 60 échantillons pour les puits et 2 échantillons pour le rejet urbain de l'agglomération de Ain Djasser. Trois méthodes d'analyse ont été utilisées :

1. dosage titrimétrique (HCO_3^-) ;
2. dosage colorimétriques (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) ;
3. dosage par spectrométrie d'adsorption atomique (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , et K).

4.1. Les apports anthropiques :

Le développement du tissu urbain et l'activité agricole dans la région, ont engendré deux types de contaminants : l'un du aux rejets directs de l'eau usée en plus des fosses septiques dans certaines régions dans la plaine, l'autre lié à l'utilisation excessive de certains produits phytosanitaire dans l'agriculture.

L'ensemble de ces apports induit une pollution chimique en provoquant l'augmentation de la concentration des éléments chimiques dans les eaux superficielles ou souterraines, ce qui conduit à la dégradation de leur qualité.

4.1.1. Les rejets des eaux usées:

Ces eaux usées proviennent du réseau d'assainissement de la ville de Ain Djasser. Ces apports sont caractérisés par de fortes teneurs en ammonium, Une analyse chimique a été réalisée sur les rejets qui sont déversés directement l'oued Boughezal. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 6.2.

Tableau 6.2: analyses physicochimiques de l'eau du rejet urbain de l'agglomération de Ain Djasser

Rejet	T(°C)	PH	Eh(mv)	Conductivité (µs/cm)	NH4+ (mg/l)	NO3- (mg/l)	NO2-(mg/l)	PO4--(mg/l)	O2(mg/l)
2007	18,6	12,2	415	2950	10,9	70	0,13	30,8	< 0,5
2008	27,6	10,2	310	2870	10,2	65	0,11	29,5	< 0,5

Cette analyse montre une eau alcaline, pauvre en oxygène (<0.5mg/l) et riche principalement en deux éléments chimiques: l'ammonium (10.2-10.9mg/l) et les nitrates (65-70mg/l), lié principalement aux déchets humains (urines) avec des teneurs élevées en phosphate (29.5-30.5mg/l) qui est essentiellement du à l'utilisation des produits détergents. Les conséquences de ce rejet sur la qualité des eaux de l'oued est de donner un caractère réduit à l'eau et de favoriser l'apparition des éléments polluants.

4.1.2. L'agriculture:

Son influence apparaît par l'effet de l'utilisation intensive des produits fertilisants (chimiques et organiques) sur les terrains perméables, ces derniers permettant une infiltration directe de la forme azotée (nitrates) vers la nappe. Plusieurs cas de contamination ont été observés au niveau de la nappe superficielle de la plaine de Ain Djasser par des concentrations élevées en nitrates qui atteignent une valeur de 128 mg/l au niveau du forage F15.

4.2. Le facteur contamination:

Joue un rôle principal dans l'acquisition des éléments chimiques par les eaux, par la dissolution des formations géologiques. Le danger de ce processus apparaît lorsque la concentration de ces éléments dépasse les valeurs limites. Dans la plaine de Ain Djasser deux formations sont responsables de l'augmentation de la concentration de ces éléments chimiques:

4.2.1. Les formations évaporétiques:

L'existence de lentilles gypseuses et salifères au niveau de la nappe superficielle favorise une dissolution rapide des éléments évaporétiques (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} et SO_4^{2-}). Ces éléments provoquent une augmentation de la salinité des eaux; la conductivité électrique a atteint une valeur de $3650\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$;

4.2.2. La variation des conditions d'oxydoréduction:

Son effet apparaît surtout sur l'évolution des éléments chimiques sensibles à la variation du potentiel redox (Eh), par l'apparition ou disparition de certains éléments chimiques.

4.3. Résultats des analyses chimiques de l'eau:

Les analyses physicochimiques des eaux de la nappe superficielle de la plaine de Ain Djasser pendant l'année 2007 et 2008, ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques. Ces dernières dépassent les normes de potabilité dans certains points de mesures.

4.3.1. Les paramètres physicochimiques :

Ces paramètres ont été mesurés in situ. Il s'agit des paramètres facilement mesurables et utiles pour la détermination de l'état chimique des éléments dans l'eau.

4.3.1.1. Température:

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux, elle varie en fonction de la température extérieure de l'air, des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Les valeurs de la température observées sont inférieures à la norme de potabilité fixée par l'OMS qui est de 25 °C, elle varie entre 17.40 et 19.0 °C (Figures 6.2 et 6.3).

4.3.1.2. Conductivité électrique :

Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs mesurées pour l'ensemble des échantillons s'échelonnent entre :

- ✓ un maximum de 3580 $\mu\text{s/cm}$ dans le puits F16 et un minimum de 910 $\mu\text{s/cm}$ au puits F30 pour la période de juillet 2007 (Figure 6.4) ;
- ✓ un maximum de 3650 $\mu\text{s/cm}$ dans le puits F16 et un minimum de 900 $\mu\text{s/cm}$ au puits F30 pour la période de février.2008 (Figure 6.5) ;

On s'aperçoit qu'on assiste à une concentration dans le sens de l'écoulement.

Tableau 6.3: Classification des eaux souterraines en fonction de la conductivité électrique

Conductivité électrique ($\mu\text{s/cm}$) à 20°C	Degré de minéralisation	Pourcentage des échantillons	
		Juillet(2007)	Février(2008)
< 450	Très faible	0	0
450 à 750	Faible	0	0
750 à 1500	Moyen	7	7
1500 à 2300	Moyennement élevé	30	30
2300 à 3000	Elevé	33	40
> 3000	Très élevé	30	23

Le tableau 6.3 montre que la majorité des points d'eau de la plaine de Ain Djasser pendant les deux périodes de mesure ont une forte conductivité, donc un degré de minéralisation élevé. Ces valeurs restent supérieures au limite de potabilité fixée par la Comité Européenne des eaux (<1250 $\mu\text{s/cm}$).

4.3.1.3. Le potentiel d'hydrogène (pH) :

C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau. Les valeurs mesurées pour l'ensemble des échantillons à l'aide d'un pH-mètre montrent que tous les points d'eau se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité mais avec des valeurs qui varient entre 7.09 et 8.15 (Figures 6.6 et 6.7).

4.3.1.4. Potentiel d'oxydoréduction (Eh) :

Ce paramètre nous permet de prévoir l'état des ions chimiques (oxydation ou réduction). Les résultats de mesure pour l'ensemble des échantillons montre que les points considérées ont des valeurs d'Eh faible (125 à 204.90mv), surtout dans les zones où il y a une couverture argileuse qui empêche l'oxygénation de la nappe, par contre dans les zones de formation sableuse ou limoneuses, les valeurs d'Eh sont plus élevées (Figures 6.8 et 6.9). Ces variations ne semblent pas liées avec le pH comme l'atteste la figure 6.10 et 6.3 (Eh en fonction de pH)

4.3.1.5. L'oxygène dissous (O_2) :

La qualité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction et présente une évolution identique à celle du Eh. Les teneurs sont importantes dans les endroits où l'aquifère est constitué par des formations perméables. A l'inverse dans les endroits où il y a une couverture argileuse on observe une diminution des teneurs en oxygène (les résultats de mesure sont inférieur à 0.5 mg/l pour l'ensemble des points de mesures).

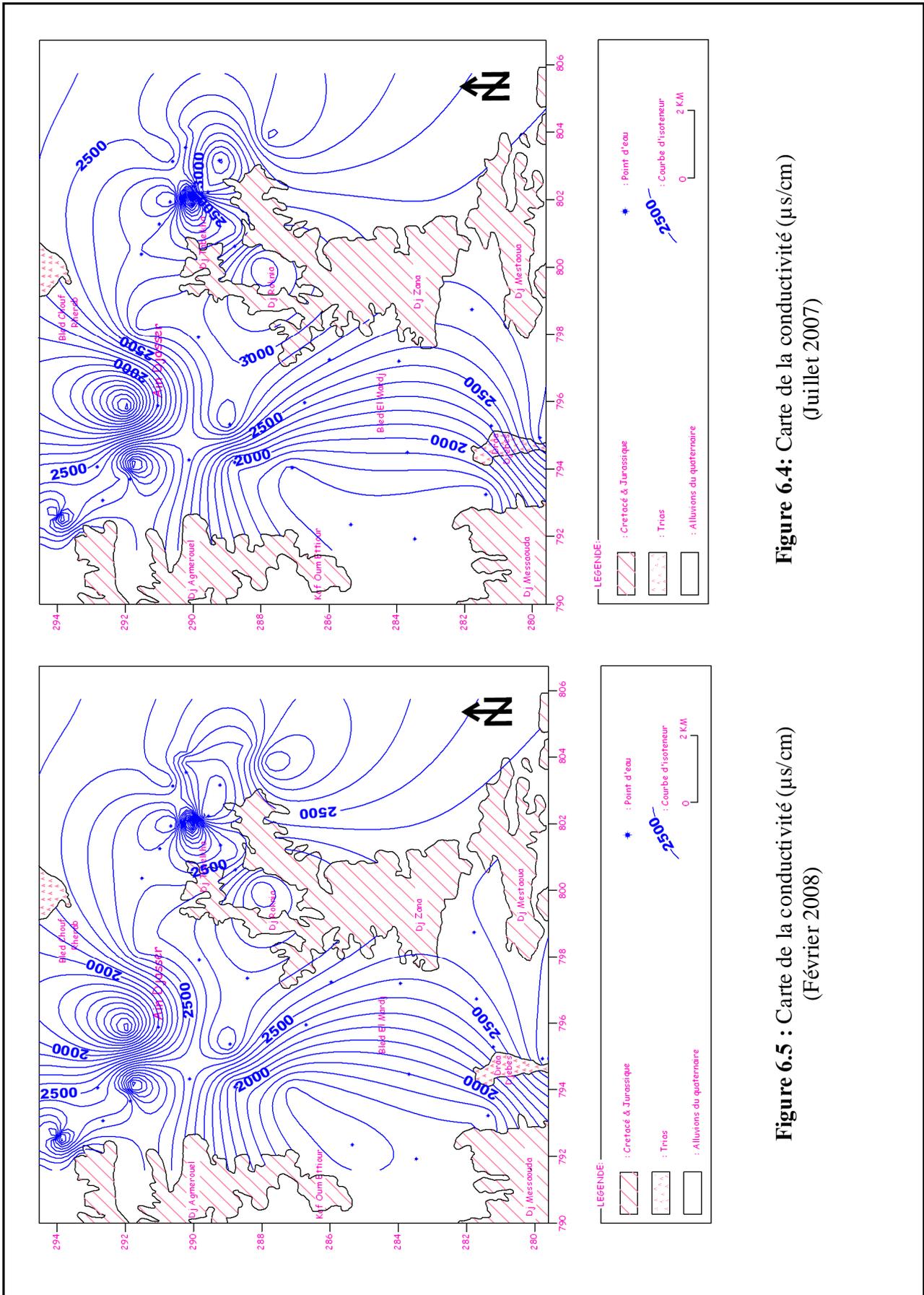


Figure 6.4: Carte de la conductivité ($\mu\text{s/cm}$)
(Juillet 2007)

Figure 6.5 : Carte de la conductivité ($\mu\text{s/cm}$)
(Février 2008)

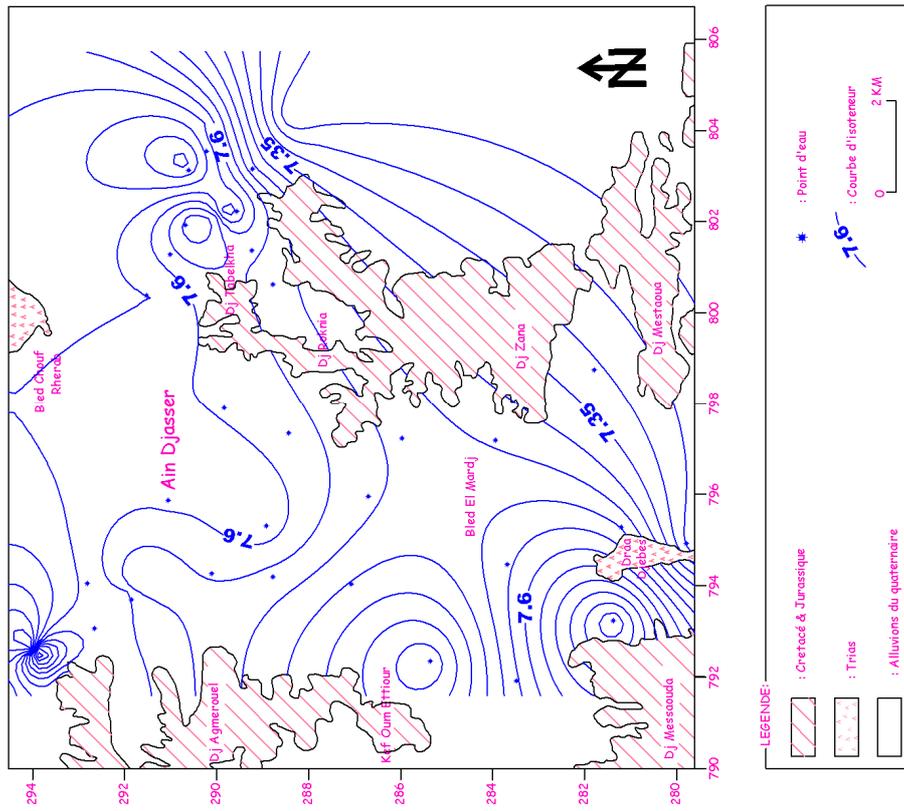


Figure 6.6: Carte de pH
(Juillet 2007)

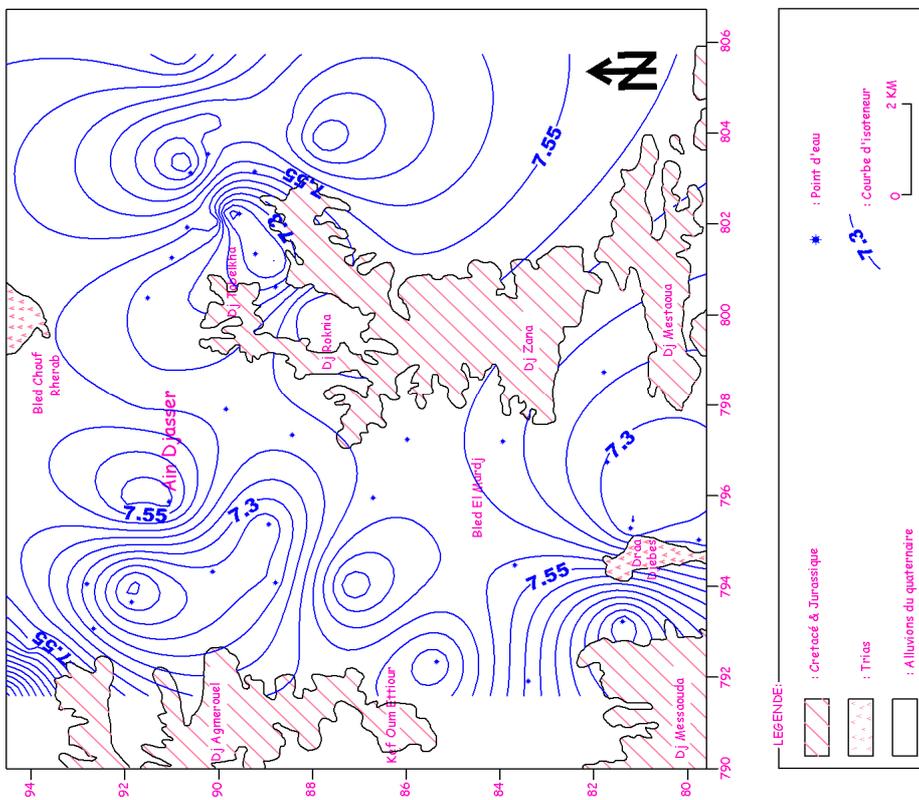


Figure 6.7: Carte de pH
(Février 2008)

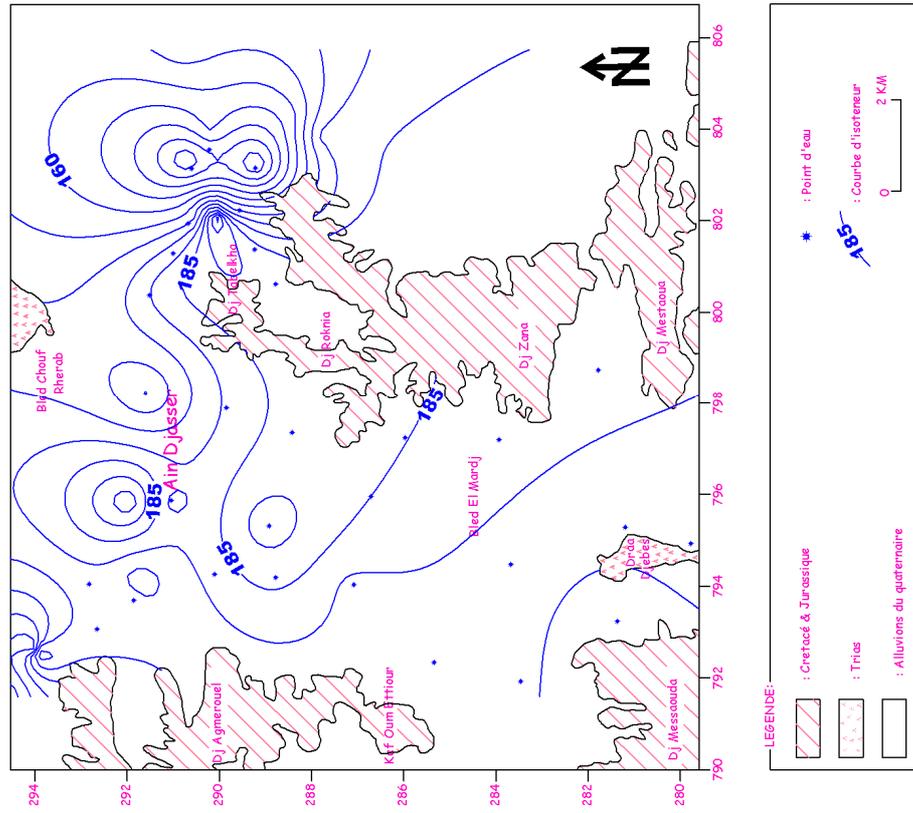


Figure 6.8 : Carte de Eh (mv)
(Juillet 2007)

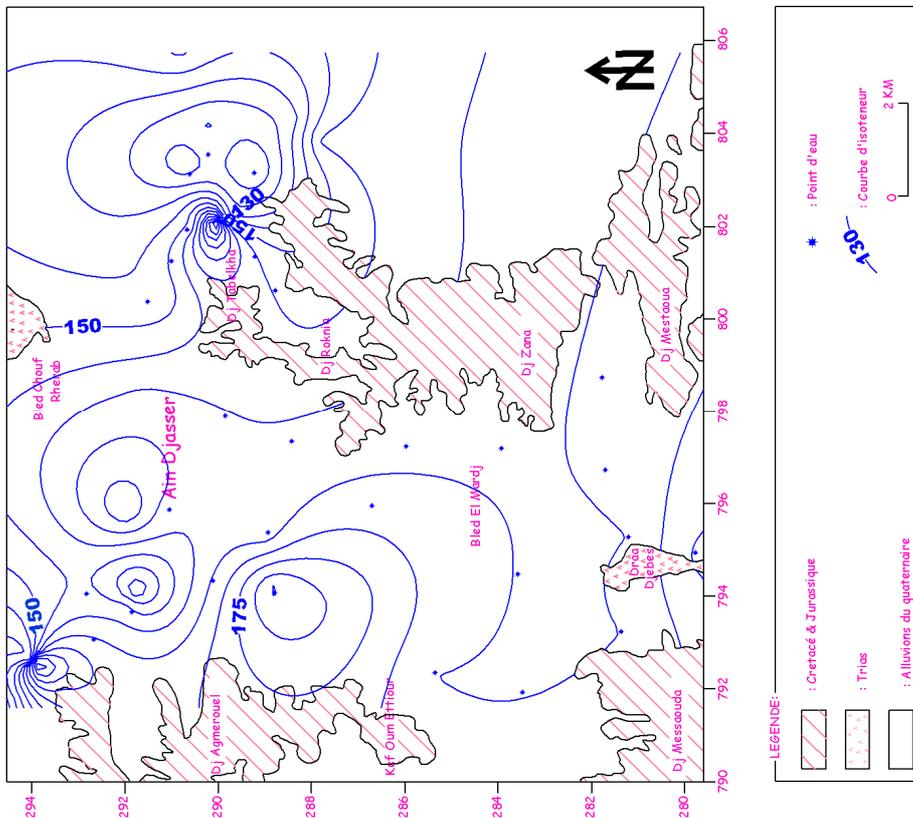


Figure 6.9 : Carte de Eh (mv)
(Février 2008)

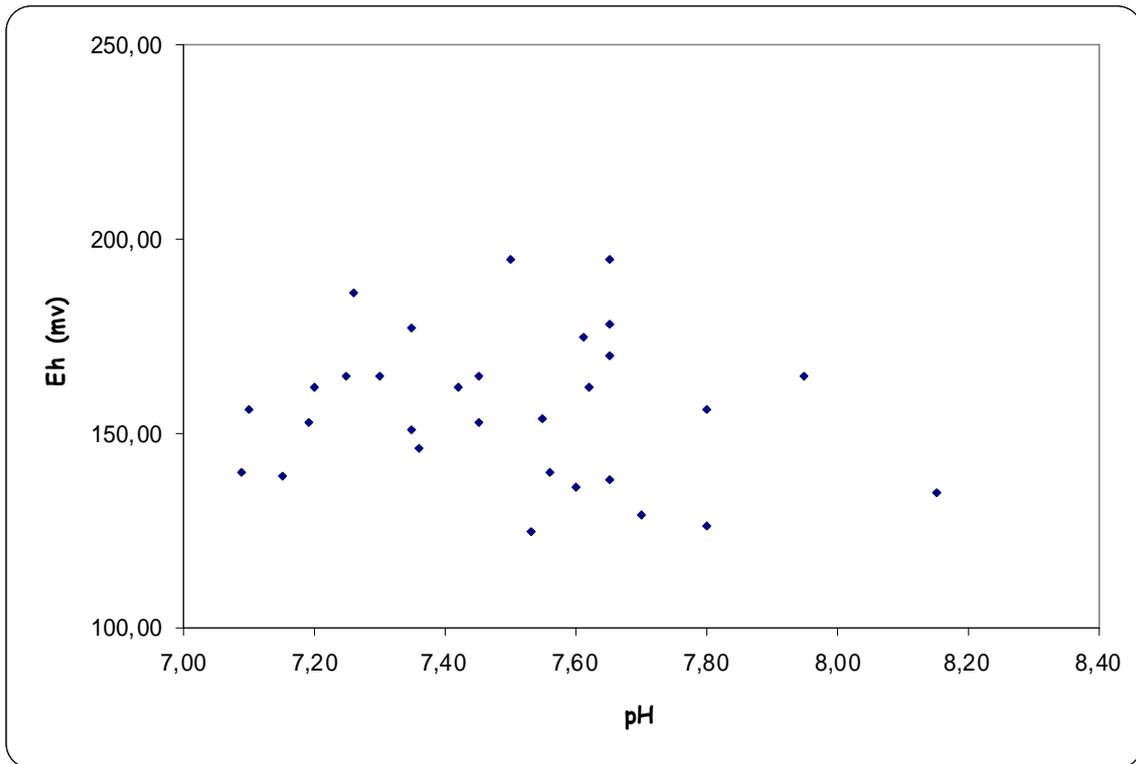


Figure 6.10 : Diagramme de Eh en fonction du pH (Juillet 2007)

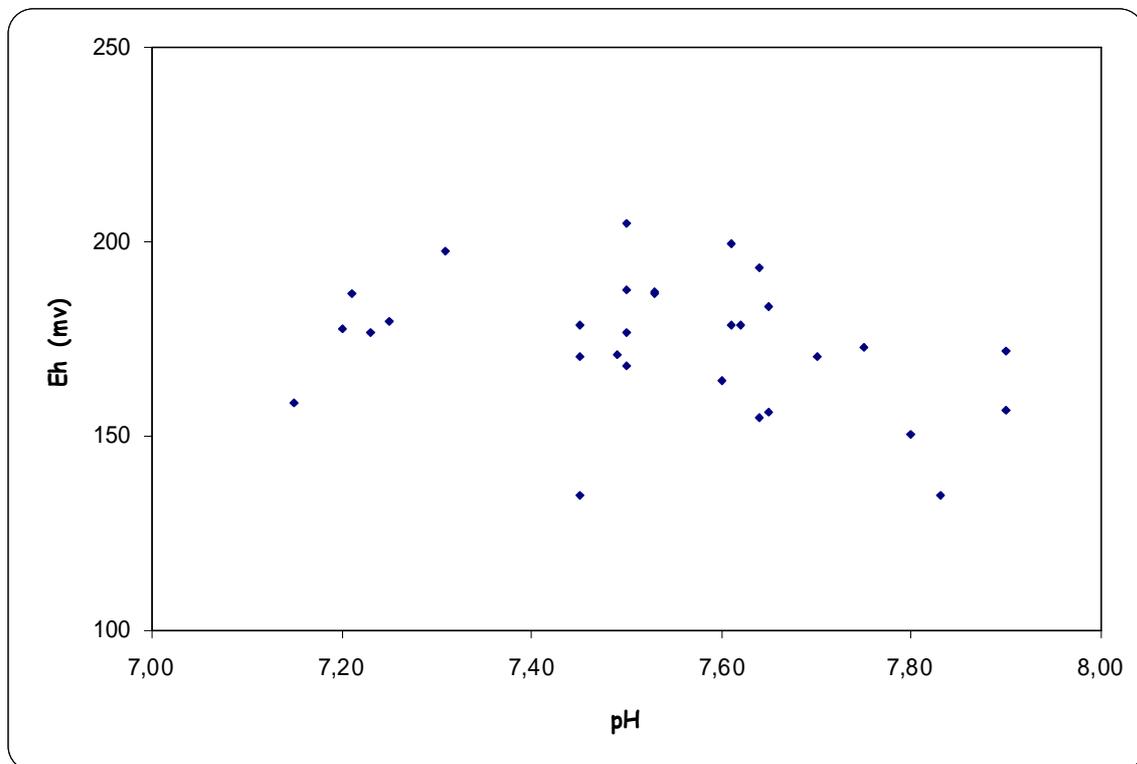


Figure 6.11 : Diagramme de Eh en fonction du pH (Février 2008)

4.3.2. Etude analytique des éléments chimiques :

4.3.2.1. Les éléments majeurs :

4.3.2.1.1. Le calcium Ca^{2+} :

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : soit à la dissolution des formations carbonatées (Ca CO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (Ca SO_4).

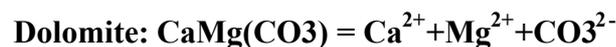


Les résultats de mesure obtenus au laboratoire montrent que la plupart des points d'eau de la plaine présentent des concentrations supérieures à la norme de potabilité des eaux (100mg/l), à l'exception de quelques points où les concentrations sont plus faibles, ce qui indique que ces eaux sont moins influencées par la dissolution des formations carbonatées et gypseuses. (Figure 6.12 et 6.13).

On assiste selon la répartition spatiale à une concentration dans le sens d'écoulement.

4.3.2.1.2. Le magnésium Mg^{2+} :

Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomite).



L'évolution des teneurs est identique à celle du calcium, la comparaison des concentrations avec les normes de potabilité (50mg/l) montre qu'une grande partie des points d'eau possède des teneurs (supérieures) à la norme de potabilité (50mg/l). (Figures 6.14 et 6.15).

On assiste selon la répartition spatiale à une concentration dans le sens d'écoulement.

4.3.2.1.3. Les chlorures Cl^- et le sodium Na^+ :

L'origine de ces éléments est liée principalement à la dissolution des minéraux salifères.



Les résultats de mesure montre des teneurs variables (690mg/l) pour le sodium et (995mg/l) pour les chlorures), cela est du à la dissolution des formations évaporétiqes riches en halite.

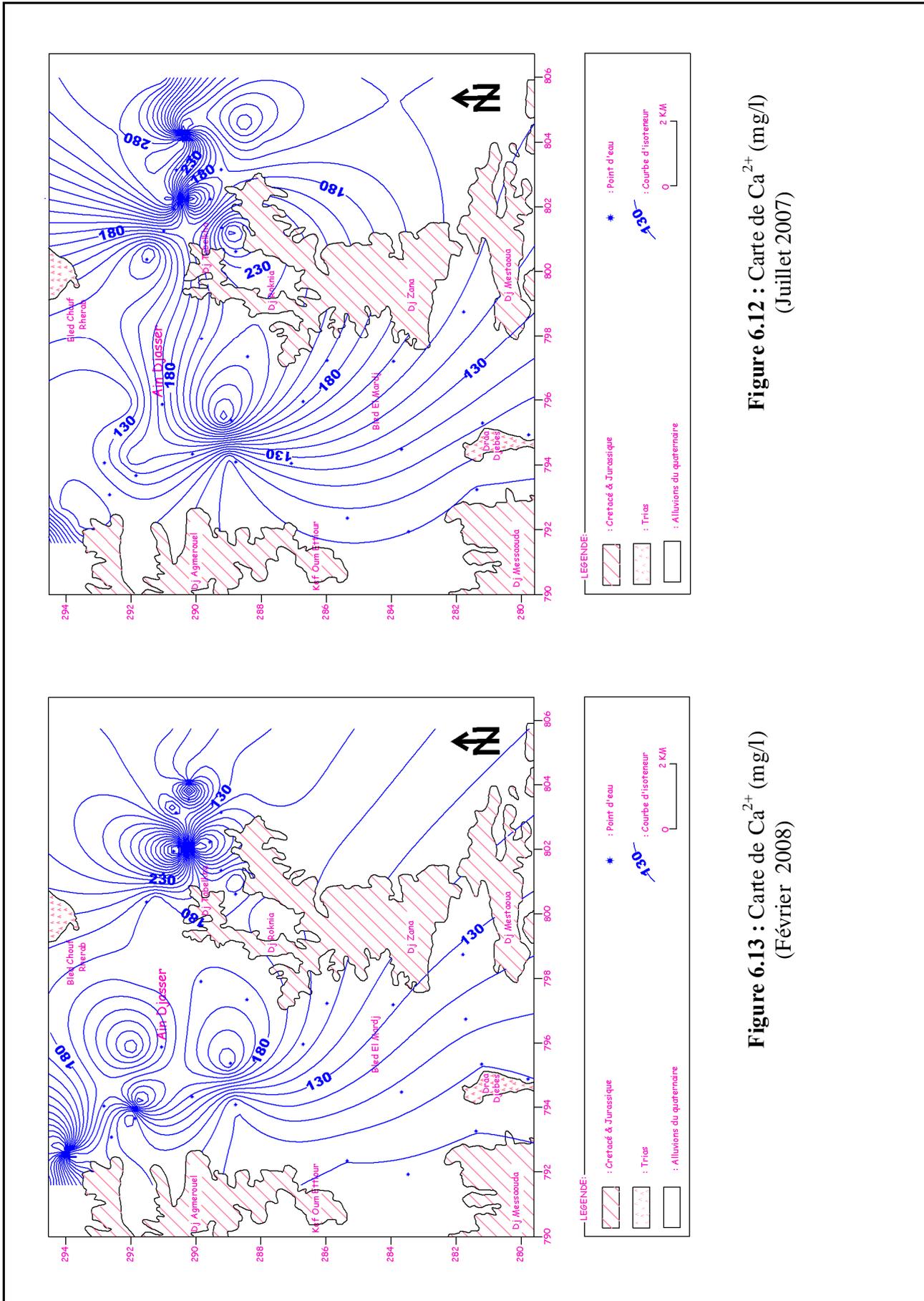


Figure 6.12 : Carte de Ca^{2+} (mg/l)
(Juillet 2007)

Figure 6.13 : Carte de Ca^{2+} (mg/l)
(Février 2008)

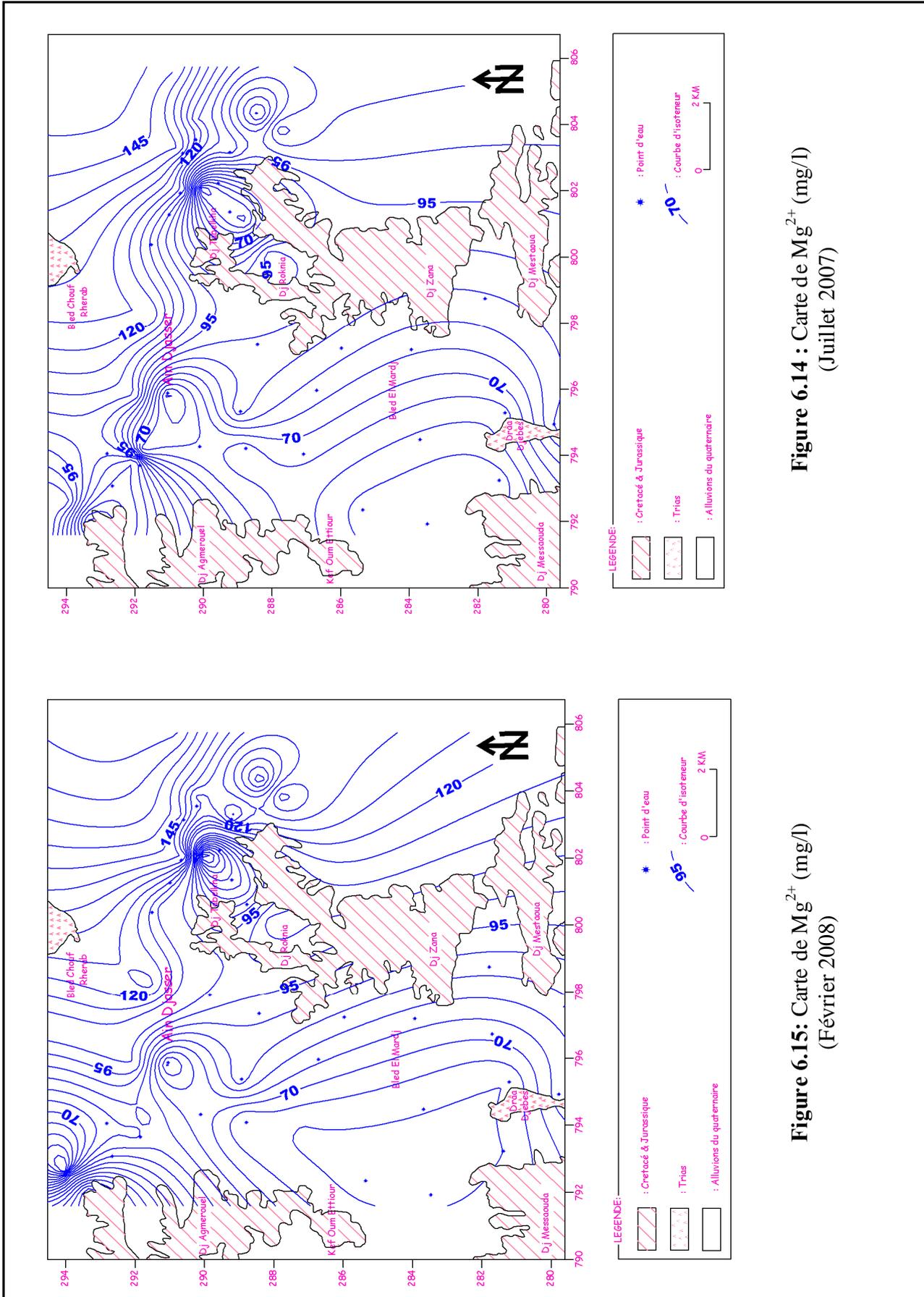


Figure 6.14 : Carte de Mg^{2+} (mg/l)
(Juillet 2007)

Figure 6.15: Carte de Mg^{2+} (mg/l)
(Février 2008)

Les teneurs en chlorures sont très corrélées avec celles du Sodium ($r = 0.7$), ce qui confirme l'origine salifère de ces deux éléments.

Les teneurs en chlorures présentent des valeurs importantes à celle du sodium, à cause des caractéristiques spéciales de cet élément qui ne rentre pas dans les phénomènes de précipitation chimiques, ne s'adsorbe pas par les formations géologiques et qui est très mobile.

Les teneurs du Sodium et du Chlorure présentent en général des valeurs supérieures aux normes de potabilité avec une moyenne qui varie entre 157.50 et 967.50mg/l pour les Chlorures et entre 92.50 et 665mg/l pour le Sodium. (Figures 6.16 et 6.17 pour Cl⁻ et Figures 6.18 et 6.19 pour Na⁺).

On assiste également au même phénomène de concentration selon le sens de l'écoulement que précédemment.

4.3.2.1.4. Le potassium K⁺ :

Le Potassium provient de l'altération des formations silicatées (Gneiss, Schiste), des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques.

Les résultats de mesure ont donnés des teneurs de l'ordre de 1 à 11mg/l qui sont inférieures à la limite de potabilité (12mg/l) (Figures 6.20 et 6.21).

4.3.2.1.5. Les sulfates SO₄²⁻ :

La présence des ions sulfatés dans l'eau est liée à la dissolution des formations gypseuses selon la relation précédente, les concentrations observées pour l'ensemble des points d'eau sont inférieures à la norme de potabilité (500mg/l pour les eaux souterraines), mais cela n'empêche pas d'avoir certains points qui ont des concentrations supérieures à la norme (ex : 685mg/l au niveau du point d'eau F13 (Figures 6.22 et 6.23)).

4.3.2.1.6. Les bicarbonates HCO₃⁻ :

Les bicarbonates résultent de la dissolution des roches calcaires ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable.

Les teneurs en bicarbonates observées pour l'ensemble des points d'eaux de la plaine varient entre 86 mg/l comme valeur minimale dans les eaux du point d'eau F10 et 342 mg/l comme valeur maximale dans les eaux du point d'eau F9 (Figures 6.24 et 6.25).

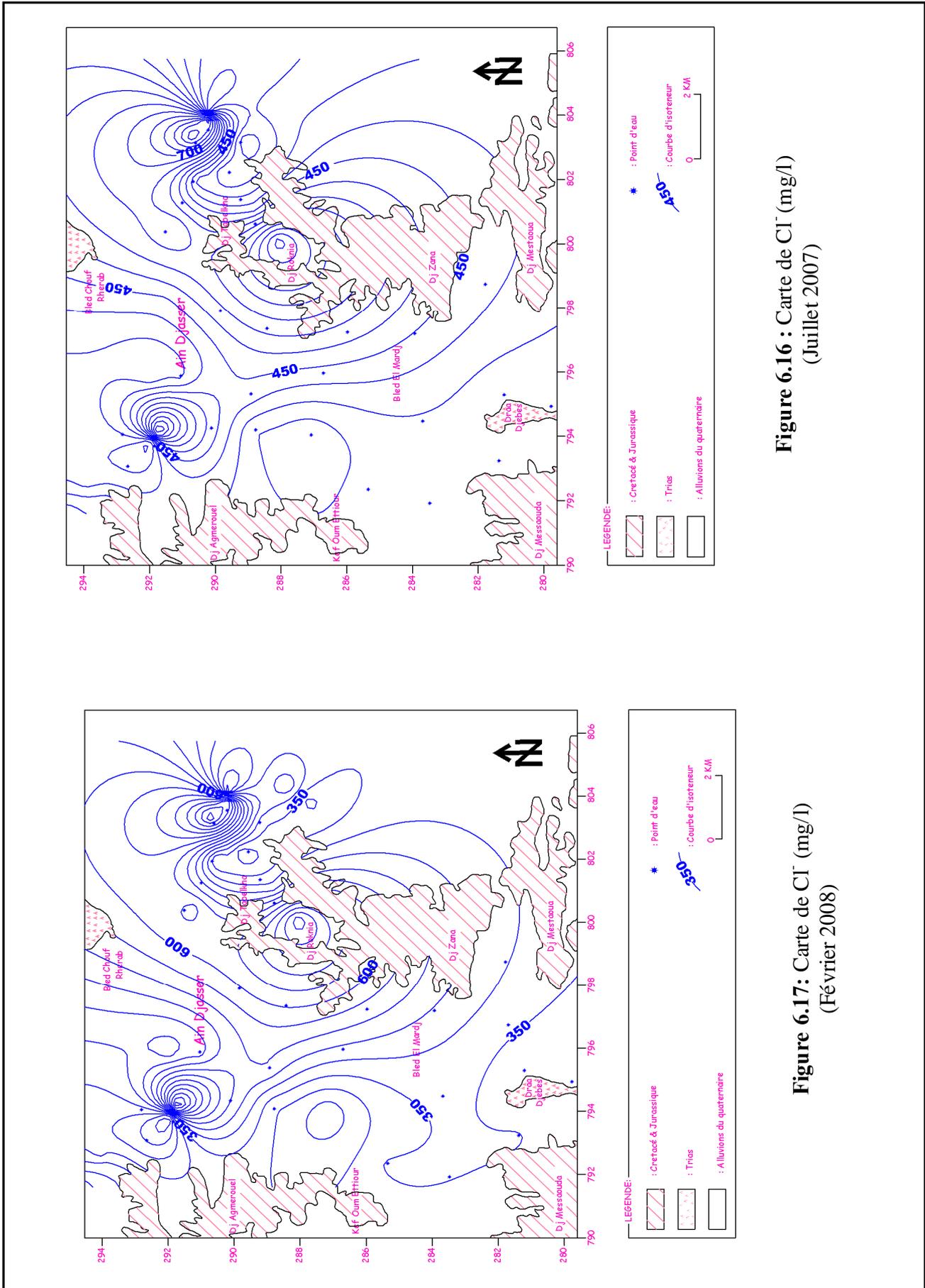


Figure 6.16 : Carte de Cl⁻ (mg/l)
(Juillet 2007)

Figure 6.17: Carte de Cl⁻ (mg/l)
(Février 2008)

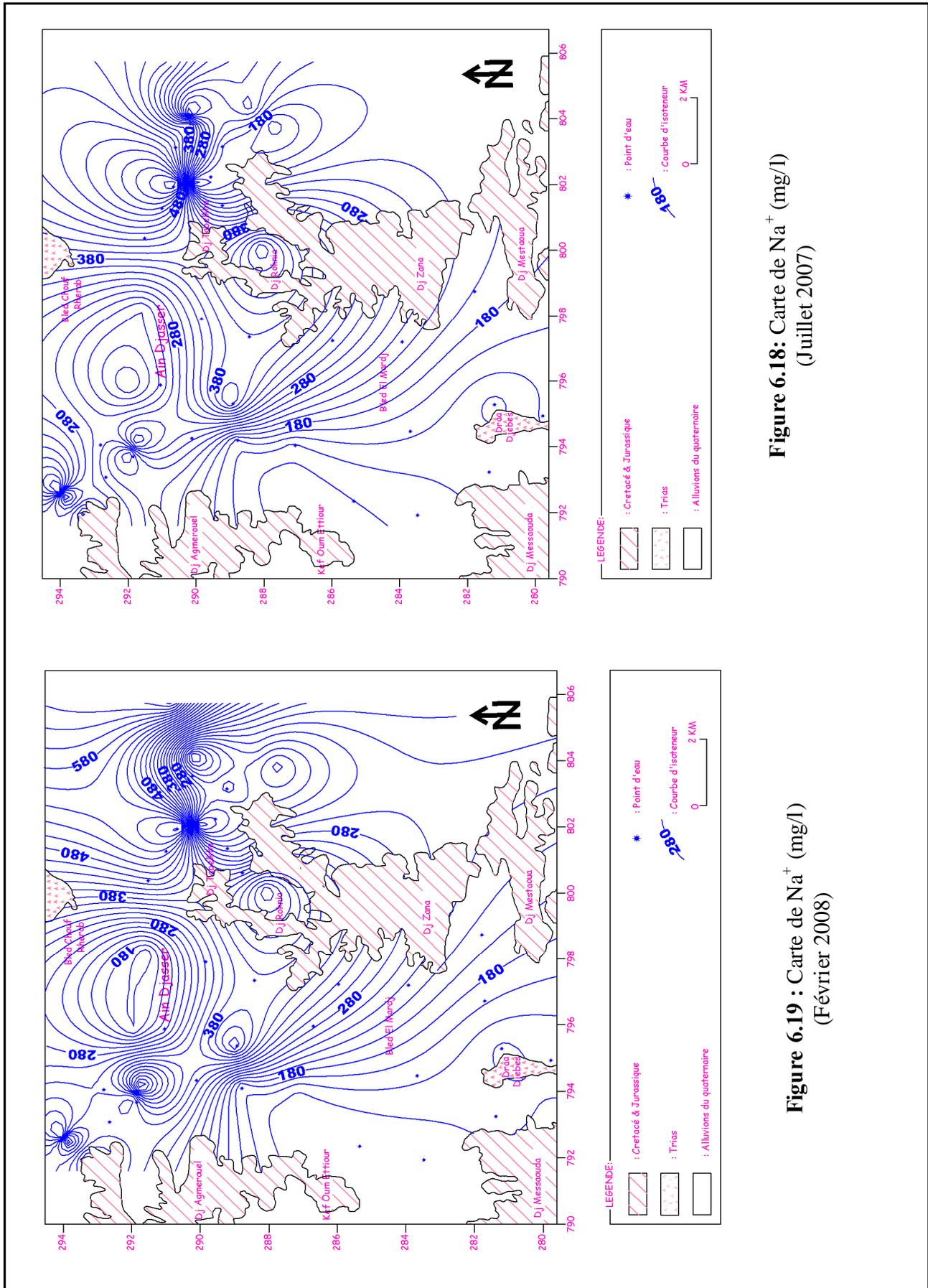
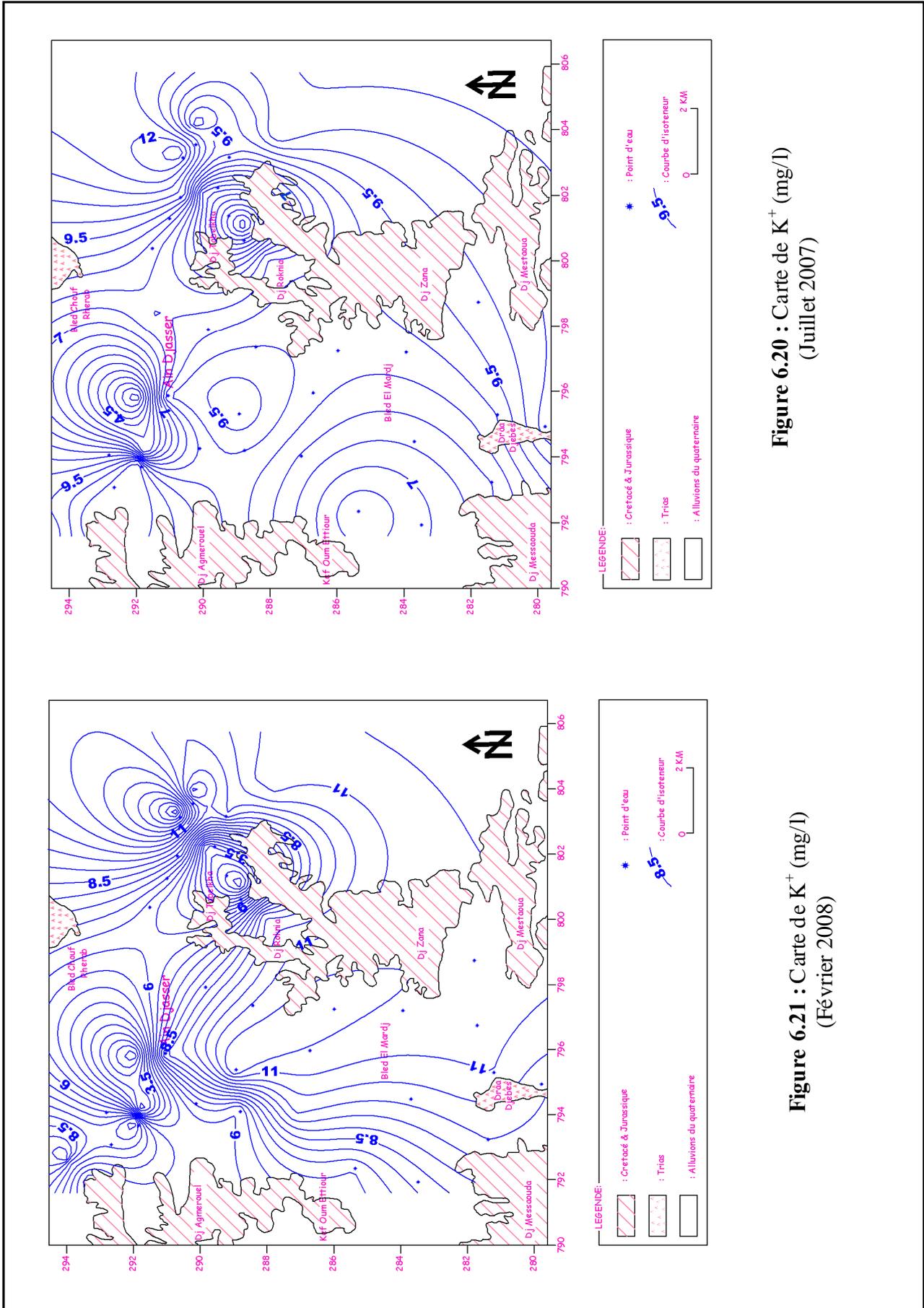
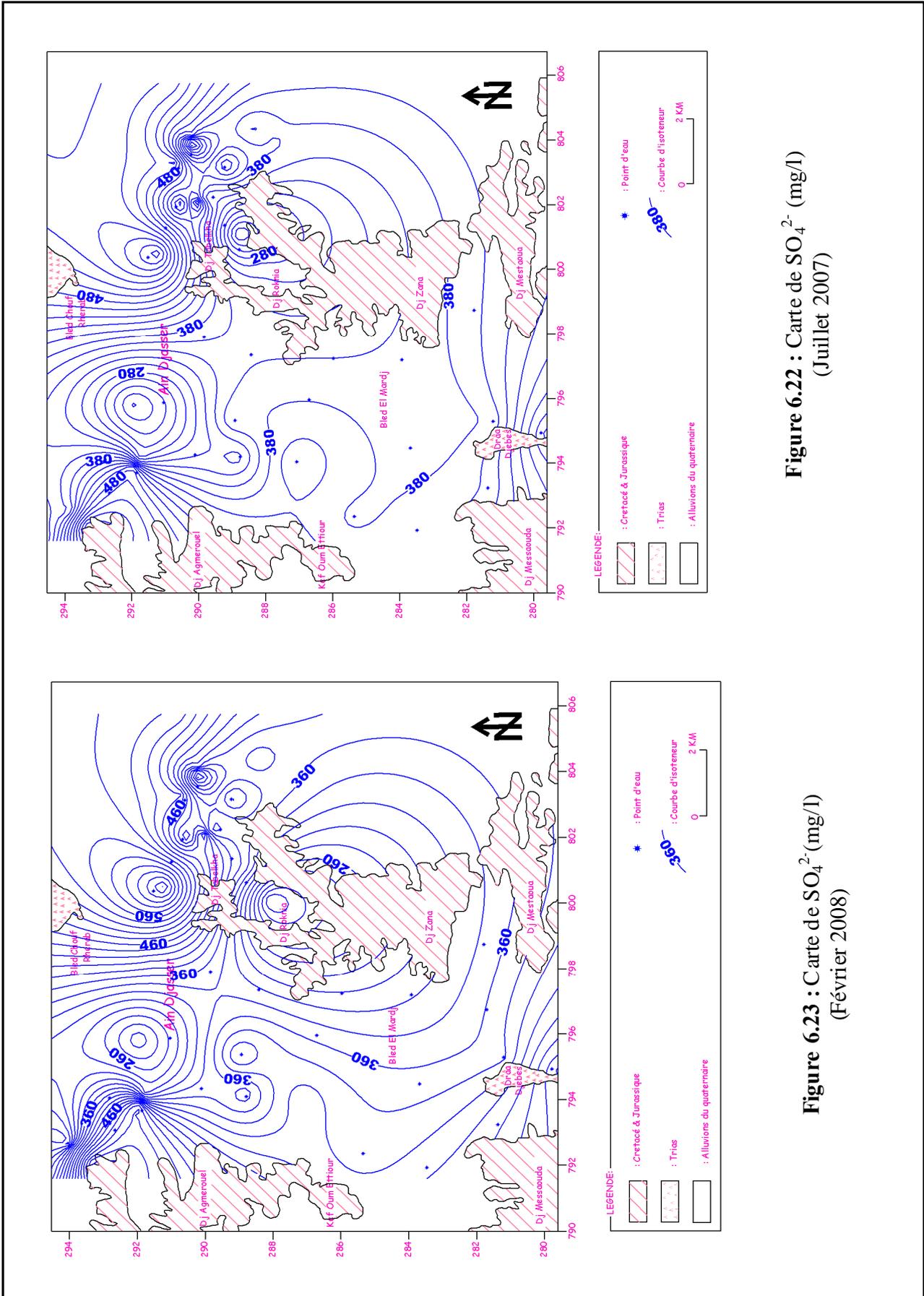


Figure 6.18 : Carte de Na^+ (mg/l)
(Juillet 2007)

Figure 6.19 : Carte de Na^+ (mg/l)
(Février 2008)





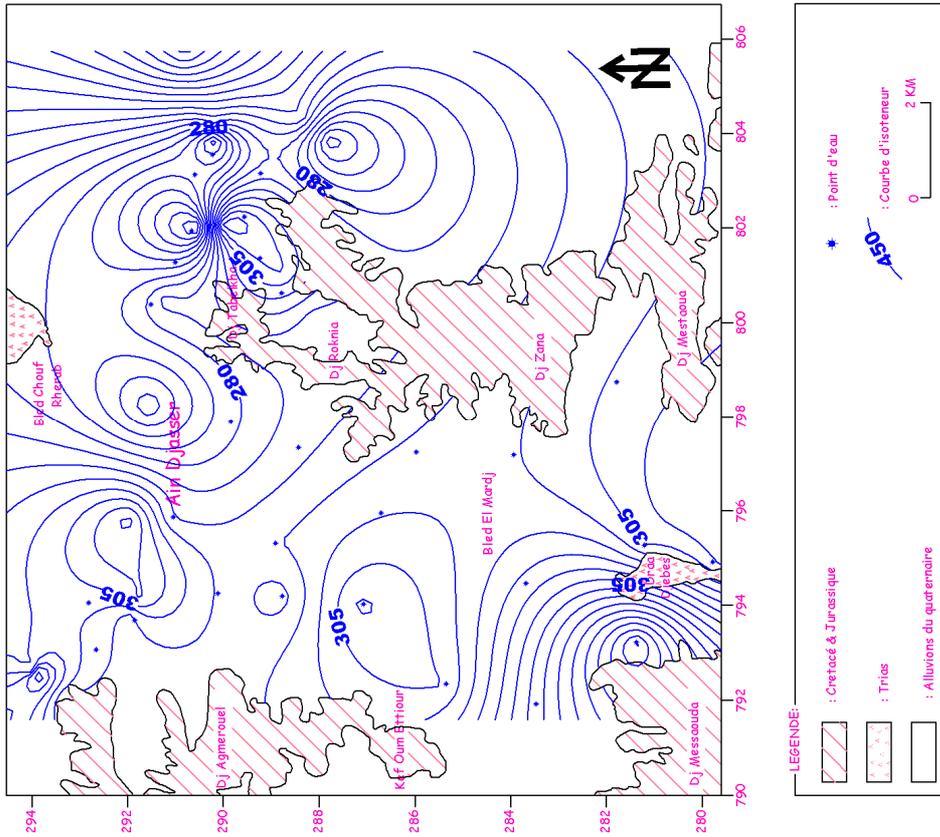


Figure 6.24 : Carte de HCO_3^- (mg/l)
(Juillet 2007)

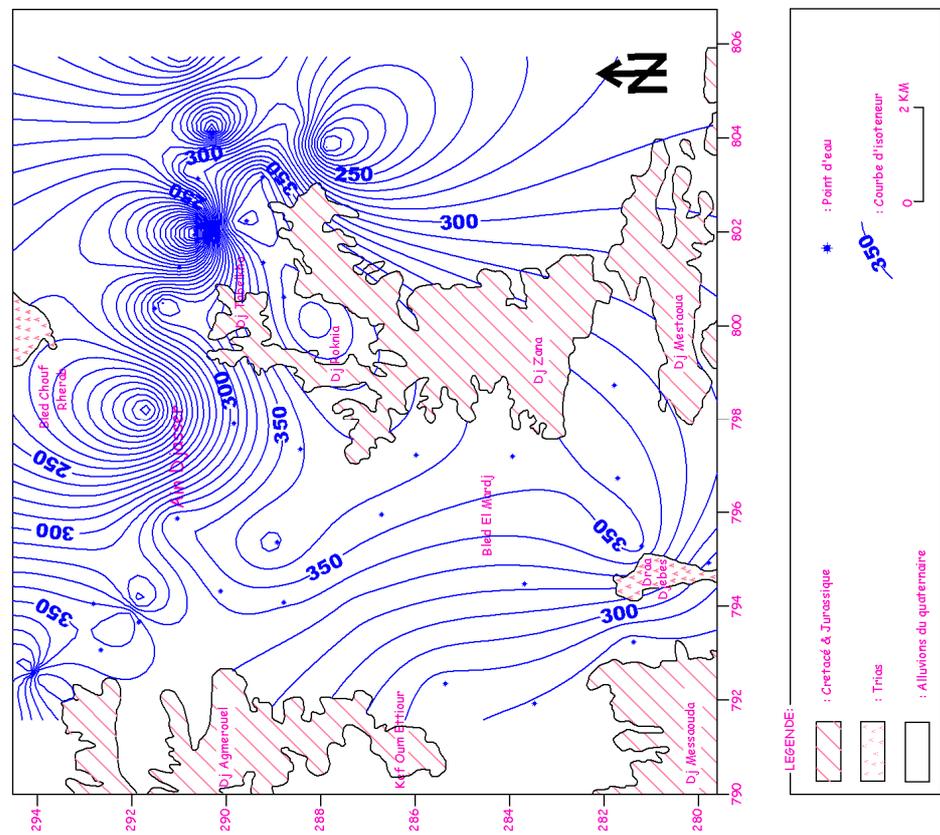


Figure 6.25 : Carte de HCO_3^- (mg/l)
(Février 2008)

4.3.2.2. Le cycle de l'azote :

L'azote est présent au niveau de la plaine sous trois formes chimiques (nitrates, nitrite et l'ammonium).

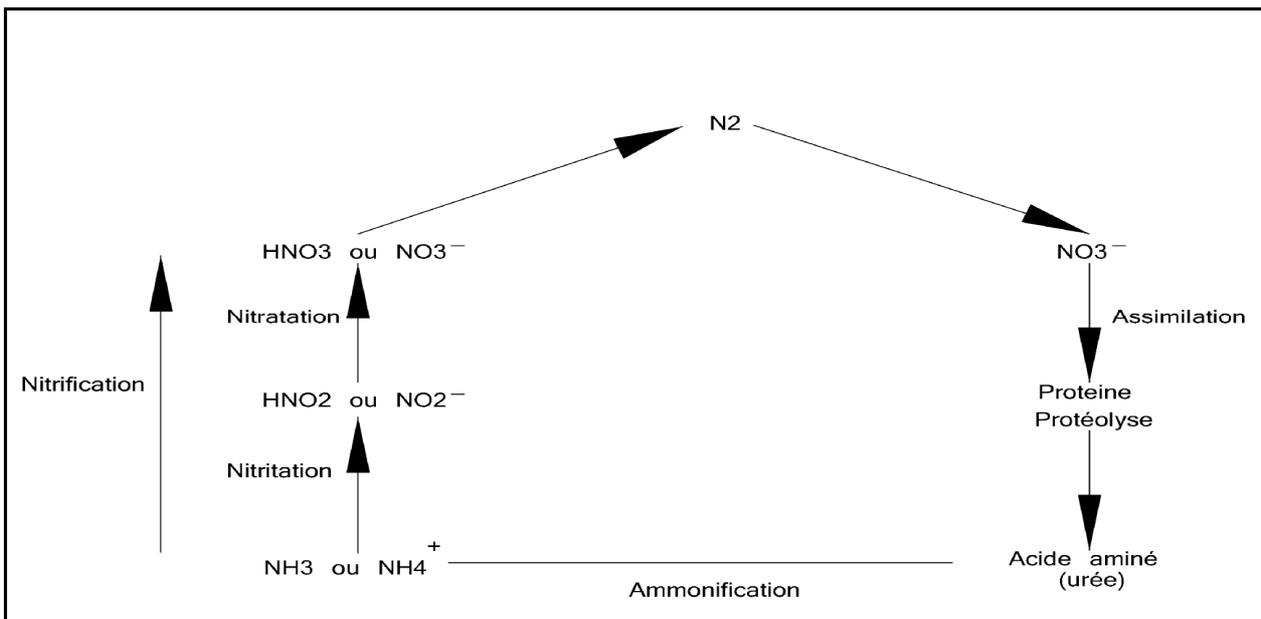
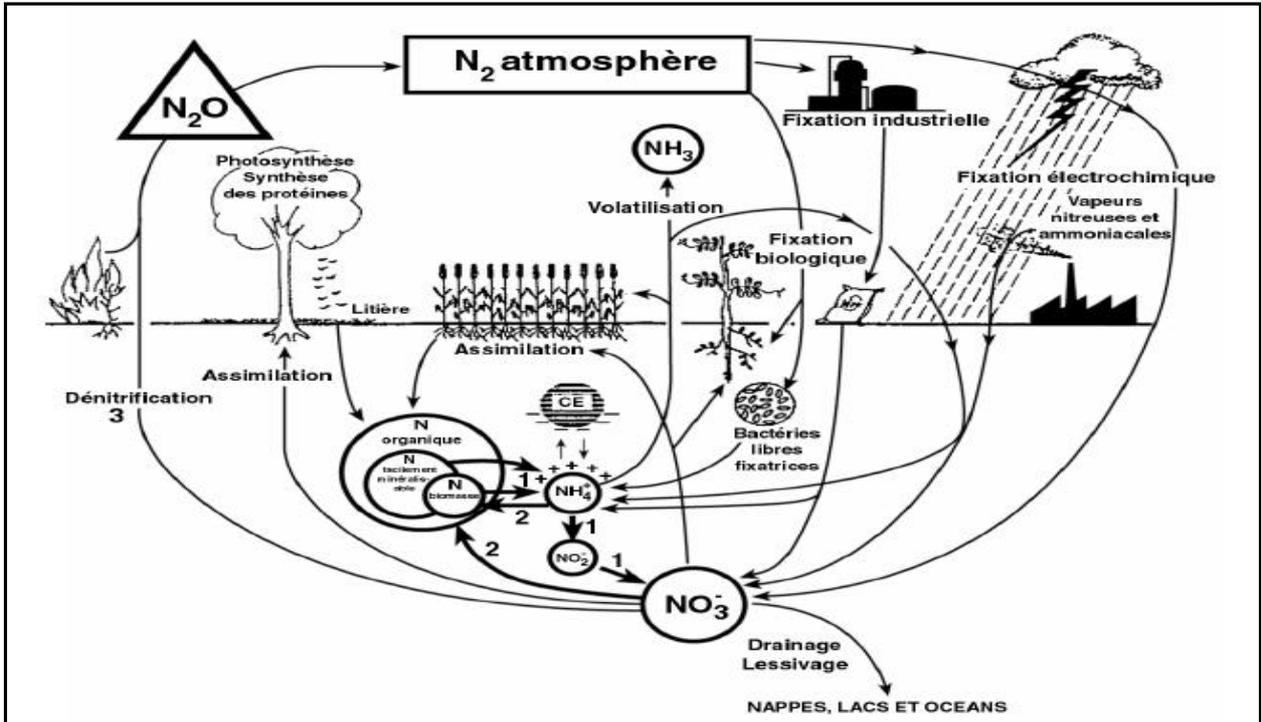


Figure 6.26 : Cycle de l'azote

Le transfert naturel de l'azote dans les eaux se fait selon les conditions d'oxydoréduction et les réactions biologiques montrées selon la figure 6.26.

Le transfert de la forme ammonium vers les nitrites et les nitrates se fait par oxydation, cette réaction est rapide en présence de l'oxygène. La forte teneur en CO₂ et la faible teneur en oxygène accroissent la concentration en ammonium dans l'eau.

4.3.2.2.1. Les nitrates NO₃⁻ :

Ils représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques, les teneurs maximales sont observées au niveau du point F15 (125mg/l) qui est supérieure à la norme de potabilité (50mg/l) (Figures 6.27 et 6.28), là où on a une activité intense de l'agriculture.

4.3.2.2.2. Les nitrites ou Azote nitreux NO₂⁻ :

Il représente une forme moins oxygénée et moins stable, elle représente la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. C'est une forme toxique, les teneurs observées varient entre 0 et 0.001mg/l. cette forme est liée à la réduction de la forme des nitrates, elles sont inférieures à la norme (0.1mg/l).

4.3.2.2.3. L'ammonium NH₄⁺ :

C'est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains, soit par réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites.

Les concentrations observées sont dans l'ensemble inférieures à la norme de potabilité qui est de 0.25 mg/l pour les eaux souterraines.

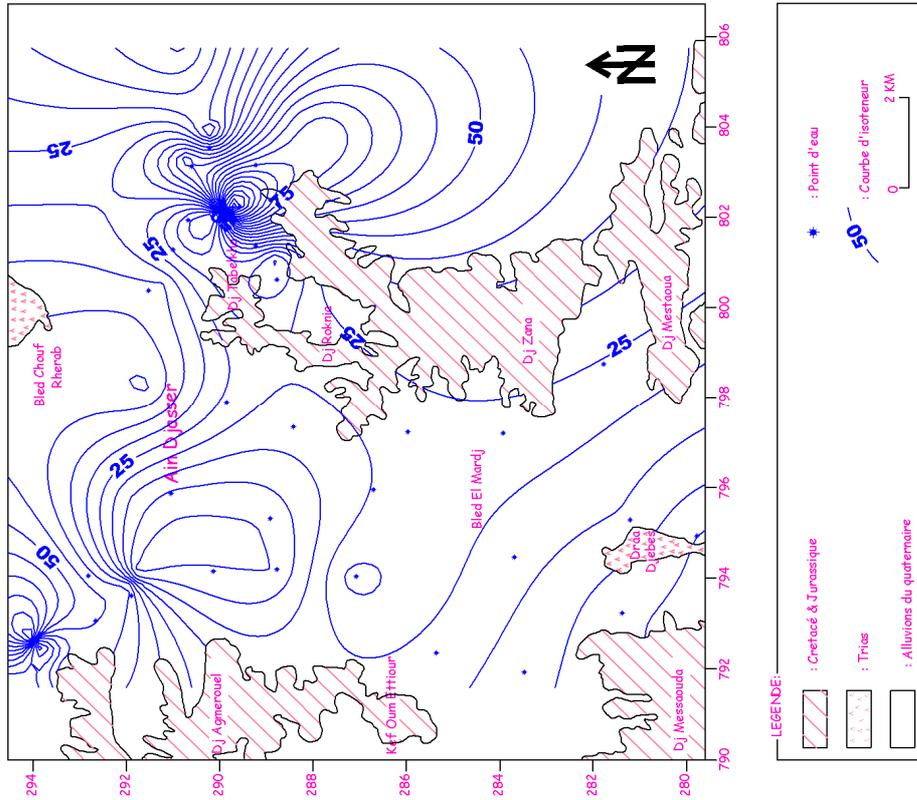


Figure 6.27 : Carte de NO_3^- (mg/l)
(Juillet 2007)

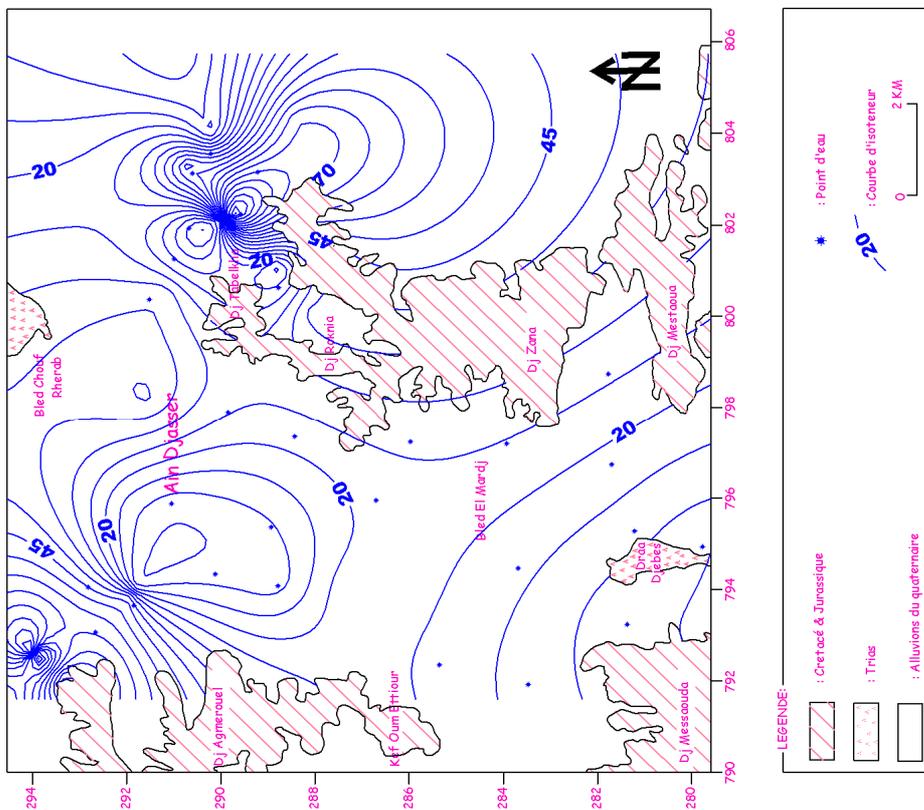


Figure 6.28 : Carte de NO_3^- (mg/l)
(Février 2008)

4.3.3- Etude des rapports caractéristiques et origine des éléments dominants :

Le rapport caractéristique est le rapport de certain élément chimique exprime en milli équivalent par litre (méq/l), ce paramètre donne une indication sur la zone d'alimentation, et la circulation des eaux souterraines.

4.3.3.1- Rapports caractéristiques :

4.3.3.1.1- Rapport $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$:

Le rapport $r \text{Mg}^{2+}/r \text{Ca}^{2+}$ est inférieur à 1 pour l'ensemble des points situés dans la partie centrale de la plaine pour les deux périodes ce qui traduit une année d'eau très riche en Calcium. Les valeurs supérieures à 1 sont observées au Nord et à l'Est de la plaine pour les deux périodes, ce qui explique la dissolution rapide des dolomies par rapport aux calcaires (Figures 6.29 et 6.30)

4.3.3.1.2- Rapport $r \text{SO}_4^{2-}/r \text{Cl}^-$:

L'examen des cartes de ce rapport, montre que les valeurs du rapport sont inférieures à 1 pour l'ensemble des points pendant la campagne de Juillet 2007 traduisant un fort apport en chlorures, ce rapport est supérieur à 1 pour l'ensemble des points pour campagne de Février 2008 ce qui montre que les eaux sont plus sulfatées que chlorurées, à cause du lessivage des terrains riches en sulfates, en général des lentille de gypse (Figures 6.31 et 6.32).

4.3.3.1.3-Rapport $r \text{HCO}_3^-/r \text{SO}_4^{2-}$:

Les valeurs de ce rapport sont inférieures à 1 pour l'ensemble des points de mesure pour la campagne de Juillet 2007. Suite au lessivage des formations gypseuses et salifères et au engrais à base de sulfates utilisés pour l'agriculture. Par contre pour la campagne de Février 2008, les valeurs supérieures à 1 sont situées dans la partie centrale ainsi que quelques points situées au Nord-ouest de la plaine ce qui traduit une prédominance des bicarbonates (Figures 6.33 et 6.34).

4.3.3.1.4- Rapport $r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)/r (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$:

Le rapport des alcalins sur alcalino-terreux montre que les valeurs sont toujours inférieures à 1 pour les deux périodes à l'exception de quelques points, ceci est due à la prédominance des alcalino-terreux et essentiellement le pôle calcique (Figures 6.35 et 6.36).

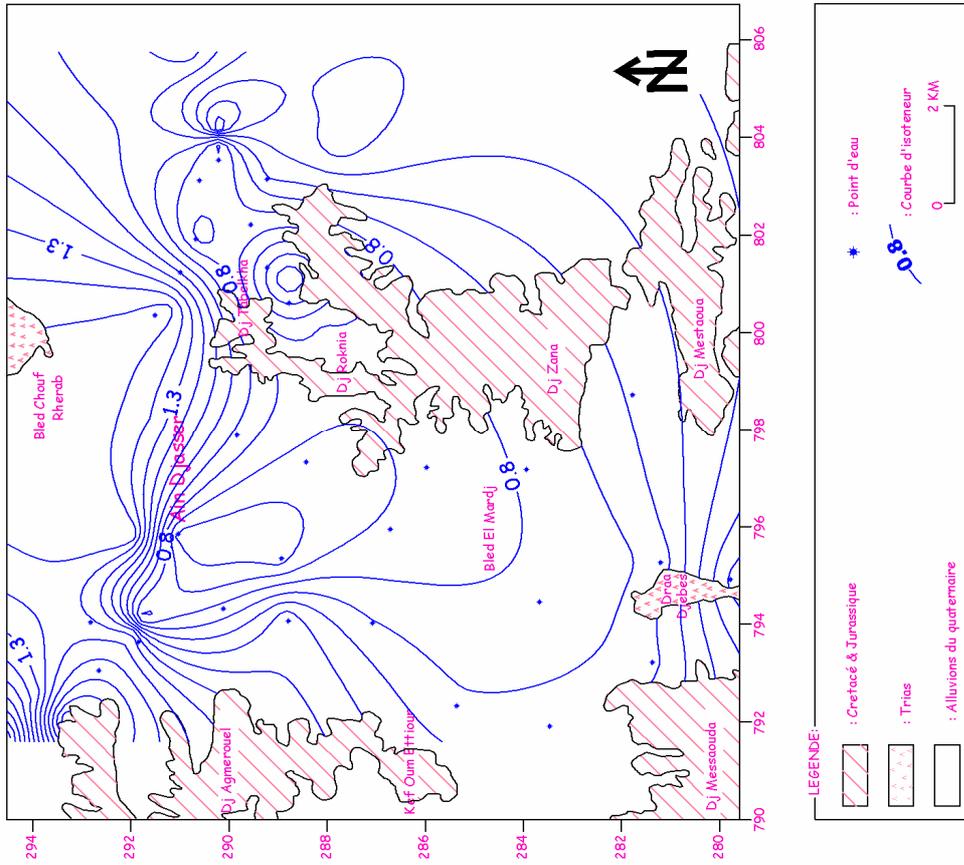


Figure 6.29 : Carte de rapport rMg^{2+}/rCa^{2+}
(Juillet 2007)

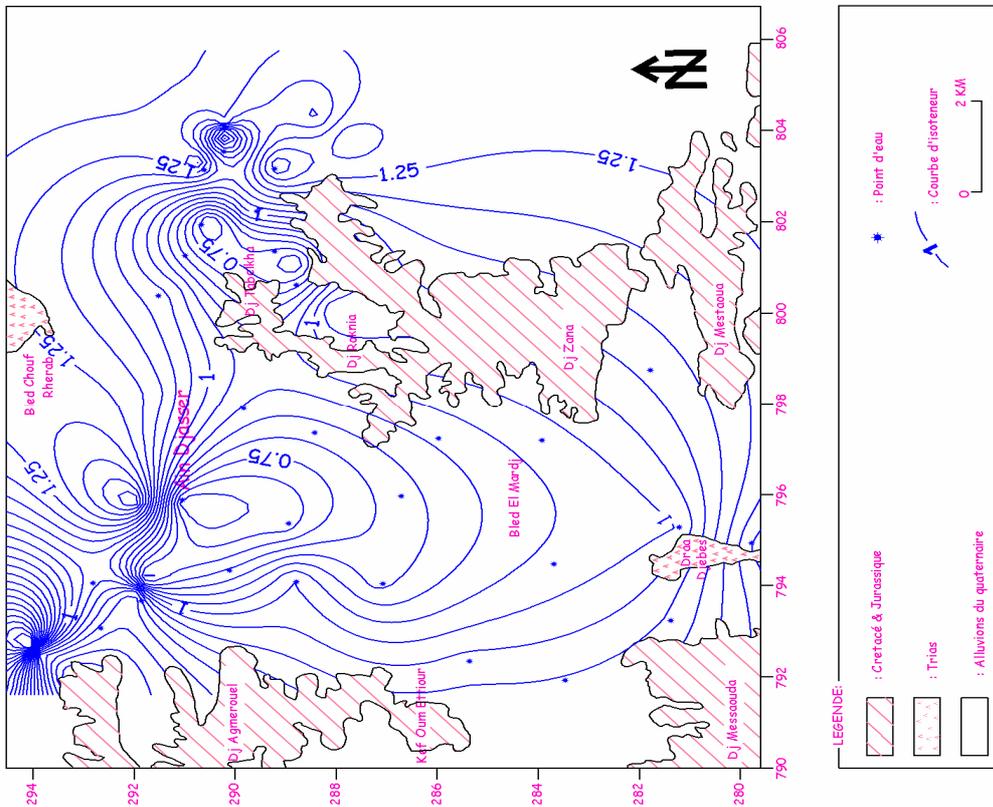


Figure 6.30 : Carte de rapport rMg^{2+}/rCa^{2+}
(Février 2008)

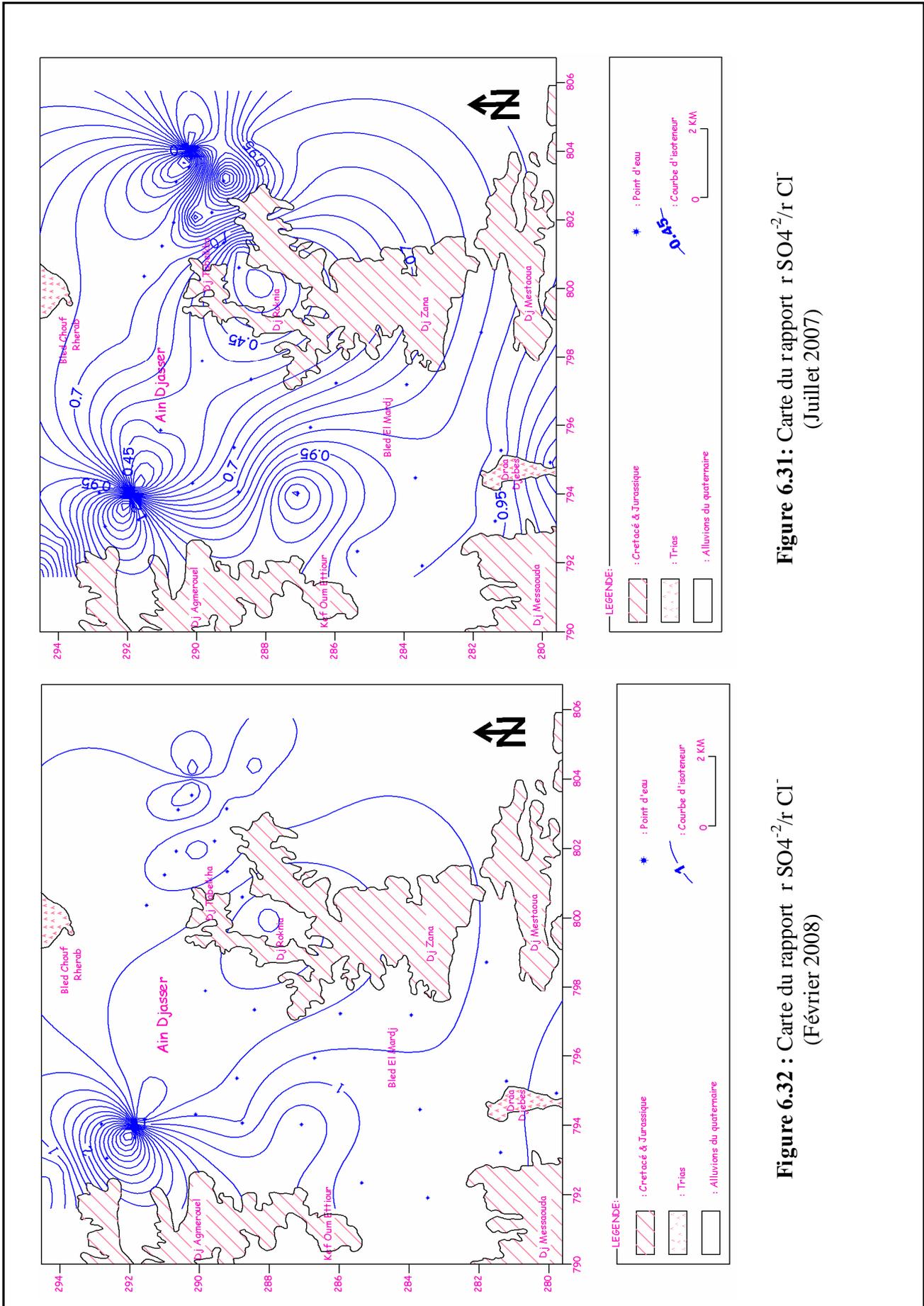
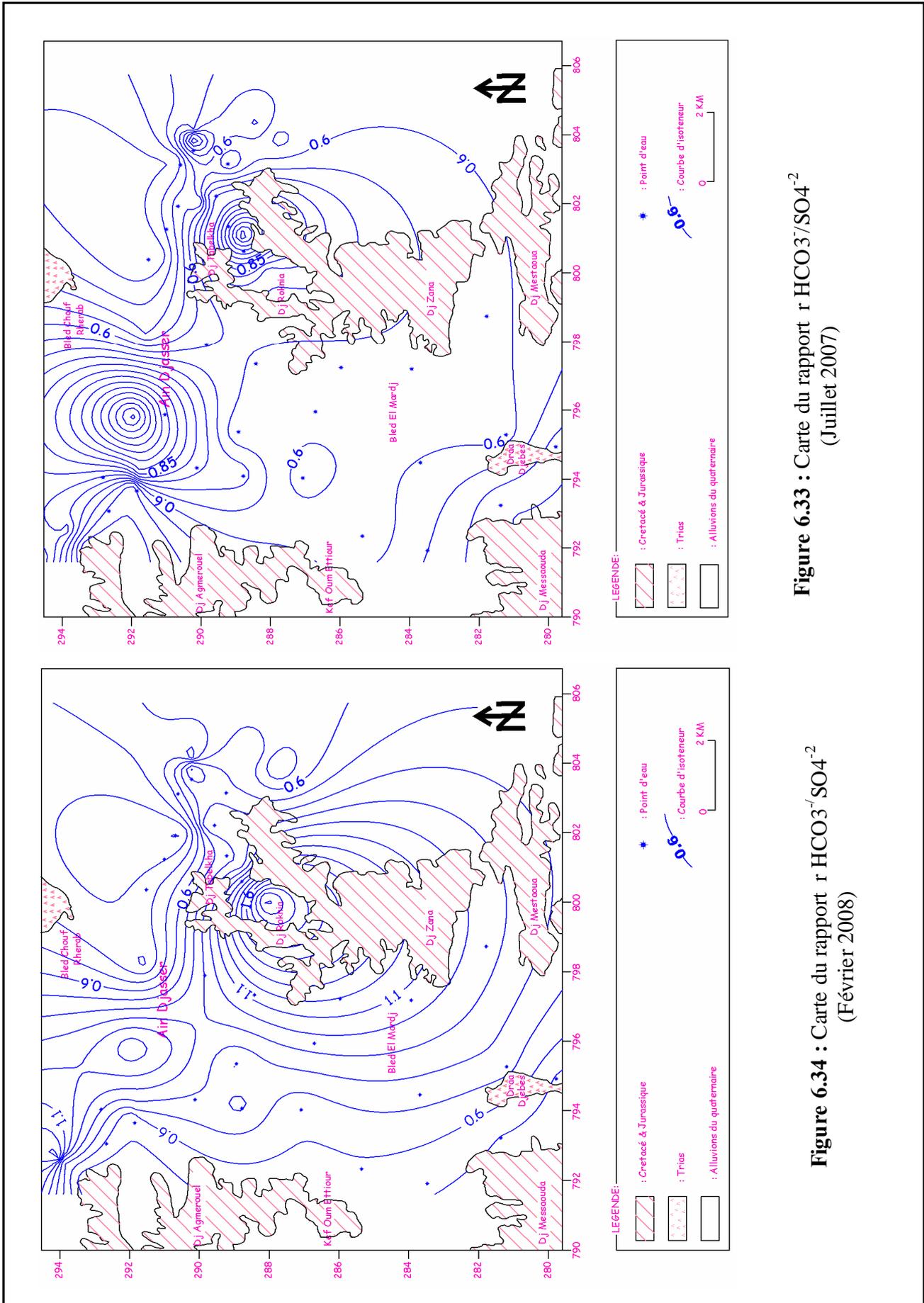
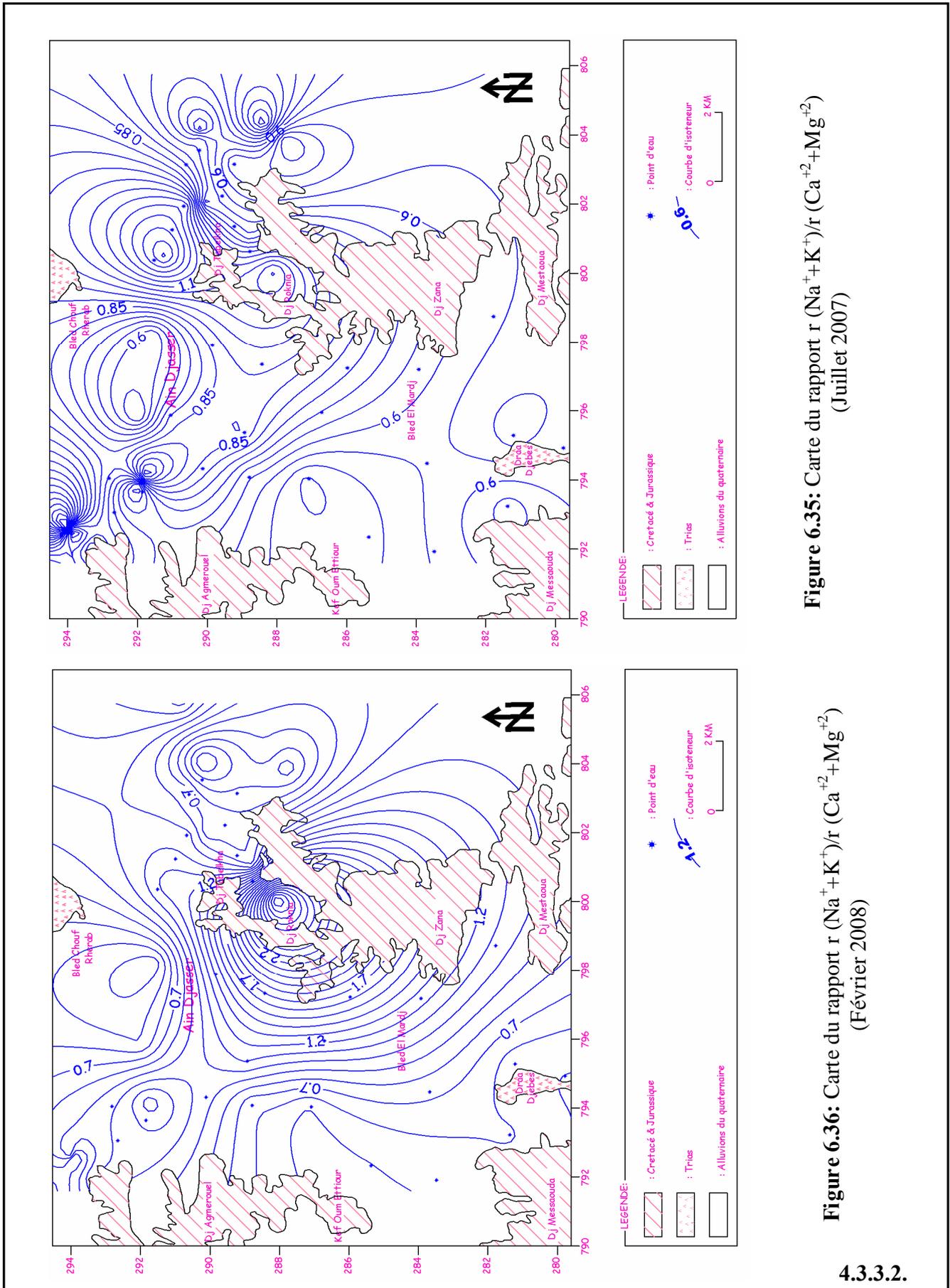


Figure 6.31 : Carte du rapport $r SO_4^{2-}/r Cl^-$
(Juillet 2007)

Figure 6.32 : Carte du rapport $r SO_4^{2-}/r Cl^-$
(Février 2008)





4.3.3.2.

Origine des éléments dominants :

4.3.3.2.1. Origine des éléments Na^+ et Cl^- :

Pour avoir une idée sur les éléments dominants, nous avons fait une représentation graphique sur échelle arithmétique avec en abscisse la teneur en milliéquivalent des chlorures et en ordonnée celle du sodium.

L'examen des deux figures (6.37 et 6.38), permet de remarquer que la majorité des points d'eau (77%) se trouvent en dessus de la droite d'une pente égale à 1, dans ce cas c'est le sodium qui l'emporte sur les chlorures à cause d'un excès de dissolution de cet élément.

4.3.3.2.2. Origine des éléments Na^+ et SO_4^{2-} :

Les figures (6.39 et 6.40), montrent que 63% des points d'eau se trouvent au-dessus de la droite d'une pente égale à 1. C'est-à-dire que les sulfates qui l'emporte sur le sodium à cause d'un excès de la dissolution de celle-ci.

4.3.3.2.3. Origine des éléments Ca^{+2} et SO_4^{2-} :

L'examen des figures (6.41 et 6.42), montre qu'il y a un équilibre entre le calcium et les sulfates par rapport à la droite d'une pente égale à 1. Ils peuvent avoir la même origine.

4.3.3.2.4. Origine du calcium :

Le faciès calcique a été étudié à l'aide de deux diagrammes à cause de sa double origine (carbonaté et évaporitique).

La mise en examen du calcium avec les bicarbonates montre qu'on a un excès du calcium par rapport à ces derniers. Donc l'origine du calcium ne peut pas être carbonatée (Figures 6.43 et 6.44).

4.3.3.2.5. Origine de la salinité :

L'examen du diagramme conductivité électrique- $\text{HCO}_3^- / (\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-})$, permet de remarquer que tous les points d'eau de la zone d'étude convergent vers le pôle évaporitique (Figures 6.45 et 6.46), cela se traduit par la dominance des ions Cl^- et SO_4^{2-} par rapport aux ions HCO_3^- à partir d'une conductivité électrique de l'eau de l'ordre de $1700\mu\text{s/cm}$.

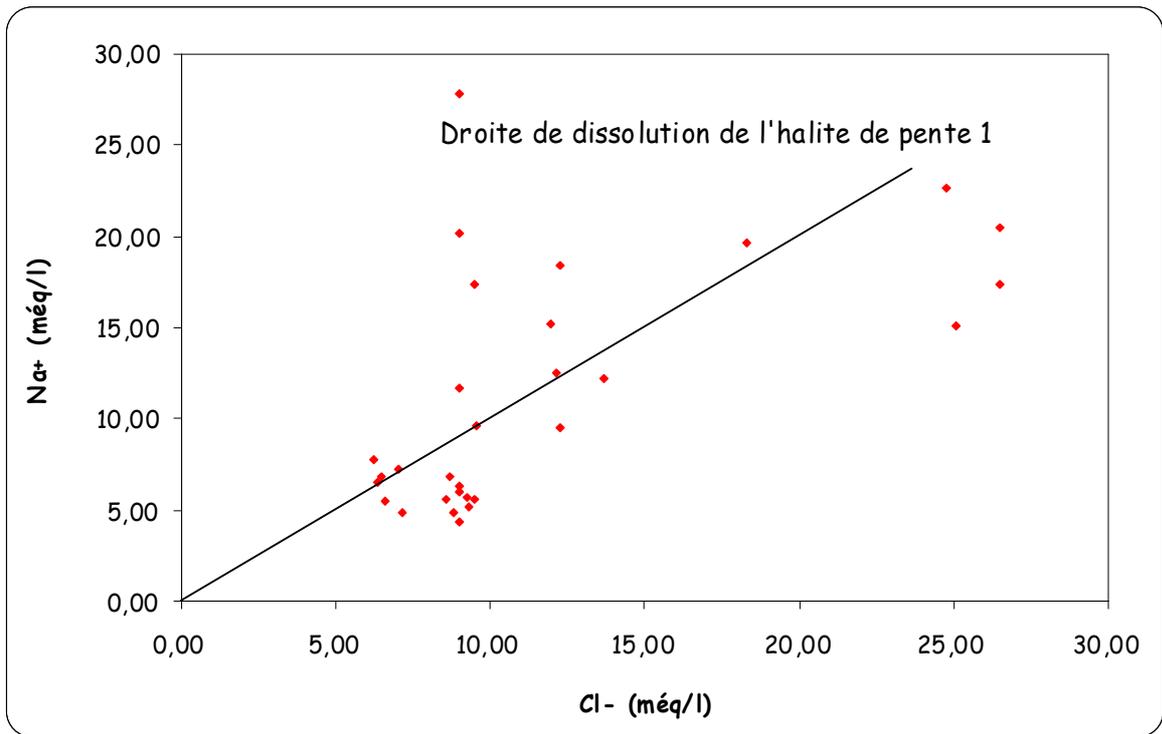


Figure 6.37: Origine des éléments Na⁺ et Cl⁻ (juillet 2007)

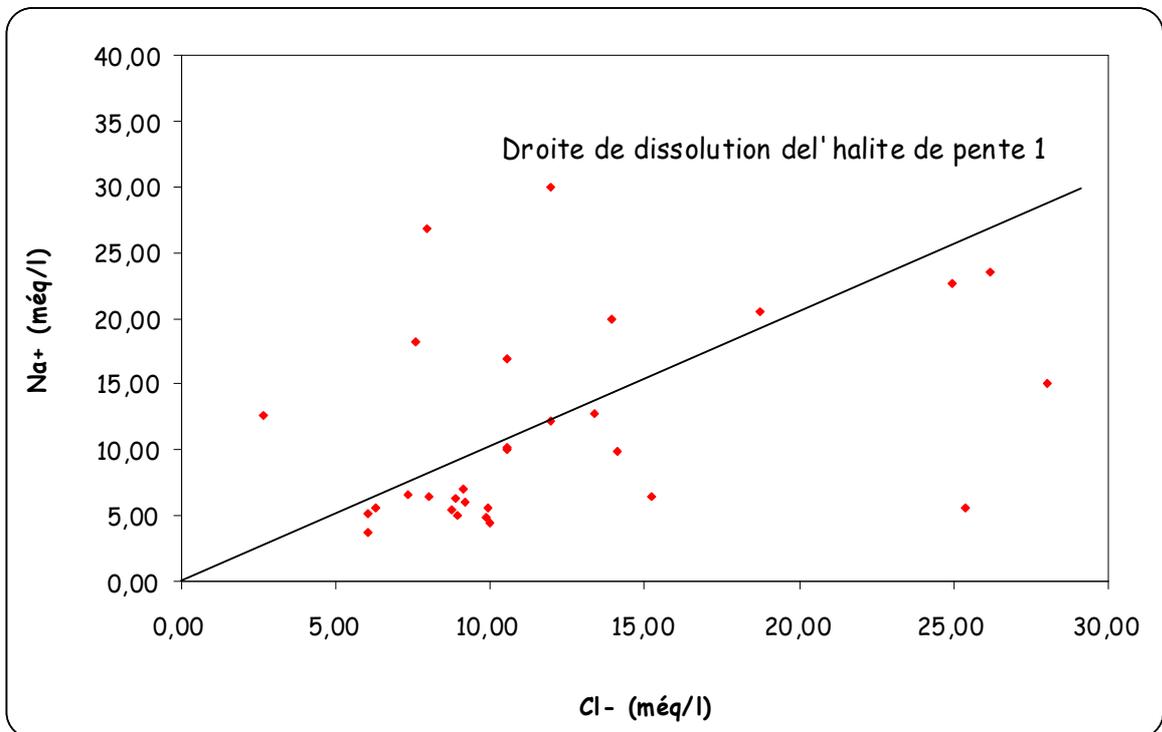


Figure 6.38: Origine des éléments Na⁺ et Cl⁻ (février 2008)

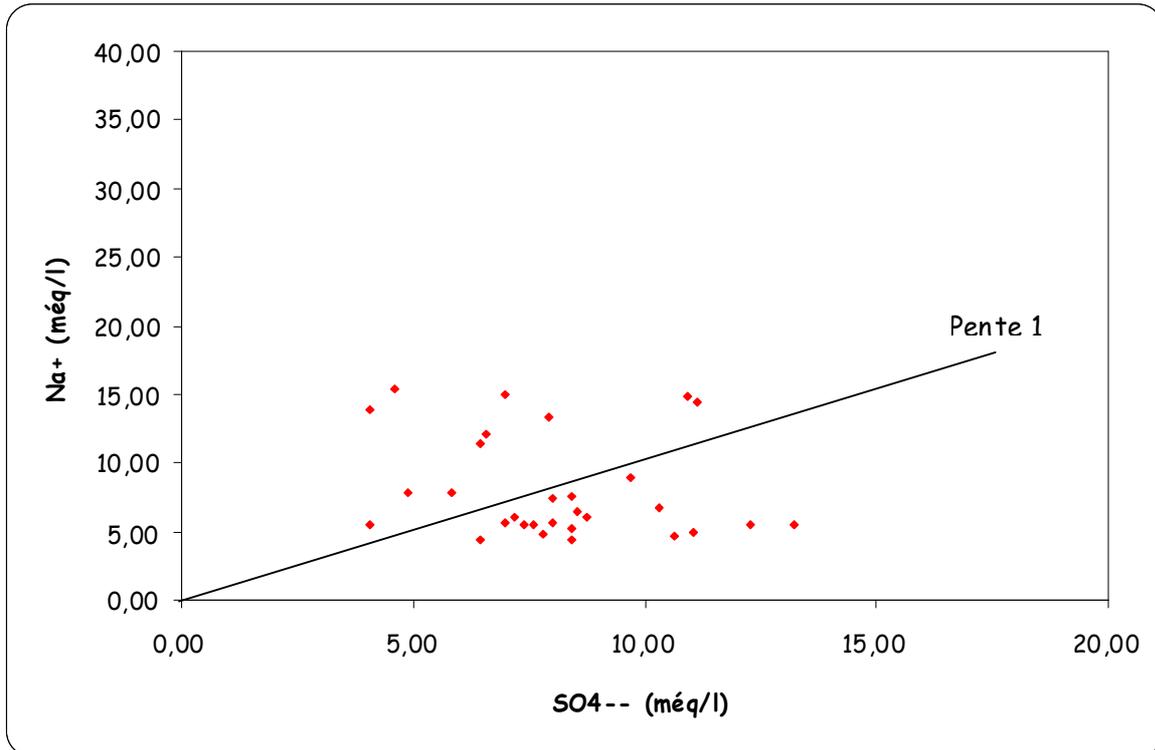


Figure 6.39: Origine des éléments Na⁺ et SO₄²⁻ (juillet 2007)

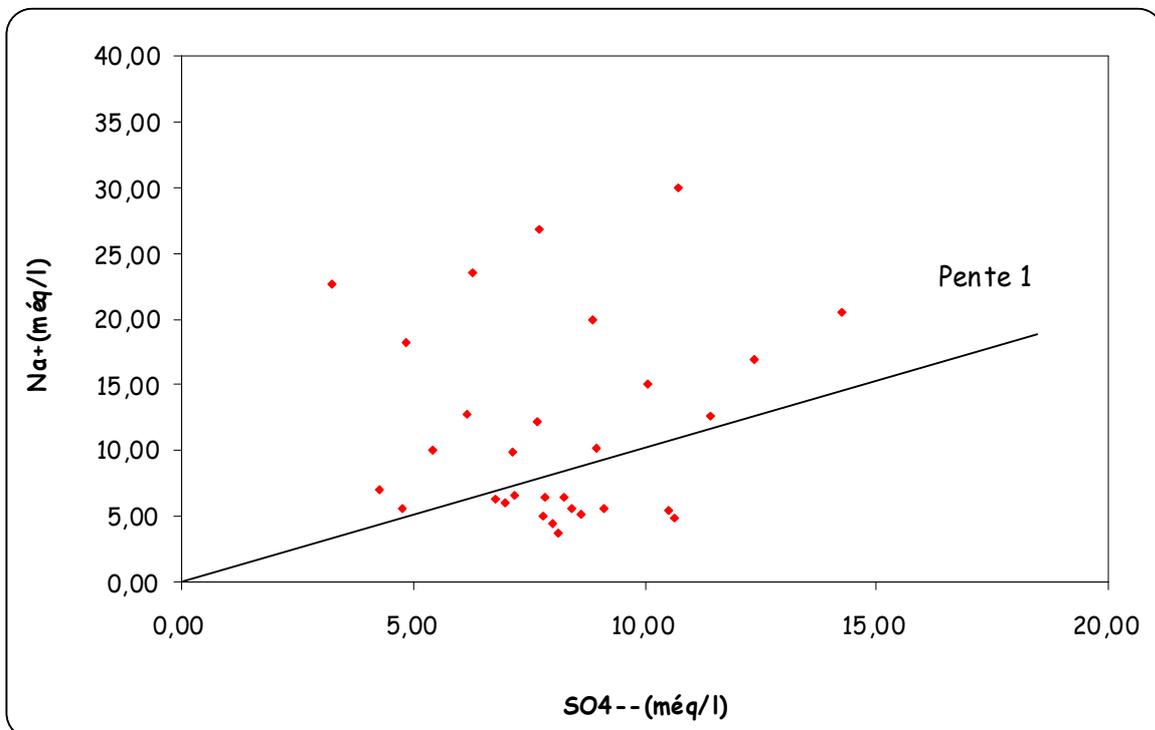


Figure 6.40: Origine des éléments Na⁺ et SO₄²⁻ (février 2008)

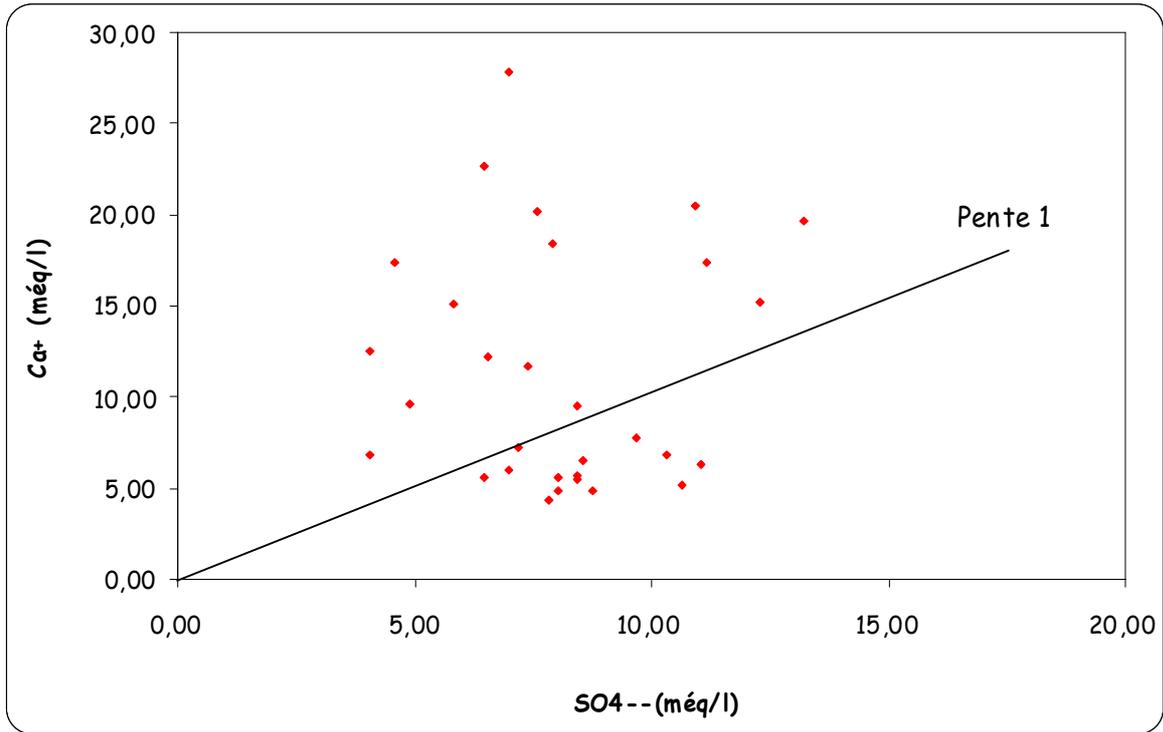


Figure 6.41: Origine des éléments SO₄²⁻ et Ca⁺ (juillet 2007)

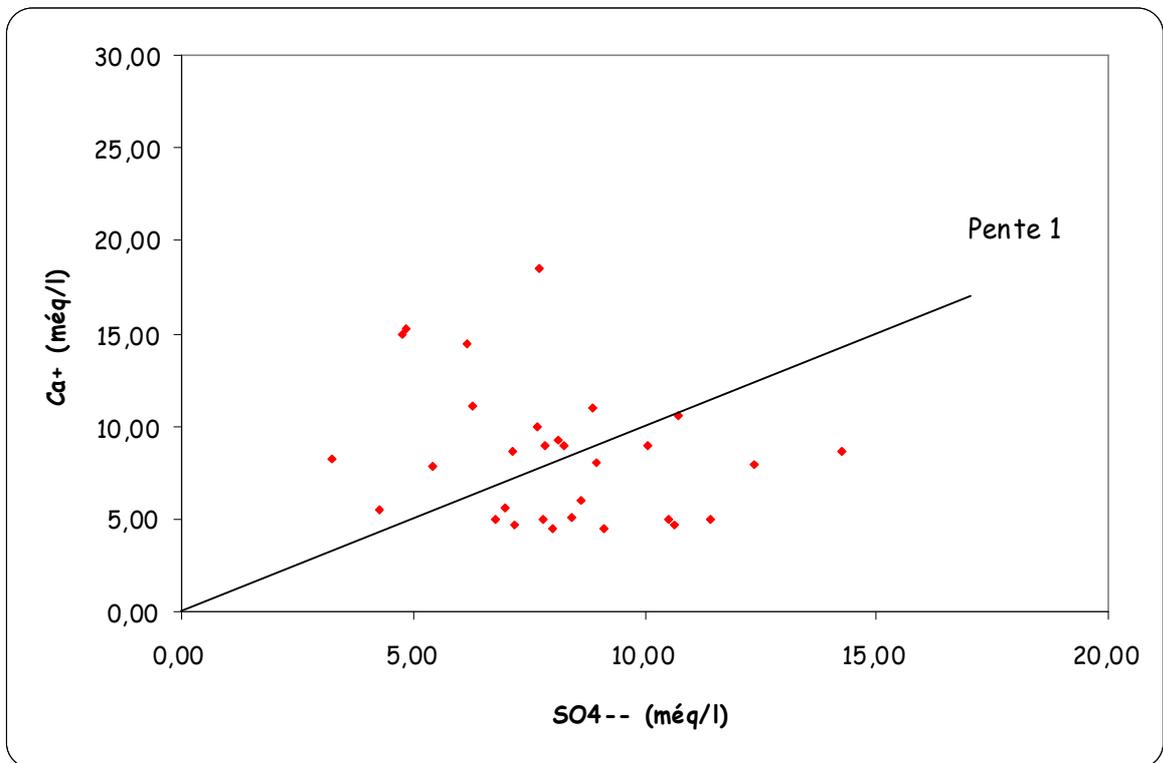


Figure 6.42: Origine des éléments SO₄²⁻ et Ca⁺ (février 2008)

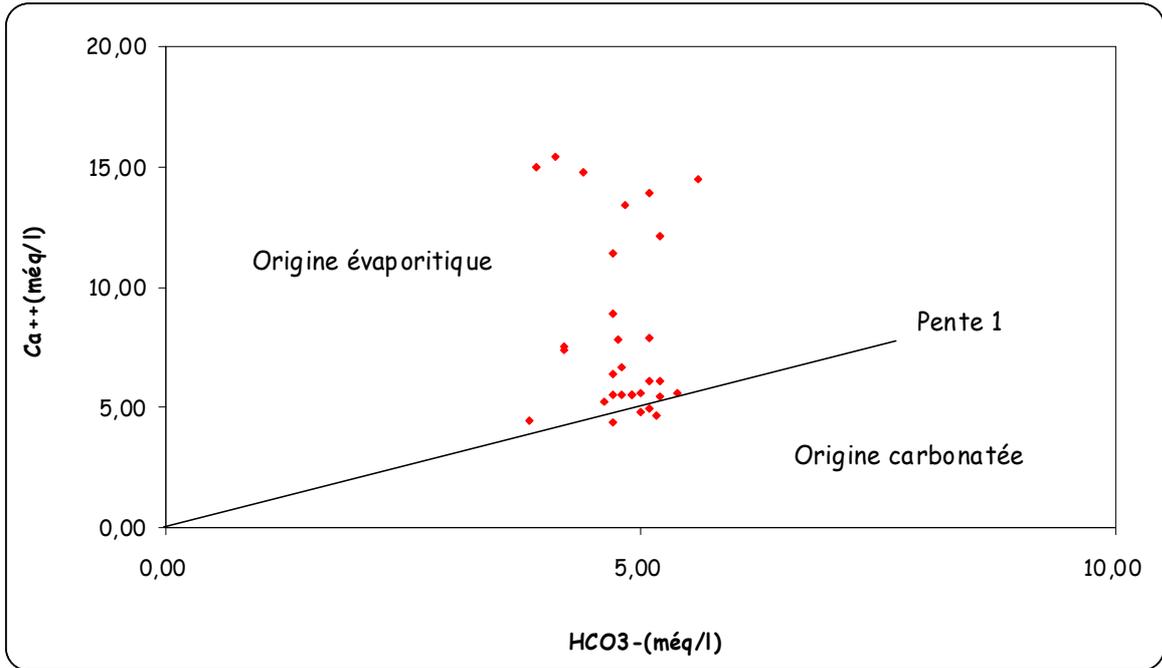


Figure 6.43: Origine du calcium Ca^+ (juillet 2007)

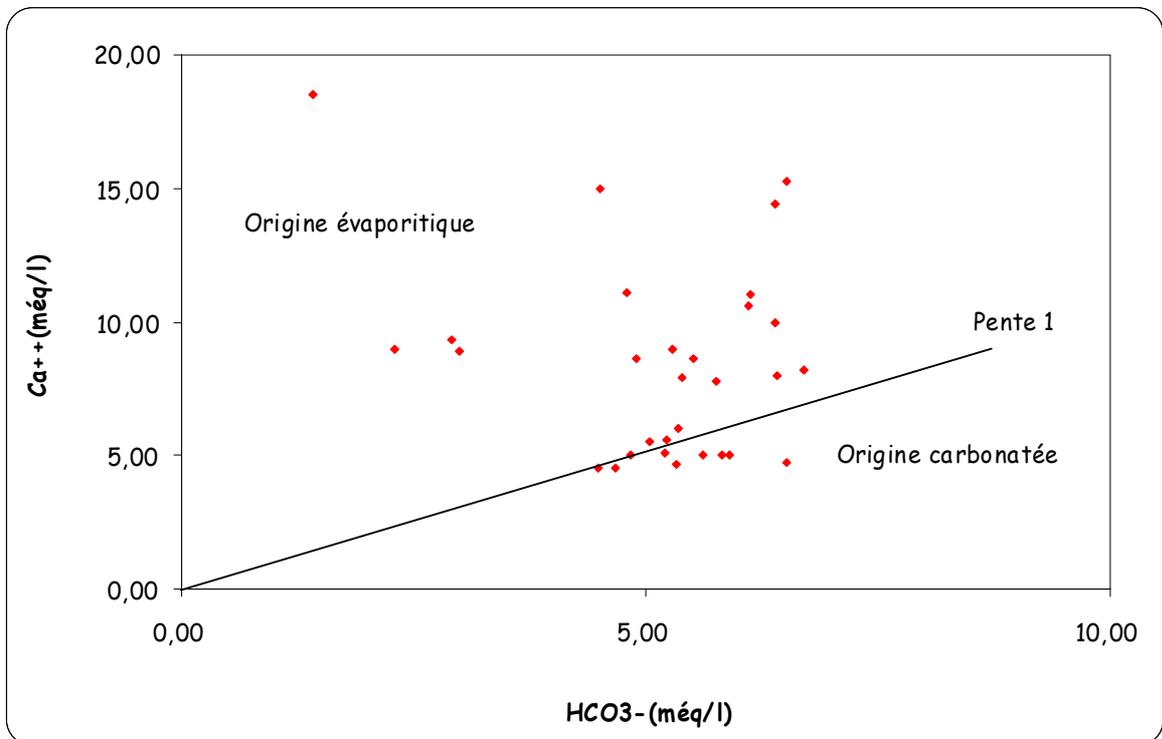


Figure 6.44: Origine du calcium Ca^+ (février 2008)

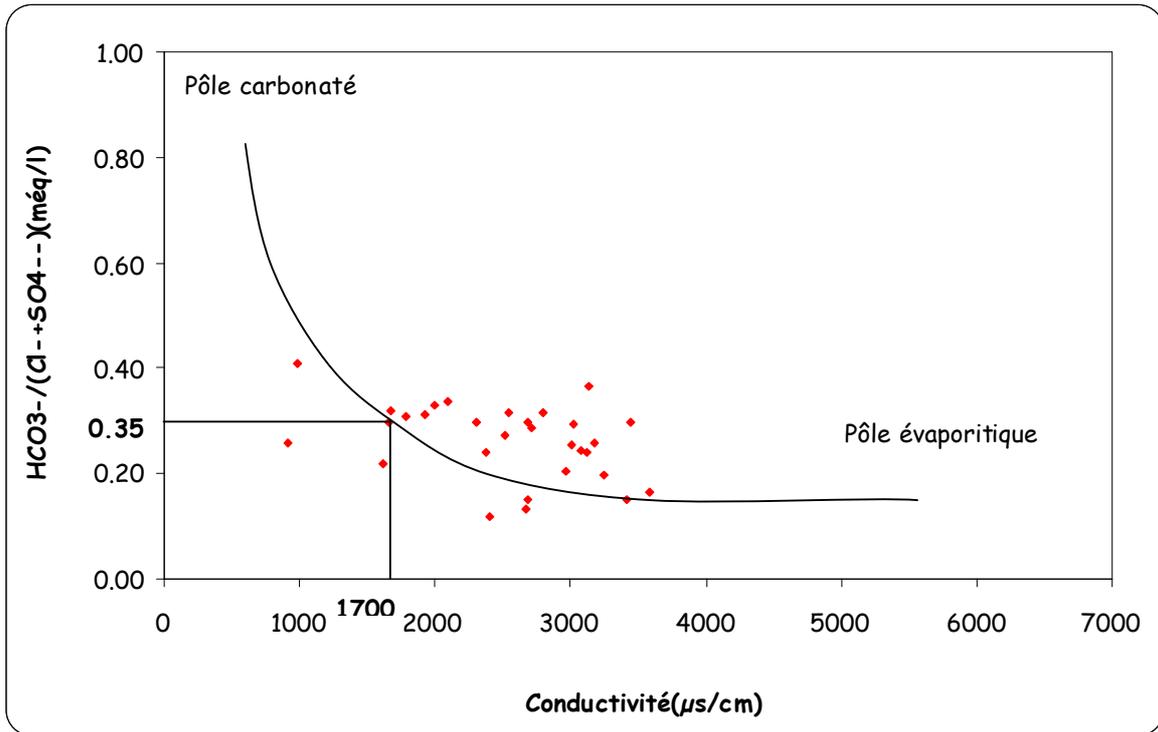


Figure 6.45: Origine de la salinité (juillet 2007)

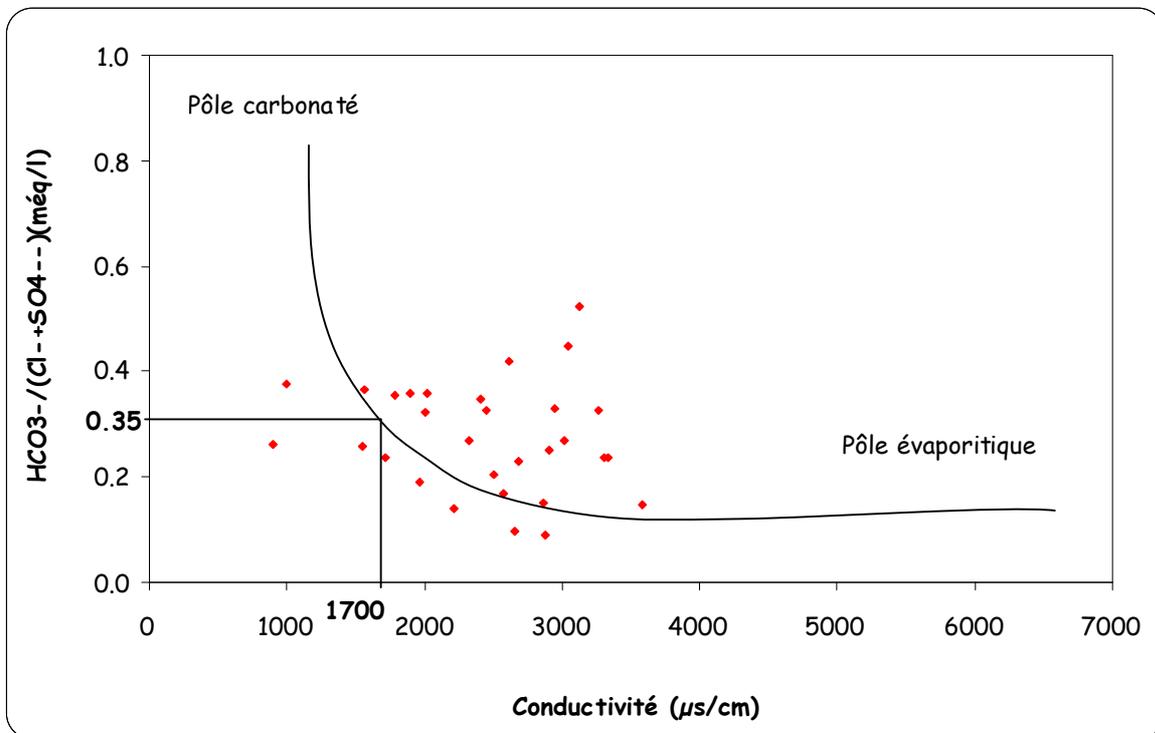


Figure 6.46: Origine de la salinité (février 2008)

4.3.4. Faciès chimiques des eaux :

4.3.4.1. Répartition graphique:

L'interprétation des résultats des analyses a pour but de déterminer les Faciès chimiques et d'effectuer une comparaison spatio-temporelle. Parmi les méthodes graphiques les plus utilisées, celle de SCHOELLER et BERKALOFF (1935-1938) et celle de PIPER (1944) (tableau 6.4 et Figures 6.47 à 6.54).

Ce tableau nous a permis de constater que le faciès prédominant est :

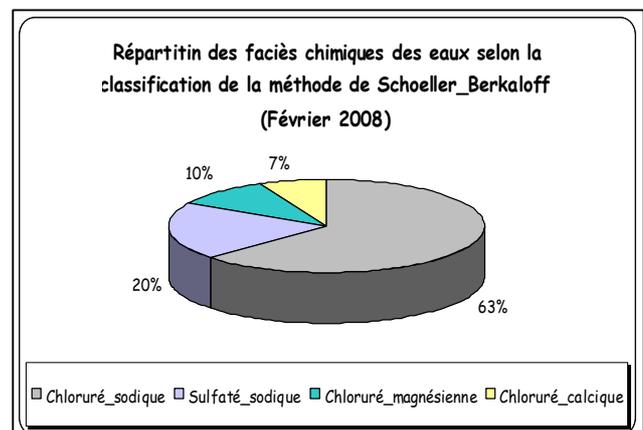
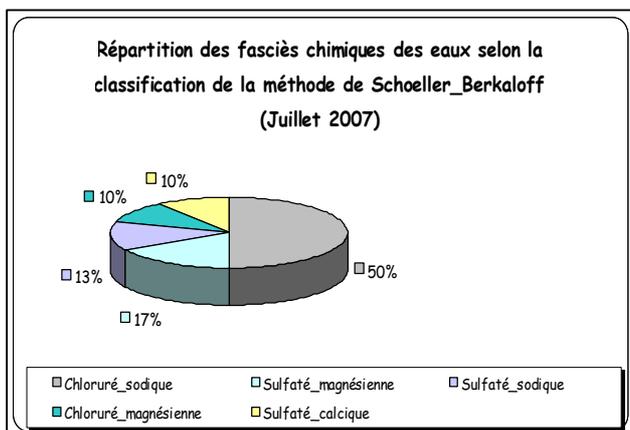
- ✓ Pour la période de Juillet 2007 : le faciès chloruré_sodique avec 50% avec un degré moins le sulfaté magnésien avec 17% et le sulfaté sodique avec 13%.
- ✓ Pour la période de février 2008 : le faciès dominant est toujours le chloruré_sodique avec 63% suivi du sulfaté_sodique avec 20%, suite à une dilution des formation salées en période de hautes eaux.

Tableau 6.4 : faciès chimiques des eaux selon le diagramme de Schoeller_Berkaloff

<i>Compagne chimique</i>	<i>Faciès chimique</i>	<i>Nombre de points</i>	<i>pourcentage</i>
Juillet_2007	Chloruré_sodique	15,00	50%
	Sulfaté_magnésienne	5,00	17%
	Sulfaté_sodique	4,00	13%
	Chloruré_magnésienne	3,00	10%
	Sulfaté_calcique	3,00	10%
Février_2008	Chloruré_sodique	19,00	63%
	Sulfaté_sodique	3,00	20%
	Chloruré_magnésienne	6,00	10%
	Chloruré_calcique	2,00	7%

Figure 6.47: Répartition des faciès chimiques Juillet 2007

Figure 6.48 : Répartition des faciès chimiques Février 2008



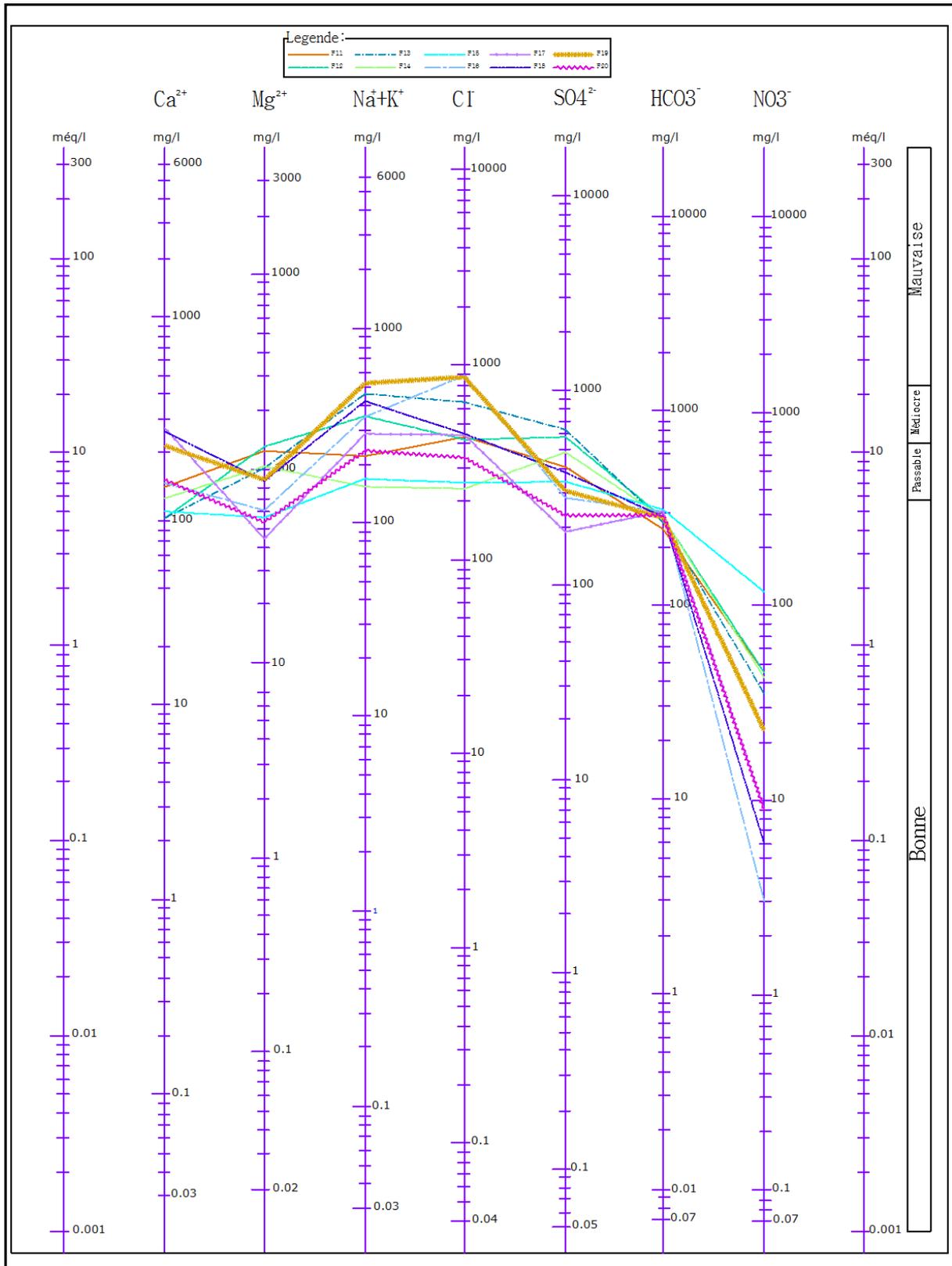


Figure 6.49 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (juillet 2007_F1 à F10)

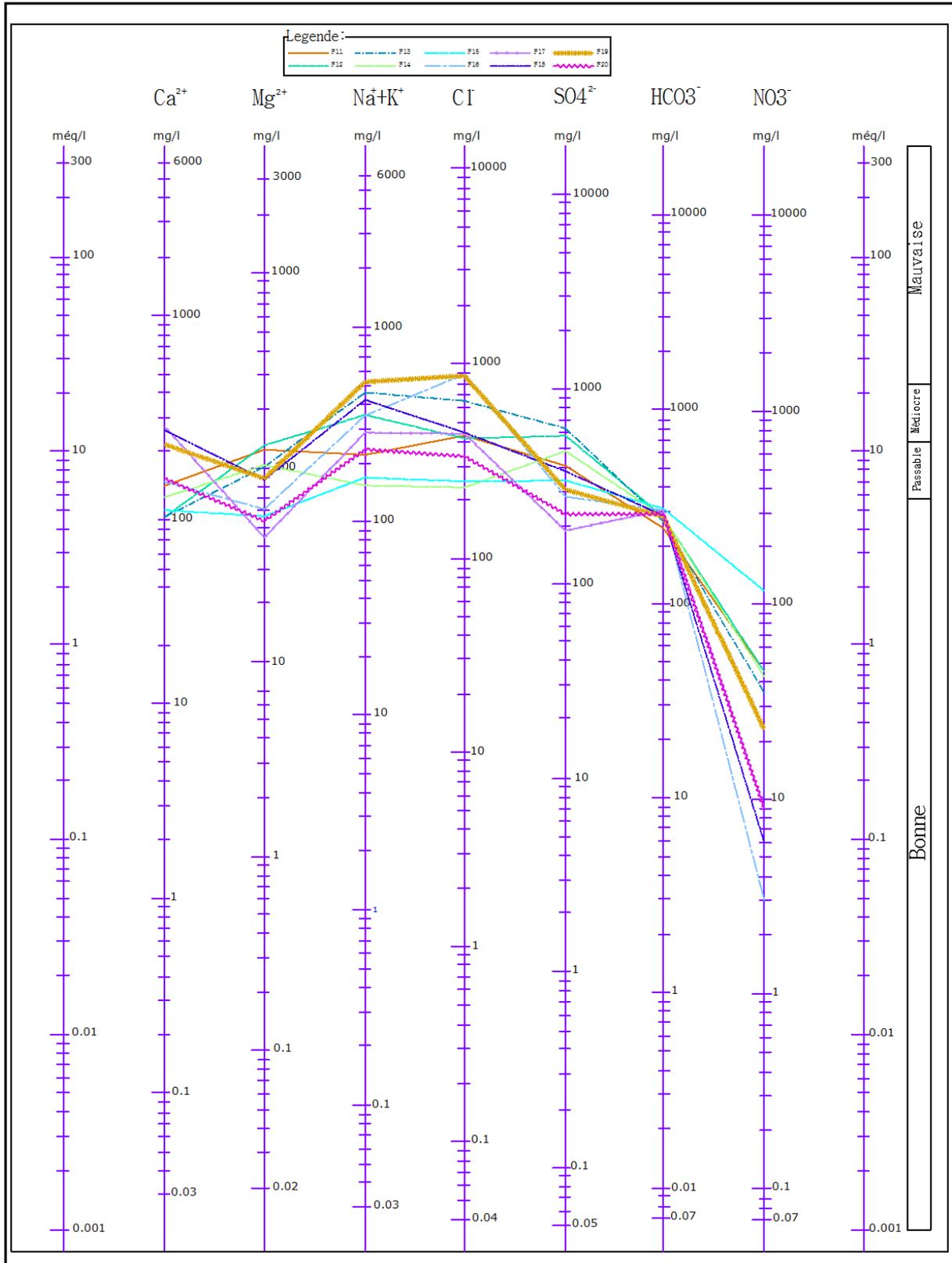


Figure 6.50 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (juillet 2007_F11 à F20)

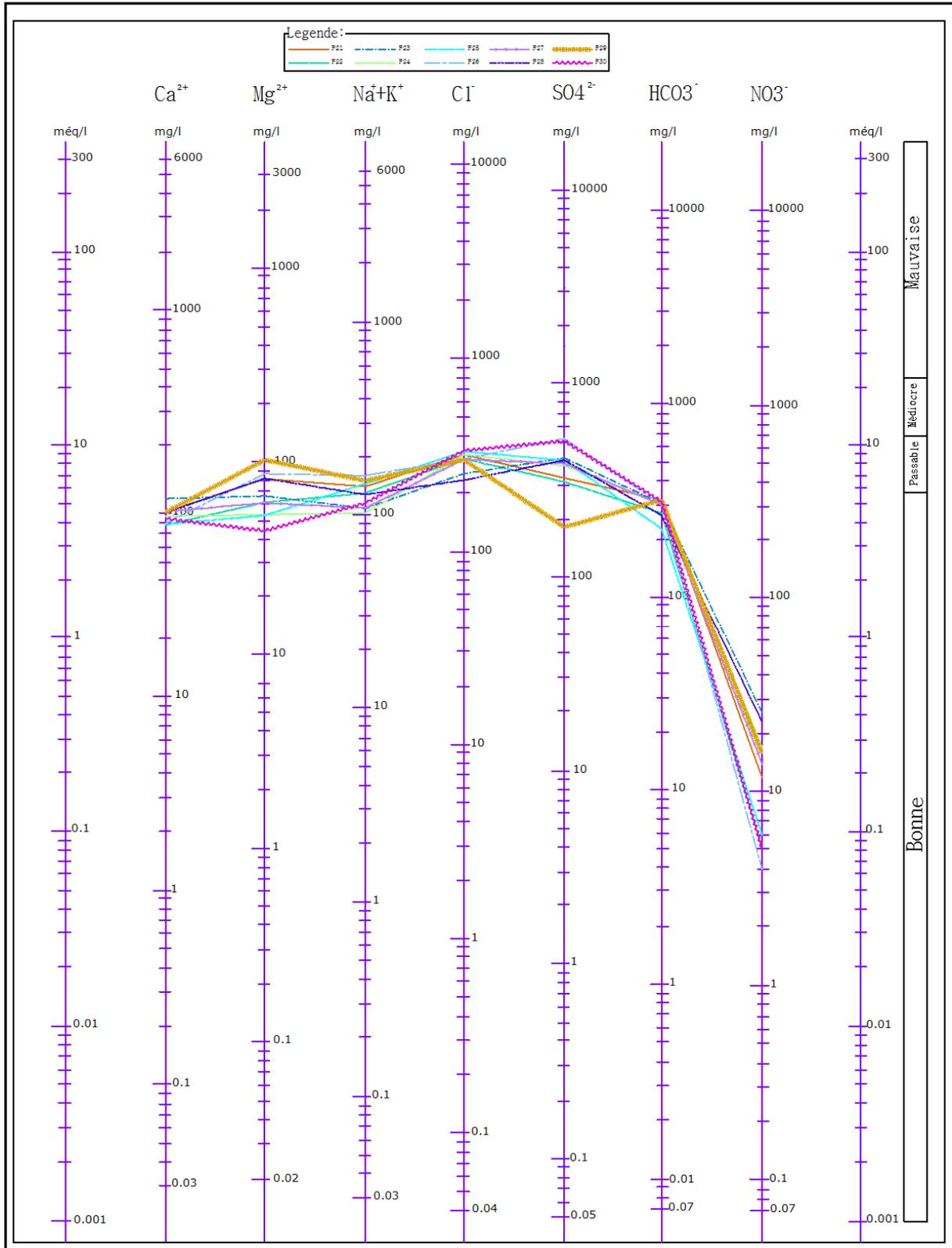


Figure 6.51 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (juillet 2007_F21 à F30)

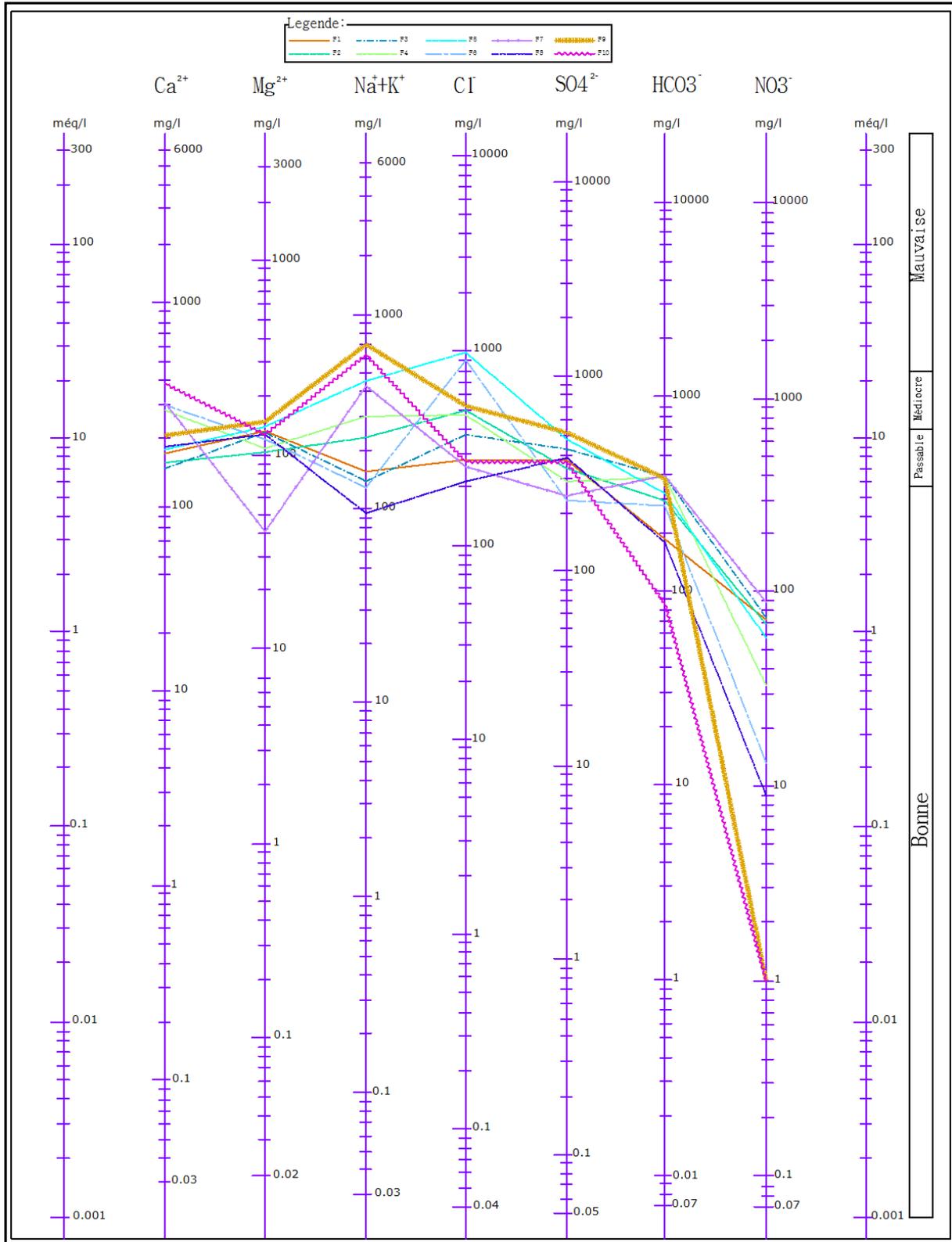


Figure 6.52 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Février 2008_F1 à F10)

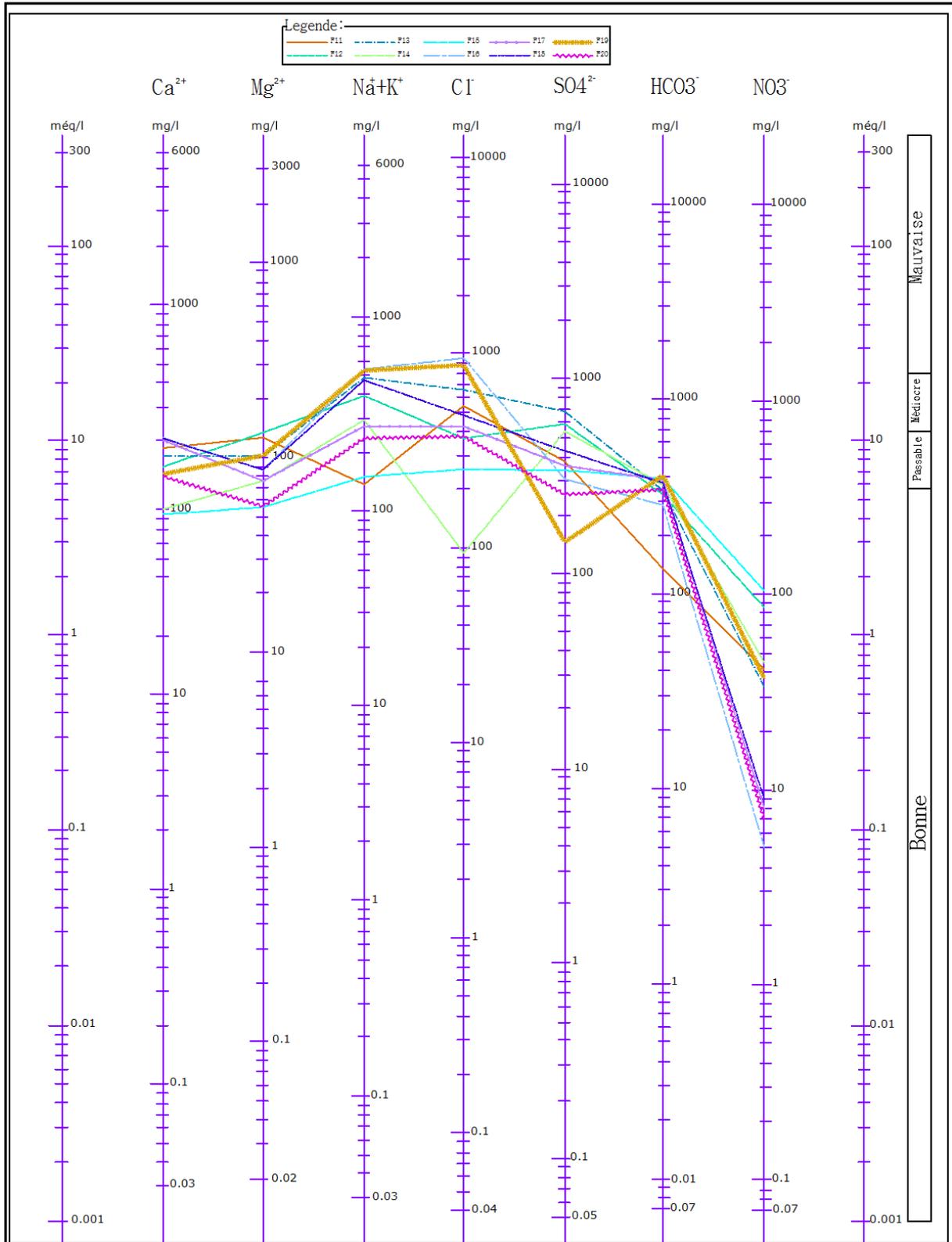


Figure 6.53 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Février 2008_F11à F20)

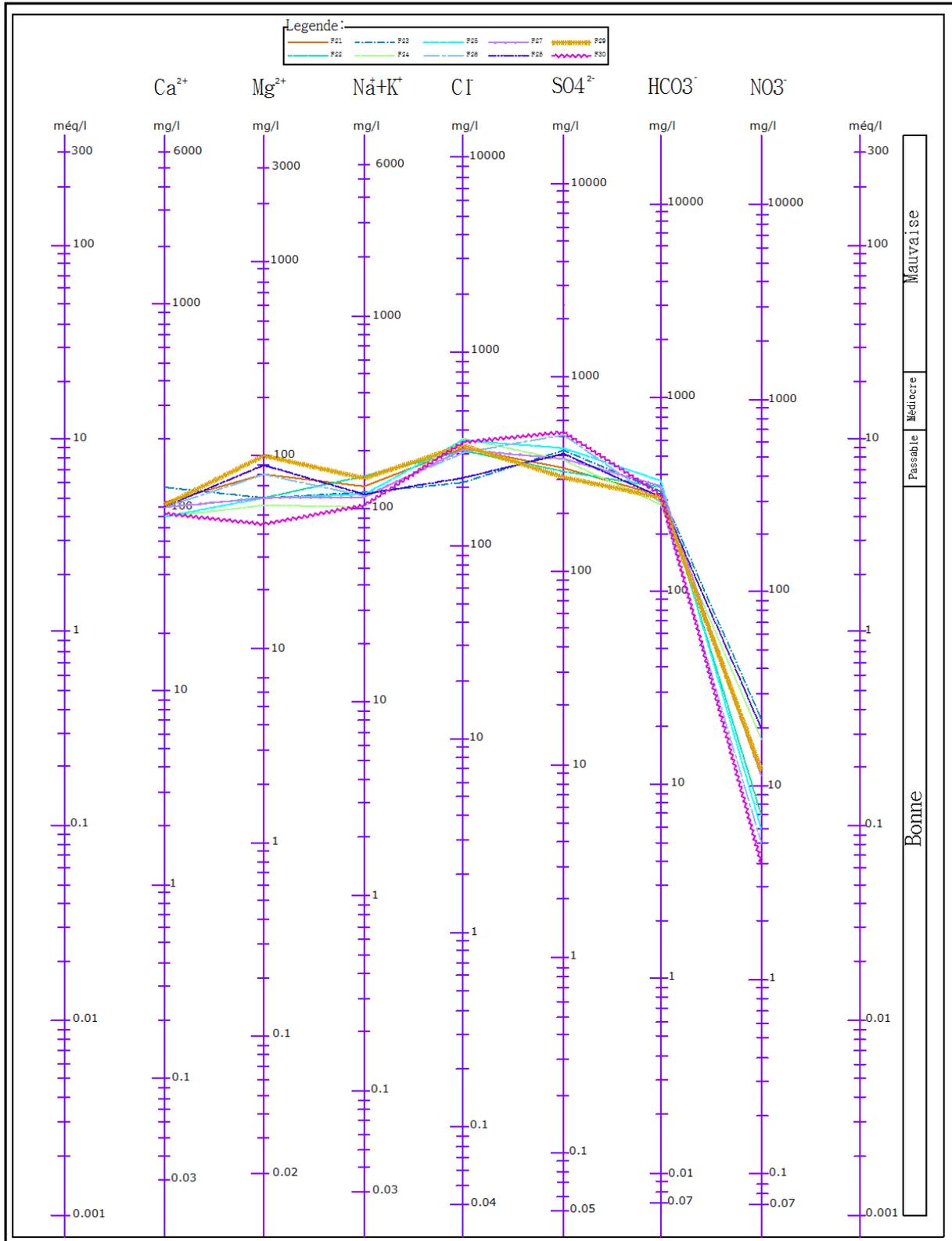


Figure 6.54 : Diagramme de Schoeller_Berkaloff (Février 2008_F21à F30)

La représentation des données sur le diagramme triangulaire de PIPER montre que :

- ✓ Pendant le mois de juillet 2007, on distingue deux faciès hydrochimiques, l'un chlorure et sulfaté_calssique et magnésien et l'autre chlorure et sulfaté_sodique et calcique (Figure 6.55).
- ✓ Pendant la période de juin 2003, on a presque les mêmes faciès hydrochimiques, avec l'apparition du faciès chloruré_calcique et magnésien et le sulfaté_calcique et sodique (Figure 6.56).

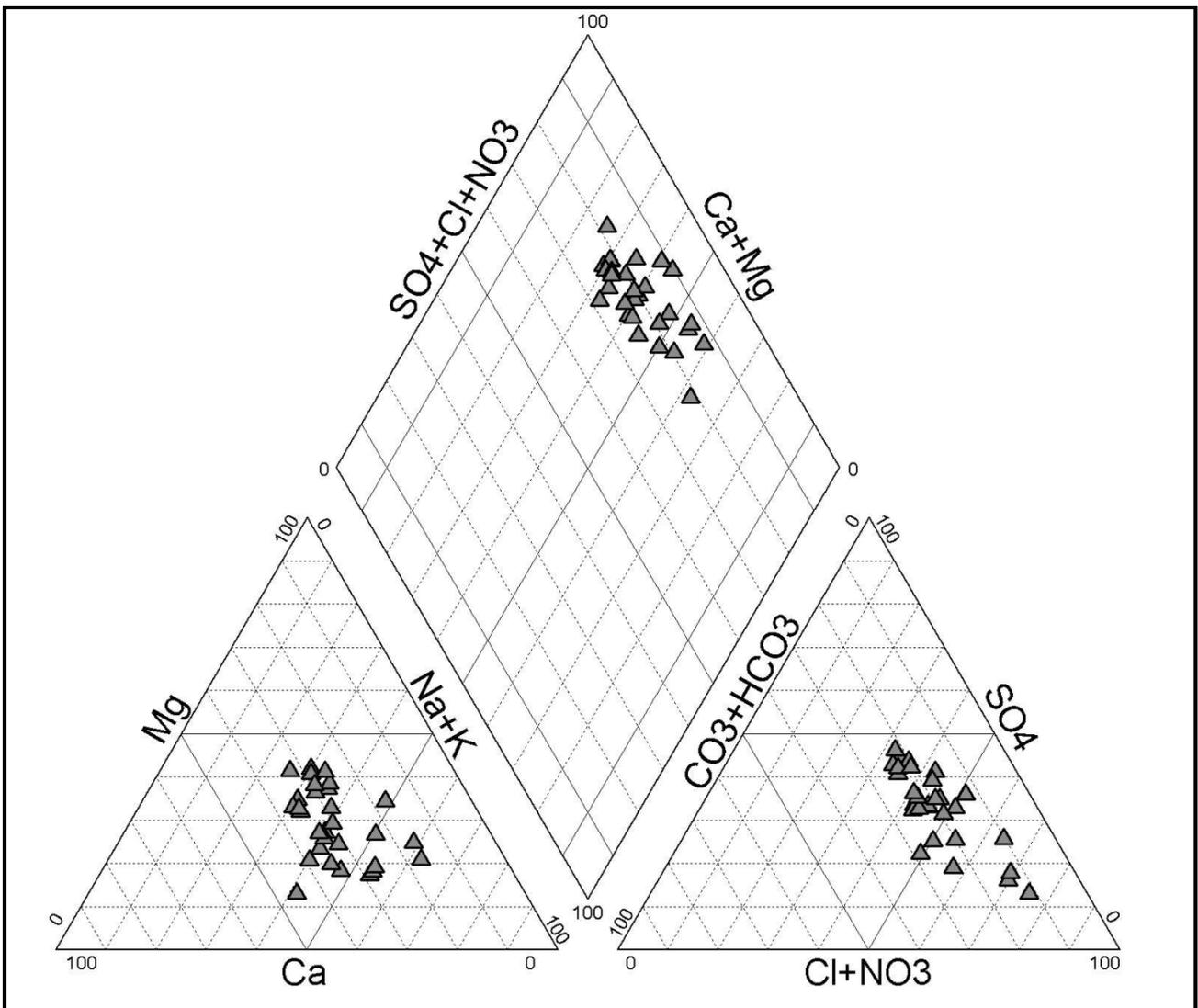


Figure 6.55 : Diagramme de Piper (juillet 2007)

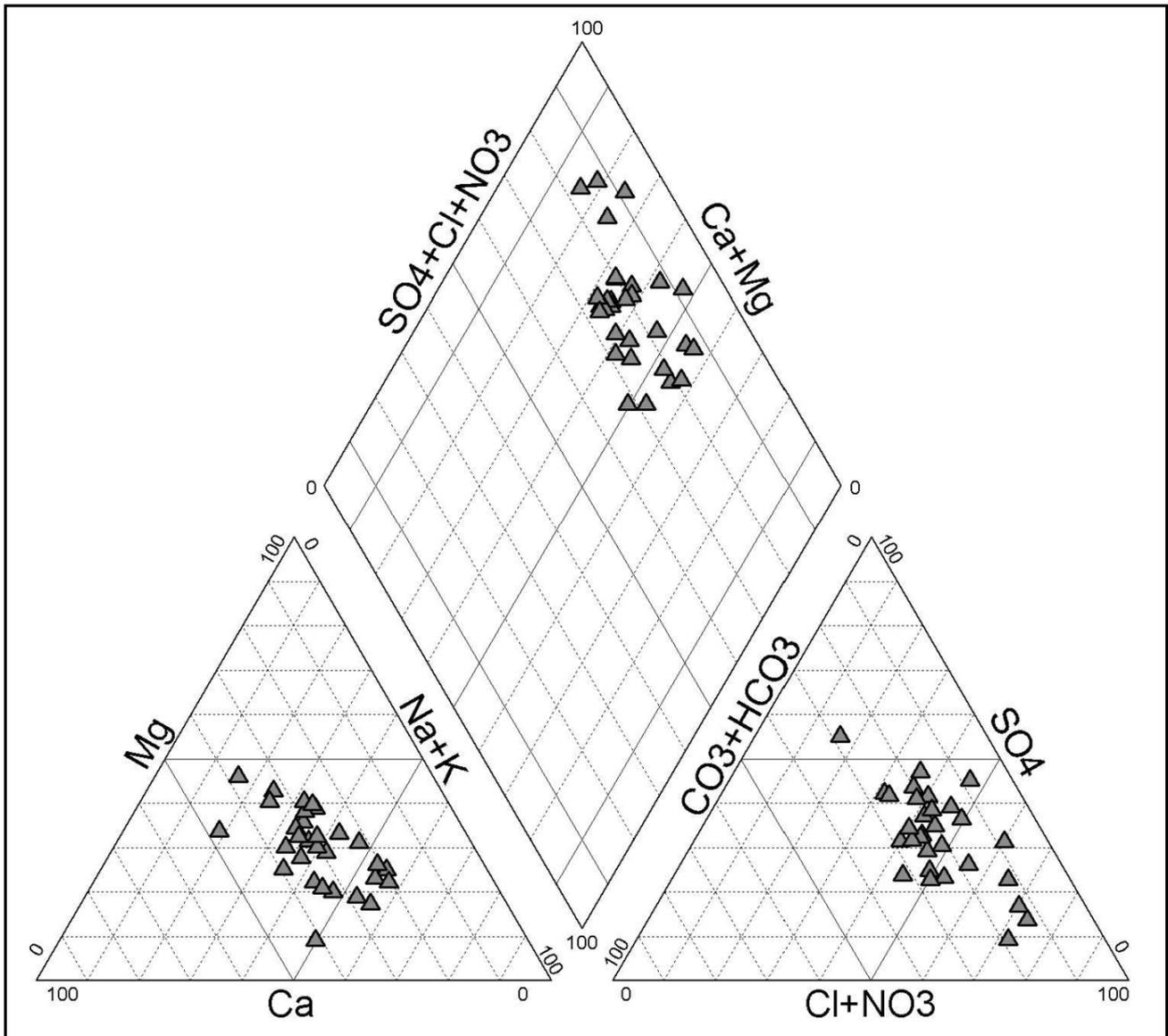


Figure 6.56: Diagramme de Piper (Février 2008)

4.3.5. Indices d'échange de base:

Lors de l'écoulement de la nappe, l'eau rentre en contact avec certaines formations qui ont les propriétés d'échanger leurs ions contre ceux contenus dans l'eau.

Selon SCHOELLER (1934) l'indice d'échange de base est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existant. Si l'on admet qu'initialement l'eau contient autant de $r \text{ Cl}^-$ que de $r (\text{Na}^+ + \text{K}^+)$, alors deux possibilités d'échange de base peuvent se produire:

- ✓ La première est l'échange des alcalins avec les alcalino_terreux, selon le modèle suivant:

$$I.E.B_1 = rCl^- - r(Na^+ + K^+) / rCl^-$$

- ✓ La deuxième est. l'échange des alcalino_terreux de l'eau avec les alcalins, selon le modèle suivant:

$$I.E.B_2 = rCl^- - r(Na^+ + K^+) / r(HCO_3^- + SO_4^{2-} + NO_3^-)$$

4.3.5.1. Interprétation des résultats:

Le calcul de cet indice pour l'aquifère de la plaine de Ain Djasser, a donné des valeurs de l'I.E.B négatives pour les puits 2,3,7,8,9,10,12,13,14,15,17,18 et 20 en Juillet 2007, pour les puits 7,9,10,12,13,14,17 et 18 en Février 2008. Or cet indice est positif pour l'ensemble des échantillons qui restent.

Quand l'I.E.B < 0, la formation aquifère encaissante libère le sodium et le potassium et garde le calcium.

- ✓ Quand l'I.E.B > 0, la formation aquifère encaissante libère le calcium et garde le sodium et le potassium.

4.3.6. Qualité des eaux:

Les eaux souterraines ne sont pas chimiquement pures, elles contiennent toujours une certaine quantité de sels dessous qui confèrent une certaine saveur, odeur et couleur acceptable jusqu'à un seuil de potabilité fixé par l'O.M.S.

4.3.6.1. Teneurs maximales admissible pour l'A.E.P:

4.3.6.1.1. Calcium et Magnesium:

Ils n'existent pas de limites pour la teneur en calcium, mais une eau dure présente de nombreux inconvénients. Pour l'usage domestique. On note alors, une augmentation de la consommation du savon et de la durée de cuisson. A cause de son effet laxatif, le magnésium provoque un trouble digestif chez l'enfant pour des teneurs supérieur à 1 g/l.

L'O.M.S donne des limites pour le Ca²⁺ de 100 à 400 mg/l et pour le Mg²⁺ la teneur admissible est 150 mg/l.

4.3.6.1.2. Sodium et potassium:

L'effet de potassium est mineur sur le corps humain. A partir de 34 mg/l on remarque que l'eau commence à avoir un léger goût. Le sodium n'est laxatif qu'à de très forte concentration 1 g/l. L'O.M.S recommande une valeur de 200mg/l.

4.3.6.1.3. Carbonates et bicarbonates:

La concentration des bicarbonates et des carbonates dans l'eau est essentiellement fonction des conditions d'équilibre, la présence d'anhydrite carbonique dans l'eau, donne une saveur agréable et ne présente aucun inconvénient pour la santé humaine.

4.3.6.1.4. Les chlorures:

Les chlorures sont dangereux pour les personnes atteintes de maladies cardio_vasculaires, mais en général des teneurs de 700mg/l de NaCl ne présentent aucun inconvénient pour l'homme. L'O.M.S recommande une valeur de 250mg/l pour une eau destinée à la consommation humaine.

4.3.6.1.5. Les nitrates:

L'O.M.S fixe une valeur limite de 50mg/l pour l'eau potable si la concentration dépasse ce seuil, elle provoque une irritation des muqueuses et les quantités supérieures à 2g/l entraîne des nausées, un vomissement et provoquent des sels sanguins lents.

D'après les normes de potabilité de l'organisation mondiale de la santé ; on distingue que les eaux souterraines de la nappe superficielle de la plaine de Ain Djasser soit dans la majorité (70%) sont potables.

4.3.7. Aptitude de l'eau à l'irrigation:

De toutes les activités humaines, l'irrigation est de loin la plus grande consommatrice d'eau, c'est pour cela qu'il est nécessaire d'avoir une ressource présentant des propriétés physico_chimiques adaptées aux plantes.

La plaine de Ain Djasser est une région à vocation agricole où sont pratiquées essentiellement les cultures céréalières et maraîchères. Les eaux d'irrigation présentent des teneurs élevées en certains éléments chimiques qui peuvent présenter un véritable danger, comme l'accumulation des sels dans le système racinaire qui perturbe la croissance de la plante et de changer la structure physique du sol par l'altération de sa perméabilité.

4.3.7.1. Salinité:

Selon R.S.AYERS et D.W.WESTCOT (1988); quand les eaux d'irrigation sont chargées en sels, ces derniers s'accumulent dans la zone racinaire après que la plante ait prélevé l'eau. Ces sels s'épaississent et limitent la disponibilité de l'eau dans le sol pour la culture. Les directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation montre que:

- ✓ Si la salinité exprimée par la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$ est inférieure à 700, il n'y aucune restriction pour l'irrigation;
- ✓ Si la conductivité variée entre 700 et 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est légère à moyenne;
- ✓ Si elle est supérieure à 3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, la restriction pour l'irrigation est forte.

L'examen du tableau 6.5 montre que la majorité des points d'eau de la plaine de Ain Djasser représentent une restriction légère à modérée pendant les deux saisons avec 70 à 77%, et une restriction forte comprenant 23 à 30% des points d'eau. En cas d'irrigation avec ces eaux chargées en sels, on peut s'attendre à des chutes de rendements (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988) de certaines cultures pratiquées au niveau de la plaine de Ain Djaseer (Tableau 6.6).

Tableau 6.5: Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (salinité)

Réstriction pour l'irrigation	Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Pourcentage des échantillons	
		Juillet(2007)	Février(2008)
Aucune	< 700	0	0
Légère à modéré	700-3000	70	77
Forte	>3000	30	23

Tableau 6.6: Baisse de rendements de certaines cultures en relation avec la salinité de l'eau d'irrigation (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT)

Cultures	Conductivité électrique ($\mu\text{s}/\text{cm}$)			
	5300	6700	8700	12000
Orge				
Blé				
Chute de rendement en %	0	10	25	50

Il est recommandé dans ce cas d'utiliser ces eaux pour des cultures tolérantes en sels, de pratiquer des cultures sur les sols légers (sableux), de faire des apports d'eau supplémentaires et faire le drainage.

4.3.7.2. Infiltration:

Les problèmes d'infiltration liés à la qualité de l'eau apparaissent lorsque la vitesse de pénétration de l'eau d'irrigation ou de la pluie est notablement réduite provoquant une stagnation de l'eau à la surface du sol, l'infiltration influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et elle diminue la qualité d'eau mise en réserve tant que la salinité diminue la disponibilité de l'eau en réserve.

4.3.7.2.1. Eaux peu salées:

Les eaux peu salées dont la conductivité électrique est inférieure à 200 $\mu\text{s/cm}$ ont une forte tendance à mobiliser rapidement le calcium du sol ce qui entraîne la dispersion des particules fines (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988) et l'obturation des espaces poreux.

La valeur minimale de conductivité des eaux de la plaine de Ain Djasser est supérieure à 200 $\mu\text{s/cm}$. Donc ce problème ne se pose pas.

4.3.7.2.2. Eaux à forte teneur en sodium:

L'abondance du sodium dans l'eau d'irrigation peut provoquer également la dispersion et une destruction de la structure du sol, si la teneur en sodium est au moins trois fois supérieure à celle du calcium (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988), dans telles conditions, il devient extrêmement difficile de satisfaire les besoins en eau de la culture, le risque est déterminé à partir de la valeur du sodium absorbable (Sodium Absorption Ratio) (S.A.R). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le S.A.R est donné par la formule ci-dessous, il est utilisé en combinaison avec la conductivité électrique de l'eau selon la formule suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad \text{Où tous les éléments sont exprimés en } \text{m}\ddot{\text{e}}\text{q/l.}$$

4.3.7.2.2.1. Classification en fonction du sodium absorbé par le sol «SAR» RICHARDS (1954):

Pour classer les eaux d'irrigation, il est nécessaire d'évaluer la concentration en ions Na^+ dans le sol. Cet élément remplace dans le complexe absorbent le calcium ou le magnésium.

Richards, établi un diagramme de cinq classes, basé sur la minéralisation totale et la relation d'absorption du sodium donnée par l'expression précédente.

Le tableau 6.7, récapitule les résultats obtenus après interprétation des diagrammes de Richards (Figures 6.57 et 6.58). (Voir annexe 06 et annexe 07).

Tableau 6.7: Degré d'aptitude à l'irrigation selon SAR.

Classe		Pourcentage des échantillons	
		Juillet(2007)	Février(2008)
Admissible	C3S1	37	37
Médiocre	C4S1	33	37
Mauvaise	C4S2	30	26

On remarque une amélioration due à un échange de base de la première période à la dernière. On peut dire que la plus grande partie des eaux de la plaine sont acceptables et peuvent être exploitées pour l'irrigation.

4.3.7.2.3. Etude de la toxicité des végétaux:

La toxicité se manifeste dans les végétaux suite à l'absorption et à l'accumulation de certaines substances contenues dans l'eau d'irrigation comme le cas du sodium et ce lui du chlore. Ces substances toxiques provoquent des dégâts au niveau de la récolte.

4.3.7.2.3.1. Sodium :

L'emploi d'une eau d'irrigation riche en sodium se traduit généralement par une accumulation du sodium dans le sol. Les modifications qui peuvent apparaître dans le sol sont fonction des fréquences d'irrigation (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988). Les cultures absorbent le sodium en même que l'eau et celui-ci se concentre dans les feuilles tan disque l'eau s'échappe par transpiration, il peut en résulter une toxicité si l'accumulation de sodium atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture. Les symptômes caractéristiques

sont les brûlures et le roussissement du feuillage ainsi q'une nécrose des tissus situés sur le bord des feuilles. Souvent la toxicité par le sodium se modifié et s'atténue en présence du calcium.

L'interprétation des analyses selon les directives du tableau 6.8 permet de dire que l'ensemble des points d'eau de la plaine de Ain Djasser présentent une restriction pour l'irrigation qui varie entre légère à modérée et la forte ainsi on a:

- 50 % des points d'eau pour les deux campagnes qui présentent une restriction légère à modérée, et 50% des points d'eau pour les deux périodes qui présentent une restriction forte.

Tableau 6.8: Directives concernant la qualité de l'eau d'irrigation
 (Toxicité spécifique de certains ions)

Restriction pour l'irrigation	Sodium (méq/l)	% des points d'eau		Chlore (méq/l)	% des points d'eau	
		Juillet (2007)	Février (2008)		Juillet (2007)	Février (2008)
Aucune	< 3	0	0	< 4	0	3
Légère à modérée	3 à 9	50	50	4 à 10	67	50
Forte	> 9	50	50	> 10	33	47

4.3.7.2.3.1.1. Classification de l'eau d'irrigation selon le diagramme de WILCOX (1948):

Le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturé en sodium, c'est pourquoi on utilise une classification basée sur la conductivité électrique et la teneur du sodium dans l'eau, qui est définie par la relation suivante:

$$\% Na^+ = \left[\frac{rNa^+}{r(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \right] * 100$$

Cette classification définit cinq classes d'eau, 1: excellente, 2: bonne, 3: admissible, 4: médiocre, 5: mauvaise.

On ce qui nous concerne les diagrammes de Wilcox (Figures 6.59 et 6.60) donne trois classes:

Classes	% des échantillons	
	Juillet(2007)	Février(2008)
Bonne	27	27
Médiocre	40	50
Mauvaise	33	23

Tableau 6.9: classification des eaux d'irrigation selon Wilcox

Selon le tableau 6.9, 40 à 50% des points d'eau pendant les deux périodes sont médiocres et 23 à 33% des points d'eau sont de mauvaise qualité ; Tandis que 27% de ces points seulement sont de bonne qualité. (Voir annexe 08 et 09).

4.3.7.2.3.2. Chlore :

Le chlore est un ion qui n'est pas absorbé par les sels mais se déplace facilement avec l'eau du sol. Il est absorbé par les racines et s'accumule dans les feuilles, comme le sodium (R.S.AYERS et D.W.WESTCOT, 1988).les symptômes se manifestent par des brûlures du feuillage.

Pour évaluer le degré de toxicité du chlore, on utilise le tableau 6.8, Ce tableau montre que les teneurs en chlore qui sont inférieures à 4 méq/l représentent seulement 3% des points d'eau pour la période de Février 2008 alors q'aucune valeur n'a été enregistrée pour la période de juillet 2007.

Celles comprises entre 4 et 10 méq/l constituent une restriction légère à modérée, il correspond à un pourcentage qui varie entre 67% pour la période de juillet 2007 et 50% pour la période de février 2008 des points d'eau testés alors que 33% pour la période de juillet 2007 et 47% pour la période de février 2008 présentent une forte restriction.

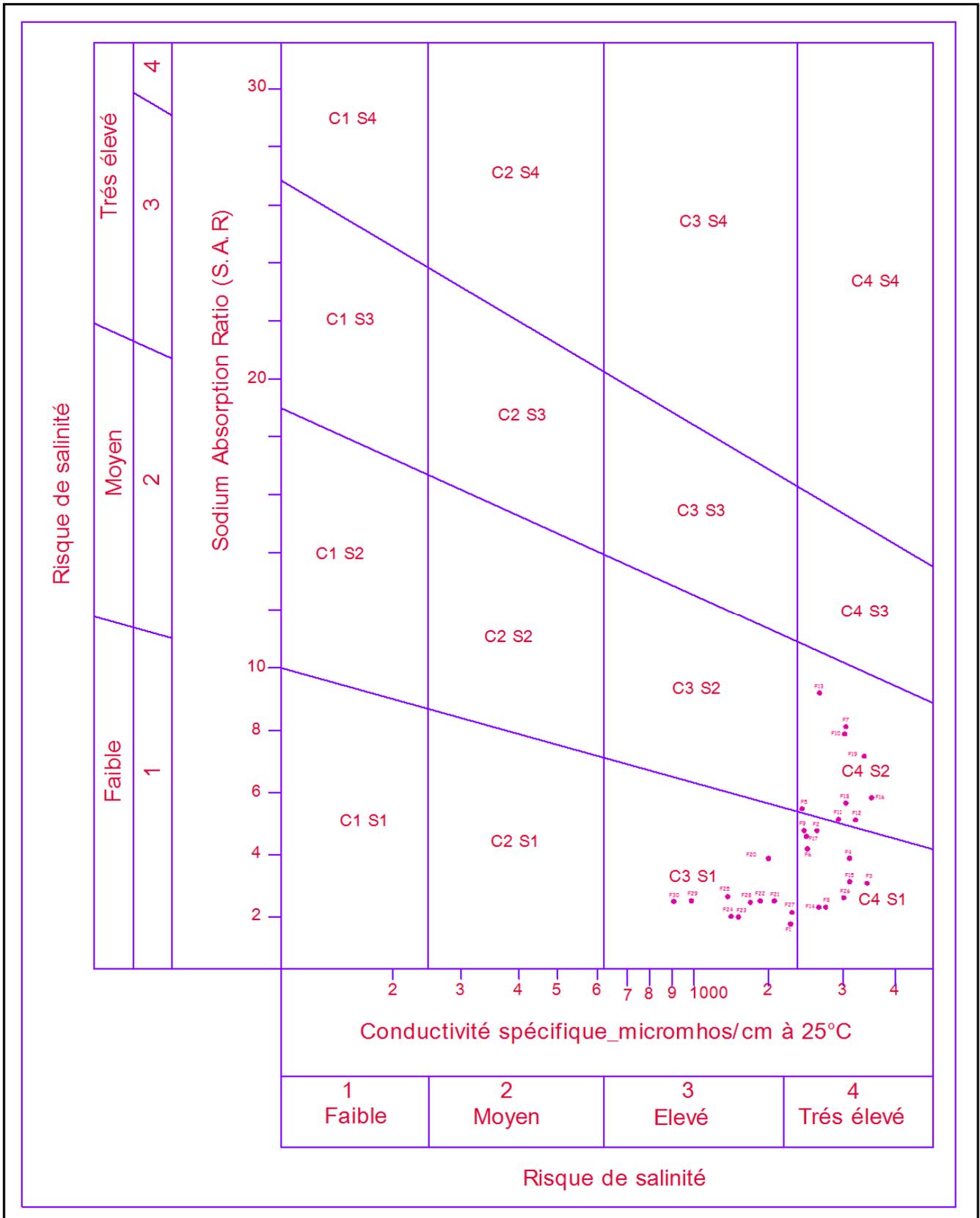


Figure 6.57 : Diagramme du S.A.R (Juillet 2007)

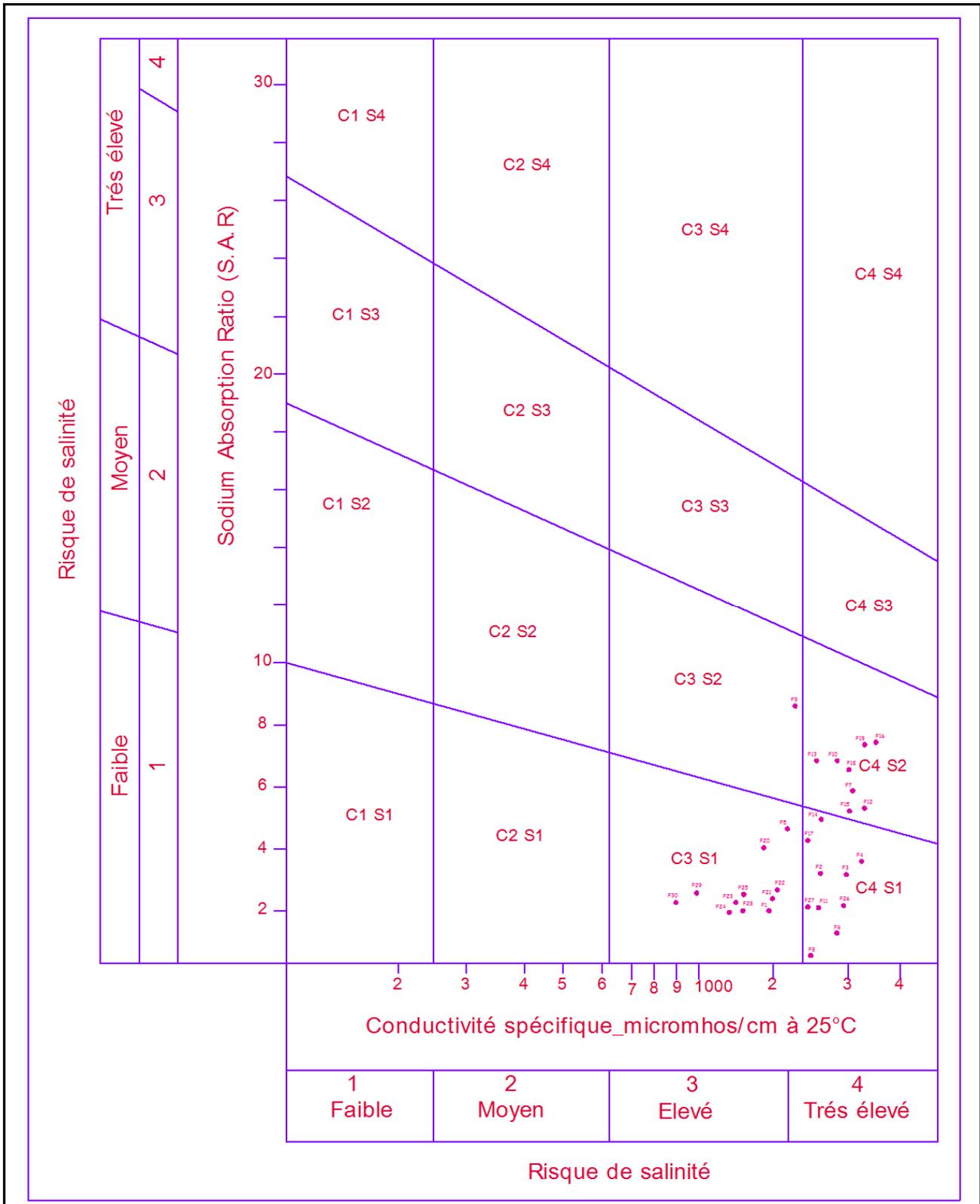


Figure 6.58 : Diagramme du S.A.R (Février 2008)

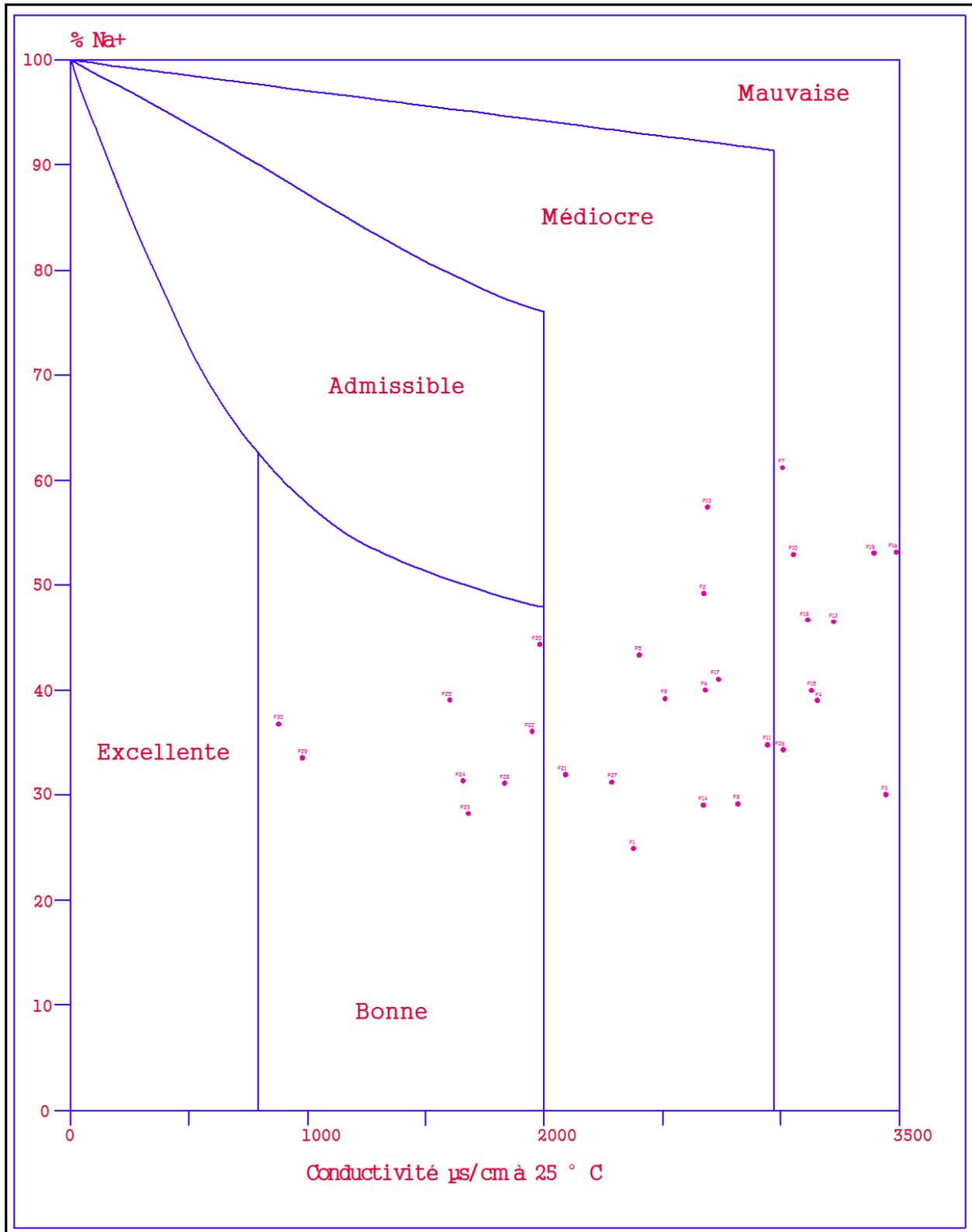


Figure 6.59 : Diagramme Wilcox (Juillet 2007)

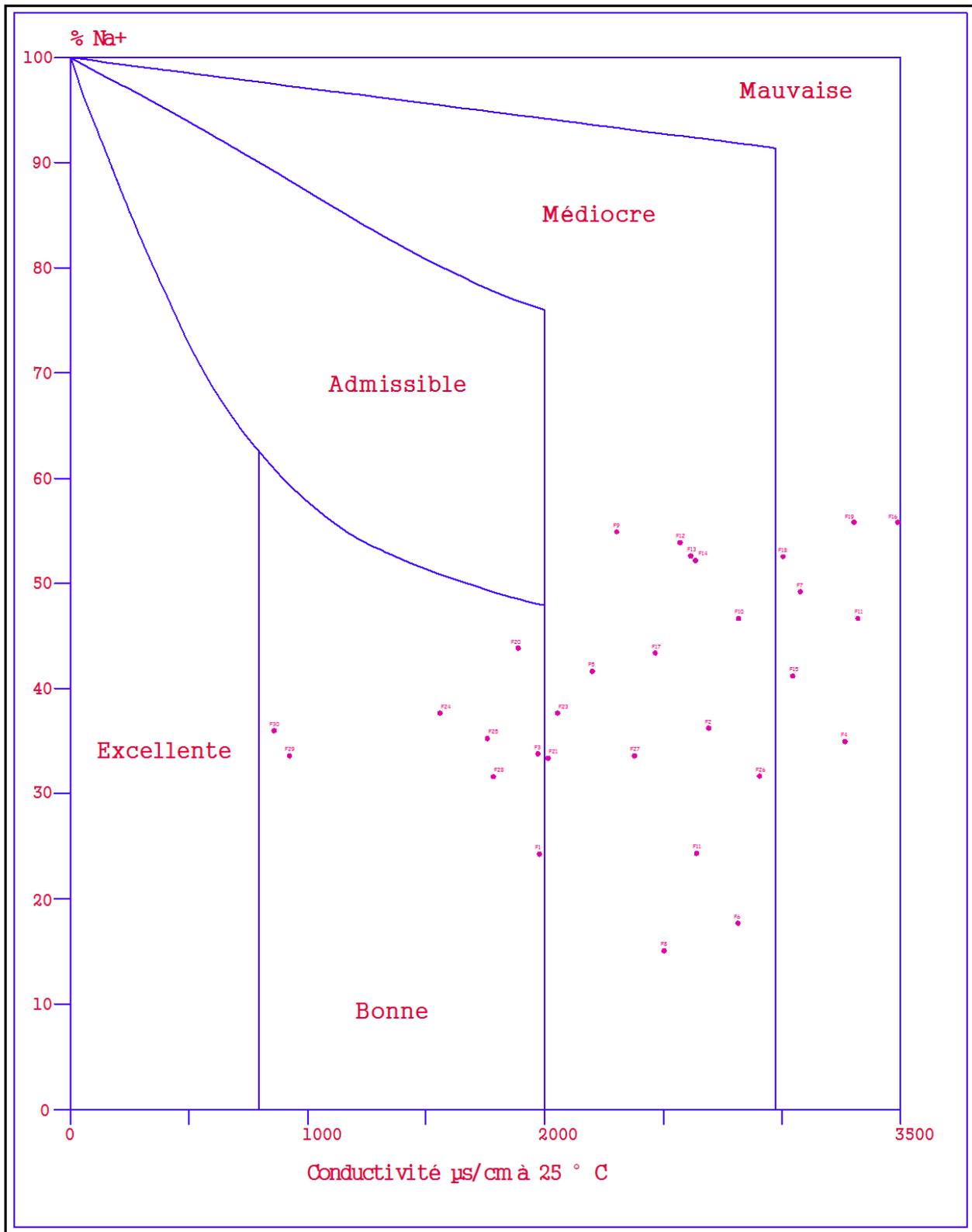


Figure 6.60 : Diagramme Wilcox (Février 2008)

4.3.8. Analyse en composantes principales (ACP):

L'ACP est une méthode statistique essentiellement descriptive dont l'objectif est de présenter sous une forme graphique, le maximum d'informations contenu dans un tableau de données. Ce tableau est constitué, en lignes par des « individus »(forages, puits, sources,...) sur lesquels sont mesurées des « variables » quantitatives (conductivité électrique, température, pH, teneurs en Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ et NO_3^{-2}) disposées en colonnes. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières.

4.3.8.1. Principe :

Dans un tableau comportant (N) variables quantitatives, les individus peuvent être représentés dans un espace à (N) « dimensions ». Pour des raisons de visualisation, les espaces retenus sont à une dimension (droites) ou, et se sera le cas le plus fréquent, à deux dimensions (plans).

Les droites et les issus d'une ACP, ne sont pas réalisés avec les variables initiales mais avec des « indices synthétiques » obtenus par combinaisons linéaires des variables initiales. Parmi tous les indices possibles, l'ACP recherche d'abord celui qui permet de voir au mieux les individus c'est-à-dire pour lequel la variance des individus est maximale. Cet indice est appelé première composante principale, ou encore premier axe principal.

Une certaine proportion de la variation totale des individus est expliquée par cette composante principale. Ensuite une deuxième composante est recherchée, cette deuxième composante principale fournit la plus grande information possible complémentaire de la première. Le processus se déroule jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale. Si la variable ou un individu joue un rôle particulier, on l'introduit dans l'ACP « variable à expliquer » ou « variable supplémentaire » (ne participe pas à la construction des axes).

4.3.8.2. Résultats et interprétations :

Pour observer les individus, on construit les plans à partir des composantes principales les plus importantes est le plan engendré par les axes 1 et 2, car par définition c'est le plan sur lequel le maximum d'information est visible. On examinera d'autres plans, selon la part d'information prise en compte par ces derniers.

Les résultats de l'ACP sont influencés par l'ordre de grandeur des variables. Ainsi pour y remédier à cet inconvénient, il est recommandé de donner le même poids aux différentes

variables en les réduisant. On réalise ainsi l'ACP soit sur des données centrées (variables de même nature) à partir de la « matrice des variances-covariances » entre variables, soit sur des données centrées réduites c'est-à-dire des variables de différentes natures « matrice de corrélation ».

Après l'élaboration des matrices des corrélations et de variances-covariances, il s'ensuit une diagonalisation basée sur :

- ✓ Une matrice de « vecteurs propres » qui contiennent des combinaisons linéaires des (N) variables initiales actives ;
- ✓ Une matrice de « valeurs propres » qui représentent les variances des individus sur les axes principaux correspondants.

Pour un axe donné, les variables qui ont les plus forts coefficients (en valeur absolue) sont celles qui contribuent le plus à la formation de cet axe. Une variable est d'autant mieux représentée sur le plan qu'elle est proche du cercle. Le choix du nombre de composantes est exprimé en fonction des « valeurs propres » ou « les pourcentages de variation expliqués par chaque composante principale ».

Sur chaque plan retenu, on regarde :

- ✓ La structure des variables à partir de leurs corrélations avec les axes principaux, représentée par « des cercles de corrélation » ;
- ✓ La répartition des individus, à partir de leurs coordonnées sur les axes principaux et d'indices.

4.3.8.3. Application de l'ACP aux données chimiques des eaux de la plaine de Ain Djasser :

L'analyse effectuée est une ACP centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau à 08 variables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ , résidu sec) et à 60 échantillons prélevés au niveaux des deux campagnes de mesure, celle de juillet 2007 et celle de février 2008.

L'interprétation de l'analyse se fera selon l'ordre des informations données par le logiciel (STATISTICA).

4.3.8.3.1. Statistique descriptive des différentes variables :

On remarque une première typologie des paramètres chimiques (Tableau 6.10) selon leurs coefficients de variation :

- ✓ Faible coefficient de variation : température, pH et HCO_3^- .

- ✓ Moins faible : conductivité électrique, SO_4^{2-} , K^+ et Mg^{2+} ;
- ✓ Coefficient de variation plus fort : Ca^{2+} , Cl^- et Na^+ ;
- ✓ Fort coefficient de variation : NO_3^- .

Tableau 6.10: Variation des éléments chimiques des eaux souterraines de la plaine de Ain Djasser

Eléments chimiques	Coefficient de variation	
	2007	2008
T°	0,08	0,06
pH	0,03	0,03
Ca ⁺⁺	0,46	0,44
Mg ⁺⁺	0,33	0,37
Na ⁺	0,58	0,65
K ⁺	0,30	0,41
Cl ⁻	0,52	0,53
SO ₄ ⁻⁻	0,29	0,30
HCO ₃ ⁻	0,09	0,25
NO ₃ ⁻	1,01	1,00
Conductivité	0,28	0,28

4.3.8.3.2. Matrice de corrélation :

Le tableau 6.11, présente les différentes corrélations entre les variables deux à deux. Le coefficient de corrélation significatif d'après Mangin est de : $r=0.477$ pour 60 couples de données (Athamena 2006) (Voire Annexe 2), ce qui permet de dégager les associations suivantes:

Tableau 6.11: Matrice de corrélation des paramètres chimiques

Variables	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	Résidu sec
Ca ⁺⁺	1							
Mg ⁺⁺	0,43	1						
Na ⁺	<u>0,63</u>	0,40	1					
K ⁺	0,11	0,32	0,12	1				
Cl ⁻	0,42	0,30	<u>0,48</u>	0,05	1			
SO ₄ ⁻⁻	-0,23	0,27	0,07	0,27	-0,14	1		
HCO ₃ ⁻	-0,19	-0,29	0,05	-0,09	0,01	-0,03	1	
Résidu sec	0,16	<u>0,67</u>	0,25	<u>0,53</u>	0,06	<u>0,65</u>	-0,18	1

Les fortes corrélations correspondent aux couples Mg^{2+} /Résidu et $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$, éléments probablement salifères. Si on considère les corrélations des autres paramètres, on constate que les valeurs un peu moins fortes correspondent aux couples Na^+/Cl^- et aux couples liants les éléments SO_4^{2-} et K^+ au résidu sec. D'autres corrélations moins significatives sont observées notamment Na^+/Cl^- et $\text{SO}_4^{2-}/\text{K}^+$ liés également à la formation salifère.

4.3.8.3.3. Etude des variables:

4.3.8.3.3.1. Projection des variables :

L'analyse a été poussée jusqu'à trois (03) facteurs. A ce stade seulement 72.73% de la variance totale ont put être exprimées (Tableau 6.12). Le faible % de la variance exprimée par le premier facteur (35.59%), montre qu'il n'existe pas de structure forte dans l'échantillonnage réalisé. Cela prouve que de nombreux facteurs interviennent sur la structure des échantillons, facteurs qui ne sont pas liées les uns aux autres. Ceci s'est répercuté sur la matrice de corrélation où on a eu une corrélation significative uniquement entre Ca^{2+} , Na^+ et Na^+ , Cl^- . Il faut signaler que 60 individus ont été introduits avec 08 variables.

L'analyse du plan factoriel « F1_F2 » (Figure 6.61 et Tableau 6.12) où plus de 59.32% de la variance totale sont exprimées, le facteur F1 est fortement déterminé positivement par le Mg^{2+} , le résidu sec, Na^+ et Ca^{2+} et d'une façon moindre par le K^+ (très proche du cercle). donc ce facteur est déterminé positivement par les évaporites. Ce qui prouve l'origine de la salinité des eaux de la nappe de la plaine de Ain Djasser.

Le facteur F2 est fortement déterminé positivement par le Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ et fortement déterminé négativement par les sulfates qui proviennent de la dissolution du gypse et qui sont probablement un origine agricole du à l'utilisation d'engrais chimiques.

Sur le plan factoriel « F1_F3 » (Figure 6.62), le facteur F3 qui exprime 13.41% de la variance totale est fortement déterminé positivement par HCO_3^- , ces derniers ont une origine carbonatée.

Tableau 6.12: Pourcentage de variance exprimée.

Axe	F1	F2	F3
Valeurs propres	2,85	1,90	1,07
% variance exprimé	35,59	23,74	13,41
%variance cumulé	35,59	59,32	72,73

Tableau 6.13: Corrélation facteurs_variables .

Variables	F1	F2	F3
Ca++	0,60	0,62	-0,14
Mg++	0,84	-0,05	-0,16
Na+	0,66	0,48	0,30
K+	0,53	-0,38	0,07
Cl-	0,45	0,59	0,19
SO4--	0,40	-0,72	0,27
HCO3-	-0,28	0,08	0,90
Résidu sec	0,79	-0,51	0,06

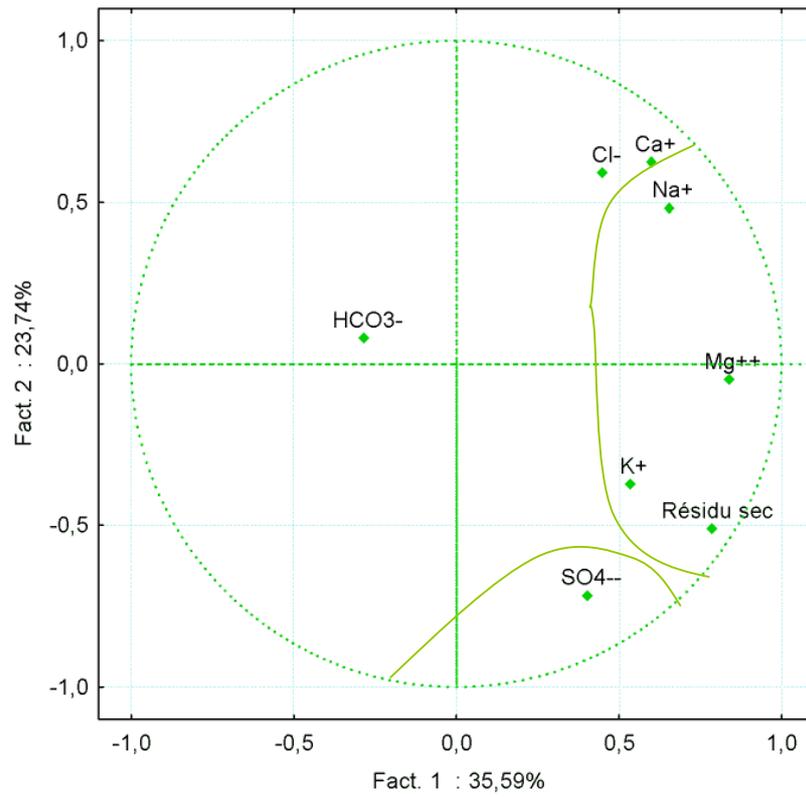


Figure 6.61: Cercle des corrélations, plan F1/F2

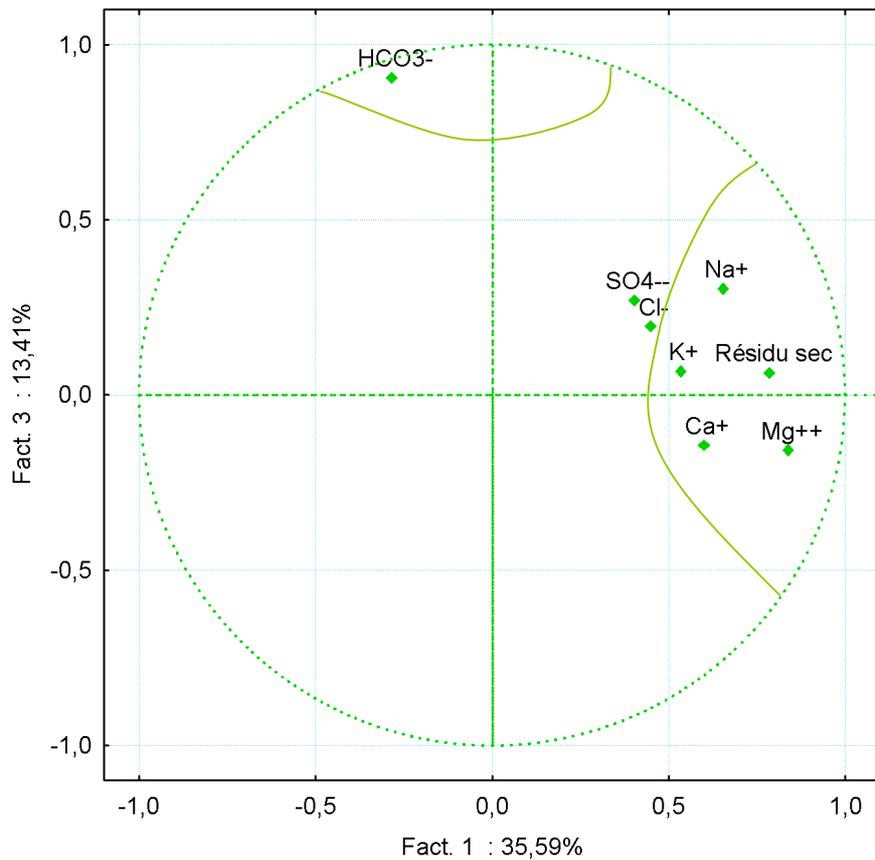


Figure 6.62: Cercle des corrélations, plan F1/F3

5. Conclusion:

L'interprétation des diagrammes de PIPER, SCHOELLER_BERKALOFF a montré que les eaux de la région de Ain Djasser sont caractérisées par une dominance des chlorures ou des sulfates qui semble être liée à la nature géologique. Le magnésium, le sodium et le calcium qui accompagnent les sulfates ont une faible importance.

Les variations des facies chimiques sont du au phénomène de dilution.

Les eaux présentent une potabilité permanente de bonne, passable à médiocre concernant l'alimentation en eau potable et de bonne à mauvaise pour l'agriculture avec la présence d'un danger de salinisation.

L'analyse en composante principales à confirmée le caractère très minéralisant des eaux de la plaine de Ain Djasser, et elle a mis en évidence les liens significatifs entre les eaux fortement minéralisées riches surtout en Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} et K^+ et les eaux faiblement minéralisées, l'étude a montrée aussi que le chimisme des souterraines de la nappe n'est pas lié seulement a la nature des terrains traversés, il peut être influencé par l'utilisation des fertilisants chimiques et des rejets des eaux usées c'est le cas des nitrates et du potassium.

La forte minéralisation enregistrée dans cette zone est liée avec une forte conductivité traduisant une salinité élevée qui doit être prise en considération et que l'eau doit être utilisée avec beaucoup de précaution en agriculture.

L'étude des éléments polluants montre que les eaux de la plaine de Ain Djasser sont légèrement polluées par Mg^{2+} , Na^+ et Cl^- et pour un degré moins par les nitrates.



Conclusion générale



Conclusion générale

L'étude que nous avons entreprise dans la région de Ain Djasser, nous a permis d'approfondir la connaissance des différents paramètres hydrogéologiques concernant les eaux souterraines de la nappe superficielle et les principales sources de pollution dans la région.

A travers cette contribution, on retiendra essentiellement:

1-La région de Ain Djasser est une région relativement plane à très faible pente, appartenant au sous bassin 07-02 du bassin versant 07 des hautes plaines constantinoises, elle est soumise à un climat semi aride influencé par les courants humides de la méditerrané en hiver et chauds du Sahara en été. Cette semi aridité favorise une agressivité climatique qui se traduit par une insuffisance en eau due essentiellement à l'irrégularité des précipitations et provoque une absence de couverture végétale, ce qui expose la région à une augmentation des températures, de l'évaporation et à une érosion plus ou moins intense.

2-La zone d'étude fait partie de l'ensemble sud sétifien formé de roches sédimentaires où on distingue:

- ✓ Des formations du Mio-Plio-Quaternaire constituées essentiellement de conglomérats et d'alluvions, ces formations dont l'épaisseur moyenne (80m), constituent une structure favorable au développement de la nappe superficielle.
- ✓ Des formations Carbonatées du Crétacé et du Jurassique qui entourent la plaine sont favorables à l'existence d'une nappe profonde de grande capacité.
- ✓ Des formations Triasiques d'argiles et de marnes gypsifères affleurant au Nord à Bled Tachema et au Sud à Bled El Mardja

3-l'examen des cartes de résistivités et les coupes géoélectriques ont permis de bien cerner la géométrie et l'extension des différents nappes. Ceci a permis de mettre en évidence la superposition de deux aquifères:

- ✓ Aquifère superficiel objet de l'étude contenu dans les formations du Mio-Plio-Quaternaire.
- ✓ Aquifère profond des calcaires fissurés.

Du point de vue hydrogéologique, l'étude de la nappe superficielle montre une très faible alimentation de surface directe par infiltration lors des précipitations et une alimentation importante latérale provenant des massifs calcaires entourant la plaine de Ain Djasser.

Les caractéristiques de cet aquifère du point de vue profondeur de la nappe et l'accessibilité facile à l'exploitation par rapport à l'aquifère profond l'expose à une surexploitation qui provoque une abaisse des niveaux et une dégradation de la qualité des eaux.

La surface piézométrique garde la même morphologie suivant la topographie avec une fluctuation en liaison avec les saisons et de la pluviométrie.

Le sens d'écoulement préférentiel se fait vers la localité de Ain Djasser axe du Sud vers le Nord.

4-la chimie des eaux a mis en évidence la prédominance des chlorures et des sulfates qui semblent être liées à la nature géologique, le magnésium, le sodium et le calcium qui accompagnent les sulfates d'un degré moins. Les eaux présentent une potabilité permanente de bonne, passable à médiocre concernant l'alimentation en eau potable et de bonne à mauvaise pour l'agriculture avec la présence d'un danger de salinisation.

L'analyse en composantes principales ACP a confirmée le caractère très minéralisant des eaux de la plaine de Ain Djasser, et elle a mis en évidence les liens significatifs entre les eaux fortement minéralisées, riches surtout en Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , Mg^{2+} et K^+ et les eaux faiblement minéralisées. L'étude a montrée aussi que le chimisme des eaux souterraines de la nappe n'est pas lié seulement à la nature des terrains traversés, il peut être influencé par l'utilisation des fertilisants chimique et des rejets des eaux usées c'est le cas des nitrates et du potassium.

La forte minéralisation enregistrée dans cette zone est liée avec une forte conductivité traduisant une salinité élevée qui doit être prise en considération et que l'eau doit être utilisée avec beaucoup de précaution en agriculture.

L'étude des éléments polluants a montré que les eaux de la plaine sont légèrement polluées par Mg^{2+} , Na^+ et Cl^- et d'un degré moins par les nitrates.

5-au vu de ce qui a été cité précédemment, il est préférable pour le bon suivi et la bonne exploitation des eaux souterraines de cette région de prendre les dispositions suivantes :

- ✓ Faire un bon suivi des deux stations existantes à l'intérieur du sous bassin de la plaine de Ain Djasser (ANRH et ONM).

- ✓ Prévoir des piézomètres de contrôle loin des zones d'influences pour avoir des données fiables.
- ✓ Veiller à une meilleure gestion des eaux en évitant l'exploitation anarchique des eaux souterraines par les nombreux sondages existants.
- ✓ les forages et les puits doivent être conformes à des exigences techniques concernant l'implantation, la réalisation et l'exploitation.
- ✓ Faire les analyses chimiques nécessaires pour déterminer la destination de l'eau afin de connaître s'il y a risque d'utilisation tout en ayant à disposition l'étude du sol pour une agriculture programmée (les dosages d'engrais en eau d'irrigation apportée aux cultures devraient être calculés).

Enfin l'instauration d'un système d'observation et de contrôle périodique permettra de :

- ✓ Connaître les conditions et les limites d'exploitation ainsi que la qualité des eaux et leur destination.
- ✓ Prévoir en s'appuyant sur une banque de données un programme d'exploitation rationnelle des différents horizons aquifères.

En conclusion, nous espérons que l'étude que nous avons menée au niveau de la plaine de Ain Djasser se trouvant en zone semi aride, a apporté un certain nombre d'informations supplémentaires et de précision qui pourront orienter les futures travaux dans le domaine de la maîtrise des ressources en eaux.



Bibliographie





Bibliographie:

- A.A.TANDI, E.S.DIOP et C.B.GAYE. Pollution par les nitrates des nappes phréatiques sous environnement semi-urbain non assaini: exemple de la nappe de Yeumbeul. Sénégal. Département de Géologie. Faculté des sciences. Univ. Cheikh Anta Diop. Dakar-Fann. Sénégal. (1999).
- AMROUN A. Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de Msila. Algérie. Mém. Magis. Univ. Batna. (2008).
- ATHAMENA M. Etude des ressources thermales de l'ensemble Sud sétifien. Algérie. Mém. Magis. Univ. Batna. (2006).
- BENCER.S. Etat actuel des ressources hydriques de la plaine de Ain Djasser et estimation de la qualité chimique des eaux souterraines .Batna-Algerie. Mém. Magis. Univ. Batna. 2005.
- CASTANY G . (1982) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie . Edition Dunod , Paris
- CASTANY G . (1967) : Traité pratique des eaux souterraines . Edition Dunod France
- CHABOUR N. Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstique de la région de Ain Djasser. Batna. Algérie. Mém. Magis. Univ. Constantine.1993
- CHEBBAH L.Etude hydrogeologique de la plaine de Zana-Chott Saboun. Batna. Mém.Magis. Univ.Batna. (2004).
- DEBIECHE T.H. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse. Nord-Est Algérien. TH.Doc.Univ.Franche Comte. France. (2002).
- MEKAOUCI H. Etude hydrochimique des eaux du bassin versant du barrage Fontaine des Gazelles. Biskra. Sud-Est Algerien. Mém. Magis.Univ. Batna. 2003.
- C.G.G. Etude géophysique de la plaine de Bourehzel. Direction des études du milieu et de la recherche hydraulique. Ministère des ressources en eau. Algérie. (1972).
- RODIER J. L'analyse de l'eau Ed. Dunod. Paris (1996).
- TIRI A. Qualité des eaux de surface de Oued Reboa. Batna Algérie. Mém. Magis. Univ. Batna. (2005).
- VILA.J.M. La chine alpine d'algerie orientale et les confins algéros-tunisiens. Th.Doc. es.Sc. Nat. Univ.Pierre et Marie Curie. Parisq. (1980).
- ZENATI N. Relation nappe-lac : cas de la nappe superficielle de la plaine d'El Hadjar. Mém. Magis. Univ. Annaba. Algérie. (1999).

Ministère de la défense national, Institut National de Cartographie, Carte topographique de Bourhzel au 1/50000;

Ministère de la défense national, Institut National de Cartographie, Carte topographique de Batna au 1/200000;

Ministère de l'énergie et des mines, SONATRACH, Carte géologique de Bourhzel au 1/50000.



Annexes



Annexes

Annexe_1

Les paramètres conditionnels des coefficients a et b, pour le calcul de l'ETP selon la formule de Blaney_Criddle, modifier par la F,A,O

Insolation effective (%)	Vitesse du vent(m/s)	Humidité relative (%)					
		Faible (<20)		Moyenne (20 à 52)		Elevée (>52)	
		a	b	a	b	a	b
Elevée (> 80)	Faible (0 à 2)	1.59	-2.02	1.45	-2.18	1.16	-1.96
	Moyenne (2 à 5)	1.77	-1.84	1.59	-2.11	1.25	-1.88
	Elevée (5 à 8)	2.00	-1.86	1.73	-2.04	1.36	-2.00
Moyenne (60 à 80)	Faible (0 à 2)	1.45	-2.00	1.30	-2.07	1.05	-1.84
	Moyenne (2 à 5)	1.66	-1.98	1.45	-2.00	1.14	-1.84
	Elevée (5 à 8)	2.05	-2.23	1.57	-1.98	1.21	-1.80
Faible (< 60)	Faible (0 à 2)	1.25	-1.79	1.13	-1.71	0.89	-1.70
	Moyenne (2 à 5)	1.45	-1.91	1.23	-1.75	0.96	-1.66
	Elevée (5 à 8)	1.61	-1.88	1.36	-1.82	1.02	-1.59

Annexe_2

Valours critiques du coefficient de corrélation selon A.Mangin

Individu	Corrélation critique		Individu	Corrélation critique	
	Au seuil de 5%	Au seuil de 1%		Au seuil de 5%	Au seuil de 1%
5	0.992	0.997	25	0.684	0.75
6	0.979	0.991	30	0.638	0.705
7	0.961	0.981	35	0.6	0.667
8	0.943	0.969	40	0.568	0.743
9	0.926	0.955	45	0.541	0.606
10	0.903	0.941	50	0.518	0.58
11	0.883	0.826	60	<u>0.477</u>	0.539
12	0.864	0.912	70	0.445	0.505
13	0.846	0.889	80	0.419	0.476
14	0.828	0.883	90	0.397	0.449
15	0.811	0.869	100	0.378	0.429
16	0.797	0.854	125	0.341	0.391
17	0.782	0.843	150	0.313	0.359
18	0.766	0.828	200	0.272	0.314
19	0.754	0.818	250	0.244	0.29
20	0.741	0.804	300	0.223	0.258