



HAL
open science

Etude paléomorphologique et hydrogéologique de la vallée du bas Isser (Algérie)

Nourredine Chemlal

► **To cite this version:**

Nourredine Chemlal. Etude paléomorphologique et hydrogéologique de la vallée du bas Isser (Algérie). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1983. Français. NNT: . tel-00768222

HAL Id: tel-00768222

<https://theses.hal.science/tel-00768222>

Submitted on 21 Dec 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

05.142
1983
26

triple

205142

1983

26

THESE

présentée à

**L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE**

pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE 3^e CYCLE
de Géologie Appliquée**

(Option Hydrogéologie)

par

Nourredine CHEMLAL

**ÉTUDE PALÉOMORPHOLOGIQUE ET
HYDROGÉOLOGIQUE DE LA VALLÉE
DU BAS ISSER
(ALGÉRIE)**



Soutenue le 18 février 1983 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER
J. SARROT-REYNAULD
J.C. FOURNEAUX
J. DAZY

Professeur Emérite à l'USMG de Grenoble
Professeur à l'USMG de Grenoble
Maître Assistant à l'USMG de Grenoble
Assistant à l'USMG de Grenoble

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

T. 83/220

RESUME

MOTS CLES :

Atlas tellien - vallée du bas Isser (Algérie) - bilan hydrologique - terrasses alluviales et marines - nappes aquifères - piézométrie - physico-chimie des eaux - réserves en eaux souterraines.

Après avoir décrit le cadre géologique de la région d'étude, située au sein de l'ensemble géologique de l'Atlas tellien, zone plissée alpine de l'Afrique du Nord, sont tout d'abord, traitées les données hydroclimatologiques nécessaires à l'établissement du bilan hydrologique du bassin versant du bas Isser.

La cartographie des formations quaternaires a mis en évidence cinq terrasses marines et sept terrasses alluviales ; ces dernières sont disposées en gradins étagés décroissant d'Ouest en Est.

C'est sur la base des données géophysiques (prospection électrique) et de forages, que sont d'une part décrits les dépôts de ces diverses terrasses, où l'on distingue deux horizons aquifères, constitués de galets, de graviers et de sables peu ou pas argileux, présentant par endroits d'étroites relations hydrauliques entre eux et d'autre part, schématisé la morphologie du substratum marneux.

La minéralisation des eaux souterraines des nappes contenues dans ces terrasses augmente dans le sens de l'écoulement des eaux ; leurs faciès chimiques sont essentiellement sulfatés et bicarbonatés magnésiens ou calciques ; à l'embouchure ils sont chlorurés sodiques ou magnésiens.

L'interprétation des cartes physico-chimiques établies montre que la minéralisation des eaux souterraines est due à :

- Une concentration par évaporation très importante.
- Une concentration en sels au contact des dépôts alluvionnaires et littoraux tout au long de leur trajet souterrain.
- A l'invasion de l'eau de mer dans la zone proche de l'embouchure de l'oued Isser.

La piézométrie des différentes nappes établie en hautes et en basses eaux a permis de déterminer les divers types d'écoulement et les zones d'alimentation des nappes souterraines.

Le résultat des essais de pompages effectués ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (T et S) des nappes, constituant les diverses terrasses, lesquels couplés à ceux obtenus lors de l'étude piézométrique ont permis d'estimer :

- Les diverses réserves en eaux souterraines,
- Les apports latéraux souterrains,
- Les sorties vers la mer.

205142

1983

26

THESE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE
de Géologie Appliquée

(Option Hydrogéologie)

par

Nourredine CHEMLAL

ÉTUDE PALÉOMORPHOLOGIQUE ET
HYDROGÉOLOGIQUE DE LA VALLÉE
DU BAS ISSER
(ALGÉRIE)



Soutenu le 18 février 1983 devant la Commission d'Examen

R. BARBIER	Professeur Emérite à l'USMG de Grenoble
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG de Grenoble
J.C. FOURNEAUX	Maître Assistant à l'USMG de Grenoble
J. DAZY	Assistant à l'USMG de Grenoble

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

AVANT PROPOS

Au terme de cette étude, je tiens à remercier sincèrement tous ceux qui m'ont aidé dans sa réalisation et ceux qui ont bien voulu la juger.

- Monsieur le Professeur R. BARBIER qui m'a fait l'honneur de présider ce jury.

- Monsieur le Professeur J. SARROT REYNAULD qui m'a accueilli dans son laboratoire et qui m'a guidé et conseillé tout au long de cette étude. Je lui exprime ici ma profonde reconnaissance.

- Monsieur J.C. FOURNEAUX pour les nombreuses discussions et conseils tout au long de la rédaction de ce mémoire.

- Monsieur J. DAZY pour avoir accepté de participer au jury.

- Le Ministère de l'Hydraulique pour la bourse qui m'a été octroyée. Je remercie particulièrement le personnel de la Direction Générale de la Formation et de la Recherche de ce Ministère.

- Les services de la carte géologique de l'Algérie et de la documentation de la Sonarem (Division recherche) qui ont mis à ma disposition une documentation importante, souvent inédite.

- L'office national de la Météorologie d'Oran qui m'a autorisé à consulter les documents climatologiques.

- Tous mes amis et collègues de l'INRH, de la DHW d'Alger et de la DHW de Tizi-Ouzou pour m'avoir assisté tout au long de ce travail.

- Mes amis et anciens enseignants de l'Institut des sciences de la Terre de l'Université d'Alger.

- Mes amis de 3ème cycle de l'Institut Dolomieu qui m'ont rendu le séjour en France agréable.

- Les membres du personnel technique et scientifique de l'Institut de Géologie de Grenoble, en particulier à Madame C. DE RUBIA qui s'est chargée de la dactylographie de la thèse.

Je dédie ce travail

à mes parents

R E S U M E

MOTS CLES :

Atlas tellien - vallée du bas Isser (Algérie) - bilan hydrologique - terrasses alluviales et marines - nappes aquifères - piézométrie - physico-chimie des eaux - réserves en eaux souterraines.

Après avoir décrit le cadre géologique de la région d'étude, située au sein de l'ensemble géologique de l'Atlas tellien, zone plissée alpine de l'Afrique du Nord, sont tout d'abord traitées les données hydroclimatologiques nécessaires à l'établissement du bilan hydrologique du bassin versant du bas Isser.

La cartographie des formations quaternaires a mis en évidence cinq terrasses marines et sept terrasses alluviales ; ces dernières sont disposées en gradins étagés décroissant d'Ouest en Est.

C'est sur la base des données géophysiques (prospection électrique) et de forages, que sont d'une part décrits les dépôts de ces diverses terrasses, où l'on distingue deux horizons aquifères, constitués de galets, de graviers et de sables peu ou pas argileux, présentant par endroits d'étroites relations hydrauliques entre eux et d'autre part schématisé la morphologie du substratum marneux.

La minéralisation des eaux souterraines des nappes contenues dans ces terrasses augmente dans le sens de l'écoulement des eaux ; leurs faciès chimiques sont essentiellement sulfatés et bicarbonatés magnésiens ou calciques ; à l'embouchure ils sont chlorurés sodiques ou magnésiens.

L'interprétation des cartes physico-chimiques établies montre que la minéralisation des eaux souterraines est due à :

- Une concentration par évaporation très importante.
- Une concentration en sels au contact des dépôts alluvionnaires et littoraux tout au long de leur trajet souterrain.
- A l'invasion de l'eau de mer dans la zone proche de l'embouchure de l'oued Isser.

La piézométrie des différentes nappes établie en hautes et en basses eaux a permis de déterminer les divers types d'écoulement et les zones d'alimentation des nappes souterraines.

Le résultat des essais de pompages effectués ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (T et S) des nappes, constituant les diverses terrasses, lesquels couplés à ceux obtenus lors de l'étude piézométrique ont permis d'estimer :

- Les diverses réserves en eaux souterraines,
- Les apports latéraux souterrains,
- Les sorties vers la mer.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE PREMIER - INTRODUCTION

I.1. But et méthodes	1
I.1.1. But	1
I.1.2. Méthodes	2
I.1.2.1. Etude hydroclimatologique	2
I.1.2.2. Etude géologique	2
I.1.2.3. Etude des formations quaternaires	2
I.1.2.4. Etude piézométrique	3
I.1.2.5. Etude physico-chimique des eaux	3
I.1.2.6. Détermination des caractéristiques hydro- dynamiques par essais de pompage	3
I.2. Situation géographique et morphologie	5
I.2.1. Situation géographique	5
I.2.2. Caractéristiques physiographiques et géomorphologique du bassin versant du bas Isser.	
I.2.2.1. Superficie et subdivision du bassin versant de l'Oued Isser	5
I.2.2.2. Répartition altimétrique du bassin versant	6
I.2.2.3. Forme du bassin versant	8
I.2.2.4. Rectangle équivalent	9
I.2.2.5. Pente moyenne du bassin versant	9
I.3. Conclusion	10

CHAPITRE DEUXIEME - ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

II.1. Introduction	13
II.2. Situation géographique des stations	14
II.3. Etude des précipitations	15
III.3.1. Précipitations mensuelles	15

III.3.2. Précipitations annuelles	21
II.3.3. Test d'homogénéité ou corrélation double masse ...	22
II.3.4. Régression linéaire	22
II.3.5. Calcul des valeurs caractéristiques	27
II.3.6. Gradient altimétrique	28
II.4. Détermination de la lame d'eau précipitée	30
II.4.1. Méthode arithmétique	30
II.4.2. Gradient altimétrique de précipitations	31
II.4.3. Méthode de Thiessen	32
II.4.4. Méthode des Isohyètes	34
II.4.5. Comparaison des résultats	36
II.5. Etude des températures	37
II.6. L'humidité relative	40
II.7. Etude de l'évapotranspiration	42
II.7.1. Calcul de l'évapotranspiration potentielle	42
II.7.2. Calcul de l'évapotranspiration réelle	46
II.7.2.1. Formule de Turc	46
II.7.2.2. Formule de COUTAGNE (1ERE FORMULE)	46
II.7.2.3. Méthode de Wundt	47
II.7.2.4. Calcul de l'ETR selon le bilan de Thorntwaite	47
II.7.3. Discussion des résultats	51
II.8. Hydrologie de surface	52
II.8.1. Généralités	52
II.8.2. Jaueages différentiels	53
II.9. Estimation du bilan hydrologique	55
II.10. Conclusion	60

CHAPITRE TROISIEME - ETUDE GEOLOGIQUE

III.1. Géologie de l'Algérie du Nord	65
III.1.1. Atlas tellien	65
III.1.1.1. Tell septentrional	65
III.1.1.1. Tell méridional	69
III.1.2. Domaine des Hautes plaines	69

III.1.3. Atlas saharien	70
III.2. Cadre géologique de la région étudiée	71
III.2.1. Introduction	71
III.2.2. Stratigraphie	72
III.2.2.1. Socle cristallophyllien	72
a- Assise inférieure des schistes cristallo- phylliens	72
b- Assise supérieure des phyllades	75
III.2.2.2. Roches éruptives	75
A- Généralités	75
B- Etude détaillée des divers massifs	76
1- Massif de Thénia	76
2- Bordure occidentale du massif du Djurdjura	79
3- Massif de Djinet	80
III.2.2.3. Paléozoïque	81
III.2.2.4. Meso-cénosoïque	81
A- Unités allochtones	81
1- Dorsale	81
a- Permo-Trias	81
b- Lias inférieur et moyen	83
c- Lias supérieur - crétacé supérieur..	83
d- Paléocène supérieur - Lutétien	83
2- Unité des Tamarkemit	84
a- Jurassique -Crétacé	84
b- Paléogène de l'unité des Tamarkemit	85
3- Unité du flysch	85
a- Flysch maurétanien	85
b- Flysch massylien	86
c- Flysch paléogène supérieur de la chaîne calcaire	87
B- Unités autochtones	89
1- Flysch autochtone paléogène de la zone kabyle	89
2- Maestrichien	90
3- Tertiaire	90
3.1. Miocène	90
3.2. Pliocène	93

4- Quaternaire	94
III.2.3. Tectonique	94
A- Zone kabyle	95
B- Zone de la chaîne calcaire	96
C- Zone des nappes de flysch et telliennes	97
III.2.4. Caractéristiques hydrogéologiques des différents ensembles géologiques	98
III.2.5. Conclusion	99

CHAPITRE QUATRIEME

ETUDE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

IV.1. Introduction	103
IV.2. Etude des terrasses marines	103
IV.2.1. Plage de 100 mètres	103
IV.2.2. Plage de 53 mètres	106
IV.2.3. Plages de 15 et 30 mètres	108
IV.2.4. Dépôts éoliens actuels (dunes anciennes)	108
IV.3. Etude des terrasses alluviales	110
IV.3.1. Alluvions de la première terrasse	110
IV.3.2. Alluvions de la deuxième terrasse	111
IV.3.3. Alluvions de la troisième terrasse	111
IV.3.4. Alluvions de la quatrième terrasse	113
IV.3.5. Alluvions de la cinquième terrasse	116
IV.3.6. Alluvions de la sixième terrasse	117
IV.3.7. Alluvions de la septième terrasse	118
A- Forage F9 - Coupe 1	118
B- Forage 629 - Coupe 2	120
C- Forage F4 - Coupe 3	120
D- Forage F1 - Coupe 4	122
E- Forages 3552 et 3294 - Coupe 5	122
F- Forage F12D et F11D - Coupe 6	124
G- Forage 3537 - Coupe 7	125
H- Forages 3554 et 3535 - Coupe 8	127
K- Forage 3512 - Coupe 9	127
L- Forages 3527 à 3532 - Coupe 10	127

IV.4. Carte du toit du substratum	129
IV.5. Mode de formations des terrasses et déplacement de l'Oued Isser	129
IV.6. Reconstitution de l'histoire de l'Oued Isser à partir du Pliocène supérieur	131
A- Pliocène supérieur	131
1- 1er cours de l'Oued Isser	131
2- 2ème cours de l'Oued Isser	133
B- Pleistocène	133
1- 3ème cours de l'Oued Isser	133
2- 4ème cours de l'Oued Isser	134
3- 5ème cours de l'Oued Isser	134
C- Neo - pléistocène	134
IV.7. Conclusion	135

CHAPITRE CINQUIEME - ETUDE PIEZOMETRIQUE

V.1. Introduction	139
V.2. Principaux niveaux aquifères	139
V.3. Interprétation des cartes piézométriques	141
V.3.1. Nappe aquifère des terrasses littorales	141
V.3.2. Nappe aquifère des terrasses alluviales supérieures	141
V.3.3. Nappe aquifère de la basse vallée de l'Oued Isser	144
V.4. Régime de la nappe	144
V.5. Fluctuations de la nappe	146
V.6. Zones d'alimentation	148
V.7. Conclusion	148

CHAPITRE SIXIEME - ETUDE PHISYCO-CHIMIQUE

VI.1. Introduction	153
VI.2. Etude physique des eaux : Interprétation des cartes de conductivité	153
VI.3. Chimie des eaux souterraines	157
VI.3.1. Indice d'échange de base	157

VI.3.2. Faciès chimiques et interprétation graphique ...	
des analyses chimiques des eaux	158
A- Les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes	158
B- Les eaux sulfatées magnésiennes et calciques ..	158
C- Les eaux chlorurées sodiques et magnésiennes ..	163
VI.3.3. Etude de l'origine des ions	163
A- Carte des teneurs en Chlorures	163
B- Carte des teneurs en Sulfates	165
C- Teneurs en Bicarbonates	167
D- Teneurs en Nitrates	167
VI.3.4. Interprétation des cartes d'équirapports	169
A- Carte d'équirapport $\frac{rSO_4}{rCl}$	169
B- Carte d'équirapport $\frac{rMg}{rCa}$	169
C- Carte d'isovariation du rapport $\frac{rMg}{rCa}$	169
VI.4. Etude physico-chimique des sources	172
VI.5. Conclusion	172

CHAPITRE SEPTIEME - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES

HYDRODYNAMIQUES DES AQUIFERES DU BAS ISSER

VII.1. Introduction	177
VII.1. Définitions	177
1- Coefficient d'emménagement	177
2- Transmissivité	177
VII.1.2. Mode opératoire des essais de pompage	177
VII.2. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques par	
essai de pompage	178
VII.2.1. Méthode de Theis	178
1- Mode opératoire	180
2- Applications	182
VII.2.2. Méthode de Jacob	182
1- Mode opératoire	184
2- Application	187
VII.2.3. Méthode de la droite de remontée de Theis	188
1- Mode opératoire	188
2- Applications	190

VII.3. Etude des sources	192
VII.4. Conclusion et tableau récapitulatif des caractéristiques	
hydrodynamiques	194

CHAPITRE HUITIEME

EVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

VIII.1. Généralités	201
1- Réserve régulatrice	201
2- Réserve permanente	201
3- Réserve totale	201
4- Réserve exploitable	201
VIII.2. Réserves régulatrices	202
VIII.3. Réserves permanentes	203
VIII.4. Evaluation des apports latéraux des terrains de	
bordure	204
VIII.5. Estimation des apports et des exhaures de la nappe ...	
aquifère de la terrasse littorale de 53 mètres	206
VIII.6. Estimation des sorties vers la mer	206
VIII.7. Exploitation actuelle et future de la nappe aquifère	
de la 7ème terrasse alluviale	207
A- Exploitation actuelle	208
B- Exploitation future	208
VIII.8. Conclusion	209

CONCLUSION GENERALE	211
---------------------------	-----

ANNEXES	217
---------------	-----

BIBLIOGRAPHIE	229
---------------------	-----

LISTE DES CARTES

Cartes	Page
n° 1 : Carte géologique du bas Isser	73
n° 2 : Carte des formations quaternaires	104
n° 2bis : Carte de situation des coupes géoélectriques	105
n° 3 : Carte du toit du substratum	130
n° 4 : Carte piézométrique (hautes eaux)	142
n° 4bis : Carte de situation des points d'eau	140
n° 5 : Carte piézométrique (basses eaux)	143
n° 6 : Carte des équilibres de la nappe	147
n° 7 : Carte de la conductivité des eaux de la vallée du bas Isser (hautes eaux)	154
n° 8 : Carte de la conductivité des eaux de la vallée du bas Isser (basses eaux)	155
n° 9 : Carte des teneurs en Chlorures des eaux de la vallée du bas Isser (hautes eaux)	164
n° 10 : Carte des teneurs en Sulfates des eaux de la vallée du bas Isser (basses eaux)	166
n° 11 : Carte d'équirapport $\frac{r_{SO}}{r_{Cl}}$ des eaux de la vallée du bas Isser (hautes eaux)	168
n° 12 : Carte d'équirapport $\frac{r_{Mg}}{r_{Ca}}$ des eaux de la vallée du bas Isser (hautes eaux)	170
n° 13 : Carte d'isovariation du rapport $\frac{r_{Mg}}{r_{Ca}}$ des eaux de la vallée du bas Isser	171

LISTE DES FIGURES

Figures	Page
n° 1 : Carte des sous-bassins de l'oued Isser	4
n° 2 : Courbe hypsométrique du bassin versant du bas Isser ...	7
n° 3 : Répartition spatiale des stations pluviométriques	13
n° 4 : Pluviométrie moyenne mensuelle	17
n° 5 : Corrélations double masse des précipitations moyennes annuelles	24
n° 6 : Droites de régression linéaire des précipitations moyennes annuelles	26
n° 7 : Profil pluviométrique	29
n° 8 : Polygone de Thiessen	33
n° 9 : Courbes Isohyètes	35
n° 10 : Profil thermique	39
n° 11 : Déficit d'écoulement d'après le diagramme de Wundt	48
n° 12 : Corrélation des débits de l'oued Isser mesurés à différentes stations avec ceux mesurés à la station de Lakhdaria (gorges)	57
n° 13 : Courbe du coefficient de corrélation en fonction de la superficie de la zone drainée par l'oued Isser à la station de jaugeage considérée	58
n° 14 : Cadre structural schématique de l'Algérie	66
n° 15 : Structure de l'Algérie du Nord	67
n° 16 : Coupes montrant les différentes hypothèses de l'origine des Flyschs	68
n° 17 : Coupes géologique par la dépression de Thénia	77
n° 18 : Coupes géologiques à travers les massifs de Thénia et la bordure occidentale du Djurdjura	78
n° 19 : Coupe géologique à travers la chaîne calcaire dans la région de Lakhdaria	82
n° 20 : Coupes schématiques à travers les alluvions de la vallée du bas Isser	107
n° 21 : Coupes géoélectriques perpendiculaires à la direction de la terrasse littorale de 53 m	109

n° 22 : Coupes géoléctriques perpendiculaires à la direction de la 3 et de la 4 terrasse alluviale	114
n° 23 : Coupes géoélectriques perpendiculaires à la direction de la 3 et de la 4 terrasse alluviale	115
n° 24 : Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale (coupes 1 et 2)	119
n° 25 : Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale (coupes 3 et 4)	121
n° 26 : Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale (coupes 5 et 6)	123
n° 27 : Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale (coupes 7 et 8)	126
n° 28 : Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale (coupes 9 et 10)	128
n° 29 : Schéma hypothétique du mode de formation des terrasses alluviales	132
n° 30 : Courbes de variation de la profondeur des eaux souterraines mesurées dans 9 puits	145
n° 31 : Diagramme d'analyse d'eau	159
n° 32 : Courbe standard de Theis	179
n° 33 : Courbes interprétatives des essais de pompage d'après Theis	181
n° 34 : Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de Jacob	183
n° 35 : Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la droite de remontée de Theis	189

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
n° 1 : Répartition altimétrique du bassin versant du bas Isser	6
n° 2 : Altitudes caractéristiques du bassin versant du bas Isser	8
n° 3 : Tableau récapitulatif des caractéristiques physio-graphiques du bassin versant du bas Isser	10
n° 4 : Distribution spatiale, nomenclature et période de fonctionnement des stations	14
n° 5 : Précipitations moyennes mensuelles	16
n° 6 : Valeurs des précipitations annuelles (1981-1982) et leur moyenne sur 9 ou 13 ans	21
n° 7 : Valeurs des précipitations annuelles et cumulées	23
n° 8 : Résultats des corrélations par régression linéaire	22
n° 9 : Valeurs caractéristiques des précipitations aux différentes stations	27
n° 10 : Répartition de la pluviométrie en fonction de l'altitude	28
n° 11 : Evaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant du bas Isser par la méthode altimétrique	31
n° 12 : Evaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant du bas Isser par la méthode de Thiessen	34
n° 13 : Evaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant du bas Isser par la méthode des Isohyètes	36
n° 14 : Valeurs des précipitations moyennes annuelles selon les trois méthodes de calcul	37
n° 15 : Températures moyennes mensuelles	38
n° 16 : Températures moyennes annuelles	40
n° 17 : Humidité relative moyenne mensuelle à la station de Boukhalfa	41
n° 18 : Humidité relative moyenne à la station de Tizi-ouzou ..	41
n° 19 : Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées par la méthode de Serra	43
n° 20 : Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées par la méthode de Thornthwaite	43

n° 21 : Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles mesurées	44
n° 22 : Valeurs d'évapotranspirationspotentielles moyennes annuelles calculées et mesurées	45
n° 23 : Bilan hydrologique d'après Thornthwaite	50
n° 24 : Tableau récapitulatif de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes	51
n° 25 : Apports et débits moyens annuels de l'oued Isser à la station de Lakhdaria (gorges)	54
n° 26 : Résultats des jaugeages différentiels de l'oued Isser .	54
n° 27 : Corrélation des débits de l'oued Isser à la station de Lakhdaria (gorges) avec ceux des autres stations ...	59
n° 28 : Valeurs des mesures des profondeurs d'eau effectuées dans 9 puits à différentes périodes	146
n° 29 : Valeurs de transmissivités et de coefficients d'emménagement d'après la méthode de Theis	182
n° 31 : Valeurs de transmissivités d'après la méthode de la droite de remontée de Theis	192
n° 30 : Valeurs de transmissivités d'après la méthode de Jacob .	187
n° 32 : Valeurs des débits de sources	193
n° 33 : Tableau récapitulatif des valeurs de transmissivités et de coefficients d'emménagement déterminées par les différentes méthodes	196
n° 34 : Réserves régulatrices	202
n° 35 : Réserves permanentes	203
n° 36 : Apports latéraux en rive gauche	205
n° 37 : Apports latéraux en rive droite	205

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

I.1. BUT ET METHODES

I.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIE

I.1. BUT ET METHODES

I.1.1. BUT

La vallée de l'Oued Isser est une région essentiellement agricole, les cultures maraîchères, agrumes, vignobles et une exploitation forestière représentent les principales ressources agricoles.

A ces ressources agricoles, s'ajoutent les industries de construction mécaniques (Bordj-Ménaïel), chimiques (Thénia) et les industries de matériaux de construction (Cap Djinet, Si Mustapha et Bordj-Ménaïel) qui sont les principales unités industrielles.

L'industrie des matériaux de construction exploite d'une part les roches volcaniques (Cap Djinet) et les granodiorites (Thénia, Si Mustapha), à cet effet des carrières d'agrégats pour les besoins de construction ont été créés, et d'autre part les argiles et marnes du mio-pliocène pour l'industrie de briqueterie.

C'est surtout la rationalisation de l'agriculture qui a suscité la mise en oeuvre d'un programme de développement, qui comme partout ailleurs en Algérie, reste conditionné par le problème primordial de l'eau.

Dans ce but, le Ministère de l'Hydraulique a saisi l'INRH (Institut National de la Recherche Hydraulique "ex DEMRH") pour mener une étude des potentialités des ressources hydrauliques de la région.

A cet effet, une étude géophysique par prospection électrique a été effectuée par la C.G.G. (Compagnie générale de Géophysique) en 1973 qui venait compléter celle, déjà réalisée en 1966.

Un premier inventaire, nivellement et la réalisation de 20 forages de reconnaissance ont été entrepris en 1972-1973.

Par ailleurs, la DHWA (Direction de l'Hydraulique de la Wilaya d'Alger), dans le souci de renforcer l'AEP de la région Est Algéroise, a réalisé depuis 1977 en rive gauche de l'oued Isser 9 forages.

Quant à la DHWTo (Direction de l'hydraulique de la Wilaya de Tizi-Ouzou, dans le cadre du projet de renforcement des ressources en eau potable et

d'irrigation de la rive droite de l'oued Isser, a chargé la société Bulgare "BULGARGEOMIN" de la réalisation de 18 forages.

A la suite de la bourse qui nous a été octroyée par le ministère de l'hydraulique en vue de la préparation d'une thèse de doctorat de troisième cycle à l'institut de géologie de Grenoble, nous avons, avec l'accord et la collaboration de Monsieur le Professeur J. SARROT REYNAULD réalisé l'étude paléomorphologique et hydrogéologique de la vallée du bas Isser.

Il convenait à cet effet de procéder aux études suivantes.

I.1.2. METHODES

I.1.2.1. Etude Hydroclimatologique

Les potentialités en eau des nappes souterraines sont étroitement liées aux conditions hydroclimatologiques ; il convenait, à partir des données climatiques (pluviométrie, température, humidité etc...) de faire une synthèse et d'essayer de dégager les principales caractéristiques, qui s'intègrent dans l'estimation du bilan régional des ressources en eau.

I.1.2.2. Etude géologique

Nous disposons pour la reconnaissance géologique des travaux effectués d'une part sur les formations cristallines par J. THIEBAUT (1949), P. MURAOUR (1952), P. BOSSIERE (1970)..et d'autre part sur les terrains de la chaîne calcaire et des flyschs par E. FICHEUR (1840-1910) ; J. FLANDRIN (1937) ; L. GLANGEAUD et P. MURAOUR (1953) ; M. TEFIANI, M. DURAND DELGA et A. COUTELLE (1960 - 1971)...

Dès 1971, le service géologique de la Sonarem, Division recherche, avec la collaboration de la mission soviétique dans le cadre des recherches minières (Fluorine et barytine), ont dressé la minute de la carte géologique (non encore publiée) de la région de Thénia et de Lakhdaria.

Il était nécessaire, au cours de notre étude d'effectuer quelques itinéraires de reconnaissance et surtout de vérifier et de compléter l'étude des formations quaternaires.

I.1.2.3. Etude des formations quaternaires

Cette étude consistait à reprendre les résultats des études géophysiques par prospection électrique de 1966 et 1973, effectuées par la CGG avec la collaboration de l'INRH.

Il convenait à cet effet, de corrélater et de corriger les coupes géoélectriques avec les données de coupes de forages réalisés de 1973 à ce jour. L'étude des données recueillies nous permet, de décrire les dépôts des diverses terrasses alluviales et marines, d'essayer de schématiser la géométrie des aquifères et de préciser la morphologie du substratum à travers la vallée du Bas Isser.

I.1.2.4. Etude piézométrique

La récolte des données piézométriques a nécessité sur le terrain, le choix d'un réseau de points d'eau nivelés.

A cet effet, on a sélectionné 9 puits pour faire des mesures mensuelles, et une centaine d'autres points d'eau pour effectuer des mesures piézométriques en période de hautes eaux (mars) et de basses eaux (août).

Ces différentes étapes permettent de tracer des cartes hydro-isohypses qui nous permettent, de définir les grandes lignes de l'écoulement souterrain, à connaître l'évolution du niveau de la nappe dans le temps et dans l'espace et de voir les relations hydrauliques qui pourraient exister entre les nappes des différentes terrasses.

I.1.2.5. Etude Physico-chimique des eaux

Cette étude est menée sur un réseau de points d'eau préalablement choisi de la vallée du Bas Isser.

Les analyses réalisées au laboratoire de chimie des eaux de l'INRH portent sur le PH, la conductivité, et la composition chimique complète des eaux.

Ce travail permet d'apprécier la qualité des eaux, de préciser l'écoulement souterrain des eaux et de voir l'évolution et la répartition des caractères physico-chimiques des eaux de la nappe aquifère de la vallée du Bas Isser.

I.1.2.6. Détermination des caractéristiques hydrodynamiques par essais de pompage

Ces essais permettent de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères, qui sont la transmissivité et le coefficient d'emménagement.

A cet effet, dans le souci de conserver la validité des résultats, nous avons utilisé plusieurs méthodes d'interprétation.

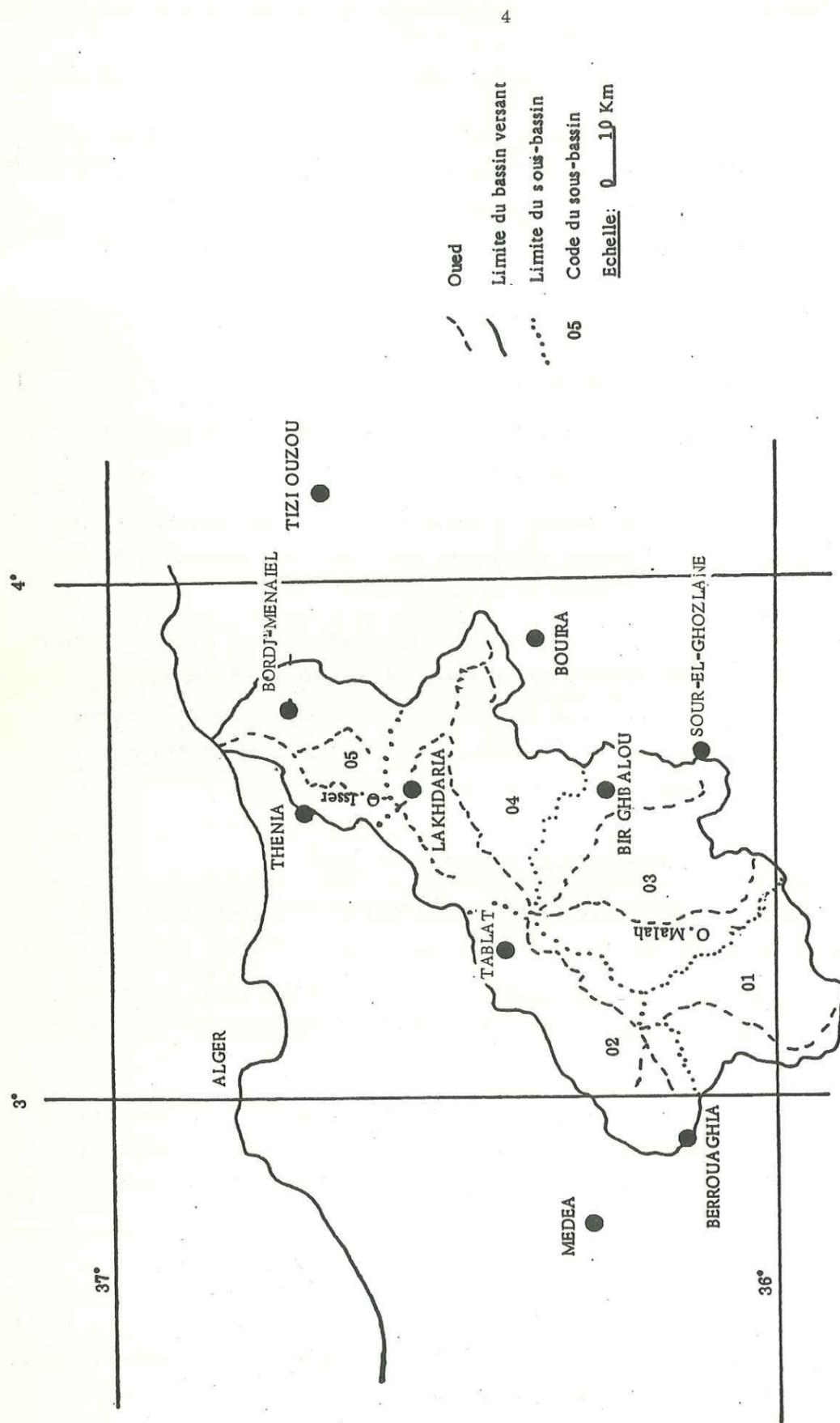


Figure 1 : Carte des sous bassins de l'Oued Isser (09)

La connaissance de ces paramètres nous permettra d'établir un bilan approximatif des ressources en eau souterraine, afin d'indiquer les orientations pour une exploitation rationnelle des ressources hydrauliques.

1.2. SITUATION GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE

1.2.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE (figure n° 1)

La région d'étude se situe dans le bassin versant de l'Oued Isser, à 60 km à l'Est d'Alger.

La limite occidentale de cette région est représentée par le plateau de l'Isser et des Montagnes de Zouatena.

La limite septentrionale est la mer méditerranée.

A l'est, cette région se joint à la chaîne montagneuse de Grande Kabylie.

Le bassin versant du Bas Isser est séparé de celui du Moyen Isser par le massif de Krachena.

Du point de vue administratif, cette région se trouve à la limite des Wilayas d'Alger, de Tizi-Ouzou et de Bouira.

Ce cadre est limité entre les latitudes 36°38 et 36°52 Nord et les longitudes 3°32 et 3°53 Est.

1.2.2. CARACTERISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES ET GEOMORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT DU BAS ISSER

1.2.2.1. Superficie et subdivision du bassin versant de l'Oued Isser (figure n° 1)

Le bassin versant de l'Oued Isser de 4149 Km² de superficie totale, est constitué de 5 sous-bassins, dont celui du Bas Isser qui a une surface de 533 km² fait l'objet de notre étude.

L'exutoire du bassin versant du Bas Isser qui est celui du bassin versant de l'Oued Isser, est l'embouchure de l'Oued Isser.

Dans la région étudiée, les formations quaternaires occupent 100 Km² de superficie.

I.2.2.2. Répartition altimétrique du bassin versant

Les altitudes du bassin du Bas Isser sont comprises entre l'altitude zéro à l'embouchure et 1031 m sur la bordure occidentale du massif du Djurdjura.

Nous avons déterminé les surfaces par tranches d'altitude de 200 m.

Le tableau n° 1 indique les superficies mesurées et leur pourcentage par tranche d'altitude.

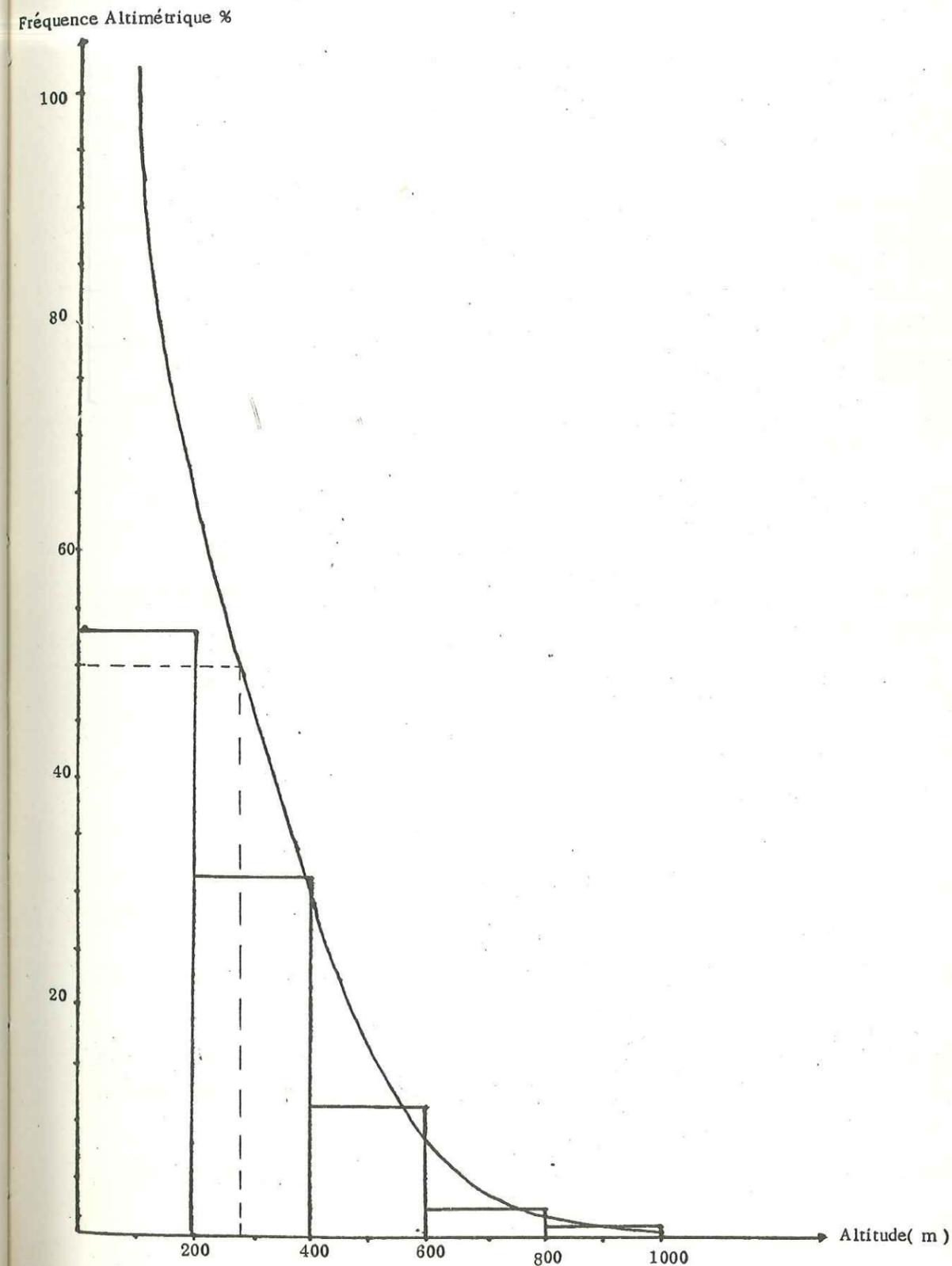
Tranches d'altitudes	Moyenne	Superficie		
		Km ²	%	% cumulés
> 800		6	1,12	1,12
600 - 800	700	14	2,62	3,74
400 - 600	500	61,2	11,48	15,22
200 - 400	300	168,6	31,63	46,85
0 - 200	100	283,2	53,13	99,98

Tableau n° 1 : Répartition altimétrique du bassin versant du Bas Isser.

Cette répartition nous indique que les forts pourcentages correspondent aux basses altitudes, ce qui montre que notre région ne présente pas une topographie accentuée, elle est surtout caractérisée par des reliefs moyens.

Le tracé de la courbe hypsométrique (figure n° 2) nous permet de calculer les caractéristiques du bassin versant du Bas Isser, qui sont résumées dans le tableau n° 2.

Figure 2 : Courbe Hypsométrique du bassin versant du Bas Isser



Altitudes caractéristiques	Valeurs (m)
Altitude maximum	1031
Altitude minimum	0
Altitude moyenne	268
Altitude de fréquence 50 %	280
Altitude la plus fréquente	0 - 200

Tableau n° 2 : Altitudes caractéristiques

I.2.2.3. Forme du Bassin versant

La forme du Bassin versant est un phénomène très important pour les modalités des écoulements et la forme des hydrogrammes. Elle est représentée par l'indice de compacité ou indice de gravelius.

$$K = \frac{P}{2 \sqrt{\pi A}} = \frac{P}{\sqrt{A}} \cdot 0,28$$

P = périmètre du bassin versant

A = superficie du bassin versant

$$K = \frac{114}{\sqrt{533}} \times 0,28 = 1,38$$

Cet indice définit la forme du bassin versant. Il représente le rapport du périmètre du bassin sur le périmètre du cercle de surface équivalente.

On a : K = 1 pour un cercle ; 1,12 pour un carré ; 1,28 pour un triangle équilatéral et 1,5 pour un rectangle dont la longueur est 5 fois supérieure à la largeur.

Dans notre cas, K étant égal à 1,38, le bassin versant a la forme d'un triangle quelconque.

I.2.2.4. Rectangle équivalent

On détermine la longueur et la largeur du rectangle qui aurait la même superficie, le même indice de gravelius, la même courbe de fréquence altimétrique et les mêmes conditions d'écoulement que ceux du bassin versant considéré.

La formule qui nous permet de déterminer les dimensions de ce rectangle, fait intervenir l'indice de gravelius K et la superficie du bassin, elle s'écrit.

$$L = \frac{K \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K} \right)^2} \right]$$

On obtient L = 45,2 Km et l = 11,79 Km.

I.2.2.5. Pente moyenne du bassin versant

C'est le rapport de la différence des altitudes de fréquence 5 % et 95 % (D) par la longueur du rectangle équivalent du bassin (L).

$$I_p = \frac{D}{L} = \frac{660 - 110}{45200} = 1,19 \%$$

Le tableau n° 3 récapitule les caractéristiques physiographiques du bassin versant du Bas Isser.

Caractéristiques physiographiques	Valeurs
Altitude maximale	1031 m
Altitude minimale	0
Altitude moyenne	268
Altitude de fréquence 50 %	280 m
Altitude la plus fréquente	0 - 200 m
Surface	533 Km ²
Périmètre	114 Km
Longueur	45,2 Km
Largeur	11,79 Km
Indice de gravelius	1,38
Pente moyenne	1,19 %

Tableau n° 3

I.3. CONCLUSION

L'étude morphologique du bassin versant du Bas Isser nous a permis de dégager les principales caractéristiques physiographiques, qui ont une influence certaine sur le dynamisme des eaux qui y circulent.

La courbe hypsométrique montre qu'on a affaire à des reliefs moyens, de faible pente, ce qui provoque un écoulement plus lent, un temps de concentration plus long et un temps de remontée des crues très lent.

Les paramètres morphologiques que nous résumons dans le tableau n° 3 sont étroitement liés aux caractères lithologiques des roches, pour la plupart imperméables et meubles (marnes, argiles) qui constituent le bassin versant. La rareté ou l'absence de végétation (sauf en altitude) favorise l'érosion. En effet l'INRH a déterminé une concentration de sédiments en suspension de l'ordre de 460 g par litre d'eau et une érosion spécifique de l'ordre de 20000T/ Km²/an.

CHAPITRE DEUXIEME

ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

- II.1. INTRODUCTION
- II.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS
- II.3. ETUDE DES PRÉCIPITATIONS
- II.4. DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRÉCIPITÉE
- II.5. ETUDE DES TEMPÉRATURES
- II.6. L'HUMIDITÉ RELATIVE
- II.7. ETUDE DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION
- II.8. HYDROLOGIE DE SURFACE
- II.9. ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE
- II.10. CONCLUSION

II.1. INTRODUCTION

Nous aborderons dans ce chapitre, l'étude des facteurs intervenant dans l'équation du bilan hydrologique d'un bassin versant, à savoir l'étude des précipitations, des températures, de l'évapotranspiration et du ruissellement.

A cet effet, l'étude s'intéressera aux données recueillies durant l'année 1981 - 1982 et à celles des séries plus longues.

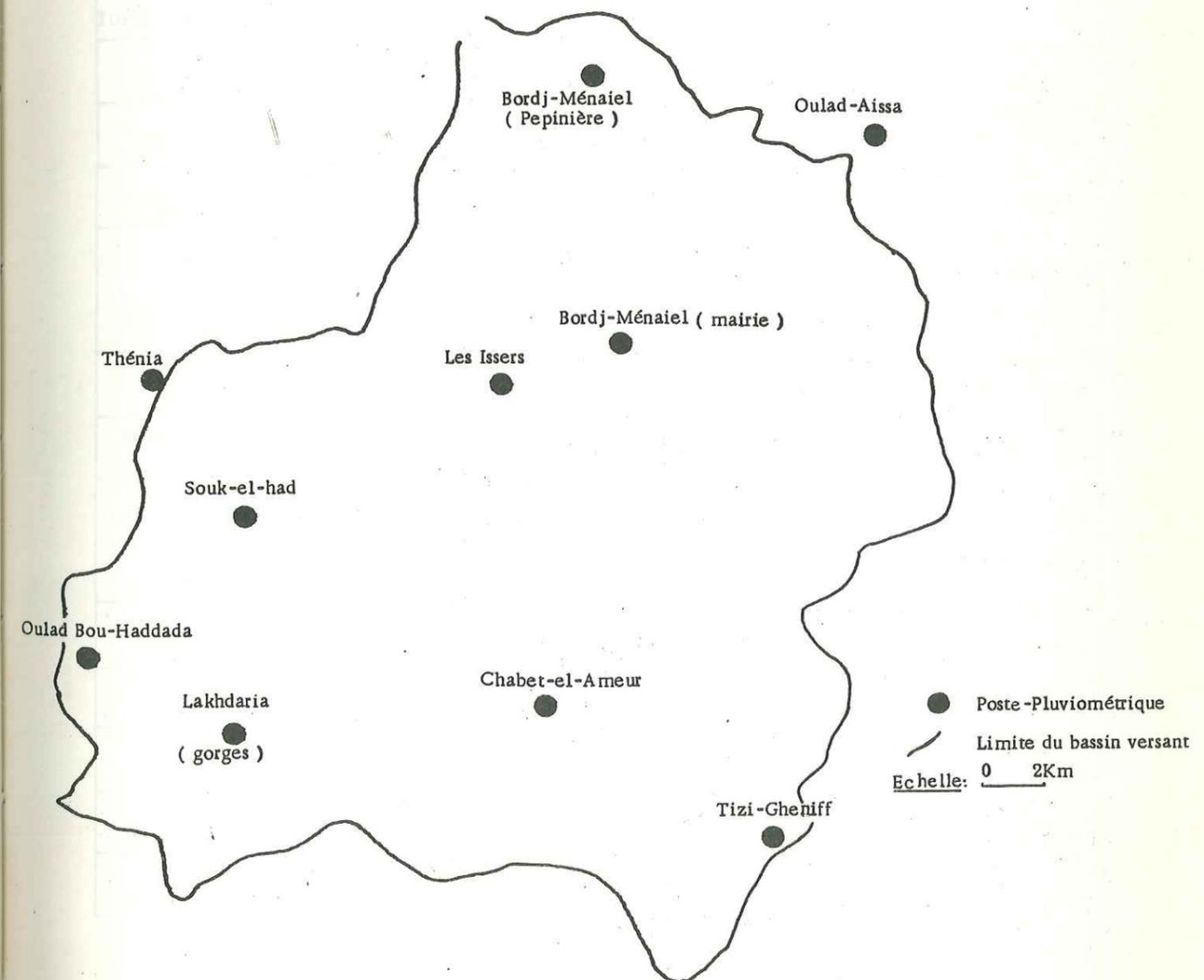


Figure 3 : Répartition spatiale des stations pluviométriques

II.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE DES STATIONS

La figure n° 3 indique la répartition spatiale des stations dans le bassin versant.

Le tableau n° 4 indique, la nomenclature, l'équipement et la période de fonctionnement des stations.

Stations	Altitude (m)	Coordonnées		Equipement	Période de fonctionnement
		X	Y		
Lakhdaria	75	570	369,5	Pluviométrie	1968 - 82
Ouled Haddada	425	574,55	372,3	P	1968 - 82
Souk-el-Had	50	579,75	377,4	P	1944 - 60
Bordj-Ménaïel (Mairie)	56	590,9	383,4	P	1914 - 60
Tizi-Gheniff	415	596,30	366,1	P	1968 - 82
Les Issers	25	587,10	382,25	P - T	1952 - 74
Bordj-Ménaïel (pépinière)	27	591	391,25	P	1973 - 82
Chabel-el-Ameur	235	588	374,40	P	1973 - 82
Thenia	150			P T	1904 - 60
Ouled-Aïssa	354	599,05	390,10	P	1968 - 82
Boukhalfa	80			T H	1965 - 74
Tizi-Ouzou	233			T	1952 - 1960

Tableau n° 4.

Toutes ces stations sont gérées par l'INRH d'une part et par l'office national de météorologie (ONM) de l'autre.

On dispose de 6 stations qui fonctionnent depuis 1968 ou 1973 ; les autres ayant commencé à fonctionner entre 1904 et 1952, ont été abandonnées en 1960 ou après les grandes crues de 1973 - 74.

II.3. ETUDE DES PRECIPITATIONS

L'étude des précipitations a été faite à partir des mesures de précipitations mensuelles et annuelles dans 10 stations pluviométriques, dont six se situent dans le bassin et les autres à sa périphérie.

II.3.1. PRECIPITATIONS MENSUELLES

Le tableau n° 5 et la figure n° 4 montrent la répartition mensuelle des précipitations de l'année 1981-82 et des autres périodes.

Nous constatons que les mois les plus pluvieux sont décembre, janvier et février alors que les mois de juin, juillet et août sont secs.

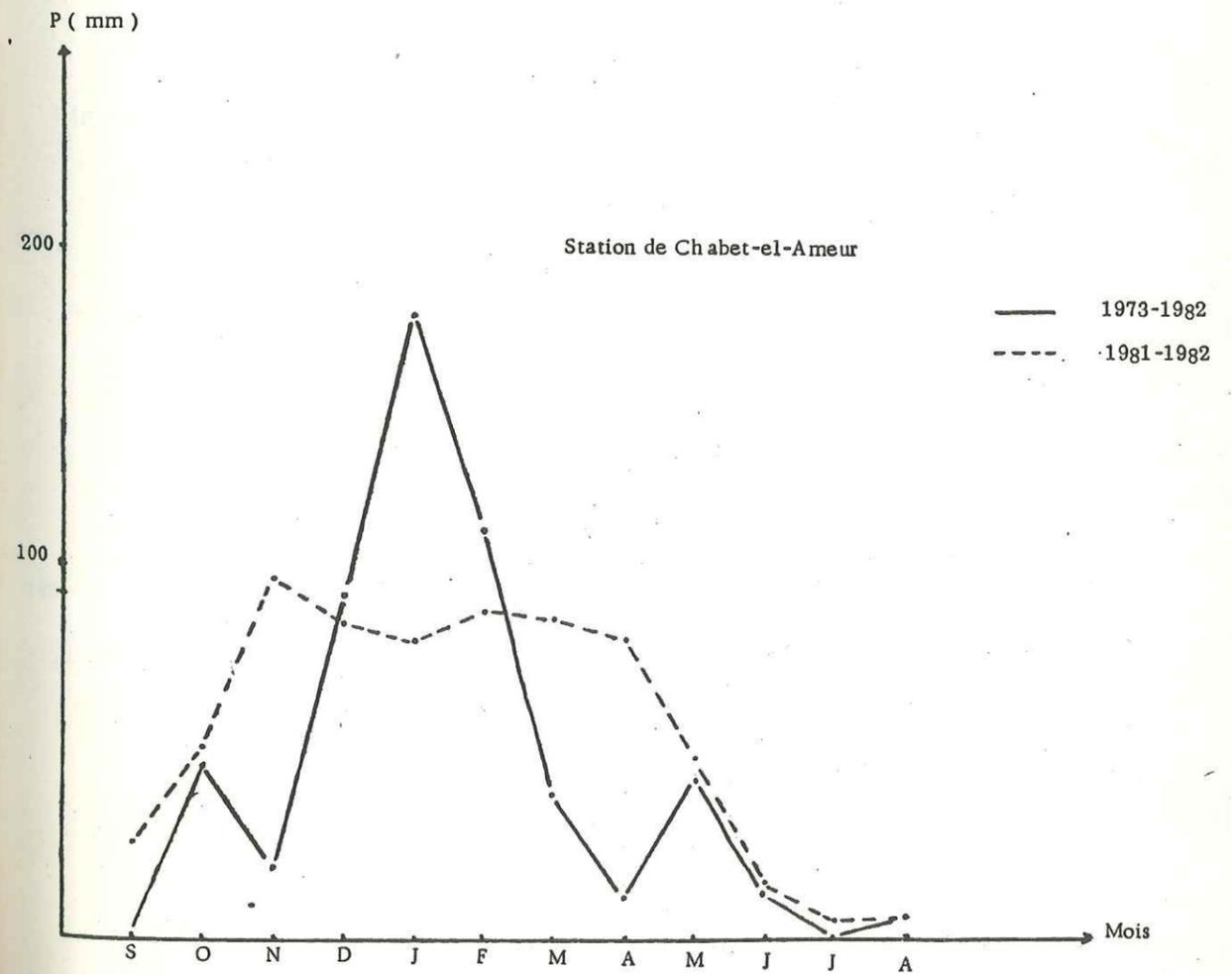
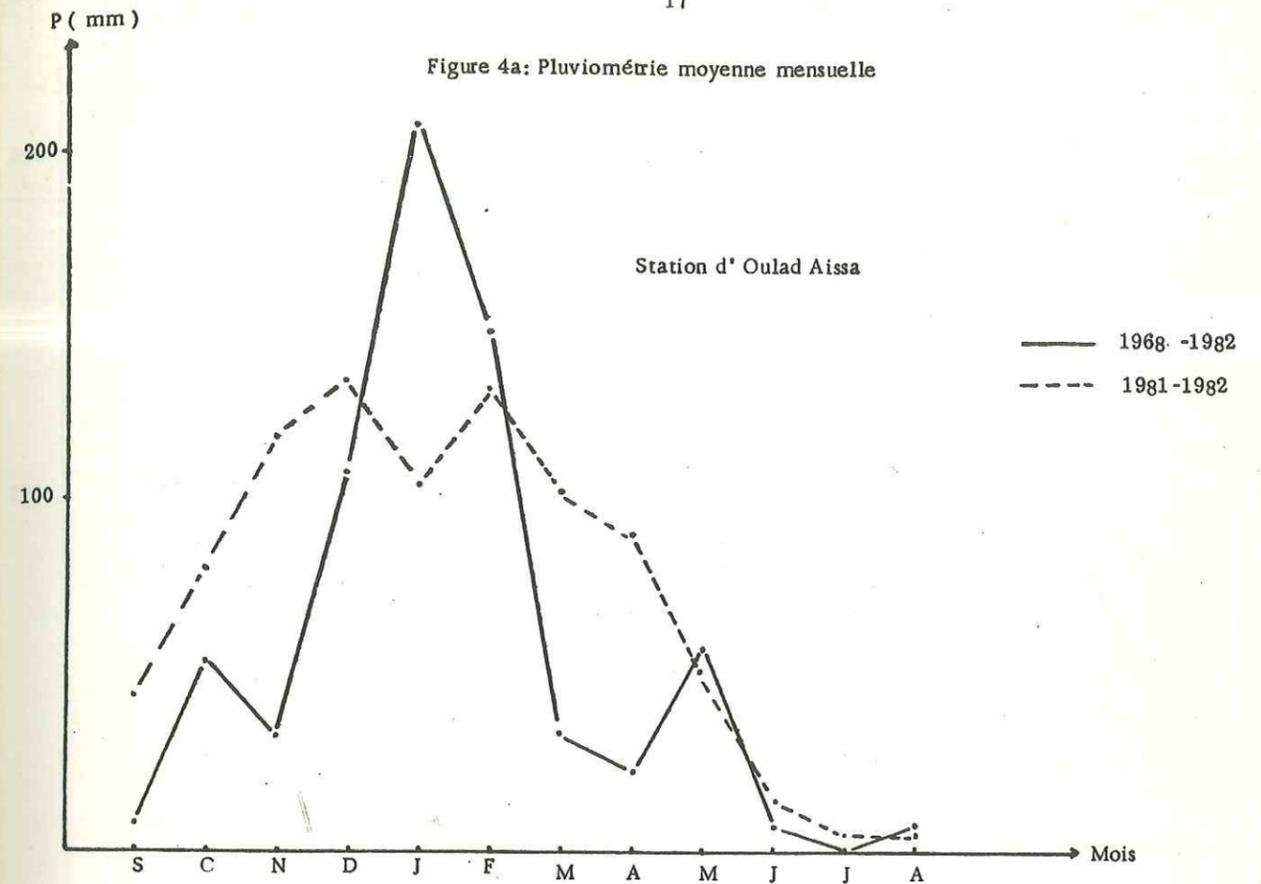
Les histogrammes montrent au cours de l'année hydrologique, la progression du régime des pluies. A partir du mois de mai, s'effectue le passage vers la saison sèche et la reprise de la saison humide, se fait au mois de septembre.

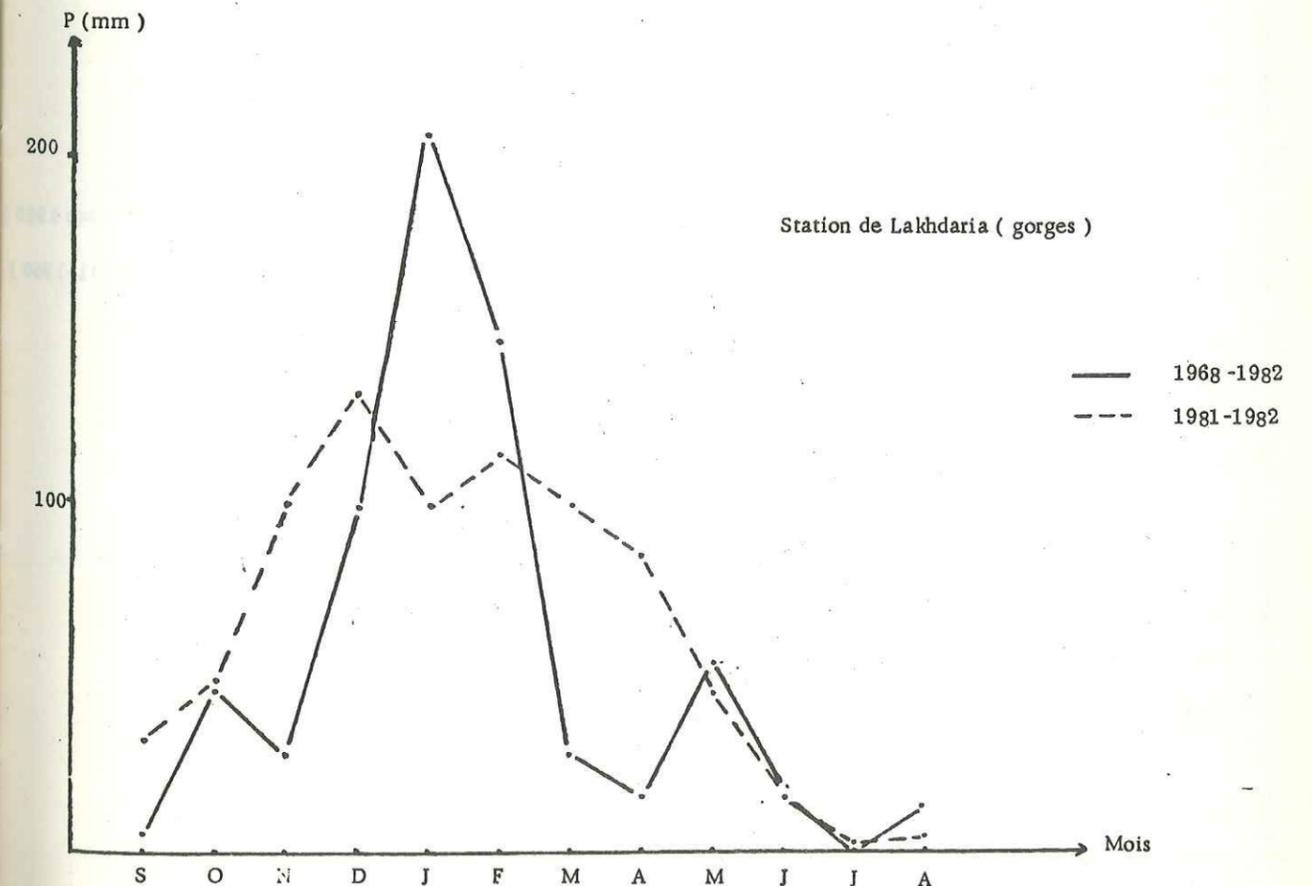
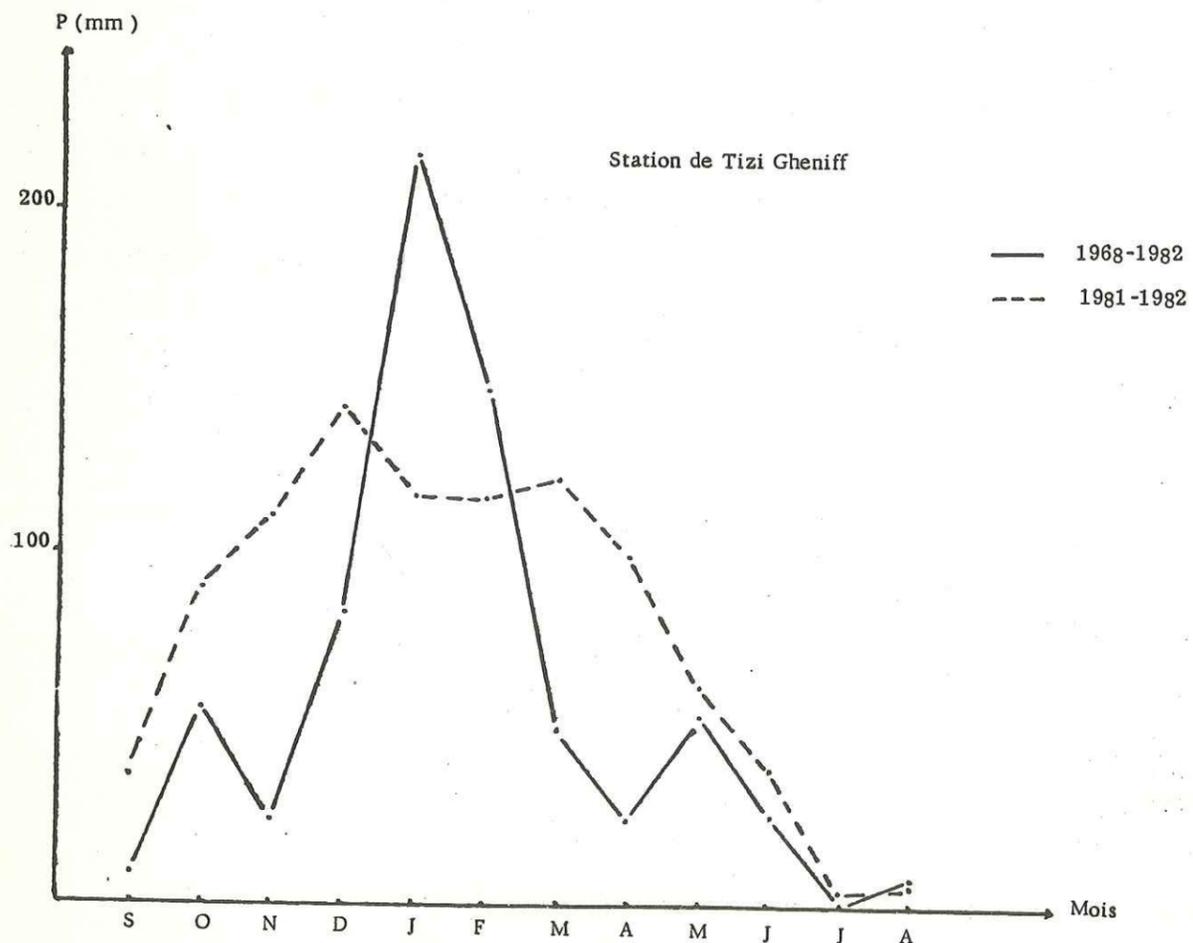
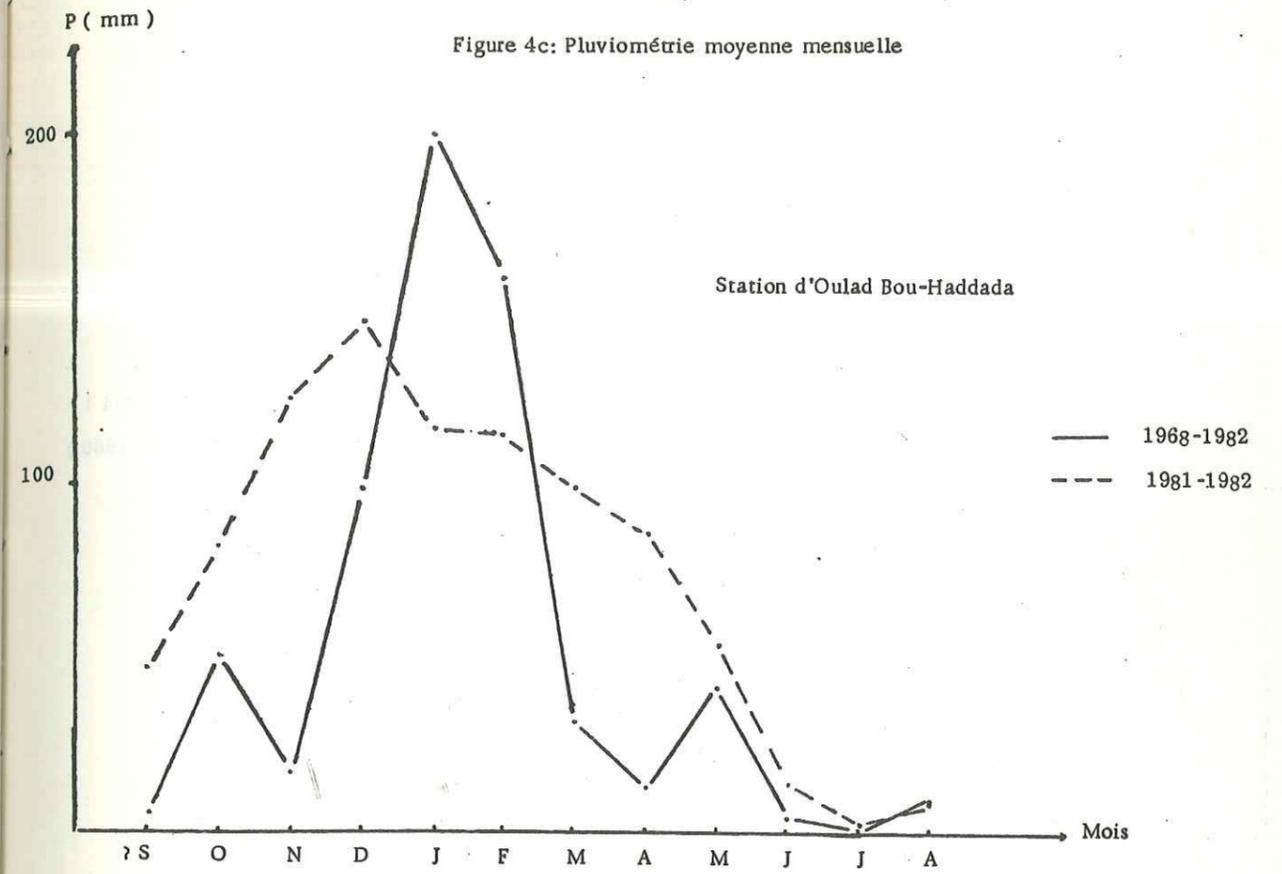
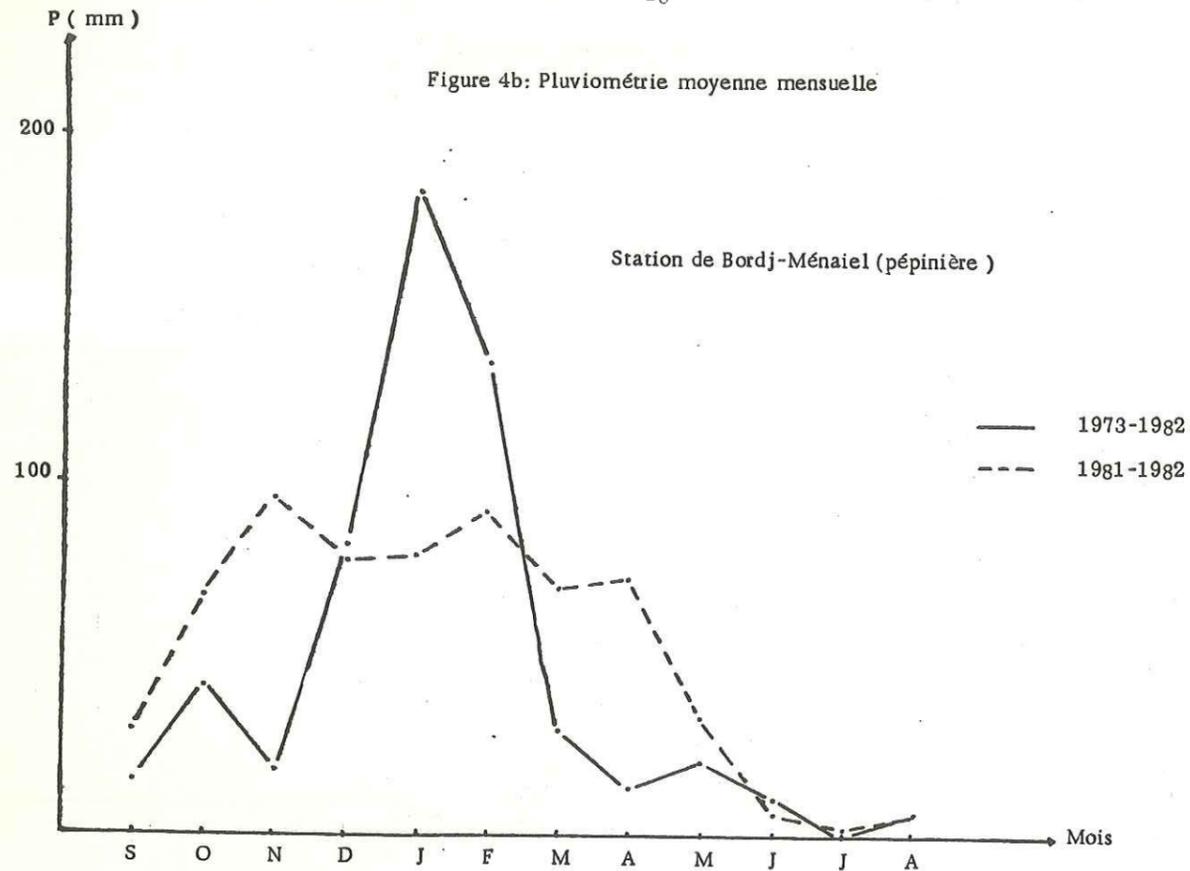
Nous notons un déficit pluviométrique mensuel assez important pour l'année 1981-1982 surtout pour les mois de novembre, décembre et mars, avril; ce déficit varie de 30 à 100 mm.

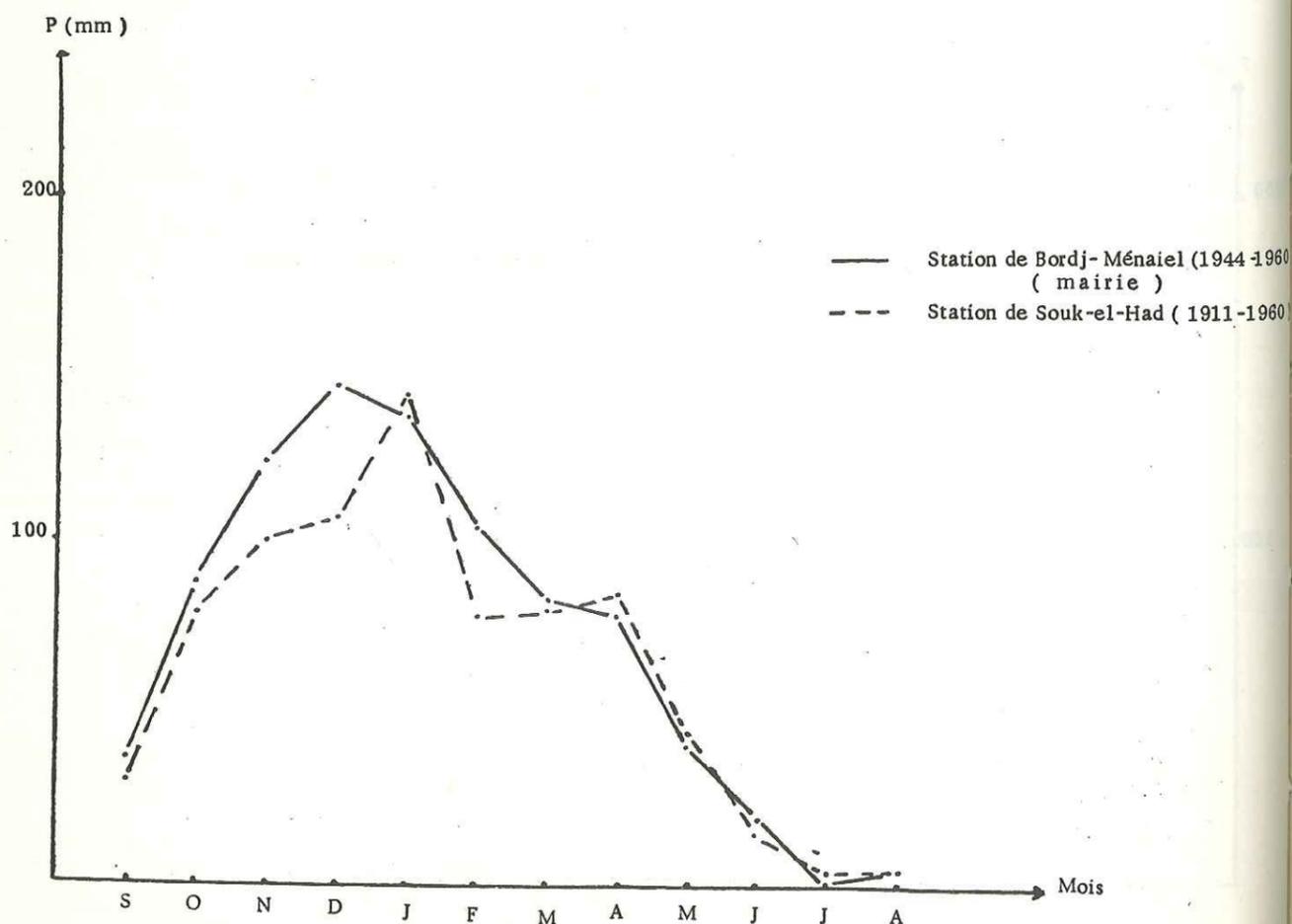
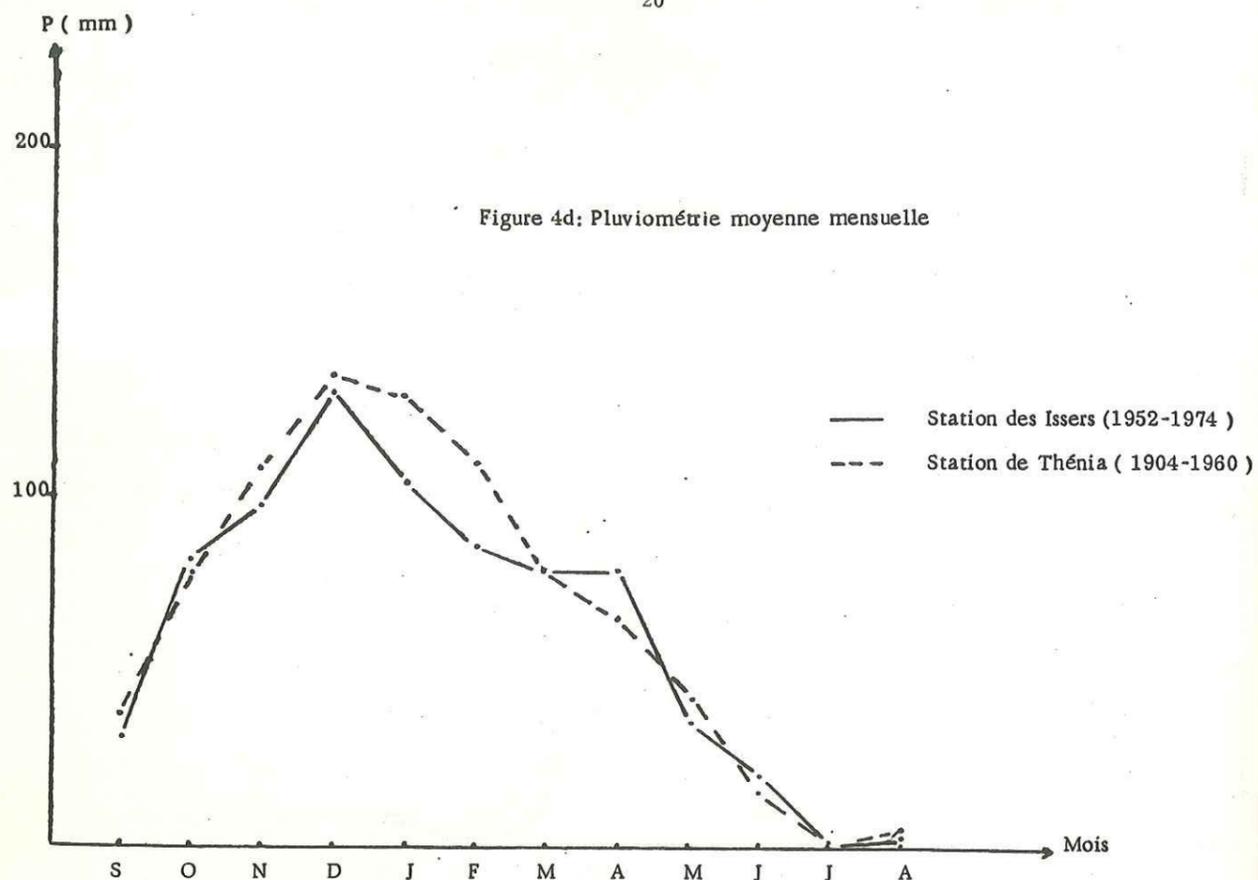
Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Périodes
Lakhdaria (gorges)	4,6	47	28,4	97,6	207,5	147,9	28,8	16	54,3	19	0	5,5	1981-1982
	32	48,76	101,38	132,14	105,6	115,6	101	84,8	46,9	17,04	2,4	5,8	1968-1982
Bou-Haddada	5,4	50	16,6	97,5	202,5	158,8	32,3	13,2	41,7	4	0	8,5	1981-1982
	46	81,4	124,2	145,8	115	114,95	99,65	86,66	54,4	14,44	2,25	7,5	1968-1982
Tizi-Gheniff	7,5	55,8	24,2	83,4	215	147,3	49,9	23,7	53,8	25	0	7,2	1981-1982
	36,41	90	111,3	142,5	117,3	116,2	122,2	99,71	60,64	18,59	2,7	5,65	1968-1982
Bordj-Ménafel (pépinière)	13,6	41,3	17,9	81,9	183,3	135,4	30,2	14,3	21,9	11,1	0	6,5	1981-1982
	29,14	68,04	96,46	78,92	80,74	93,26	70,93	73,42	35,97	6,84	2,93	6,84	1973-1982
Chabet-El-Ameur	0,5	50,2	20,5	99,3	190,6	117,9	41,2	12,5	46,5	14	0	6,5	1981-1982
	27	54,8	104	91,33	86	96,65	91,58	86,4	51,77	15,99	5,12	6,19	1973-1982
Ouled Aïssa	6,5	54,3	31,7	107,7	206,9	148,1	32,7	22	58,30	6,2	0	6	1981-1982
	43,91	80,11	118,08	133,85	104,63	131,91	102,5	90,2	50,23	14	3,6	3,6	1968-1982
Bordj-Ménafel (Mairie)	36,45	88,4	122,6	145	136,2	103,2	82,7	77,6	40	19	1,6	4	1946-1960
	29,4	79	99,4	106,6	142,6	77,71	79	84	42,9	14,7	2,4	4	1911-1960
Souk-el-Had.	30,3	81,6	97,6	129,8	104,6	86,7	78,8	79,7	36,8	21,5	0,7	6,3	1952-1974
Thénia	36,6	79,3	108,2	134,6	129,2	110,7	78,7	65,8	43,3	16,7	1,7	3,6	1904-1960

Tableau n° 5 : Précipitations mensuelles moyennes (mm).

Figure 4a: Pluviométrie moyenne mensuelle







II.3.2. PRECIPITATIONS ANNUELLES

Nous représentons sur le tableau n° 6 les précipitations moyennes annuelles, la pluviométrie de l'année 1981 - 82 et leur écart par rapport à la moyenne.

Nous observons dans la répartition annuelle des précipitations, que l'année hydrologique 1981-82 est déficitaire par rapport à la moyenne calculée à chaque station sur la période correspondante.

Les écarts constatés sont de l'ordre de 80 à 300 mm.

Stations	Moyenne Annuelle (mm)	Précipitations annuelles (mm) (1981-1982)	Ecart (mm)
Bou Haddada	912,23	630,5	281,73
Tizi-Gheniff	896,63	692,8	203,83
Ouled-Aïssa	884,79	680,4	204,39
Bordj-Ménaïel (Pépinière)	638,3	553,4	84,9
Chabet-el-Ameur	707,11	599,7	107,41
Thenia	798,5		
Bordj-Ménaïel (Mairie)	775,70		
Souk-el-Had	769,70		
Lakhdaria (gorges)	793,23	656,5	136,73
Les Issers	750,54		

Tableau n° 6 : Précipitations annuelles et leurs moyennes sur 9 ou 14 ans.

II.3.3. TEST D'HOMOGENEITE OU CORRELATION DOUBLE-MASSE

Il consiste à effectuer le calcul des pluies cumulées pendant un certain nombre d'années successives à toutes les stations de la région, puis à comparer les résultats par groupe de deux stations.

On ne considère comme valables que les résultats des stations fournissant entre elles des corrélations linéaires.

Ce contrôle ne s'effectuant qu'entre stations soumises au même régime pluviométrique, nous renseigne sur l'appartenance des séries dont on dispose à une même population mère.

Le tableau n° 7 résume les valeurs des précipitations moyennes annuelles et les précipitations cumulées correspondantes.

La figure n° 5 montre une bonne corrélation d'une part entre Lakhadaria prise comme station de référence et les stations de Tizi-Gheniff, d'Ouled Aïssa et d'Ouled Bou-haddada, et d'autre part entre les stations de Bordj Ménaïel (pépinière) et de Chabet El Aneur.

II.3.4. REGRESSION LINEAIRE

Nous appliquerons cette méthode aux mêmes séries précédentes.

Les résultats obtenus sont portés sur le tableau n° 8. Ils nous permettent de tracer les courbes (figure n° 6) corrélant la station de Lakhadaria aux stations de Tizi-Gheniff, d'Ouled Aïssa et d'Ouled Bou-haddada.

Stations Corrélées avec celle de Lakhadaria (gorges)	Coefficient de corrélation	Equation de la droite de corrélation
Bou-Haddada	0,84	$Y = 1,27 X - 93$
Tizi-Gheniff	0,92	$Y = 1,17 X - 35,3$
Ouled Aïssa	0,91	$Y = 1,11 X + 1,93$

Tableau n° 8 : Résultats des corrélations par régression linéaire

Lakhadaria (gorges)	Bou-Haddada		Tizi-Gheniff		Ouled-Aïssa		Bordj Ménaïel (pépinières)		Chabet El Aneur		ANNEE
	P (mm)	P cumu1 (mm)	P (mm)	P cumu1 (mm)	P (mm)	P cumu1 (mm)	P (mm)	P cumu1 (mm)	P (mm)	P cumu1 (mm)	
679,6	679,6	775	882,1	882,1	936	936	-	-	-	-	1968 - 1969
941,8	1621,4	1388,6	1276,1	2158,2	1818	1818	-	-	-	-	1969 - 1970
596,2	2217,6	822,3	640,3	2798,5	585,1	2403,1	-	-	-	-	1970 - 1971
1127	3344,6	1488,1	1414	4212,5	1397,5	3800,6	-	-	-	-	1971 - 1972
1098,7	4433,3	932,8	1179,8	5392,3	1131,3	4931,9	-	-	-	-	1972 - 1973
1061,7	5505	1399,3	1078,9	6471,2	1196,9	6128,8	965	965	721,5	721,5	1973 - 1974
629,9	6134,9	776,9	686,3	7157,5	666	6794,8	598,5	1563,5	612,6	1334,1	1974 - 1975
876	7010,9	928,7	948,7	8106,2	1112,2	7907	691,2	2254,7	948,7	2282,8	1975 - 1976
578,2	7589,1	649,3	681,5	8787,7	699,9	8606,9	471,2	2725,9	579,9	2862,7	1976 - 1977
628,5	8217,6	628,3	682,7	9470,4	730,1	9337	572,1	3299	623,8	3486,5	1977 - 1978
671,7	8889,3	737,2	819,9	10290,3	751,3	10088,3	520,4	3818,4	710,4	4196,9	1978 - 1979
804,5	9693,8	839,2	818,5	11108,8	790,3	10879	751,1	4569,5	808,4	5005,3	1979 - 1980
755,9	10449,7	775	751,2	11860	827,6	11706,6	622,6	5192,1	759	5764,3	1980 - 1981
656,5	11106,5	630,5	692,8	12552,8	680,4	12387	553,4	5745,7	599,7	6364	1981 - 1982

Tableau n° 7 - Valeurs des précipitations annuelles et cumulées (mm).

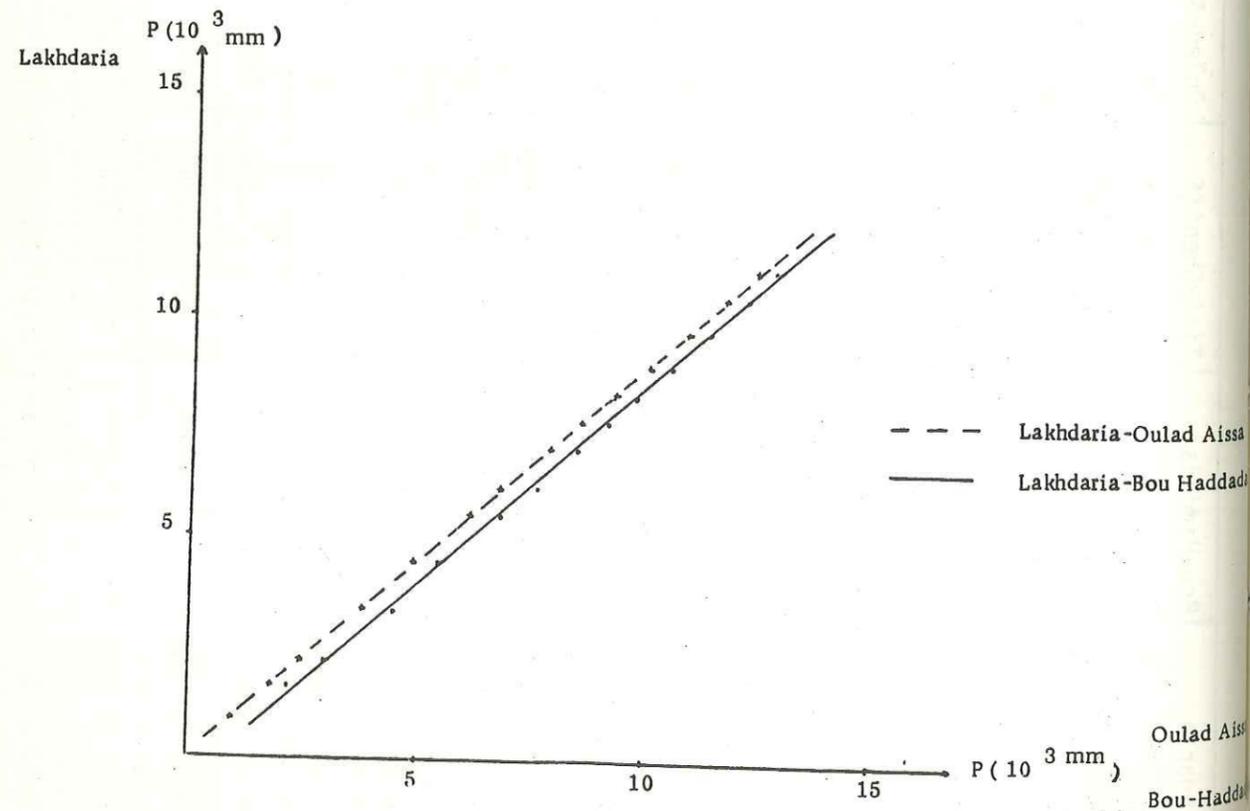
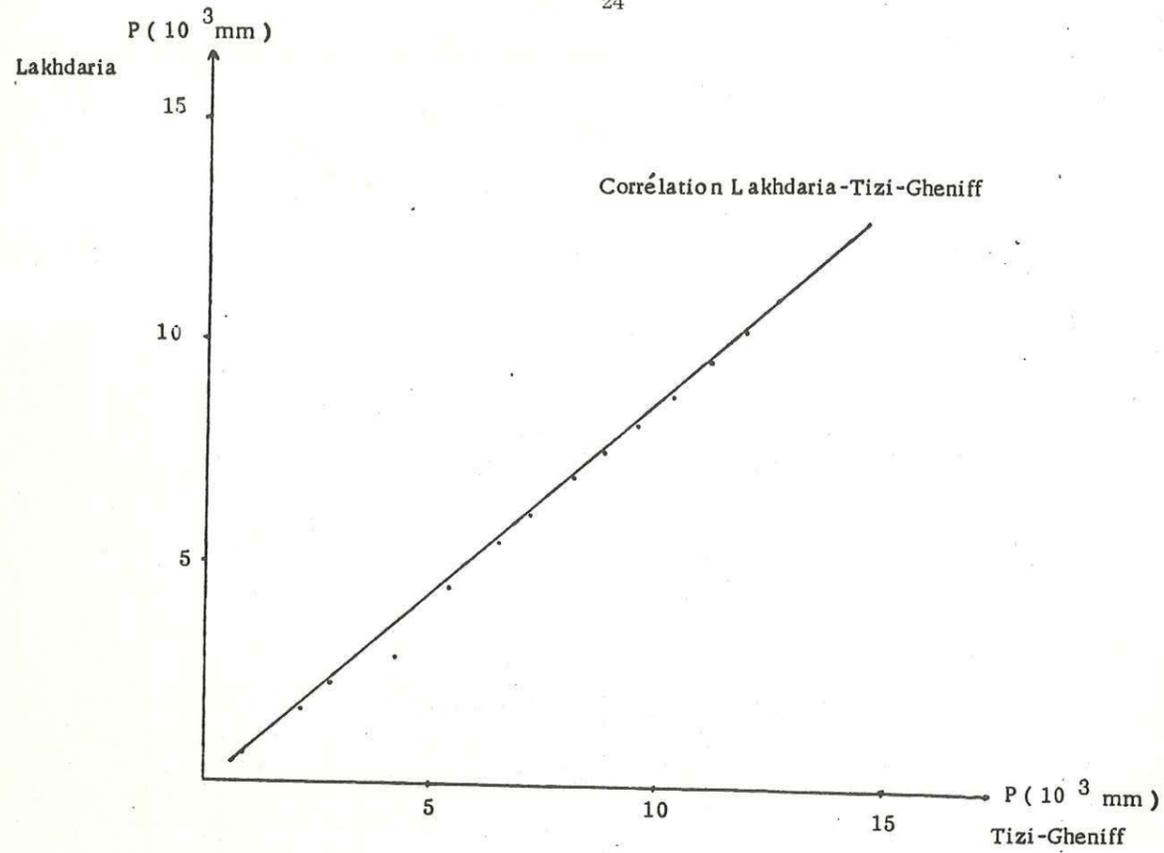


Figure 5a: Corrélations double masse des précipitations moyennes annuelles

Figure 5b: Corrélations double masse des précipitations moyennes annuelles

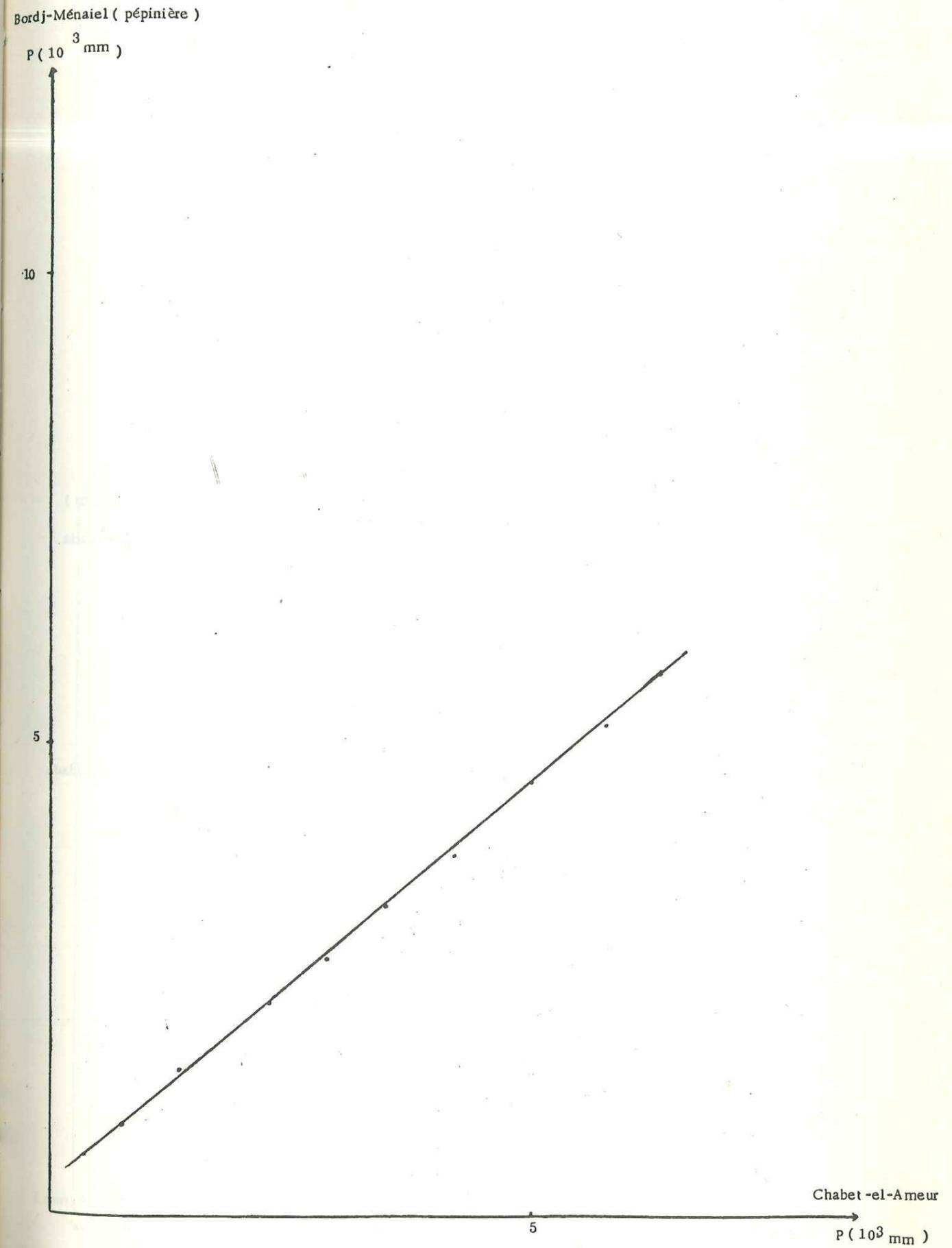
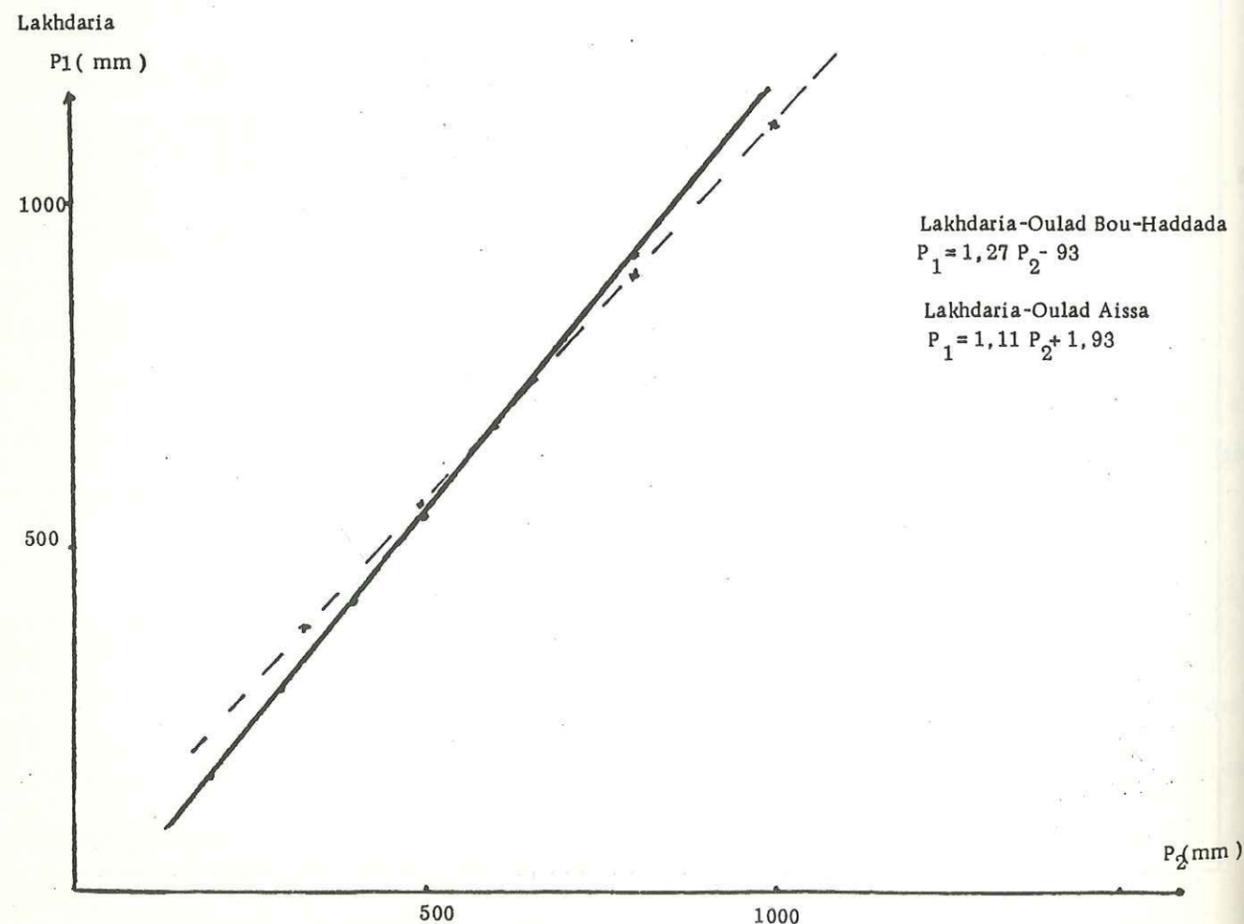
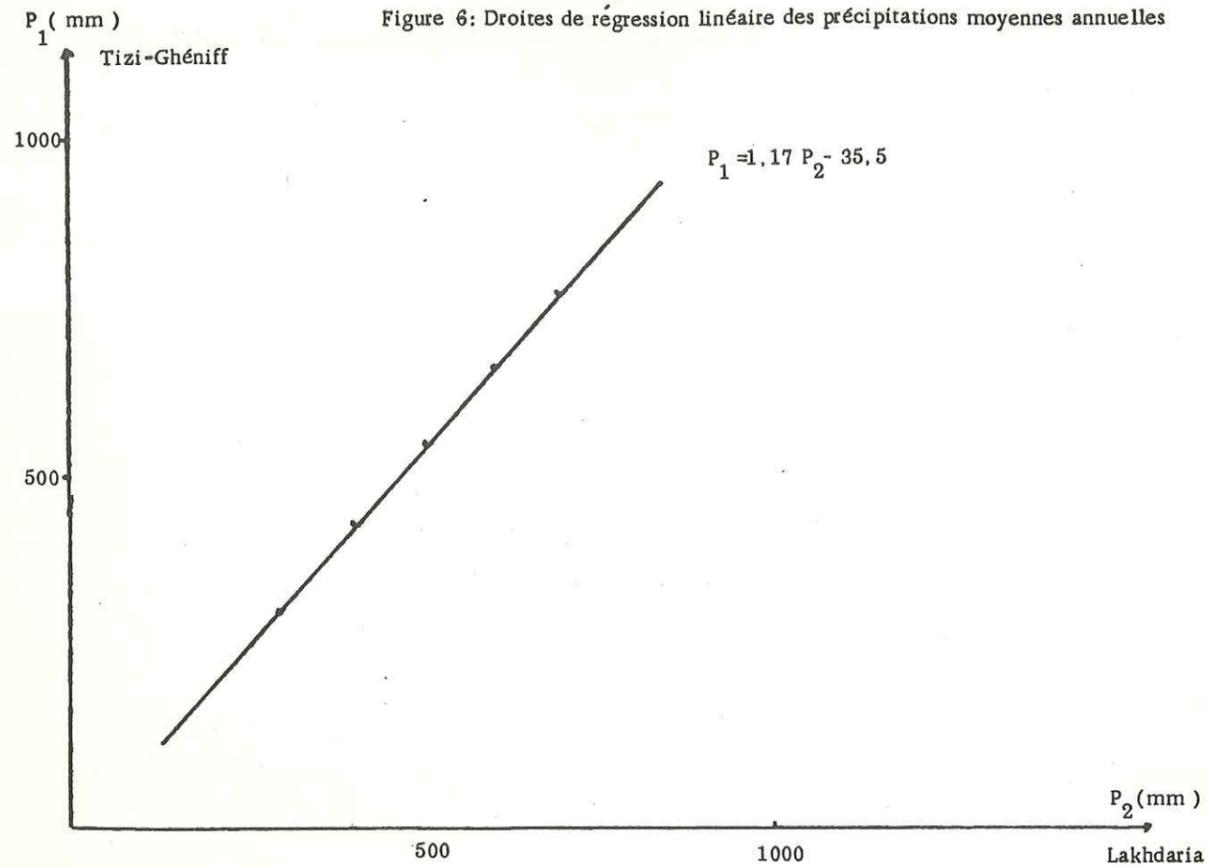


Figure 6: Droites de régression linéaire des précipitations moyennes annuelles



On constate qu'on a un coefficient de corrélation supérieur à 0,8, ce qui montre qu'il y a une bonne corrélation entre ces diverses stations.

II.3.5. CALCUL DES VALEURS CARACTERISTIQUES

A partir des séries de valeurs de précipitations annuelles aux stations considérées, nous avons évalué les caractéristiques de chaque station (moyenne, médiane, écart type).

Le tableau n° 9 indique les résultats obtenus sur les différentes stations.

$$\text{moyenne arithmétique : } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\text{écart type } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$\sum x_i$ = somme des "n" valeurs des précipitations annuelles.

n = nombre d'années d'observations.

Stations	Ecart type	Médiane	Moyenne	Période
Lakhdaria	194,64	717,75	793,3	1968 - 1982
Bou- haddada	294,26	799,6	912,23	1968 - 1982
Tizi Gheniff	248,79	819,2	896,63	1968 - 1982
Bordj-Ménaïel (Pépinière)	148,95	598,5	638,39	1973 - 1982
Chabet-el-Ameur	119,96	710,4	707,11	1973 - 1982
Ouled-Aïssa	239,05	809,15	884,79	1968 - 1982
Bordj-Ménaïel (Mairie)	168,06	769,6	775,70	1914 - 1960
Souk-el-Had	214,37	824,5	769,5	1944 - 1960
Thénia	193,55	814,9	798,5	1904 - 1960
Les Issers	166,86	722,05	750,54	1952 - 1974

Tableau n° 9 : Valeurs caractéristiques des précipitations (mm) aux différentes stations.

II.3.6. GRADIENT ALTIMETRIQUE

L'augmentation de la pluviométrie avec l'altitude permet de définir un gradient altimétrique des précipitations dans une région donnée.

Dans le cas de notre bassin versant, quoiqu'on ne dispose pas de station au dessus de l'altitude 425 m, on peut noter d'une manière générale que la pluviométrie moyenne annuelle croît avec l'altitude.

Les seules stations qui font défaut à cette règle sont les postes des Issers et de Chabet El Aneur, et ceci peut s'expliquer par le fait que les séries d'observations y sont moins longues (9 années) que dans les autres stations.

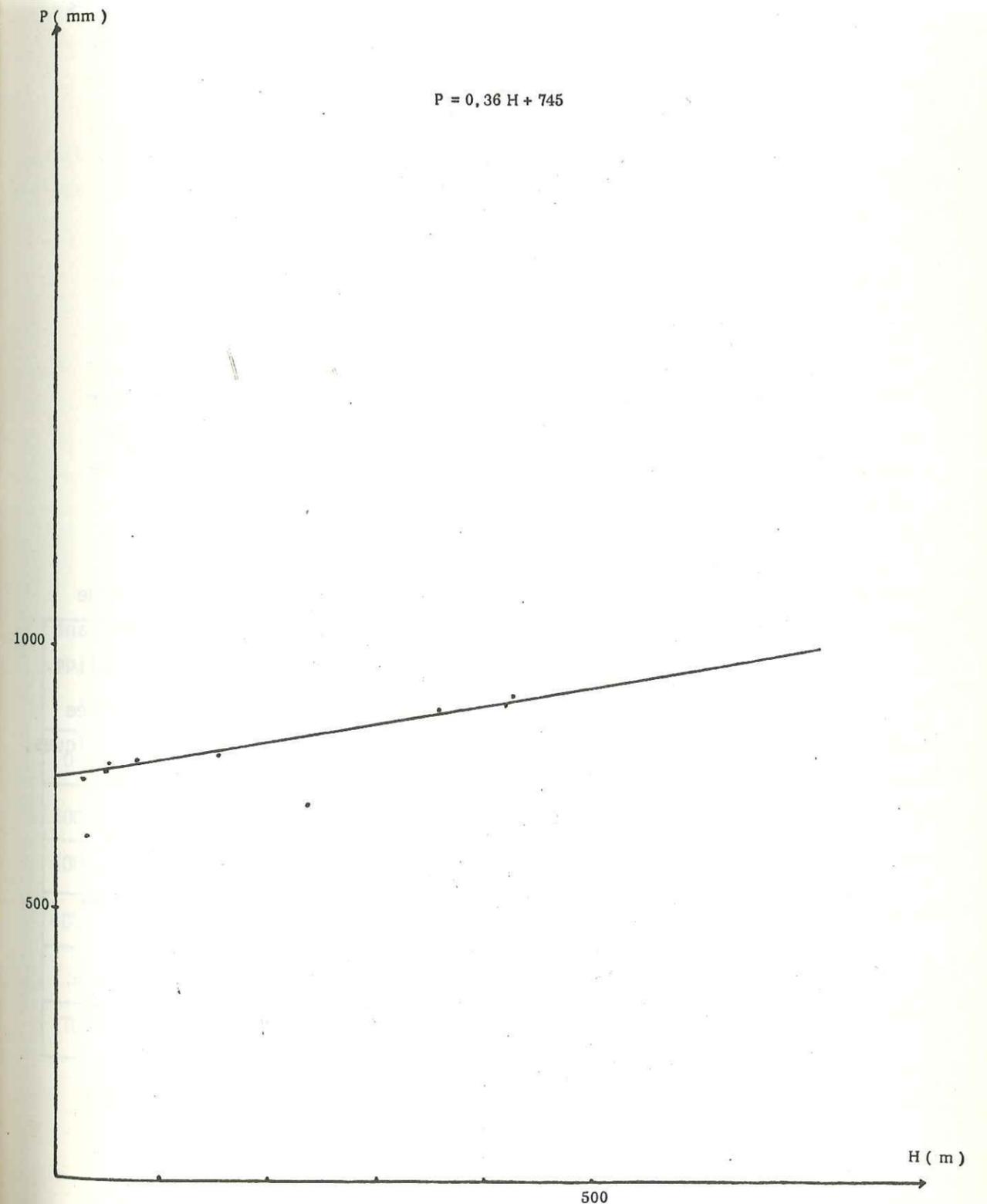
Le gradient pluviométrique calculé est de l'ordre de 37 mm par 100 m d'altitude.

Le tableau n° 10 et la figure n° 7 montrent l'augmentation de la pluviométrie avec l'altitude.

Stations	Altitude (mètre)	Précipitations moyennes annuelles (mm)
Bou-Haddada	425	912,23
Tizi-Gheniff	415	896,63
Ouled Aïssa	354	884,79
Chabet el Aneur	235	707,11
Thénia	150	798,5
Lakhdaria (gorges)	75	793,23
Bordj-Ménail (Mairie)	35	775,70
Souk el Had	50	769,70
Bord-Ménaïel (pépinière)	27	638,3
Les Issers	25	750,54

Tableau n° 10 : Répartition de la pluviométrie en fonction de l'altitude.

Figure 7: Profil pluviométrique



II. 4. DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE

Pour l'évaluation de la pluviométrie moyenne tombée sur le bassin versant du Bas Isser, nous avons utilisé les précipitations moyennes annuelles de toutes les stations, même si elles n'intéressent pas les mêmes périodes d'observation.

A cet effet quatre méthodes ont été appliquées :

- Méthode arithmétique
- Méthode de Thiessen
- Méthode des Isohyètes
- Méthode du gradient altimétrique de précipitation.

II.4.1. METHODE ARITHMETIQUE

Le calcul de la lame d'eau tombée a pour but d'évaluer l'épaisseur de la tranche d'eau précipitée durant l'année considérée et l'épaisseur moyenne annuelle de la tranche d'eau qui est tombée durant une période donnée sur le bassin en question.

La plus rapide consiste à calculer la moyenne arithmétique des précipitations observées à chaque station. Cette méthode donne une grande influence aux valeurs extrêmes, sauf si le nombre de stations est suffisant pour couvrir l'ensemble du bassin versant et une longue durée d'observation.

La moyenne arithmétique des précipitations annuelles pour l'année 1981 - 1982 est calculée à partir des relevés de 6 stations pluviométriques, alors que celle des précipitations moyennes annuelles pour des périodes plus longues est calculée sur la base des données de 10 postes pluviométriques, répartis sur l'ensemble du bassin versant.

Le tableau n° 6 résume les résultats obtenus à toutes les stations, pour les différentes périodes.

La lame d'eau moyenne tombée sur le bassin versant du bas Isser, déterminée par la méthode arithmétique est de :

P = 636 mm pour l'année hydrologique 1981 - 1982

P = 792 mm pour une année hydrologique moyenne.

II.4.2. GRADIENT ALTIMETRIQUE DE PRECIPITATION

Cette méthode consiste à évaluer la lame d'eau précipitée par tranches d'altitude successives sur le bassin versant considéré.

Le volume total des précipitations tombant sur ce bassin est de :

$$V_t = \sum P_i \cdot S_i$$

$$\text{soit une lame de } P_{\text{moy}} = \frac{\sum P_i \cdot S_i}{S}$$

avec V_t = volume d'eau tombant sur le bassin versant

S = surface totale du bassin versant

S_i = surface de la tranche d'altitude successive

P_i = pluviométrie à l'altitude moyenne de la tranche considérée, déterminée graphiquement sur le profil pluviométrique.

On considère des surfaces de bassin versant par tranches d'altitude de 200 m.

Les résultats sont portés sur le tableau n° 11.

Tranches d'altitude (mètre)	Altitude moyenne (mètre)	Surface inter-tranche (Km ²)	P. moyennes (mm)	V _i (Hm ³)
0 - 200	100	283,2	785	222,31
200 - 400	300	168,6	860	145
400 - 600	500	61,2	935	57
600 - 800	700	14	1005	14,07
> 800	900	6	1080	6,48
TOTAL		533		445,05

Tableau n° 11 : Evaluation du volume d'eau tombée sur le bassin versant du bas Isser par la méthode altimétrique.

La lame d'eau précipitée calculée est de 835 mm.

II.4.3. METHODE DE THIESSEN

C'est une méthode arithmétique. On attribue à chaque station pluviométrique, une zone d'influence de manière qu'un point quelconque situé dans cette surface soit plus près en distance horizontale de ce poste que des autres.

Sur une carte, nous situons les différentes stations que l'on reliera par des droites, dont les médiatrices correspondantes détermineront une surface polygonale autour de chaque poste de mesure.

Nous avons découpé la région en 10 secteurs (figure 8).

Le planimétrage de ces secteurs permet d'obtenir les résultats présentés dans le tableau n° 12.

En supposant que la pluviométrie moyenne annuelle à chaque station est uniformément répartie sur le polygone correspondant, la lame d'eau moyenne précipitée sur le bassin versant est :

$$P_t = \frac{\sum P_i \cdot S_i}{S} = \frac{V_t}{S}$$

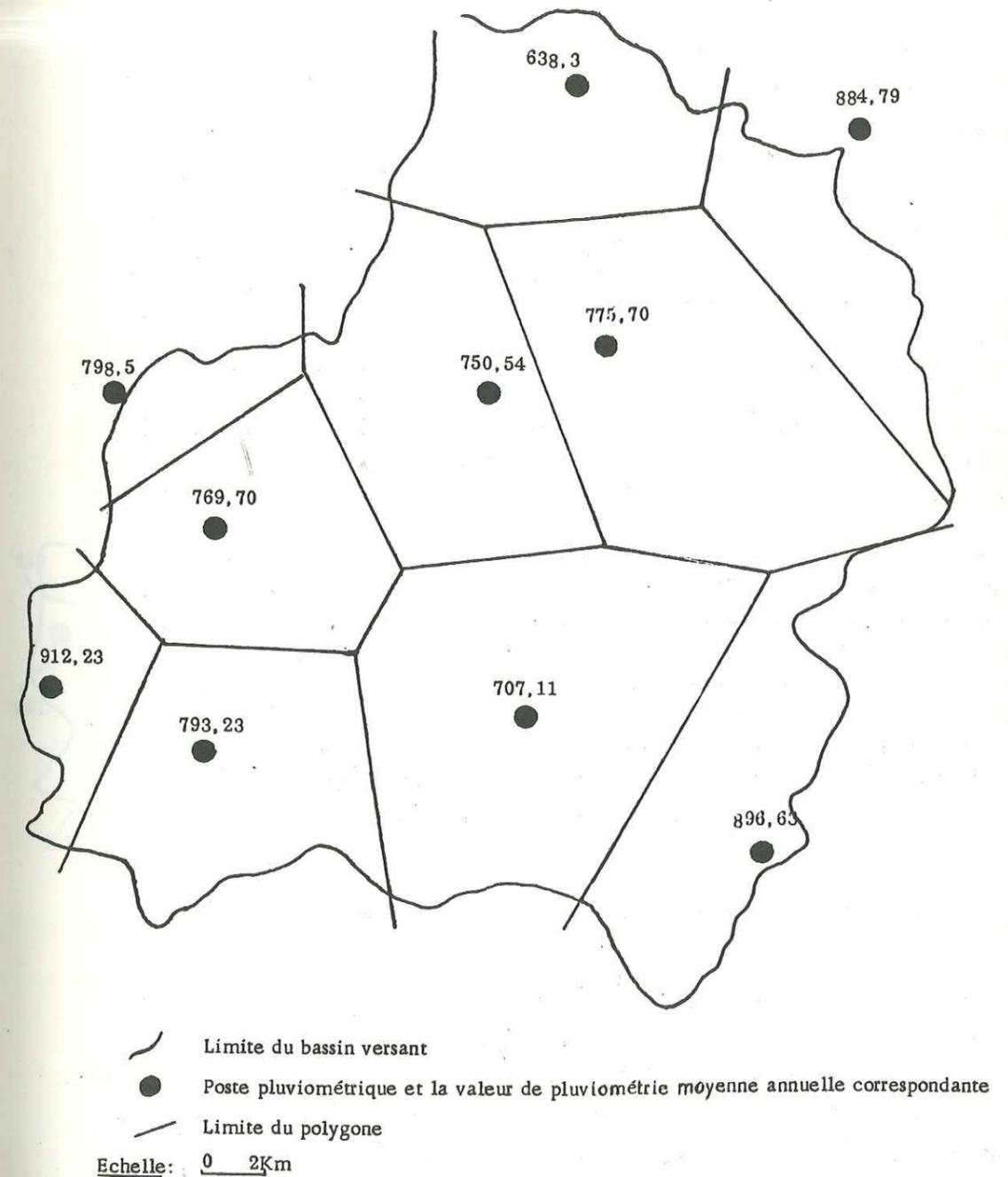
avec V_t = volume total tombé sur le bassin versant

S = surface totale du bassin versant

P_i = précipitations moyennes annuelles de la station à l'intérieur du polygone

S_i = surface du polygone considéré.

Figure 8: Polygone de THIESSEN



Stations	Surface du polygone (Km ²)	Pluviométrie moyenne (mm)	Pi Si (Hm ³)
Lakhdaria	57,5	793,33	45,61
Bou - Haddada	20,8	912,23	18,97
Souk-el-Had	52,8	769,50	40,63
Bordj-Ménaïel (pépinière)	43,8	680,37	29,80
Tizi-Ghéniff	53,5	896,63	46,97
Les Issers	63,6	750,54	47,73
Bordj Ménaïel (Mairie)	97,4	775,70	75,55
Chabet-el-Ameur	97,4	790	76,95
Thénia	13,8	798,5	11,02
Ouled-Aïssa	32,4	884,79	28,67

Tableau n° 12 : Evaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant du bas Isser par la méthode des polygones de Thiessen.

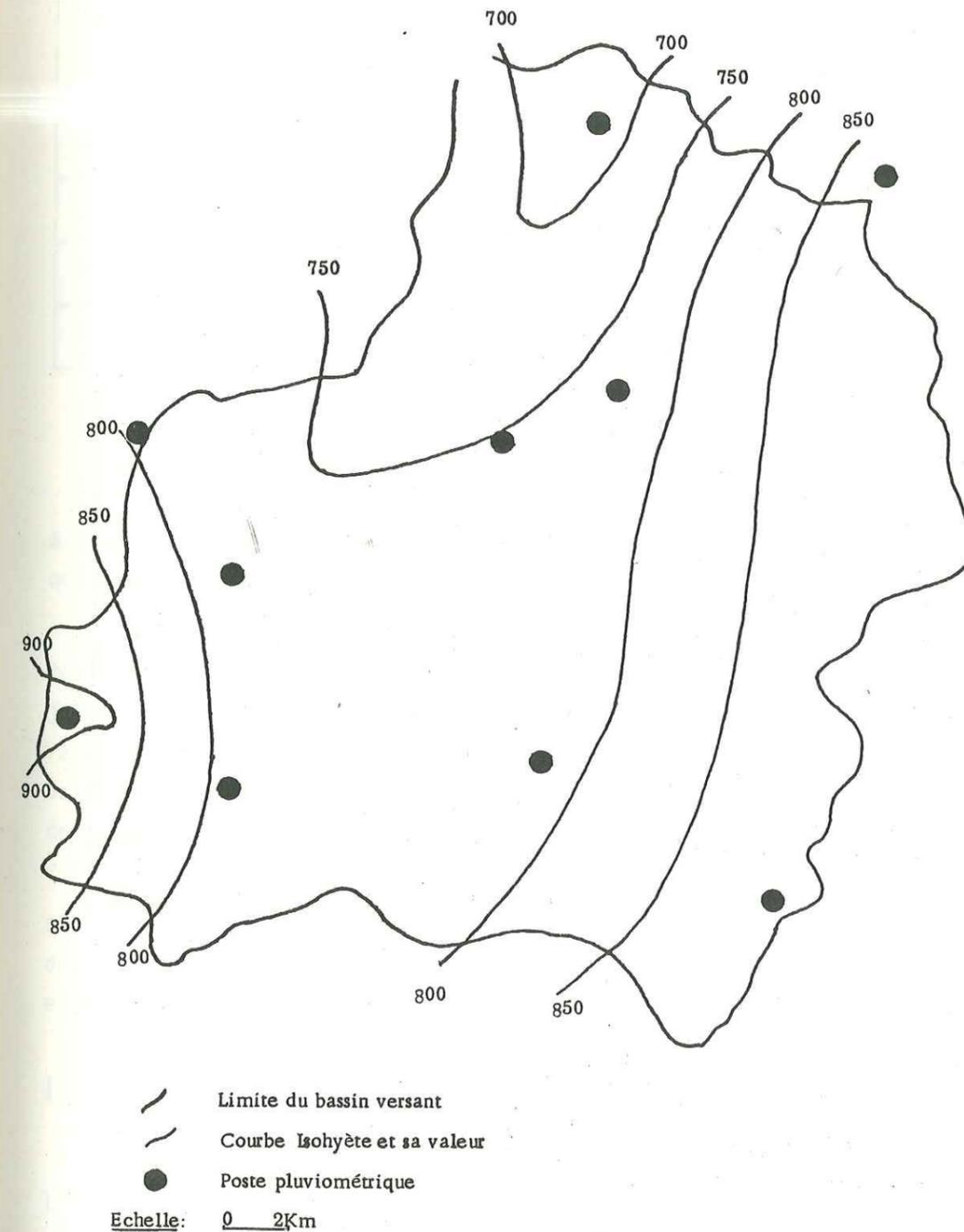
La lame d'eau précipitée calculée est de 791 mm.

II.4.4. METHODE DES ISOHYETES

L'estimation de la lame d'eau moyenne tombée sur une région par cette méthode est la plus rationnelle, car elle tient compte des variations des pluies avec l'altitude et l'éloignement à la mer.

Connaissant les précipitations moyennes annuelles à chaque station, nous chercherons à tracer les courbes isohyètes ou lignes d'équipluviométrie (figure n° 9).

Figure 9: Carte des courbes Isohyètes



Ainsi on calcule les surfaces comprises entre deux courbes isohyètes successives, en supposant que la hauteur de pluie tombée sur cette surface est égale à la moyenne des valeurs des deux isohyètes qui la délimitent.

La lame d'eau tombée sur le bassin versant est :

$$P_t = \frac{\sum P_i \cdot S_i}{S}$$

S_i = surface inter-isohyètes

P_i = pluviométrie moyenne inter-isohyétale considérée

S = superficie totale du bassin versant.

Le tableau n° 13 résume les résultats obtenus.

Zone inter-isohyétale (mm)	S_i (Km ²)	P_i (mm)	V_t (Hm ³)
650 - 700	14	675	9,45
700 - 750	74,5	725	54,01
750 - 800	213	775	165,08
800 - 850	100	825	82,5
850 - 900	128	875	112
> 900	3,5	900	315
TOTAL	533		426,19

Tableau n° 13 : Evaluation du volume d'eau tombé sur le bassin versant du bas Isser par la méthode des Isohyètes.

La lame d'eau précipitée est de 799 mm.

II.4.5. COMPARAISON DES RESULTATS

Nous regroupons dans le tableau n° 14 les résultats obtenus par les quatre méthodes utilisées.

Méthodes	Périodes	Année 1981 - 1982	Année Moyenne
Isohyètes			799
Thiessen			791
Arithmétique		636	792
Gradient altimétrique			835

Tableau n° 14 - Valeurs des précipitations moyennes annuelles selon les trois méthodes de calcul.

Les quatre méthodes nous ont permis d'obtenir des valeurs assez proches à l'exception de celle de la méthode du gradient altimétrique des précipitations qui est un peu trop élevée.

Quant à la répartition des stations, il aurait été souhaitable que toutes les stations fonctionnent à ce jour, et qu'il en ait en altitude, car jusqu'à maintenant, on ne dispose pas de stations au dessus de 425 m ; c'est la raison pour laquelle, on a obtenu peut être par la méthode altimétrique une valeur plus élevée que par les autres méthodes, due à la surestimation probable des valeurs relevées sur la courbe altimétrique.

En conclusion, nous utiliserons pour le calcul des différents paramètres s'intégrant dans l'estimation du bilan hydrologique, la moyenne arithmétique des pluviométries moyennes obtenues par les méthodes des Isohyètes, de Thiessen et arithmétique soit une lame moyenne de 794 mm pour une période moyenne.

II.5. ÉTUDE DES TEMPERATURES

Après la pluviométrie, le second facteur important qui conditionne l'hydroclimatologie d'une région, c'est évidemment la température atmosphérique.

Ce paramètre conditionne l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient dans l'estimation du bilan hydrologique.

Dans notre bassin versant, le nombre de stations pour relever les températures atmosphériques est insuffisant, d'autant plus que ces postes ont cessé de fonctionner en 1960 ou en 1975 et qu'il existe aucune donnée en altitude.

En fait, nous disposons des données de deux stations dans le bassin versant du Bas Isser (Thénia et les Issers) et de deux autres dans celui de l'oued Sebaou, situé à l'est du précédent (Boukhalfa et Tizi-Ouzou).

Le tableau n° 15 résume les valeurs de températures moyennes mensuelles des quatre stations citées ci-dessus.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Périodes
Thénia	23,7	19,4	14,8	11,5	10,5	10,9	13	15,2	18,5	22,3	25,8	26,5	1913-1938
	24,4	19	15,1	12,7	11	12	14,7	15,9	19,6	23,4	26,5	27,3	1952-1960
Tizi-Ouzou	25	19,5	14,3	10,5	9,7	11,5	13	15,2	18,9	23	27,15	27,7	1913-1938
	25,5	20	14,7	11,8	10	11,5	13,7	15,8	19,4	24,2	27,9	28,2	1949-1961
Les Issers	22,8	18,6	14,3	12,2	10,5	11,1	13,6	15,1	18,5	22,3	24,9	25,3	1952-1961
Boukhalfa	23,7	19,6	15	11,4	11,5	11,4	12,6	15,1	18,7	22,6	26,7	27,7	1965-1975
Températures moyennes mensuelles	24,1	19,3	14,8	12	10,8	11,5	13,7	15,5	19,1	23,1	26,5	27,1	

Tableau n° 15 : Températures moyennes mensuelles.

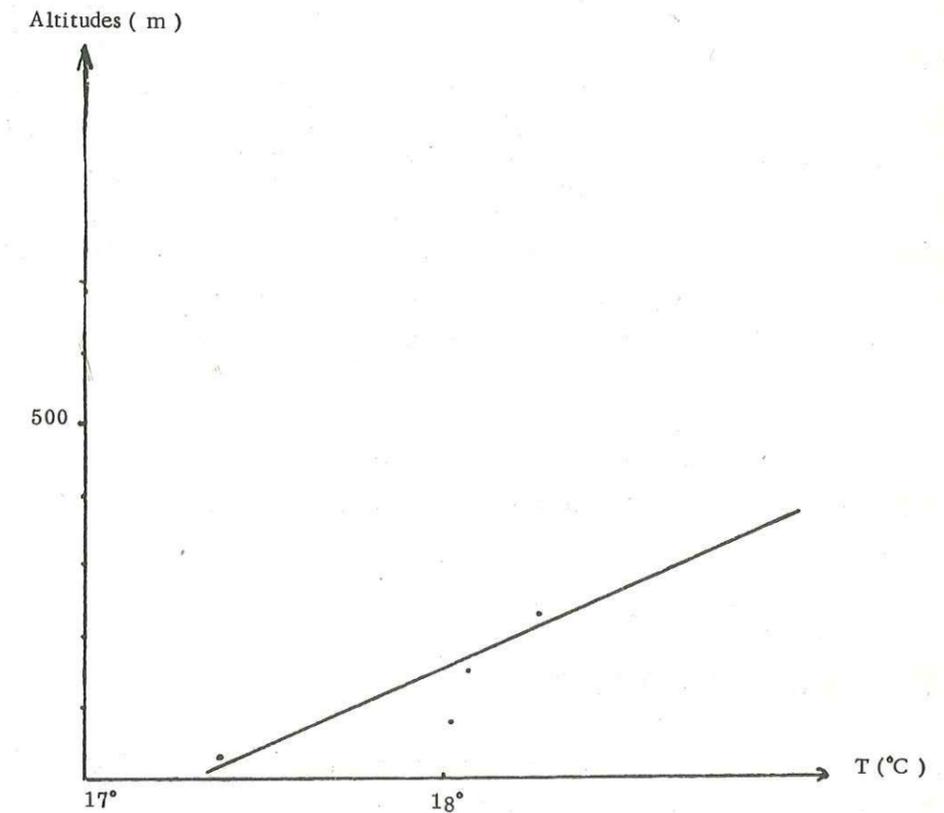
Les températures moyennes mensuelles ne concernent que les données des séries postérieures à 1949.

Le tableau n° 15 montre que les mois les plus chauds sont juillet août, septembre et les plus froids décembre, janvier, février.

- Gradient thermique.

Les températures moyennes annuelles aux différentes stations traduisent une augmentation de la température avec l'altitude (tableau n° 16).

Figure 10: Profil thermique



Stations	Températures moyennes annuelles(°C)	Altitude (mètre)	Périodes
Tizi-Ouzou	18,58	233	1949 - 1961
Thénia	18,46	150	1952 - 1960
Boukhalfa	18,02	80	1965 - 1975
Les Issers	17,37	25	1952 - 1961

Tableau n° 16 : Températures moyennes annuelles

On définit ainsi un gradient thermique (figure n° 10) de l'ordre de 0,87° C pour 100m. Ceci est dû à l'influence marine et à l'évaporation en basse altitude.

II.6. L'HUMIDITE RELATIVE

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

Il n'existe aucune station dans le bassin versant du Bas Isser, par contre on dispose de deux stations, situées dans le bassin versant de l'oued Sebaou.

La première est celle de Tizi-Ouzou qui a une série de données de 1913 à 1938 (d'après Seltzer) et la seconde de 1965 à 1975 installée à Boukhalfa.

Les tableaux N°s 17 et 18 montrent les variations moyennes mensuelles de l'humidité relative aux deux stations considérées.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
8 h 00	71,3	80,3	84,5	87,6	88,5	83,8	84,7	80,7	74,2	69,1	62,3	66,6
11 h 00	49,7	56,8	63,9	71,6	74,7	67,6	64,5	63,9	57,5	51,4	42,6	43,6
17 h 00	52	65,4	68,3	74,1	73,7	70,6	66,8	63,3	62	52,7	43,2	45
Moyenne	57,7	67,5	72,2	77,8	79	74	72	69,3	64,5	58,1	49,3	51,7

Tableau n° 17 : Humidité relative moyenne mensuelle en % (1965 - 1975) à la station de Boukhalfa

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
7 h 00	71	82	83	87	89	86	83	80	70	75	66	64
13 h 00	43	47	58	65	69	60	57	55	50	44	37	37
18 h 00	57	68	73	77	79	75	65	68	65	56	48	50
Moyenne	57	65,7	71,3	76,3	79	73,7	68,3	67,7	61,7	58,3	50,3	50,3

Tableau n° 18 : Humidité relative moyenne mensuelle en % (1913 - 1938) selon SELTZER à la station de Tizi-Ouzou.

Le maximum d'humidité relative moyenne est observée en décembre-janvier et le minimum aux mois de juillet-août, ce qui correspond aux valeurs extrêmes de températures.

A l'échelle de la journée, le maximum est atteint à 7 h ou 8 h et le minimum à 11 h ou 13 h.

A l'échelle de l'année, on constate que l'humidité relative moyenne mensuelle augmente à partir de septembre à janvier puis diminue pour atteindre le minimum au mois d'août.

II.7. ÉTUDE DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est un phénomène important du cycle hydrologique.

Elle englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation directe par retour dans l'atmosphère, à partir des réservoirs de surface (lac, mer, etc...) souterrain (nappes aquifères) et de transpiration des plantes.

Elle dépend du climat et de ses variations qui sont déterminées par l'humidité de l'air, la vitesse du vent, la température de l'air et de l'eau, le rayonnement solaire et la pression atmosphérique.

On distingue ainsi l'évapotranspiration potentielle et l'évapotranspiration réelle.

II.7. 1. CALCUL DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE

Elle 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.

Elle a été estimée par les formules empiriques de SERRA et de THORNTHWAITE

- Formule de SERRA

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

$$\text{avec } I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ où } i = 0,09 T^{\frac{3}{2}}$$

T = Température moyenne mensuelle

$$a = 1,6 \frac{I}{100} + 0,5$$

Le tableau n° 19 résume les résultats obtenus

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T(°C)	24,1	19,3	14,8	12	10,8	11,5	13,7	15,5	19,1	23,1	26,5	27,1	
i	10,7	7,6	5,12	3,75	3,18	3,51	4,54	5,48	7,50	10	12,3	12,7	86,36
ETP (mm)	110,2	72,6	44	29,8	24,2	27,40	37,8	47,9	70,9	102	132	137,5	836
K	1,03	0,965	0,845	0,835	0,865	0,845	1,03	1,1	1,215	1,225	1,245	1,165	
ETP corr. (mm)	113,5	70,1	37,1	24,9	20,96	23,16	38,9	52,5	86,1	125	163,8	160	916

Tableau n° 19 : Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées.

L'ETP corrigée moyenne annuelle est de 916 mm.

- Formule de THORNTHWAITE

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

T = Température moyenne mensuelle

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ avec } i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

$$a = 0,492 + 1,79 \cdot 10^{-2} I - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 6,75 \cdot 10^{-7} I.$$

Le tableau n° 20 exprime les résultats obtenus :

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T (°C)	24,1	19,3	14,8	12	10,8	11,5	13,7	15,5	19,1	23,1	26,5	27,1	
i	10,8	7,73	5,17	3,77	3,2	3,53	4,57	5,53	7,59	10,17	12,48	12,92	
ETP (mm)	112	73,2	43,8	29,4	23,8	27	37,6	47,9	71,4	103,5	134,2	140,3	844
K	1,03	0,965	0,845	0,835	0,865	0,845	1,03	1,1	1,215	1,225	1,245	1,165	
ETP corr. (mm)	115,4	70,6	37,1	24,6	20,6	22,9	38,7	52,6	86,8	126,8	167	163,5	926

Tableau n° 20 : Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées.

l'ETP moyenne annuelle calculée est de 844 mm et l'ETP corrigée de 926 mm.

On dispose aussi de valeurs d'évaporation mesurées et calculées sur une période de 6 années (1968-1973) par le service pédologique de l'INRH sur un secteur expérimental, situé à TADMAIT (Wilaya de TIZI-OUZOU) à 15 Km à l'Est de Bordj Ménaïel.

Les évaporomètres utilisés sont : l'évaporomètre piche, le baccolorado et le lysimètre à drainage vertical.

Quant à l'évaporation calculée, elle a été déterminée par les méthodes de Blaney-criddle et de Bouchet.

Les résultats obtenus sont portés sur le tableau n° 21.

Mois Méthodes	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Piche	116,8	72,5	70,2	63,5	58,4	65,6	65,4	76,2	95,4	116,2	148,5	144
Lysimètre	154	85,2	55,5	44,5	27,7	33	34,3	81,3	122,5	150	219	199,6
Colorado	149,7	144	86	62	61	45,5	64	101,3	146	163	202,3	192,7
Blaney- criddle	150,8	112,3	105,8	94,5	89,5	93	112,6	191,4	160	175,2	195,2	186,7
Bouchet	147,5	78,7	67,8	56,7	50	56,6	56,4	69,4	93,6	124	201,3	196,7

Tableau n° 21 : Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles mesurées.

Le tableau n° 22 ci-dessous résume les valeurs de l'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle, déterminées par les différentes méthodes.

Méthodes	Evapotranspirations potentielles (mm)
Piche	1092
Lysimètre	1206
Colorado	1417
Blaney-Criddle	1607
Bouchet	1196
Serra	916
Thornthwaite	926

Tableau n° 22 : valeurs d'évapotranspirations potentielles moyennes annuelles mesurées et calculées.

On constate que les valeurs de l'ETP sont maximales en été et relativement plus faibles en hiver (Décembre à Février).

Le tableau n° 22 montre une grande dispersion des valeurs d'ETP, déterminées par les diverses méthodes.

La seule ETP mesurée qui se rapproche de celles calculées par les méthodes de SERRA et THORNTHWAITE, est celle observée sur l'évaporomètre Piche.

A cet effet, pour la suite de l'étude hydro-climatologique, on utilisera une valeur de l'ETP qui sera égale à la moyenne arithmétique de celles déterminées par les méthodes de SERRA et THORNTHWAITE :

$$\text{ETP moy} = 921 \text{ mm.}$$

II.7.2. CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE

On appelle évapotranspiration réelle dans un intervalle donné, l'évapotranspiration qui se produit pendant cette durée dans les conditions réelles de teneur en eau du sol : c'est la lame d'eau effectivement évaporée et transpirée.

Parmi les méthodes de calcul de cette ETR, nous avons choisi les formules de TURC, COUTAGNE, le diagramme de WUNDT et le bilan de THORNTHWAITE.

II.7.2.1. Formule de TURC

Elle permet d'évaluer l'ETR moyenne annuelle qui est fonction de la température moyenne annuelle et de la hauteur moyenne des précipitations annuelles :

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

P = pluviométrie moyenne annuelle en mm.

T = température moyenne annuelle en degré celcius

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

$$P = 794 \text{ mm} \quad T = 18,12^\circ\text{C} \quad L = 1050$$

L'ETR qui s'effectue sur tout le bassin versant est pour toutes les périodes de 654 mm, soit 82,37 % des P et pour l'année 1981 - 1982 ETR = 565 mm, soit 89 % des précipitations.

II.7.2.2. Formule de COUTAGNE (1ère formule)

Elle est basée sur les mêmes paramètres que celle de TURC, mais elle n'est utilisable que lorsque les précipitations sont comprises entre $1/8 \lambda$ et $1/2 \lambda$

$$ETR = P - \lambda P^2$$

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

P : Précipitations moyennes annuelles en mètres,

T : Température moyenne annuelle en degré celcius.

Dans le cas de notre bassin versant $1/8 \lambda < P < 1/2 \lambda$
 l'ETR (toutes périodes) = 605 mm soit, 76,2 % des P
 ETR (1981-1982) = 514 mm, soit 80,87 % des P.

II.7.2.3. Méthode de WUNDT

Cette méthode qui tient compte de P et T a permis à WUNDT de tracer un diagramme de la figure 11, qui pour le bassin versant du Bas Isser a donné une valeur de l'ETR = 650 mm, soit 81,86 % des précipitations pour une année moyenne et 540 mm pour l'année 1981-1982, soit 85 % des précipitations.

II.7.2.4. Calcul de l'ETR selon le bilan de THORNTHWAITE

Le bilan hydrologique de THORNTHWAITE retrace le schéma des échanges et du transfert des eaux à l'intérieur d'une région donnée.

Dans le calcul de l'ETR selon la méthode du bilan de THORNTHWAITE, nous prendrons pour le sol une valeur de la réserve de 100 mm. Cette valeur est discutable, elle correspond à la quantité maximale d'eau que le sol peut retenir ou soustraire à l'écoulement souterrain.

Le mois de septembre a été pris comme référence de départ ; il correspond à la période où la réserve en eau du sol est généralement épuisée.

Le bilan de C.W. THORNTHWAITE fait intervenir d'une part l'ETP et d'autre part la pluviométrie (P).

Nous considérons pour le calcul de l'ETR, mois par mois, l'effet de la recharge par les précipitations (P) correspondant à chaque mois, et la décharge due l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Nous pouvons distinguer plusieurs cas :

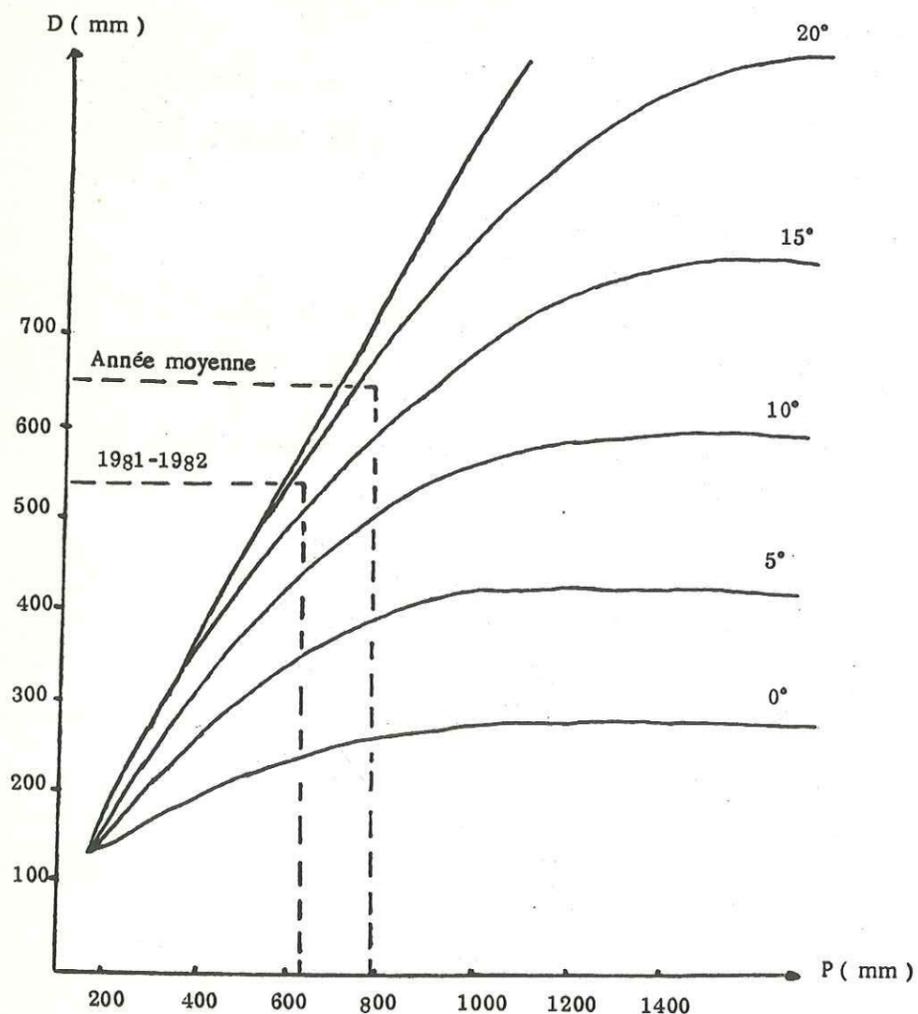
$$- ETP = P$$

Dans ce cas, toute la pluie est reprise par l'ETP.

L'évapotranspiration réelle (ETR) est égale à l'ETP.

$$- P > ETP.$$

Figure 11: Déficit d'écoulement d'après le digramme de WUNDT



L'ETP est égale à l'ETR. L'évapotranspiration va se dérouler normalement, mais il reste une certaine quantité d'eau disponible (excédent), qui sera emmagasiné dans le sol jusqu'à saturation, permettant ainsi de reconstituer la réserve du sol.

- $P \gg ETP$

Le phénomène d'évapotranspiration se déroule comme précédemment et $ETR = ETP$, mais l'excédent d'eau emmagasiné a atteint sa saturation (100 mm). Le surplus va s'écouler, soit en surface vers les Oueds (ruissellement), soit en profondeur (infiltration); c'est ce qu'on appelle l'excédent du bilan.

- $P < ETP$.

L'évapotranspiration va se faire non seulement sur la totalité des précipitations, mais également sur les réserves emmagasinées par le sol,

$ETR = ETP$ jusqu'à épuisement des réserves (100 mm)

- $P \ll ETP$

Lorsque les réserves en eau du sol sont épuisées, l'évapotranspiration ne se fera que sur la pluie, il y aura alors un déficit du bilan.

Les résultats obtenus sont regroupés sur le tableau 23.

L'évapotranspiration réelle calculée par cette méthode pour la vallée du Bas Isser est de 473 mm, soit 80 % des P pour une période moyenne, et de 365 mm, soit 58 % des P pour l'année 1981 - 82.

Le déficit d'eau de l'ordre de 445 mm pour une période moyenne et de 533 mm pour l'année 1981 - 82, montre une période de sécheresse qui débute en juin et pouvant se poursuivre jusqu'à octobre et surtout pour l'année 1981 - 1982.

L'excédent d'eau évalué respectivement à 326 mm est 270 mm pour les deux périodes, montre que l'emmagasinement dans le réservoir débute en novembre pour atteindre sa saturation de décembre à avril, puis diminue en mai pour une année moyenne.

	PERIODE	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOTAL
ETP (mm)	1981-82	113,48	70,83	37,24	23,97	20,85	22,8	37,88	52,32	85,4	123,57	163,8	160,31	
	Année moy.	114,43	70,35	37,08	24,73	20,79	23	38,8	52,57	86,43	125,9	165,4	161,74	
P (mm)	1981 - 82	6,35	49,77	23,22	94,57	200,97	142,56	35,85	16,95	46,08	10,05	0	9	
	Année moy.	34,72	69,95	108,32	124	112,18	104,69	90,7	82,83	46,29	15,88	2,54	6,24	
Stock (mm)	1981 - 82	0	0	0	70,6	100	100	97,97	62,6	23,28	0	0	0	
	Année moy.	0	0	71,24	100	100	100	100	100	59,86	0	0	0	
ETR (mm)	1981 - 82	6,35	49,77	23,22	23,97	20,85	22,8	37,88	52,32	85,4	33,30	0	9	
	Année moy.	34,72	69,95	37,08	24,73	20,79	23	38,8	52,57	86,43	75,74	2,54	6,24	
Excédent	1981 - 82	-	-	-	-	150,72	119,76	-	-	-	-	-	-	
	Année moy.	-	-	-	70,51	91,39	81,69	51,9	30,26	-	-	-	-	
Déficit	1981 - 82	107,13	21,06	-	-	-	-	-	-	-	90,24	163,8	151,31	
	Année moy.	76,71	0,4	-	-	-	-	-	-	-	50,16	162,86	155,5	

Tableau n° 23 : Bilan hydrologique d'après THORNTHWAITE.

Les valeurs respectives de déficit, de l'excédent, ainsi que la période d'emmagasinement de l'excédent dans le réservoir, montrent que l'année hydrologique 1981 - 1982 est une année sèche par rapport à l'année moyenne.

II.7.3. DISCUSSION DES RESULTATS

Le tableau n° 24 récapitule les valeurs de l'évapotranspiration, obtenues par les différentes méthodes.

	Méthodes	Année moyenne	Année 1981 - 1982
ETR (mm)	TURC	654	565
	COUTAGNE 1	605	514
	WUNDT	650	540
	THORNTHWAITE	472,6	364,70
ETP (mm)	SERRA	916	
	THORNTHWAITE	926	
	BLANNEY-CRIDDLE	1607	
	PICHE	1092	
	BOUCHET	1196	
	LYSIMETRE	1206	
	COLORADO	1417	

Tableau n° 24 : Tableau récapitulatif de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes.

Il apparaît que les valeurs de l'ETR d'après le bilan de THORNTHWAITE ne peuvent être prises en considération, car elles sont faibles par rapport à celles déterminées par les autres méthodes.

On note aussi une grande différence entre les valeurs de l'ETP calculées et mesurées.

II.8. HYDROLOGIE DE SURFACE

II.8.1. GENERALITES

Le bassin versant de l'Oued Isser comprend cinq sous bassins, dont quatre (de surface totale de 3616 Km²) sont contrôlés par la station des gorges de Lakhdaria.

Le cinquième qui n'est autre que le bassin versant du Bas Isser, n'est contrôlé qu'à l'entrée par la station citée ci-dessus.

Les observations des débits de l'Oued Isser à cette station sont faites depuis 1954, les grandes crues de 1957 ont détruit cette station et les observations ont repris en 1965. Le fonctionnement de cette station a été interrompu en 1980 à la suite des travaux de construction de l'autoroute de l'Est.

Nous ne disposons ainsi que d'une série de 13 ans (1965 - 1978) (voir tableau de mesures n° 25).

Les principaux affluents de l'Oued Isser sont pour :

- le Bas Isser : Oued Djemaa
- le moyen Isser : Oued Bou Hamoud et l'Oued Djemaa (différent de celui du Bas Isser).

Les services techniques de l'INRH ont effectué des jaugeages périodiques à diverses stations des affluents de l'Oued Isser, qui vont nous permettre par la suite (paragraphe II.9.3.2.) d'établir une corrélation entre les débits de ces stations et ceux de celle de Lakhdaria, prise comme station de référence.

Le débit moyen annuel de l'Oued Isser sur une période de 13 ans, à l'amont du bassin versant du Bas Isser est de 13,20 m³/s, soit un apport moyen annuel de 417 Hm³, qui correspond à une lame d'eau de 115,4 mm ruisselée dans le bassin versant du moyen Isser.

II.8.2. JAUGEAGES DIFFERENTIELS

Durant notre étude sur le Bas Isser, faute de stations de jaugeages en aval de l'Oued Isser, on a jugé utile de réaliser quelques jaugeages différentiels sur l'Oued Isser, afin d'avoir des renseignements sur les relations hydrauliques qui pourraient exister entre l'Oued Isser et la nappe aquifère de la 7ème terrasse.

Pendant nos campagnes sur le terrain, il nous a été impossible d'effectuer ces opérations en hautes eaux au micromoulinet pour les raisons suivantes :

- Débit de l'Oued assez élevé.
- Hauteur d'eau dans le lit de l'Oued élevée.
- Matières en suspension et transport solide ne permettant pas de réaliser ces jaugeages au micromoulinet.

Tandis qu'en basses eaux (juillet, août), on n'a pas pu effectuer ces opérations, faute d'écoulement superficiel.

Dans le souci d'avoir des renseignements sur les relations citées ci-dessus, nous avons jugé utile de donner les résultats des jaugeages différentiels, que nous avons réalisés durant l'année hydrologique 1980 - 1981.

On a réalisé deux campagnes en période de basses eaux (août 1980) pour les stations dont les résultats sont résumés dans le tableau n° 26.

Les valeurs obtenues ne sont donc pas représentatives d'un débit moyen, mais permettent toutefois d'étudier les relations entre l'Oued et la nappe aquifère.

Il est à noter, au vu de ces résultats que le débit de l'Oued Isser augmente de Souk el Had au village les Issers et indique une alimentation de l'Oued Isser par la nappe aquifère, puis diminue en aval et traduit le phénomène inverse, à savoir l'alimentation de la nappe aquifère par l'Oued Isser.

Année	Débit moyen annuel (m ³ /s)	Apport annuel (Hm ³)
1965 - 1966	7,345	231,6
1966 - 1967	7,23	228
1967 - 1968	20,19	638,5
1968 - 1969	6,328	199,6
1969 - 1970	21,82	688,3
1970 - 1971	4,645	146,5
1971 - 1972	27,53	870,6
1972 - 1973	28,89	911,1
1973 - 1974	20,33	641,6
1974 - 1975	5,768	181,9
1975 - 1976	12,94	409,1
1976 - 1977	4,699	151,3
1977 - 1978	3,978	125,4

Figure 25 : Apports et débits moyens annuels de l'oued Isser à la station de Lakhdaria (Gorges)

Débit de l'oued Stations	Début août 1980 Q (m ³ /s)	Mi-août 1980 Q (m ³ /s)
Souk-el-Had	1,25	0,58
Si Mustapha	1,45	0,63
Pont de l'Isser	1,7	0,93
Pont de l'Isser à 2km au nord de Bordj-Ménaïel	1,36	0,80
Est d'Oulad Ziane		0,63

Figure 26 : Résultats des jaugeages différentiels de l'Oued Isser.

Les valeurs déterminées au cours de ces deux campagnes montrent que le débit cédé par la nappe à l'oued, à l'amont du village les Issers, lui est restitué à l'aval de celui-ci.

Vu que le débit moyen de l'oued Isser dans la région de Souk el Had et du village les Issers devrait être au minimum égal à celui évalué à l'entrée du bassin (gorges de Lakhdaria) c'est à dire 13,20 m³/s, la hauteur d'eau dans le lit de l'oued serait à ce moment là assez élevée et on pourrait avoir en période de hautes eaux une alimentation de la nappe par l'oued Isser, entre Souk el Had et le village les Issers.

II.9. ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE

L'équation classique du bilan s'écrit :

$$P = E + R + I$$

P : pluviométrie moyenne annuelle

E : évapotranspiration réelle moyenne annuelle

R : ruissellement moyen annuel

I : infiltration moyenne annuelle.

II.9.1. PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE

Pour le calcul du bilan hydrologique, la valeur des précipitations moyennes annuelles utilisée, est celle obtenue par la moyenne arithmétique de celles déterminées par les méthodes arithmétiques, de THIESSEN et des ISOHYETES, soit une lame d'eau moyenne de 794 mm.

II.9.2. EVAPOTRANSPIRATION REELLE

Nous avons choisi l'ETR moyenne annuelle obtenue par la moyenne arithmétique des valeurs déterminées par les méthodes de TURC, WUNDT et COUTAGNE, soit une lame d'eau évapotranspirée de 636 mm pour une année moyenne.

II.9.3. RUISSELLEMENT

Dans le cas de notre bassin versant, on ne dispose pas de station de jaugeage à l'embouchure de l'oued Isser pour déterminer les débits

d'exhaures.

A cet effet, on va estimer le ruissellement par deux méthodes théoriques.

II.9.3.1. Formule de TIXERONT-BERKALOFF

Elle tient compte des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle moyennes annuelles.

Elle s'écrit :

$$R = \frac{p^3}{3E^2}$$

P et ETP sont exprimées en mètre.

Le raisonnement tenu par ces deux chercheurs est le suivant.

- Lorsque les précipitations augmentent, le ruissellement tend à les égaler, déduction faite de l'évapotranspiration plafonnée à la valeur de l'E.T.P.

- lorsque les précipitations tendent vers zéro, le ruissellement tend aussi vers zéro, et le rapport du ruissellement à la pluviométrie tend vers zéro.

La valeur de l'écoulement superficiel calculée ainsi obtenu, est de 196 mm.

II.9.3.2. Deuxième méthode

Le bassin versant de l'Oued Isser qui a une superficie de 4149 Km², est subdivisé en cinq sous-bassins drainés par l'Oued Isser et ses affluents.

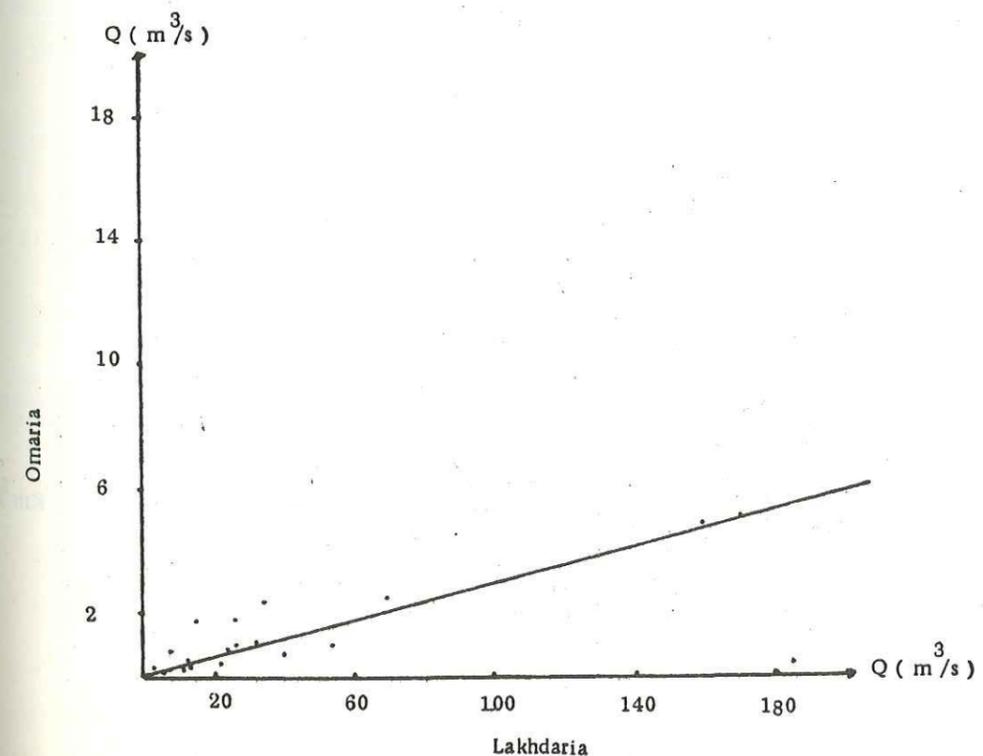
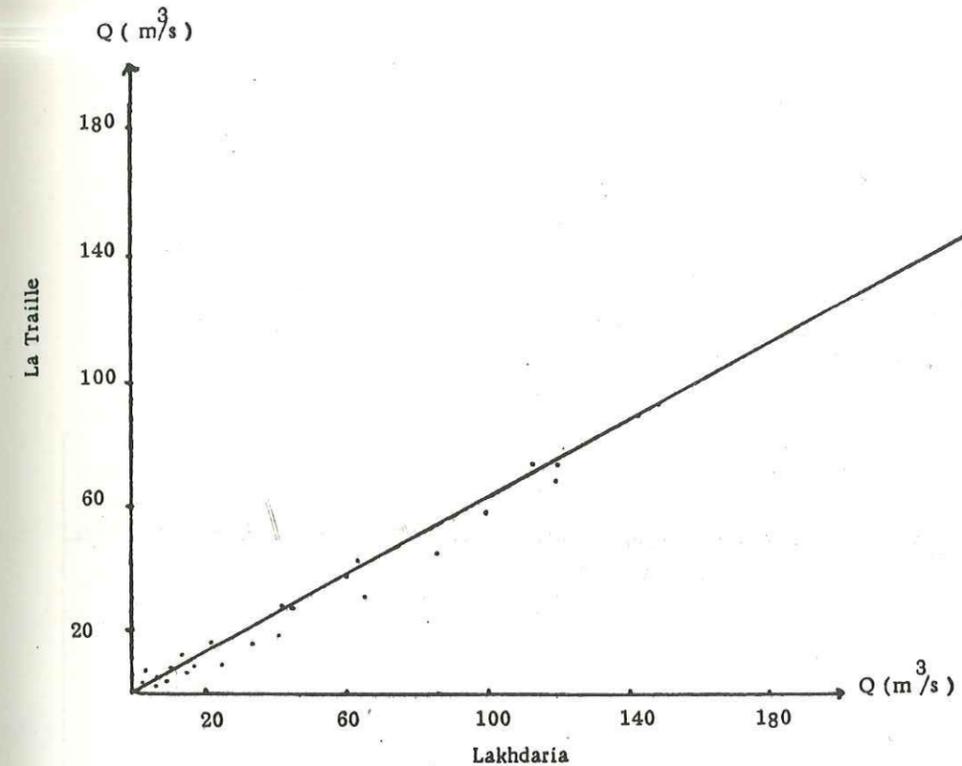
Le sous-bassin du Bas Isser qui fait l'objet de notre étude se trouvent en aval.

Chaque affluent majeur possède des affluents secondaires qui drainent quant à eux une partie du sous-bassin.

Ces affluents majeurs et secondaires ont été jaugés périodiquement de 1970 à 1978.

Cette méthode de détermination du ruissellement, consiste à corrélérer chaque station secondaire avec celle des gorges de Lakhdaria prise comme

Figure 12a: Corréltions des débits de l'Oued Isser, mesurés à différentes stations avec ceux, mesurés à la station de Lakhdaria (gorges)



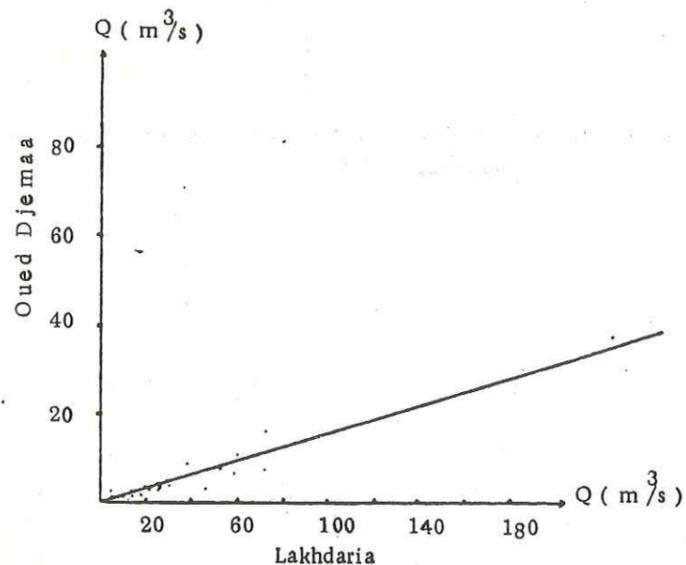


Figure 12b: Corrélations des débits de l'oued Isser mesurés à différentes stations avec ceux mesurés à la station de Lakhdaria (gorges)

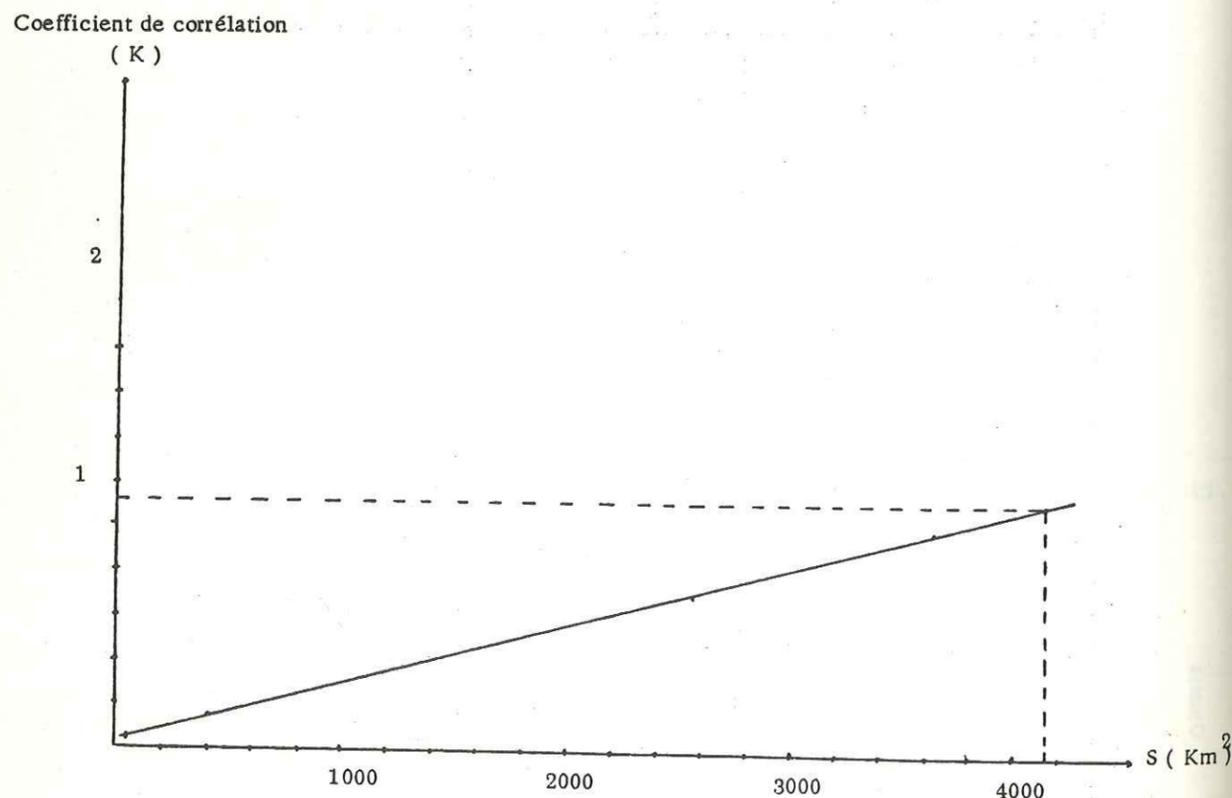


Figure 13: Courbe du coefficient de corrélation en fonction de la superficie de la zone, drainée par l'oued Isser à la station de jaugeage considérée

station de référence et d'en déduire un coefficient de corrélation (figure 12).

Par la suite, on trace la courbe des coefficients de corrélation déterminés en fonction de la superficie du sous-bassin ou du secteur drainé par l'affluent correspondant (figure n° 13).

Connaissant la superficie totale du bassin versant de l'oued Isser, on détermine graphiquement (figure n° 13) le coefficient de corrélation d'une station de jaugeage fictive située à l'embouchure de l'oued Isser avec la station de référence.

Le tableau n° 27 résume les résultats ainsi obtenus.

Stations corrélées avec Lakhdaria	Coefficient de corrélation	Superficie (Km ²)
Lakhdaria	1	3616
La Traille	0,7	2570
O. Djemaa	0,15	400
Omaria	0,035	34

Tableau n° 27 : corrélations des débits de l'oued Isser à la station de Lakhdaria avec ceux des autres stations.

Le débit moyen annuel à la station des gorges de Lakhdaria étant connu (13,20 m³/s), on détermine le débit moyen annuel à l'embouchure de l'oued Isser en multipliant le 1er cité par 1,16 (coefficient de corrélation); on obtient un débit de 15,30 m³/s pour la station fictive située à l'embouchure.

La différence de ces deux débits correspond au débit moyen annuel qui ruisselle dans le bassin versant du bas Isser, soit une lame d'eau de 123 mm qui équivaut à 13,73 % des précipitations.

La méthode de TIXERONT-BERKALOFF nous a permis de déterminer un ruissellement plus élevé que la valeur (R + I) déduite du bilan hydrologique ; elle est à cet effet non valable pour notre région d'étude.

II. 9.4. INFILTRATION

En remplaçant chacun des termes du bilan hydrologique par sa valeur numérique, on obtient une lame infiltrée de 45 mm, soit 5,7 % des précipitations.

$$P = E + R + I$$

$$P = 794 \text{ mm} \quad E = 636 \text{ mm} \quad R = 123 \text{ mm}$$

$$I = P - E - R = 45 \text{ mm}$$

II.10. CONCLUSION

Au cours de cette étude nous nous sommes efforcés de dégager les principales caractéristiques hydroclimatologiques de notre région.

A cet effet, les mesures des précipitations ne bénéficiant que d'un équipement incomplet, à savoir 6 stations qui ne fonctionnent que depuis 1968, il nous était indispensable d'utiliser les données de quatre autres stations constituant des séries plus longues (plus de 22 années) mais qui ont été interrompues en 1960, afin d'avoir une bonne répartition spatiale des données sur l'ensemble du bassin versant. Il aurait été préférable de disposer de séries de même période et de stations en altitude.

Les données des stations utilisées nous ont permis de déterminer une pluviométrie moyenne annuelle de 794 mm, dont 636 mm se sont évapotranspirées.

Quant aux écoulements superficiels, ils étaient contrôlés qu'à l'entrée du bassin versant du Bas Isser; les sorties en mer ne le sont pas. Nous avons été amenés de ce fait, à utiliser des méthodes empiriques pour évaluer le ruissellement qui a été estimé à 123 mm, soit 13,73 % des précipitations.

L'infiltration moyenne, quant à elle, a été évaluée par différence avec les autres paramètres du bilan hydrologique à 45 mm, soit 5,7 % de la pluviométrie; elle rejoint indirectement l'oued ou la mer.

L'année hydrologique 1981-82 est une année déficitaire; en effet les précipitations moyennes ont été évaluées à 636 mm, soit une différence de 158 mm avec l'année hydrologique moyenne.

Par ailleurs, les jaugeages différentiels réalisés sur l'oued Isser au mois d'août 1980 (basses eaux), ont montré une alimentation de l'oued par la nappe en amont du village les Isser, et le phénomène inverse à l'aval.

CHAPITRE TROISIEME

ETUDE GEOLOGIQUE

III.1. GÉOLOGIE DE L'ALGÉRIE DU NORD

III.2. CADRE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

III.2.1. INTRODUCTION

III.2.2. STRATIGRAPHIE

III.2.3. TECTONIQUE

III.2.4. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIFFERENTS
ENSEMBLES GEOLOGIQUES

III.2.5. CONCLUSION

III.1. GEOLOGIE DE L'ALGERIE DU NORD

L'orogénèse Hercynienne et surtout l'orogénèse Alpine sont les deux principales manifestations tectoniques qui ont abouti à l'individualisation de trois grands ensembles structuraux, constituant les traits essentiels de la géologie de l'Algérie du Nord (figure 14 et 15)

Nous distinguons du Nord au Sud :

III.1.1. ATLAS TELLIEN

III.1.1.1. Tell septentrional

Situé au Nord de l'Atlas tellien, sa structure très complexe comprend :

1- Les massifs anciens ou noyaux kabyles.

Ce sont des massifs primaires essentiellement métamorphiques d'âge anté-Gorthlandien (DURAND DELGA, 1956), représentant les noyaux rigides d'un géanticlinal qui sépare l'Eugéosynclinal septentrional du sillon miogéosynclinal tellien.

L'importance des manifestations éruptives syn et post-tectoniques (Oligocène et Pliocène) demeurent les faits les plus remarquables de ce domaine ; ces noyaux constituent les massifs du Chenoua, d'Alger, grande et petite Kabylie.

2- Chaîne calcaire ou Dorsale kabyle

C'est la couverture mésozoïque-éocène de tout ou partie du socle ancien des noyaux kabyles.

Au cours des orogénèses, cette couverture s'est scindée en diverses unités, que l'on retrouve superposées en un paquet d'écaillés qui frange au sud les noyaux kabyles.

3- Les Flyschs

On distingue plusieurs unités qui, en fonction de leur position par rapport au bourrelet kabyle, sont nommées flysch nord kabyle (FNK) ou sud kabyle (FSK).

Ces flyschs se présentent, soit sous la dorsale kabyle en contact anormal, soit sur l'Oligocène kabyle en contact anormal, ou encore en position comparable à ceux du Tell méridional.

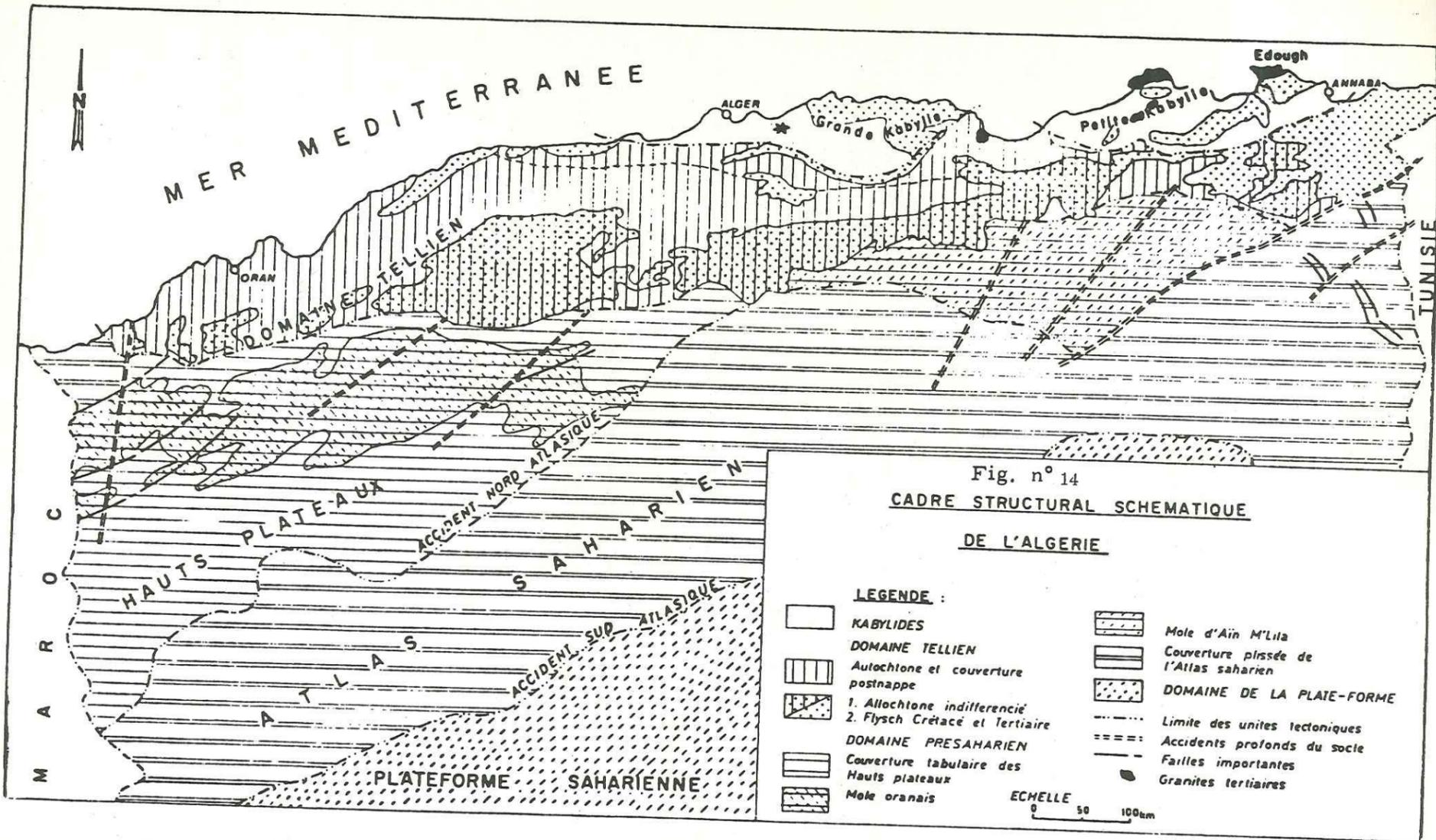


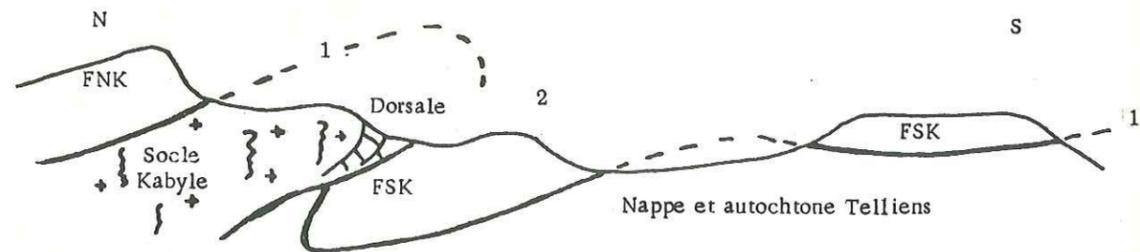
Fig. 15 — Structure de l'Algérie du Nord

Coupe composite schématique N-S à travers les Atlas tellien et saharien.

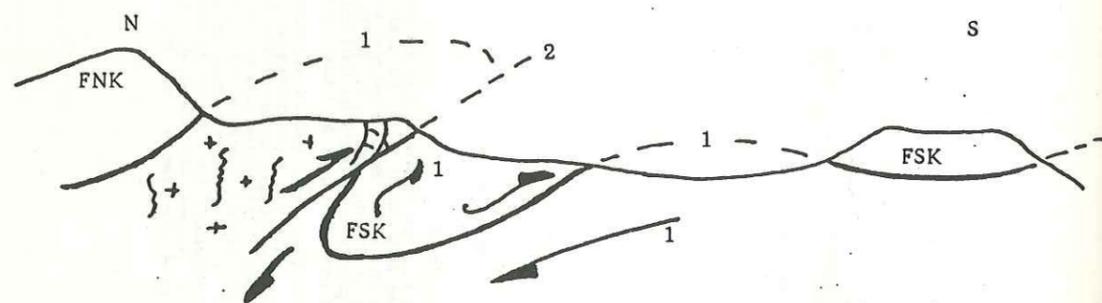
La structure du Tell, figurée sur cette coupe, concerne plus spécialement l'Algérois oriental, le long du méridien de la Grande Kabylie. L'interprétation est fondée sur les données structurales recueillies dans la zone sub-bibanique, et sur leurs conséquences dans le Tell septentrional (A. Caire, Thèse Sc., Paris, 1957), ainsi que sur la distinction entre flyschs ultra- et sub-kabyle, établie en Sicile (Broquet, Caire, Duée et Trulliet, 1963, C.R. Ac. Sc., Paris, t. 257, p. 2856-2858). Sous le nom d'Atlas saharien, sont réunies les structures les plus typiques des Atlas méridionaux : plis amples, avec synclinaux perchés, écaillés avec failles-plis, dômes de sel, et fossés caractéristiques de l'Atlas tunisien.

Du S au N : t : dôme de sel triasique ; ci : Crétacé inférieur ; cs : Crétacé supérieur ; pq : fosse d'affondrement plio-quadernaire (caractéristique de l'Atlas tunisien) et zone subsidente plio-quadernaire sur le bord nord de l'Atlas saharien ; m : Miocène inférieur de l'avant-fosse sud-tellienne, avec klippe sédimentaires KS ; A : unité A ; t : lames triasiques supportant les unités B et C ; B : unité B ; C1 : lame C1 (Sénouen congglomératique venant de la zone intermédiaire, type Babors) ; C2 : Flyschs crétacés-éocènes (ic) ; C3 : [Flysch numidien (fn) ou série molassique de Médjana] ; C4 : Miocène inférieur ; cs, ci : Crétacé de la zone bibanique ; t : Trias injecté dans la zone bibanique ; m : Miocène inférieur et supérieur (série post-nappes du sillon Chéllif-Soummam) ; fcn : Flysch crétacé à nummulitique ; t : Trias ; Lames Id, Ic, Ib et Ia (Flysch en position sud-kabyle, chaîne calcaire, bâti ancien des Kabyles et flysch en position nord-kabyle) ; ec : écaillés de la chaîne calcaire ; ok : Oligo-Miocène kabyle ; m : Miocène post-nappes du bassin de Tizi-Ouzou.

Hypothèse des Flyschs internes



Hypothèse des Flyschs externes



Hypothèse mixte

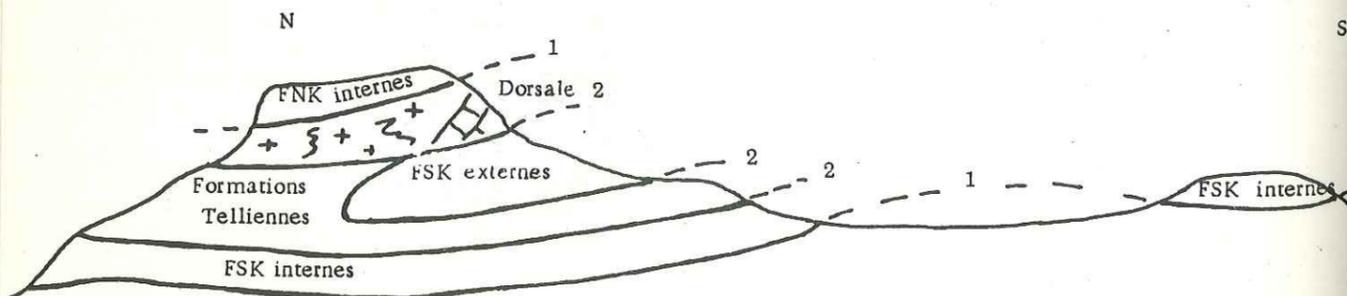


Figure 16: Coupes montrant les différentes hypothèses de l'origine des Flyschs

Plusieurs hypothèses furent émises sur l'origine des flyschs kabyles : (figure n° 16)

- L'hypothèse d'origine "Ultra" Kabyle.

Tous les flyschs proviennent d'un sillon situé avant les charriages, au Nord du Domaine kabyle (DURAND DELGA et MATTAUER, 1960).

- L'hypothèse d'origine "Mixte".

Les flyschs se sont déposés à la fois au Nord et au Sud de la chaîne calcaire (A. CAIRE, 1971).

- L'hypothèse d'origine "Infra" kabyle.

Tous les flyschs sont issus d'une zone située au Sud de la chaîne calcaire (sillon externe). Par un phénomène de scission, il s'est produit un départ de flysch vers le Nord et vers le Sud, s'expliquant par des phénomènes de sous charriages (DURAND DELGA, 1963).

III.1.1.2. Tell méridional

Il comporte l'Ouarsenis, les Bibans, les Babors et les Monts de Constantine.

Poussés vers le Sud lors de la compression alpine, les sédiments marneux secondaires et éocènes du sillon tellien ont fourni une superposition d'unités complexes, définies du Nord au Sud par :

- L'autochtone intra-Tellien représentant la partie centrale du sillon tellien ; il est recouvert par les nappes de glissement à sédimentation plastique du secondaire et du tertiaire de l'allochtone tellien.

Cet autochtone a une structure géanticlinale secondaire à faciès tellien, dans la région de Blida et du Cheliff (L. GLANGEAUD, 1932) ; dans le Constantinois il apparaît en zones hautes ("Domes de Deleau", 1958), dues à un bombement du socle.

Le style tectonique y est modérément compliqué, avec des plis larges de direction tellienne Est-Ouest.

III.1.2. DOMAINE DES HAUTES PLAINES

C'est l'avant pays de la chaîne alpine d'Algérie.

On distingue d'Ouest en Est, les unités suivantes :

- Le môle oranais

- Les hautes plaines Oraïses

- Les hautes plaines algéroises
- Les hautes plaines constantinoises
- Le môle d'Aïn M'lila

Cet autochtone montre des dépôts jurassiques et crétacés, qui sont plus ou moins profonds et pélagiques au Nord, néritiques et zoogènes au Sud.

A l'Est du méridien de Cherchell; les hautes plaines algéroises sont recouvertes par une large fosse miocène; elles se réduisent de plus en plus, car les plis obliques WSW-ENE de l'Atlas saharien rejoignent vers le Nord-Est l'Atlas tellien, de telle sorte que les hautes plaines constantinoises se terminent en pointe vers l'Est, au SW de Constantine.

Les Hautes plaines se sont comportées, comme un haut fond sensible aux mouvements épirogéniques ou eustatiques; leur sédimentation est caractérisée par des dépôts réduits, des lacunes, des conglomérats et par l'absence de faciés évaporitiques.

Leur limite avec l'Atlas tellien est généralement marquée par une série d'accidents à déversement sud; celle qui les sépare de l'Atlas saharien, beaucoup plus imprécise, est représentée par une ligne de fractures correspondant à l'accident nord atlasique.

Du point de vue tectonique, on ne relève dans les Hautes plaines, que des failles verticales délimitant des Horsts et des Grabens, qui font apparaître parfois des terrains paléozoïques, substratum des séries sédimentaires (Oujda, Djebel Bechtout).

La phase miocène, très importante dans l'Atlas tellien se répercute en échos dans les Hautes plaines.

III.1.3. ATLAS SAHARIEN

C'est une chaîne bien individualisée, composée de plusieurs chaînons: les monts des ksours, Djebel Amour, Ouled Naïl et les Aurès.

L'Atlas saharien a pris naissance sur l'emplacement d'un long sillon subsident, entre les Hautes plaines et la plateforme saharienne; c'est un sillon indépendant de la chaîne géanticlinale alpine; c'est un sillon péri-cratonique.

L'axe du sillon s'abaisse vers l'Est; cet affaissement s'accroît au cours du Crétacé et du Tertiaire, ce qui conduit la mer à se retirer vers l'Est.

Les sédiments qui se sont accumulés durant le Mésozoïque et le Cénozoïque ont formé des séries néritiques et continentales.

Du point de vue tectonique, ces formations ont été plissées énergiquement entre le Lutétien et l'Oligocène supérieur (phase pyrénéenne); on a une série de plis allongés, orientés ENE-WSW.

Les anticlinaux sont étroits et caractérisés par une voûte plate et des flancs très redressés, de type coffrés.

Les synclinaux quant à eux, sont très larges.

La caractéristique de ces anticlinaux, c'est leur discontinuité (plis en chenilles processionnaires).

Ce style particulier est dû à un décollement de la couverture au niveau du Trias gypseux et à l'intrusion du Trias dans les anticlinaux.

La limite septentrionale de l'Atlas saharien n'a pu être précisée qu'en quelques points; par contre sa limite méridionale est marquée par une série d'accidents, constituant la flexure sud-atlasique. Au-delà de cette flexure, c'est le domaine de la plateforme saharienne.

III.2. CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION ETUDIEE

(carte n° 1)

III.2.1. INTRODUCTION

Notre région d'étude fait partie de l'ensemble géologique de l'Atlas tellien, zone plissée alpine de l'Afrique du Nord, caractérisée par sa complexité lithologique et structurale.

Au point de vue géologique, le territoire étudié est constitué de plusieurs structures tectoniques qui se répartissent du Nord au Sud comme suit:

. Au Nord, dans le massif kabyle, on observe les pointements de roches du socle métamorphique, recouvertes tectoniquement par une nappe allochtone de flyschs crétacés et paléogènes.

D'autre part, elles sont recouvertes en discordance stratigraphique par des formations autochtones tertiaires et quaternaires; tandis que le flysch allochtone est surmonté par des terrains néogènes et quaternaires.

. Au Sud, dans les limites des sous zones de la chaîne calcaire et des nappes de flysch, les formations les plus répandues sont les terrains méso-cénosoyiques qui constituent une structure complexe en nappes imbriquées, formées par des unités allochtones.

La sous zone de la chaîne calcaire représente la partie septentrionale de cette structure; outre les écaillés formées par les roches de la Dorsale (Permo-Triasique), roches carbonatées du Jurassique, du crétacé et du Paléogène (DURAND DELGA, 1967) ainsi que celles de l'unité des Tamarkenites (M. TEFIANI, 1968), renferme aussi les écaillés et les nappes de flysch paléogène supérieur de cette chaîne (faciès néonummulitique).

La sous-zone des nappes de flysch, située au Sud est bordée dans sa partie méridionale par la nappe des formations crétacées du faciès tellien, y compris les nappes du flysch maurétanien (M. TEFIANI, 1967 ; JEAN BOUILLIN, 1970 ...).

III.2.2. STRATIGRAPHIE

La structure géologique de la région est marquée par la présence de terrains métamorphiques précambiens, recoupés localement par des intrusions de roches basiques et acides, ainsi que par la présence de formations sédimentaires plus récentes.

III.2.2.1. Socle cristallophyllien

On lui attribue une série puissante et monotone de roches métamorphiques, développées dans la partie centrale et au Nord-Ouest de la carte (carte n° 1).

Les terrains sont différenciés par le degré de métamorphisme qui les affecte et qui diminue de bas en haut.

Nous avons pu distinguer deux assises différentes.

La précarité des affleurements ne permet pas de distinguer le contact de ces deux assises, qui de l'avis de plusieurs géologues, serait plutôt des failles sublatitudinales.

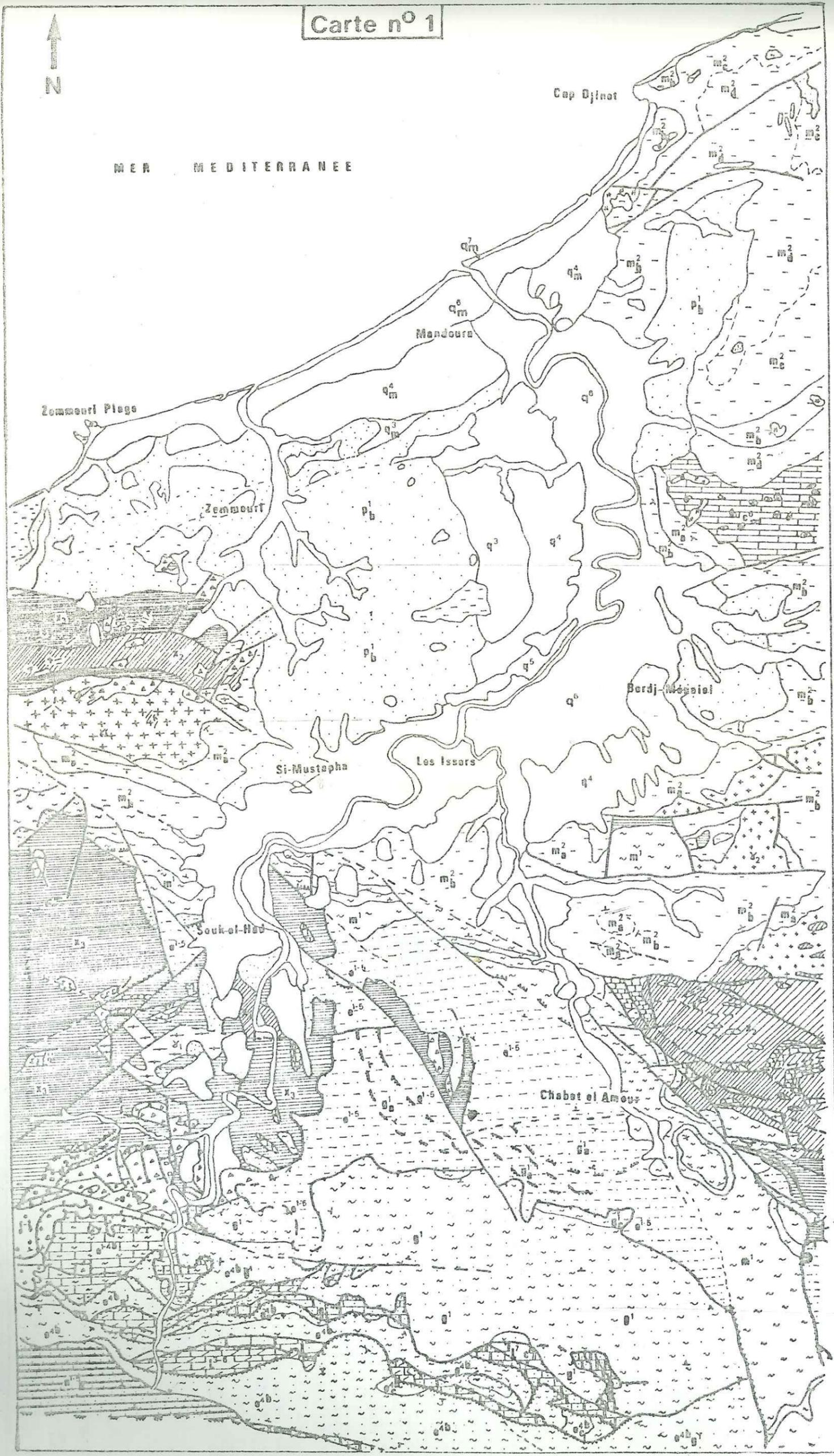
a- Assise inférieure des schistes cristallophylliens (X2)

Elle affleure d'une part, sur les versants nord et sud de la crête de BOU-AROUS où elle constitue les flancs d'un synclinal, de direction latitudinale ; d'autre part, elle est très développée sur la bordure occidentale du massif du DJURDJURA.

Les roches prédominantes sont représentées par des micaschistes à biotite, de teinte verte, finement écaillés et des schistes à deux micas, de teinte

des
mésos-
s,
tonale
aleogène
AFIANI,
partie
compris
0 ...).

Carte n° 1



CARTE GEOLOGIQUE DE LA
VALLEE DU BAS ISSER
ECHELLE 0 1 2Km

LEGENDE

FORMATIONS POST-NAPPES

- Quaternaire
- q terrasse alluviale
- q_m terrasse marine
- Pliocène
- p¹ Pliocène

Miocène

- m² Helvétien
- m¹ Burdigalien

UNITES AUTOCHTONES

- Crétacé
- c⁰ Mésotrichien
- Unité Autochtone du Paléogène de la Zone Kabyle
- e^{4b} Lutétien sup.-Oligocène

UNITES ALLOCHTONES

- Flysch du Paléogène sup. de la Chaîne Calcaire
- e^{1,2c} Oligocène
- e^{3b,4b} Lutétien sup.-Oligocène
- e^{5b} Lutétien sup.

- Flysch Massylien
- o¹ Oligocène
- o¹⁻⁵ Paléocène - Priabonien

- Flysch Maurétanien
- n¹⁻⁵ Unité Guérrouch (Néocomien-Aptien)

- Unité Tellienne
- Unité des Tamerzérites
- o^{1,2a} Paléocène-Lutétien
- j^{c1} Jurassique moy.-Crétacé

- Bergate Kabyle
- e^{1-4b} Paléocène-Lutétien
- L^{1c} Lias sup.-Crétacé sup
- L³⁻⁵ Lias inf. et moyen
- r-1 Permo-Trias

SOCLE CRYSTALLOPHYLLIEN

- e-d² Silurien-Dévonien inf
- a³ Précambrien (Aeolis sup)
- x² Précambrien (Aeolis inf.)

ROCHES ERUPTIVES

- i Intrusion de Dalorites
- l Intrusion de Liparites
- g Granodiorites
- g₁ Granite Pegmatite
- g₂ Granite Leucocrate
- g₃ Granite Gneissique
- Faïte visible, cachée
- Chariage visible, cachée
- Décollement

plus claire.

On rencontre , encaissés dans ces schistes, des panneaux (20 à 30 m²) de gneiss oeuillés à biotite et des lentilles de marbres, disposées en relais de quelques mètres à 1000 m de longueur et de 0,5 à 100 m de puissance.

Toutes ces lentilles sont étirées dans le sens de la schistosité.

Vers le sommet de la coupe, les séricitoschistes quartzeux remplacent progressivement les schistes à deux micas ; en même temps, les lentilles de marbre diminuent en direction et en épaisseur. Cette assise est puissante de 1000 m.

b- Assise supérieure des Phyllades (X3)

Elle affleure dans les mêmes zones que l'assise inférieure, mais elle constitue le coeur du synclinal dans la région du Djebel BOU-AROUS.

Cette assise est représentée par des phyllades qui sont des schistes satinés , de teinte gris foncé plus ou moins bleuâtres ou verdâtres, à quartz, chlorite et séricite.

On y distingue aussi des lentilles de calcaire cristallin, partiellement dolomitisés, de teinte grise à brunâtre, ayant une étendue de 200 à 600 m et de 1 à 30 m de puissance, encaissées dans les phyllades.

Par endroits, ces phyllades (Souk-El Had) renferment des couches de quartzites noirs ou ferrugineux, d'extension très limitée et de 1 à 30 m d'épaisseur.

E.FICHEUR et certains géologues soviétiques attribuent ces assises au Précambrien, d'autant plus que l'assise supérieure a subi un métamorphisme plus poussé que les terrains paléozoïques qui la surmontent ; en outre, l'âge absolu des granites, recoupant cette série dans le massif du Djurdjura (Larba-Naït-Irathen) serait de 700 MA (BOLTENKOV, 1971).

III.2.2.2. Roches éruptives

A- Généralités

Les roches anciennes (anté-tertiaire) sont rares.

Leur âge a été défini en raison de leur analogie avec des types classiques et surtout en raison de leur condition de gisement.

Elles consistent en des filons de pegmatite ou de granulite souvent tourmalinifères ; on les rencontre dans les terrains primitifs qu'elles ont percées (région de Beni-Amrane, Bordj Ménéaiél et Naciria).

Quant aux roches éruptives tertiaires, on rencontre d'une part un pointement de roche granodioritique, constituant le massif de Thénia, à la limite entre un massif schisto-cristallin et les terrains sédimentaires encaissants, et d'autre part, des formations volcaniques très développées en trois grandes classes de roches qui sont les liparites, les basaltes et les roches ophi- tiques.

B- Etude détaillée des divers massifs

1- Massif de Thénia (figure 17 et 18)

C'est un massif éruptif, constitué d'un granodiorite ($\gamma\delta$), formant une bande longue de 7 à 8 km, large de 1 à 2 km, orientée exactement Est 17° Sud, direction identique à celle des Pyrénées.

Il émerge à la limite d'un massif de terrains anciens (schistes et gneiss), qu'il a percé et dont il contient des inclusions.

Au sud, il est en contact avec les terrains sédimentaires tertiaires qui viennent s'appuyer contre lui.

Ces granites ont été datés par analogie à ceux du massif de Bougie, qui sont tertiaires car ils ont traversé et métamorphisé les marnes sénoniennes ; mais si l'on tient compte de la direction nette de la bande granitique qui est identique à celle des Pyrénées, on voit qu'il conviendrait de supposer que l'éruption a eu lieu pendant le Ligurien.

Comme autre formation éruptive, on rencontre à Thénia la suite de la série acide tertiaire, c'est-à-dire les divers termes liparitiques qui sont de deux catégories principales (Liparites quartzifères et feldspathiques).

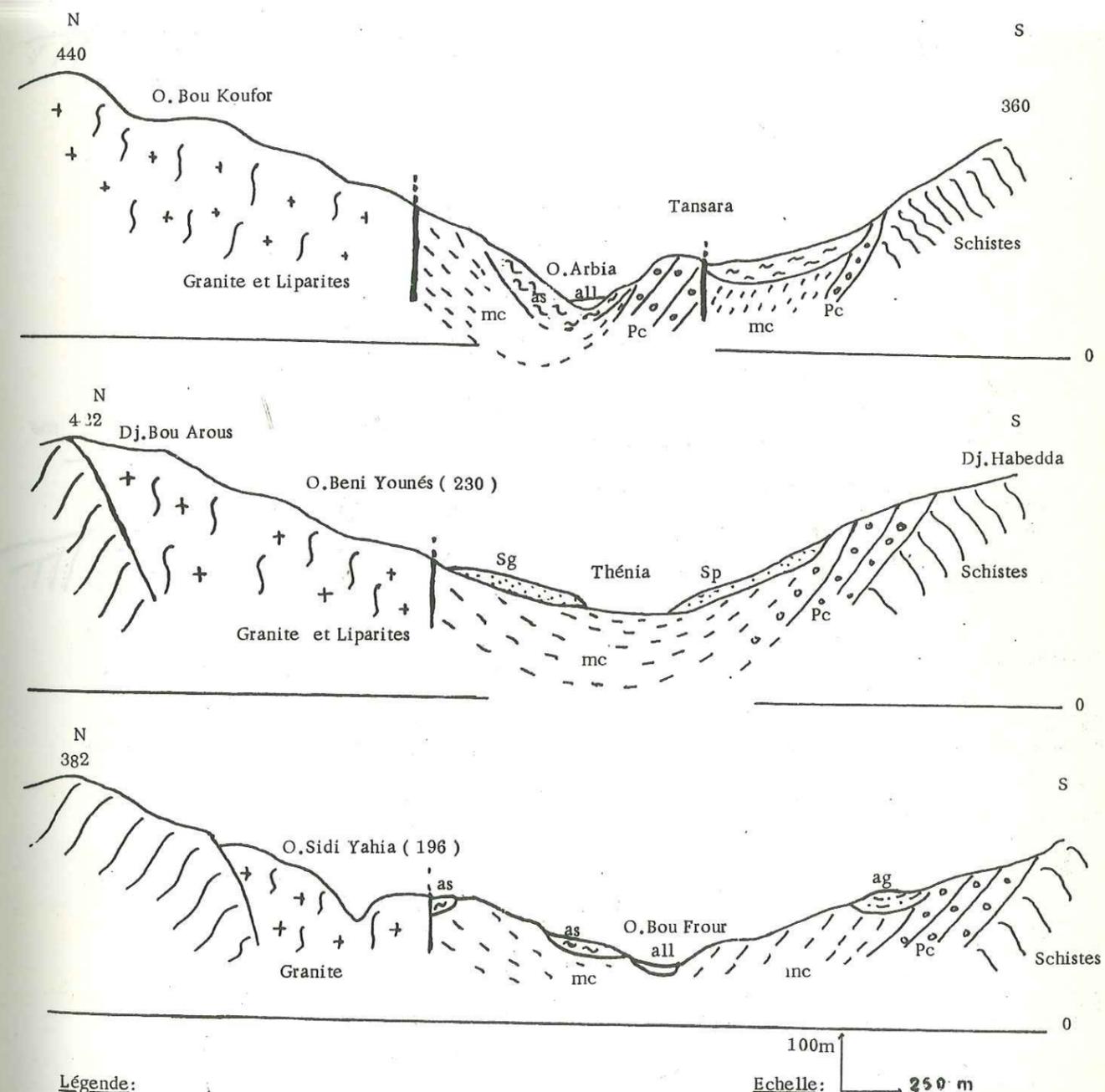
Les principaux pointements liparitiques du bassin versant du Bas Isser sont : Bou-Koufor, Sidi-Feredj, Zemmouri plage, Dra-Zeg-Etta, Rouafa et Dar Raïcha.

Le contact gneiss-granite s'observe assez bien, à l'Est du Douar Oulad Abbas et il est jalonné par une brèche noirâtre ; le gneiss a été profondément transformé en migmatite.

Le contact granite-liparite se fait à l'Ouest du mont Sidi-Féredj, par une brèche volcanique qui renferme, noyés dans un ciment rhyolitique, des fragments de granite. Ces blocs de granite affectent le plus souvent la forme en "boule", qui caractérise les produits de décomposition superficielle du granite de Thénia.

Figure 17: Coupes géologiques par la dépression de Thénia

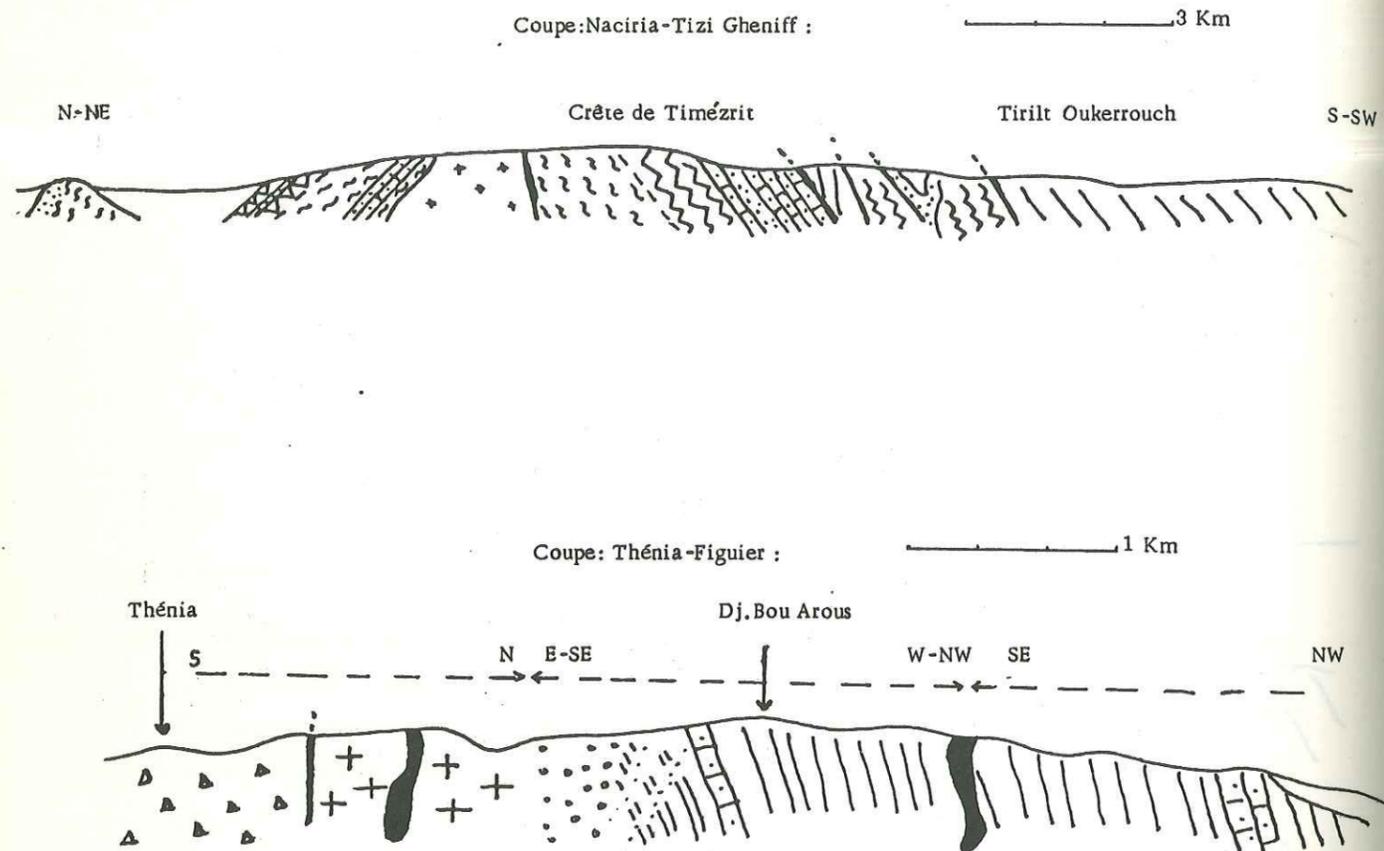
- a) Coupe à 1500 m à l'est du col de Thénia
b) Coupe passant par le col de Thénia
c) Coupe à 3 Km à l'ouest du col de Thénia



Légende:

- Pc: Poudingues et Grés
mc: Marnes
ag: Argiles et Grés
as: Argiles schisteuses
Sp: Sables Pliocène
Sg: Sables et poudingues Pliocène
all: Alluvions

Figure 18: Coupes géologiques à travers les massifs de Thénia et de la bordure occidentale du Djurdjura



Légende:

- | | | | |
|--|------------------------------------|--|-----------------------------|
| | Conglomerats Pliocène de Thénia | | Micaschistes Feldspathiques |
| | Marnes Miocène | | Granite |
| | Liparites | | Contact anormal (Faille) |
| | Granodiorite | | |
| | Bordure leucocrate du Granodiorite | | |
| | Pegmatite et Aplites | | |
| | Schistes satinés | | |
| | Calcaires métamorphiques | | |
| | Gneiss oeilles à biotite | | |

On passe sans transition du granite franc à la rhyolite, sans intermédiaire résultant d'un métamorphisme de contact.

Quant au contact liparites-gneiss, on trouve des lambeaux de roches métamorphiques en enclaves dans les rhyolites, sans que les gneiss et mica-schistes aient subi la moindre transformation.

La présence d'enclaves granitiques et gneissiques prouve la postériorité du volcanisme par rapport à la mise en place du socle cristallin.

Par contre au Sud de Bordj-Ménaïel, les liparites s'échelonnent à l'état d'éruptions successives, le long de la période helvétique, comme on peut s'en rendre compte à Rouafa, où on rencontre plusieurs pointements distincts à diverses altitudes, dans les marnes helvétiques.

Ce genre d'éruption a pris fin avec la période helvétique ; de ce fait les liparites ont donc été émises entre le Ligurien et l'Helvétien.

2- Bordure occidentale du massif du DJURDJURA

Les roches éruptives de cette région consistent en des intrusions de granite gneissique (γ_1), dans la région de Beni-Amrane, qui forment un complexe ancien et en un complexe tardif, constitué de granites leucocrates (γ_2) et de granites pegmatoïdes (γ_3).

Elles y forment en général des filons peu puissants, parfois très réduits, se mêlant si intimement à la roche encaissante, qu'il est souvent difficile de savoir s'il faut rapporter telle partie, à la roche éruptive ou à la roche gneissique.

On va décrire ces formations à travers la coupe (figue n° 18), réalisée entre Naciria et Tizi-Gheniff :

- Chainon de Naciria

Situé au Sud du village, il semble au premier abord qu'il s'agisse d'un granite leucocrate à deux micas, mais plus à l'Ouest, on s'aperçoit qu'il s'agit de micaschistes feldspathiques, traversés par de nombreux filonnets granitiques ou aplitiques, puis on passe au Sud aux marnes helvétiques.

- Bordure occidentale du massif du Djurdjura

On distingue du Nord au Sud :

Des micaschistes feldspathiques avec tout un réseau de filonnets apliques et de nombreux bancs de gneiss oeuillés, puis viennent les calcaires métamorphiques au contact des micaschistes, et enfin à 300 m avant la crête de Timezrit, on traverse le granite qui est une roche leucocrate (γ_2), décomposée et pauvre en quartz.

Dans la région sud, on retrouve les micaschistes inférieurs à deux micas qui sont en contact dans leur partie méridionale avec des gneiss oeuillés à biotite très altérés ; on passe ensuite à des marbres, recoupés par de grosses masses de pegmatites très décomposées.

En quittant les calcaires, on passe à des schistes satinés par un contact faillé vertical ; plus au Sud, on traverse une formation de gneiss oeuillés très altérés et très broyés sur leur bordure.

Et enfin, on arrive à la zone des micaschistes supérieurs du Sud, où on trouve de nouveau des affleurements de schistes satinés, plongeant vers le Sud, sous les formations discordantes tertiaires de la dépression de Draa el-Mizan.

3- Massif du Cap Djinet

Les roches éruptives occupent sans discontinuité une superficie de plusieurs km², comprise entre Cap Djinet et Draa-Rahmane.

On y rencontre peu de roches saines, mais presque partout, il n'affleure que les parties terreuses et décomposées.

Ce sont des roches noirâtres, tirant sur le gris ou sur le vert foncé et se rattachant surtout aux basaltes, aux labradorites et aux andésites.

Les labradorites forment la partie ouest du massif de Djinet et paraissent y occuper la plus grande superficie.

Ces roches montrent un mode de gisement très particulier ; elles forment des coulées interstratifiées dans les sédiments marins helvétiques.

Dans la région de Dar Raïcha, ces formations constituent un anticlinal, dont le cœur est occupé par le sénonien.

Par ailleurs, on rencontre dans la région du Cap Djinet et de Dar-Raïcha, des dolérites sous forme de pointements intrusifs, respectivement dans

les marnes helvétiques et les terrains du sénonien.

Du point de vue datation, le mode de gisement de ces roches sous forme de coulées interstratifiées dans les marnes helvétiques, leur confère un âge helvétique.

III.2.2.3. Paléozoïque

Le paléozoïque, représenté par les terrains du Silurien-Dévonien inférieur (s-d2) est visible à l'Ouest de l'oued Isser, vers le Nord-Est du Djebel Ahmed, où il forme une écaille étroite intercalée entre le précambrien au Nord et le paléogène au Sud.

Ces terrains sont représentés par des schistes argileux de teinte grise, intercalés de petits lits de grès quartzeux faiblement calcaires.

Des fossiles mal conservés récoltés par G. TERMIER (1956) et E. PAVLOVA (1970) ont été datés du Silurien-Dévonien inférieur.

III.2.2.4. Méso-Cénozoïque

Les terrains méso-cénozoïques de la région renferment des unités autochtones et allochtones.

A ces dernières, se rapportent les formations des unités suivantes : Dorsale, Tamarkenites, telliennes et les unités de flysch.

Outre les formations quaternaires, on attribue à l'unité autochtone le flysch paléogène autochtone de la zone kabyle et les formations néogènes.

A- Unités allochtones

1- Dorsale (figure n° 19)

Elle a été mise en évidence par M. DURAND DELGA (1968) ; cette unité est constituée de terrains permotriassiques, jurassiques, crétacés et paléogènes, formant dans la subdivision de la chaîne calcaire, de petites écailles et nappes chevauchantes sur la bordure du massif kabyle.

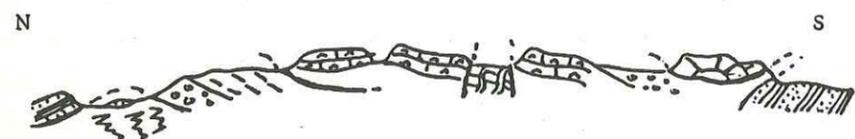
a- Permo-Trias (r-t)

Il constitue des écailles, situées au voisinage du flanc nord de la chaîne calcaire, dans les gorges de Lakhdaria.

Les terrains sont représentés par des arkoses et des grès quartzeux de teinte rouge et grise.

Dans la partie inférieure de l'assise gréseuse, interviennent des bancs

Figure 19: Coupe géologique à travers la chaîne calcaire dans la région de Lakhdaria
(selon M. TEFIANI Inédit)



-  Flyschs Nord Kabyle et Sud Kabyle
-  Oligocène fin
-  Oligocène conglomératique
-  Eocène calcaire
-  Lias supérieur (calcaire) - Crétacé supérieur (marnes)
-  Lias inférieur -moyen dolomitique
-  Permo-Trias
-  Schistes

de conglomérats à petits éléments de graviers et de galets de quartz bien roulés, de teinte rouge foncée ; par endroits, on rencontre des couches d'argilite mauve pâle ou rosâtre.

La puissance maximum de l'assise est d'environ 500 m. Vu que ces terrains reposent en discordance sur les formations plus anciennes (PK) et sont d'autre part, surmontées par les séries liasiques concordantes, D. GLANGEAUD (1932), J. FLANDRIN (1948) les ont attribués au Permo-Trias.

b- Lias inférieur et moyen (L³⁻⁶)

Il est représenté par une assise de calcaires et dolomies massifs, de teinte gris clair. Les dolomies ont tendance à se placer dans la partie inférieure de la coupe.

A. Hamman Tellat, A. AYME, J. MAGNE et M. DURAND DELGA (1955) ont récolté des fossiles sinémuriens, dans les calcaires lités de l'assise dolomitique. Quant à L. GLANGEAUD, il cite dans les calcaires massifs, une faune du Lias moyen.

La puissance totale de l'assise est de 500 m environ.

c- Lias supérieur - Crétacé supérieur (L⁷ - C⁶)

Ces formations constituent de petites écaillés isolées, qui recouvrent vraisemblablement en concordance les calcaires massifs du Lias inférieur et moyen. Elles sont elles mêmes représentées par des calcaires argileux gris rosâtre, renfermant des nodules de silex, des lits de marnes et des formations pélitiques rouges, de faciès "Ammonitico rosso".

L. GLANGEAUD (1932) et M. TEFIANI ont récolté à la base de cette assise des fossiles toarcien-aalénien; alors que L. ZAMECHE, Y. YASSINI (1972) ont déterminé au sommet de cette assise, une faune du Jurassique supérieur - crétacé supérieur.

Cette assise ne dépasse pas 300 m d'épaisseur. Elle s'est déposée à cette époque, dans une zone de sédimentation de faible profondeur.

d- Paléogène supérieur - Lutétien (e^{1-4a})

Ces terrains forment des compartiments tectoniques, de petites nappes et des écaillés, au sein du flysch paléogène supérieur de la chaîne calcaire et des formations anciennes.

Ces terrains sont représentés par une puissante assise de roches carbonatées, où prédominent les calcaires massifs rarement grossièrement lités, de teinte grise. Ces derniers passent par endroits, aux calcaires gréseux et aux grès calcaires massifs jaunâtres.

C. MAZZOLA (1970) et Y. YASSINI (1971) ont récolté dans ces formations des foraminifères de l'Yprésien et du Lutétien. L'épaisseur totale de la série est de l'ordre de 500 m.

2- Unité des Tamarkennit

Cette unité a été distinguée pour la première fois par M. TEFIANI (1968), qui lui attribue les formations méso-cénozoïques reposant sous forme d'écailles étroites, dans la zone d'un grand charriage délimitant la chaîne calcaire au Sud.

Elle forme de petites écailles, pincées entre les roches de la Dorsale et celle du flysch du Lutétien supérieur de la chaîne calcaire (faciès Néonummulitique).

L'unité est composée des formations citées ci-dessous.

a- Jurassique-crétacé ($J^1 - C_T$)

La coupe stratigraphique la plus complète de cette unité a été étudiée par M. TEFIANI (1968), dans la région d'Oulad Tamarkennit (Djebel Bouzegza).

On note de bas en haut de la coupe suivante :

- . Marnes pélitiques de teinte rouge violacée et lits de calcaires argileux jaunâtre peu puissants, contenant des filaments Fibrosphères et ostracodes du Dogger.

- . Radiolarites rouges et verdâtres à intercalations d'argiles, avec abondance de radiolaires et de spicules de spongiaires du Malm.

- . Calcaires marneux et marnes riches en nanno-conus, Calpionella Alpina etc.

- . Microconglomérats calcareux et calcaires marneux à microfaune remaniée du Kirméridjien et du Tithonique.

- . Marnes tendres à *Lamellaptychus mortilleti* du Berriasein-Valanginien.

b- Paléogène de l'unité des Tamarkennit (e_T^{1-4a})

Cette formation a été décrite par M. TEFIANI (1968) sur le flanc ouest du Djebel Bouzegza.

Elle représente une unité flyschôide grés-marneuse, constituée de marnes et d'argiles de teinte rouge et jaunâtre à lits de calcaires gréseux organogènes (*Nummulites*, *Globorotalia Compressa*, *Discocyclina* ...) du paléogène et de l'Yprésien, ou des grès calcaires situés dans la zone du grand charriage délimitant au Sud la chaîne calcaire.

L'épaisseur de ces formations est très réduite (quelques dizaines de mètres).

Ces terrains paléogènes se rencontrent le long du flanc sud de la chaîne calcaire, où ils sont serrés sous forme d'écailles dans la zone de charriage évoquée plus haut (entre les roches de la Dorsale et du flysch paléogène de la chaîne).

3- Unité de Flysch

a- Flysch maurétanien

Ce flysch renferme les terrains des unités suivantes : unité de Guerrouch, unité albo-aptienne du faciès sud kabyle, unité du Djebel Zima.

Ces deux dernières ne se rencontrent pas dans notre région d'étude et ne seront décrites que brièvement.

- unité de Guerrouch (Néocénien-Aptien n^{1-5})

Les formations de cette unité, développées dans la partie sud de la région, sont étirées le long de la chaîne calcaire.

Au Nord, elles chevauchent les terrains de la chaîne; au Sud, elles seraient en contact tectonique avec le flysch albo-aptien du faciès sud kabyle.

La coupe représentative de l'unité s'observe dans la vallée de l'Oued Isser, à l'extrémité sud des gorges de Lakhdaria.

Ces terrains sont représentés par un flysch où alternent rythmiquement, des lits de grès quartzeux de teinte blanche ou grise faiblement calcareux, avec passage aux silts dans les parties supérieures et d'argilites de teinte grise ou mauve pâle, qui sont parfois calcareuses et schisteuses. On les rencontre soit sous forme de lits décimétriques ou bien sous forme de paquets de 20 à 30 m d'épaisseur. L'épaisseur de cette unité est de 500 m environ.

M. TEFIANI (1967-1968) compare les terrains en question à ceux de l'unité de Guerrouch distinguée par M. DURAND DELGA (1955), dans la partie Est de la chaîne Numidique et leur donne un âge Néoconien-Aptien.

A l'inverse de l'unité Guerrouch (Est), l'unité de notre région est dépourvue de radiolarites et de lits de calcaires à sa base.

- Unité albo-aptienne (Faciés sud kabyle)

Ces terrains chevauchent à l'Est de l'Oued Isser les terrains de la chaîne, alors qu'à l'Ouest ils confinent aux terrains de l'unité Guerrouch et le contact entre eux représenterait un décollement.

Ils sont chevauchés à leur tour au Sud par l'unité tellienne.

Le flysch en question est représenté par des grès et des argilites interstratifiés rythmiquement.

- Unité du Djebel Zima

Les terrains paléogènes de cette unité se montrent dans la partie sud-ouest de la carte de Lakhdaria, où ils forment la partie orientale de la nappe tectonique, reposant sur les terrains du flysch albo-aptien.

b- Flysch massylien

L'unité est constituée par les terrains suivants :

- Flysch paléocène supérieur-priabonien (e¹⁻⁵)

Ces terrains sont développés à l'Est et à l'Ouest du pointement des roches métamorphiques, dans la région du Djebel Ifri ; au Nord, ils bordent ce massif sous la forme d'une bande étroite.

Les formations sont représentées par des argiles, marnes bleuâtres à gris verdâtres, intercalés de lits et de paquets de grès et de calcaires.

Les calcaires sont rencontrés dans des paquets isolés relativement peu puissants, où ils forment de minces couches (10 à 20 cm) alternant avec des bancs marneux.

Ils se présentent aussi sous forme de séquences rythmiques ; la base de ces séquences est constituée par des microbrèches carbonatées et les parties hautes par des grès calcaires et de marnes.

Y. YASSINI et M. ZAMECHE (1971) ont déterminé dans ces terrains, une faune allant du Paléocène au Priabonien (*Globorotalia compressa*, *Discocyclina*, *Textularia* ...)

Vu l'insuffisance d'affleurements et de coupes continues, la puissance de ces terrains ne peut être déterminée ; elle pourrait atteindre quelques centaines de mètres.

- Oligocène (g^{1 a})

Les terrains oligocènes sont essentiellement développés dans la partie orientale de la carte, où ils confinent aux dépôts du flysch paléocène-priabonien.

Vu l'insuffisance des affleurements, la relation directe entre ces deux assises n'a pu être observée, et leur contact est vraisemblablement tectonique.

L'Oligocène est représenté par un flysch, constitué d'une alternance rythmique de grès quartzeux micacés assez durs de teinte blanche et d'argiles grises légèrement calcaires.

Ces grès à grains moyens à grossiers se présentent soit sous forme de bancs métriques, soit sous forme de paquets assez puissants (20 à 30 m) avec de très rares lits d'argiles.

En même temps, il existe des paquets d'argiles avec des bancs peu puissants de grès. L'épaisseur de cette assise est de l'ordre de 500 m. Ce flysch a fourni une microfaune oligocène (*Lepidocyclines*, *Operculina*, *Rotalidae* ...), déterminée en 1970-1971 par J. MAZZOLA et Y. YASSINI.

c- Flysch paléogène supérieur de la chaîne calcaire (faciés Néonummulitique)

Cette unité est représentée par une série puissante de 100 m de terrains paléogènes, différente des flyschs paléogènes des autres

unités. On la subdivise en trois assises :

- Assise du Flysch lutétien supérieur (e^{4b})

Elle se développe dans la partie méridionale de la chaîne calcaire, à l'Est de l'Oued Isser. Les terrains sont séparés des autres formations de la chaîne par des contacts tectoniques et se présentent sous forme de grosses écaillés à structure complexe.

Ce flysch est constitué de grès calcaires polygéniques à litage fin à moyen de teinte grise, alternant rythmiquement avec des marnes et des argiles calcaires de teinte grise.

La base de ces séquences rythmiques est parfois marquée par des conglomérats polygéniques, dont les éléments sont composés de calcaires jurassiques et galets de calcaires nummulitiques yprésien-lutétien, avec un ciment carbonaté.

Dans la région des Beni-Khalfoun, ces terrains sont surmontés en concordance par le flysch éocène supérieur - oligocène inférieur.

L'association de la microfaune, récoltée dans ces formations a permis de les dater du Lutétien (*Nummulites Perforatus*, *Discocyclina* ...).

- Assise du flysch du Lutétien supérieur - oligocène inférieur (e^{4b} g₁)

Ces terrains sont développés à l'Est de l'Oued Isser et ont tendance à se placer sur les versants septentrionaux de la chaîne calcaire.

Ce flysch est constitué de grès calcaires polygéniques et arkoses micacées de teinte grise à litage moyen à grossier, alternant avec des marnes plus ou moins micacées de teinte gris-verdâtre.

Dans la région de Beni-Khalfoun, ce flysch comporte des bancs de 5 mètres de conglomérats, surmontant sans discontinuité le flysch lutétien.

Ce flysch est presque partout décollé de son soubassement stratigraphique et il ne reste que quelques lambeaux, constitués de ces conglomérats de base, dont les éléments sont du quartz, grès et phyllades, à ciment grésocalcaire et sont discordants sur les calcaires de l'unité de la Dorsale.

La présence de phyllades dans ces conglomérats, laisse supposer que le bassin de sédimentation de ce flysch se trouvait à l'époque, proche du socle cristallophyllien du massif kabyle.

Du point de vue microfaune, FICHEUR (1891), L. GLANGEAUD (1952)

et Y. YASSINI (1971) ont récolté des *Nummulites Perforatus*, *Discocyclina*, *Fabiana*, etc ..., caractéristiques du Lutétien supérieur - oligocène inférieur. L'épaisseur de l'assise est de l'ordre de 800 m.

- Assise du flysch oligocène (g¹).

Elle est développée dans la chaîne calcaire, surtout à l'Est de l'Oued Isser, sous forme de petites écaillés, coincées parmi les formations plus anciennes de la chaîne et de la nappe chevauchant le flysch paléogène allochtone du massif kabyle.

L'assise en question est représentée dans sa partie inférieure par des grès calcaires grossiers polygéniques, arkoses dures, grossièrement litées, localement avec des couches de micropoudingues et de conglomérats à galets de calcaires, de phyllades et de grès.

La partie supérieure de l'assise est constituée de bancs puissants (5 à 10 mètres) de grès micacés, quartzeux et calcareux de teinte grise, interstratifiés avec des marnes micacées. Sa puissance est de 1000 m environ.

Ces terrains ont été attribués à l'Oligocène par E. FICHEUR (1891), M. DALLONI (1916) et N. FOKINA (1971) à la suite de l'étude de la microfaune qu'ils contiennent (*Cardita*, *Oligo-percostata* ...).

Ce flysch oligocène poursuit sans discontinuité la coupe du flysch précédent (L. GLANGEAUD, 1952).

B- Unités autochtones

1- Flysch autochtone paléogène de la zone kabyle
(Lutétien supérieur - oligocène e^{4b} g)

Il a été observé au Nord de la chaîne calcaire, à l'Est et à l'Ouest du Djebel Ahmed.

Ce flysch surmonte les formations du Paléozoïque et les roches métamorphiques du socle kabyle, avec le niveau de brèches conglomératiques basales, constitué de phyllades, de quartz, de grès du Permo-Trias et de calcaires.

Le flysch en question est représenté par une assise grésomarneuse de teinte grise, ou des bancs de grès calcaires micacés à grains fins à moyens, alternant avec des argiles calcaires et des marnes grises.

Vers le sommet de l'assise, la quantité et la puissance des bancs de grès augmentent.

La puissance apparente de ce flysch atteint 300 m.

Au Nord du Djebel Ahmed, N. FOKINA et Y. YASSINI (1970-1971) ont récolté une microfaune dont l'association caractérise le Lutétien supérieur oligocène (*Discocyclina Marthae*, *Lenticulina*, *Arca* ...).

2- Maestrichien (C.)

Ces terrains affleurent au Nord de Bordj-Ménaïel (Djebel Raïcha), où ils constituent un pointement étroit émergeant parmi les formations tertiaires.

Les formations de cet étage sont surmontées en discordance par les grès, marnes et argiles de l'Helvétien et du Plaisancien.

L'assise maestrichienne, d'une puissance apparente de 300 m, est représentée par des argiles grises ou beiges, alternant avec des bancs décimétriques de calcaires bréchiqes à petits éléments de teinte marron ou brune.

Des intercalations peu puissantes de grès calcaires apparaissent, parfois compacts ou schistifiés dans l'assise, avec des petites lentilles de grès fins quartziques et des couches de poudingues (2 à 3 m) à éléments de grès, quartz, phyllades, ...

Les calcaires fins et bréchiqes ont fourni des foraminifères caractéristiques du Maestrichien (*Globotruncana*, *Gumbéline globulosa*, ...).

3- Tertiaire

Les terrains cénozoïques autochtones affleurent sur une grande étendue et sont représentés par deux ensembles : Miocène et Pliocène.

3-1- Miocène

Les formations miocènes se subdivisent en deux termes : le Burdigalien et l'Helvétien.

- Burdigalien (m¹)

Ce sont les premiers dépôts marins de cette période. La base de cet étage surmonte le flysch massylien; alors que la partie supérieure est arasée et surmontée par des argiles et marnes plaisanciennes discordantes.

La puissance du Burdigalien peut atteindre 300 m. La coupe stratigraphique observée à l'Ouest de Thénia est la plus complète. On y distingue de bas en haut les faciès suivants :

. Des poudingues grossiers de teinte rouge, intercalés de grès (m¹a) ; l'épaisseur est de 200 m environ.

. Marnes argileuses barriolées, avec des couches de gypse peu puissantes (m¹b) , l'épaisseur totale de ces bancs est de 30 à 40 mètres.

. On rencontre ensuite des bancs de 50 à 60 m de puissance, de grès calcaires jaunâtres (m¹c).

. Enfin, le Burdigalien se termine par des marnes gris-verts (m¹d).

La gangue des poudingues (m¹a) est constituée par un ciment grésio-ferrugineux grossier; les éléments sont constitués de phyllades, de schistes cristalloylliens, de quartzites, grès et calcaires.

C. ARAMBOURG, DEPERET (1891) et P. MURAOUR (1956) ont mis en évidence dans ces terrains, une faune caractéristique du Burdigalien (*Ostrea Crassissima*, *Tuntella Orthezensis* ...).

- Helvétien (m²)

Il constitue deux zones sur le territoire d'étude.

Dans la zone centrale, les terrains helvétiques bordent au Sud, au Nord et à l'Est, les pointements du socle cristalloyllien précambien, sous forme d'une bande large de 2,5 km environ.

Dans la zone orientale, ils confinent la limite est de la région et constituent une grande partie de la rive droite de l'Oued Isser.

L'Helvétien, puissant de 1000m au total, est subdivisé en quatre assises. On y distingue de bas en haut :

. Assise volcano-sédimentaire (m²a).

C'est une assise puissante de 300 m environ, discordante sur diverses formations : granodiorites, phyllades, granites anciens ...

De ce fait, la coupe de l'assise est conditionnée par la composition lithologique des roches du substratum et par la tectonique compliquée, lors des époques de l'activité volcanique. Elle est donc sujette à de grandes variations, surtout dans ces parties basales.

De ce fait, la coupe est différente selon l'endroit où l'on se trouve. Elle est représentée soit par des poudingues, dont les éléments sont constitués de granodiorites cimentés par les grès, soit par une alternance de grès grossiers et de grès calcaires avec des lentilles de tufs, de liparites et de poudingues à éléments de gneiss, de granites anciens, de phyllades, de grès ...

Quant à la partie supérieure de la coupe, elle est représentée par des couches de marnes gréseuses (0,5 à 6 m), interstratifiées avec des grès micacés et de rares intercalations de micropoudingues polygéniques (5 à 10 cm).

Tandis que la partie inférieure de l'assise, est constituée de laves et tufs acides (Dacites, Liparites ...), formant des lentilles et des nappes discontinues en direction et en pendage, puissantes de 30 à 150 m.

. Assise marno-argileuse (m² b)

Elle affleure en de nombreux endroits ; des contacts concordants avec l'assise précédente s'observent dans la partie orientale.

Le plus souvent, la base de l'assise est masquée en profondeur, alors que son sommet est surmonté en discordance par les marnes et argiles plaisanciennes.

Sa puissance est de l'ordre de 250 m.

Elle est représentée par des argiles et marnes gréseuses gris bleuâtres, avec de rares bancs de grès calcaires et de calcaires de 0,5 à 2 m de puissance.

Les marnes et argiles de cette assise se distinguent des formations apparemment analogues du Plaisancien, par la présence de nombreuses fissures, cicatrisées par des filaments de carbonates puissants de 0,5 à 1,5 cm.

. Assise de tuf (m² c)

Elle est développée dans le secteur oriental, où elle constitue les flancs des synclinaux. Elle est liée à l'assise marno-argileuse par des passages graduels (P. MURAOUR, 1956).

L'assise de tuf est recouverte en concordance par l'assise de laves.

Les tufs andésitiques et andésito-basaltiques prédominent. L'accumulation de l'assise a eu lieu dans un environnement sous-marin, entraînant l'existence de pillow-lavas, d'alternance de laves, de tufs et de couches d'argiles, de marnes, de grès, de poudingues et de nombreux cas d'enfouissement des marnes à foramifères, au milieu des roches volcaniques.

Les poudingues de 5 à 10 m de puissance, ont un ciment grésotufique et dont les éléments sont constitués de granites, de gabbros, de granodiorites, de phyllades, de quartzites et de laves andésitiques...

. Assise de Laves (m² d)

Elle couronne le sommet des terrains helvétiques, reposant en concordance sur l'assise de tuf et elle est surmontée en discordance par les marnes et argiles du Plaisancien.

Les laves et brèches pyroclastiques composant cette assise, sont des basaltes et andésito-basaltes.

M. DALLONI (1913), J. FLANDRIN (1913), J. MAGNE (1954), P. MURAOUR (1956) et B. GORBONOV (1971) ont récolté dans ces assises une faune caractéristique de l'Helvétien (*Globigérinodae*, *Globorotalia Obésa*, *Cibicides* sp ...).

3-2- Pliocène (Plaisancien P^{1b})

Les terrains pliocènes de la région d'étude, sont représentés par leurs faciés plaisanciens qui couvrent la partie septentrionale du territoire.

Le Plaisancien constitue essentiellement les parties basses du relief, dont les altitudes se trouvent entre 100 et 120 m.

Ces formations se réduisent à une plateforme légèrement inclinée, s'étendant à une faible distance du littoral.

Ces terrains sont surtout développés, dans la région de Thénia, où une bande pliocène contourne le massif cristallin au Nord et s'étend sur le littoral, jusqu'au pied du massif de Djinet.

Le Plaisancien repose en discordance angulaire et stratigraphique sur la quasi-totalité des formations géologiques du territoire d'étude.

Il est représenté essentiellement de marnes argileuses bleues et d'argiles calcareuses bleues, avec quelques rares bancs métriques

de calcaires.

La puissance totale de ces terrains est de 200 m.

E. FICHEUR (1891) et P. MURAOUR (1956) ont récolté dans ces formations une faune abondante, caractéristique du Plaisancien (*Cardita*, *Oxystela*, *Patula*, *Orbulina Universa* Orb., *Globigérina Diplostama* ...).

Ces terrains indiquent la présence de la mer à cette époque.

4- Quaternaire (Q)

Les formations quaternaires du territoire d'étude, sont représentées par des faciès littoraux et alluviaux, développés sur des étendues considérables (100 km²), qui masquent souvent la structure géologique de la région.

A partir du moment où la mer se retire définitivement de la dépression de Thénia, par abaissement de son niveau relatif, on a formation de terrasses littorales, des ravins se creusent dans les massifs anciens et l'écoulement des eaux superficielles entaille avec une grande facilité, les terrains meubles du Tertiaire.

A l'Est, le creusement progressif de la vallée de l'Oued Isser, suivant une série de phases, mises en évidence par E. FICHEUR (1891), DE LAMOTTE (1911), C. ARAMBOUR (1952) et A. AYME (1962), s'est effectué durant les diverses phases du Pléistocène jusqu'à l'époque actuelle, où l'Oued Isser, étalant ses eaux de débordement sur les surfaces facilement aplanies des terrains tertiaires, a eu pour effet la formation de dépôts alluviaux et littoraux, qui seront décrits en détail dans le chapitre quatrième.

III.2.3. TECTONIQUE

La région d'étude est située au sein du géanticlinal kabyle, qui est une saillie du socle cristallophyllien ancien, de la zone plissée alpine du Nord de l'Algérie (L. GLANGEAUD, 1952 ; M. DURAND DELGA, 1968).

Le territoire d'étude peut être subdivisé en trois zones structurales, du Nord au Sud on y distingue :

A- Zone kabyle

Elle comprend :

- Les granites et les formations métamorphiques précambiens, formant les pointements du socle cristallophyllien ; ces saillies du socle sont séparées par des dépressions, comblées de terrains néogènes et quaternaires.

L'affleurement du socle du massif de Thénia montre un synclinal est-ouest, aux flancs faillés. Les flancs et la crête du pli sont composés de schistes cristallophylliens, le coeur de phyllades.

L'étendue du pli est d'environ 10 km ; l'envergure des flancs, de 2,5 à 3,5 km. Les pendages des couches sur les flancs des plis sont forts (60 à 80°) ; ils se trouvent en position deversée, avec développement de microplissements.

Les fractures développées dans la région de Thénia ont en général des directions nord-ouest ou sublatitudinales.

Les fractures méridiennes et nord-est sont moins fréquentes.

La plupart des fractures ont été constatées dans les saillies du socle cristallophyllien et sur les terrains avoisinants.

Les failles les plus anciennes, sont vraisemblablement de direction est-ouest comme le montre le synclinal précambien, qu'elles affectent dans la région de Thénia.

Les schistes cristallophylliens dans les zones précambiennes sont fortement déformés, schistifiés et bréchifiés ; ils sont transformés par endroits, en cornéenne sous l'influence du granodiorite. La zone est pleine de dykes, de porphyres liparitiques, de gabbros dioritiques et d'amphibolites.

- Lambeaux de dépôts autochtones paléogènes, recouvrant en discordance les terrains métamorphiques et paléozoïques du socle kabyle, sous forme de plis synclinaux plus ou moins accidentés.

- Nappes allochtones du flysch massylien qui chevauchent les roches métamorphiques et le paléogène autochtone.

Le flysch formant cette nappe, est déformé de manière complexe ; il est affecté d'un plissement sublatitudinal.

Les structures des formations sont affectées de fractures (failles normales et décrochements), conditionnées par des mouvements tectoniques post-oligocènes.

- Les terrains maestrichiens autochtones développés en rive droite de l'Oued Isser, à Dar Raïcha, forment des plis raides de direction est-ouest et constituent une ride anticlinale plongeant à l'Ouest, sous les formations plus récentes.

B- Zone de la chaîne calcaire

Les formations constituant cette zone, sont représentées par les unités allochtones suivantes : Dorsale, Unité des Tamarkennit et le flysch du Paléogène supérieur, qui sont déformées et charriées sur la partie marginale du massif kabyle.

Les mouvements de charriage s'effectueraient selon certains auteurs du Sud au Nord. Ceci est prouvé d'une part, par le pendage nord des joints tectoniques principaux et d'autre part, par le renversement des plis et des couches vers le Nord.

Le mouvement se faisait sous la poussée des nappes du flysch maurétanien et de l'unité tellienne, arrivant au Nord, à partir des zones plus internes du sillon tellien.

Il s'en suit, que les terrains de la chaîne calcaire furent serrés entre ces nappes et le massif kabyle.

La compression a provoqué la formation intense d'écaillés dans les roches de la chaîne en raison de quoi, les roches des unités de la Dorsale et des Tamarkennit, constituant la base du flysch paléogène supérieur, se sont trouvées intercalées sous forme d'écaillés et de compartiments dans les formations de ce flysch.

Les fragments de structure plissée, conservés localement dans certaines écaillés de la chaîne, représentent en général des plis étroits, renversés souvent au Nord et parfois même couchés.

Les accidents cassants sont nombreux et variés. On trouve un réseau de fractures qui prend de l'extension en direction sud-ouest ; il s'agirait de chevauchements, décrochements, de failles décrochées et de cassures interstratifiées, conjuguées avec l'écoulement plastique.

Des chevauchements étendus, rapprochant souvent de grandes écaillés complexes, s'observent dans cette structure. Les écaillés sont constituées par des séries du flysch tardi-paléogène, qui se sont mises en place sur le soubassement de la Dorsale et essentiellement sur celui des Tamarkennit.

C- Zone des nappes de flysch et telliennes

La structure de la zone s'est formée au cours des mouvements de nappes en direction nord et représente :

- Les nappes des terrains crétacés déformés du flysch maurétanien, charriées sur les formations de la zone de la chaîne calcaire.

- la nappe des terrains déformés du Sénonien tellien, charriée sur le flysch crétacé maurétanien.

Les accidents cassants de la zone en question sont aussi très variés ; à côté des grands charriages bordant les nappes, on trouve également des failles inverses et normales, qui semblent postérieures à la formation des nappes.

On y rencontre aussi des surfaces de chevauchements très inclinées. Les accidents cassants sont accompagnés de joints tectoniques.

Outre les joints représentant de minces fissures écrasées, séparant les roches des différentes unités, on signale des joints tectoniques suivis de zones de broyage et de mylonitisation plus ou moins puissantes ; des joints aussi puissants, à structure complexe, sépareraient le plus souvent les unités ayant subi des rejets considérables l'une par rapport à l'autre. On peut y rapporter par exemple, les joints délimitant la zone kabyle et la chaîne calcaire, ainsi que ceux séparant la zone des flyschs et cette dernière.

Les mouvements tectoniques récents ont conditionné la formation du relief actuel, qui commence à se dérouler d'une manière particulièrement énergique à partir du quaternaire ancien. Ceci est dû au fait que la région a été affectée d'un soulèvement, qui s'accompagnait d'une accumulation de poudingues grossiers, constituant les surfaces des terrasses élevées.

La puissance importante de ces galets anciens témoigne du dynamisme de la surrection, qui se traduit par l'entaillage des méandres de l'Oued Isser, par l'approfondissement progressif de son lit et par le développement intense du réseau hydrographique de la région.

Il est fort possible que certaines failles ont joué lors de ces mouvements tectoniques quaternaires.

III.2.4. CARACTERISTIQUES HYDROGEOLOGIQUES DES DIFFERENTS ENSEMBLES GEOLOGIQUES

La configuration géologique de la région du Bas Isser, englobe des ensembles hydrogéologiques à l'intérieur de chaque domaine structural qui sont les suivants :

1- Roches cristallophylliennes

Elles sont représentées essentiellement de schistes très peu perméables

2- Roches éruptives

Elles sont représentées principalement de granites, d'andésites et de labradorites, qui sont aquifères du fait de l'existence de sources à faible débit, émergeant à la faveur de fractures et de fissures (Thénia, Sud de Bordj-Ménaïel ...). Ces formations pourraient faire l'objet d'une étude hydrogéologique approfondie.

3- Les flyschs

Les différents types de flyschs décrits dans le paragraphe stratigraphie, sont constitués d'une alternance de grès, calcaires avec des argiles et marnes peu perméables; ce qui confère à ces formations un caractère imperméable.

4- Miocène

Il est constitué essentiellement d'argiles et de marnes avec quelques intercalations de niveaux conglomératiques, de calcaires et de grès friables, qui peuvent être le siège d'une circulation d'eau souterraine, mais qui ne présentent aucun intérêt quant à leur exploitation.

5- Dorsale

Les terrains de cette unité sont constitués de grès et surtout de formations carbonatées massives, fracturées et karstifiées (grottes profondes dans la région de Tikjda).

L'existence d'une karstification et d'une fissuration assez intense, visible dans les gorges de Lakhdaria, d'où émergent des sources à fort débit, confère à ces formations un caractère hydrogéologique assez important, car elles représentent un bon aquifère et peuvent faire avec les roches éruptives, l'objet d'une étude hydrogéologique intéressante.

6- Quaternaire

Il est constitué essentiellement de graviers, galets, sables et argiles.

Du fait de l'épaisseur assez importante du réservoir utile, ces formations constituent le milieu d'investigation des eaux souterraines le plus favorable.

III.2.5. CONCLUSION

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

L'idée de l'allochtonie des unités citées précédemment, découle de la comparaison de la structure actuelle de la région avec les faciès et les épaisseurs des terrains qui les composent.

Ainsi par exemple, l'unité du flysch du Paléogène supérieur de la chaîne calcaire, dont la puissance totale atteint 2000 à 3000 mètres, ne pouvait se déposer dans le territoire limité de la chaîne actuelle, mais elle se serait déposée dans la zone du sillon, occupant une surface beaucoup plus importante; ceci concerne aussi les terrains des autres unités, situées au Sud de la chaîne.

Conformément à la disposition indiquée des zones de sédimentation l'une par rapport à l'autre, on peut admettre qu'au Sud du massif kabyle, l'ampleur de ces déplacements était d'autant plus grande, que les zones correspondantes se trouvaient plus éloignées de la chaîne calcaire.

- les flyschs autochtones paléocènes ne se déplaçaient pas.

- Les formations de la chaîne calcaire déposées au Sud du massif kabyle, ont subi les plus faibles déplacements bien qu'ils aient été assez importants.

- Plus importants ont été les déplacements des nappes de flysch maurétanien, qui arrivaient de la zone du sillon du flysch situé plus au Sud de la dorsale.

- Enfin, les déplacements les plus importants ont marqué la nappe du Senonien tellien, à partir de la zone interne du sillon tellien.

L'idée de la nature allochtone du flysch massylien, découle non seulement des observations de ses contacts avec les terrains métamorphiques du socle kabyle, mais aussi des données sur la présence des dépôts du Paléogène autochtone sur ces roches ; en ce qui concerne l'amplitude du déplacement de ce flysch, tout porte à croire que celle-ci comme pour le flysch maurétanien, était considérable.

CHAPITRE QUATRIEME

ETUDE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

- IV.1. INTRODUCTION
- IV.2. ETUDE DES TERRASSES MARINES
- IV.3. ETUDE DES TERRASSES ALLUVIALES
- IV.4. CARTE DU TOIT DU SUBSTRATUM
- IV.5. MODE DE FORMATIONS DES TERRASSES ET DÉPLACEMENT
DE L'OUED ISSER
- IV.6. RECONSTITUTION DE L'HISTOIRE DE L'OUED ISSER
À PARTIR DU PLIOCÈNE SUPÉRIEUR
- IV.7. CONCLUSION

IV.1. INTRODUCTION

Les formations quaternaires de la région étudiée sont représentées par des faciès marins et alluviaux, développés sur des étendues considérables (100 km²) et qui masquent la structure géologique de la région.

L'étude de ces dépôts a mis en évidence diverses terrasses littorales et alluviales ; cette différenciation a été exécutée d'après les données de E. FICHEUR et A. AYME (1891), DE LAMOTTE (1911) et C. ARAMBOURG (1952).

Afin de les décrire en détail, divers modes d'investigation ont été mis en oeuvre :

- Campagne de prospection géophysique: Deux campagnes de prospection électrique ont été réalisées par la C.G.G. (Compagnie Générale de Géophysique); La première de septembre à novembre 1966 durant laquelle 298 sondages électriques ont été effectués perpendiculairement à la basse vallée du bas Isser ; la deuxième d'octobre à novembre 1973, pendant laquelle 173 sondages électriques ont été réalisés perpendiculairement à la direction des terrasses littorales et alluviales supérieures.

- Sondages mécaniques: Une cinquantaine de forages ont été réalisés depuis 1973. Ils nous permettent d'une part, de préciser et de compléter l'étude géophysique et d'autre part, de décrire la lithologie des diverses formations.

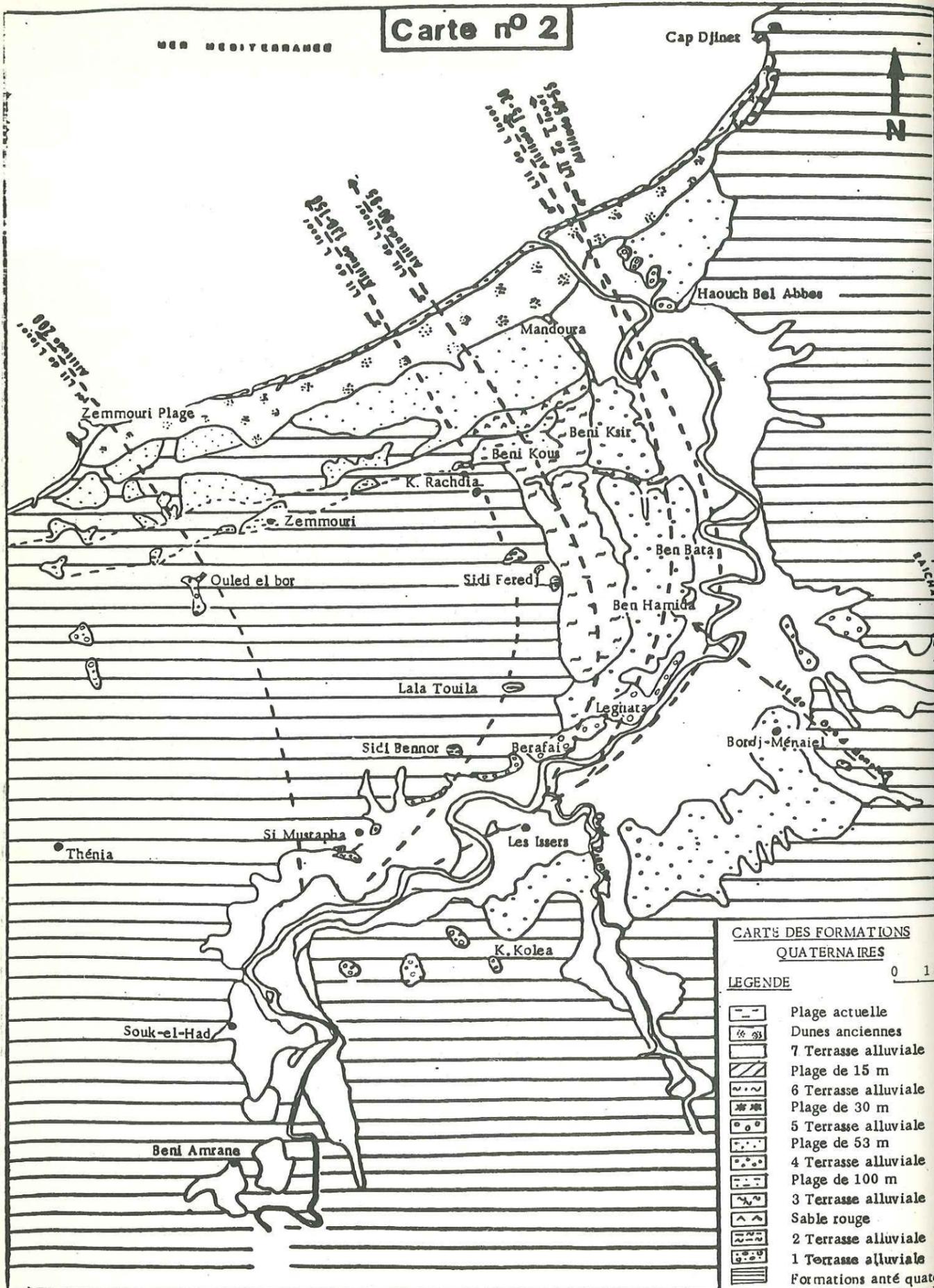
IV.2. ETUDE DES TERRASSES MARINES

(carte n° 2)

IV.2.1. PLAGES DE 100 METRES (figures 20 et 21) : q³m

Au sud de Mandoura, on gravit un talus de sables rouges recouvrant les marnes mio-pliocènes et on arrive à un plateau de 100 mètres d'altitude à sa bordure méridionale et 60 mètres à sa bordure septentrionale ; c'est le plateau des Beni Kous.

Carte n° 2

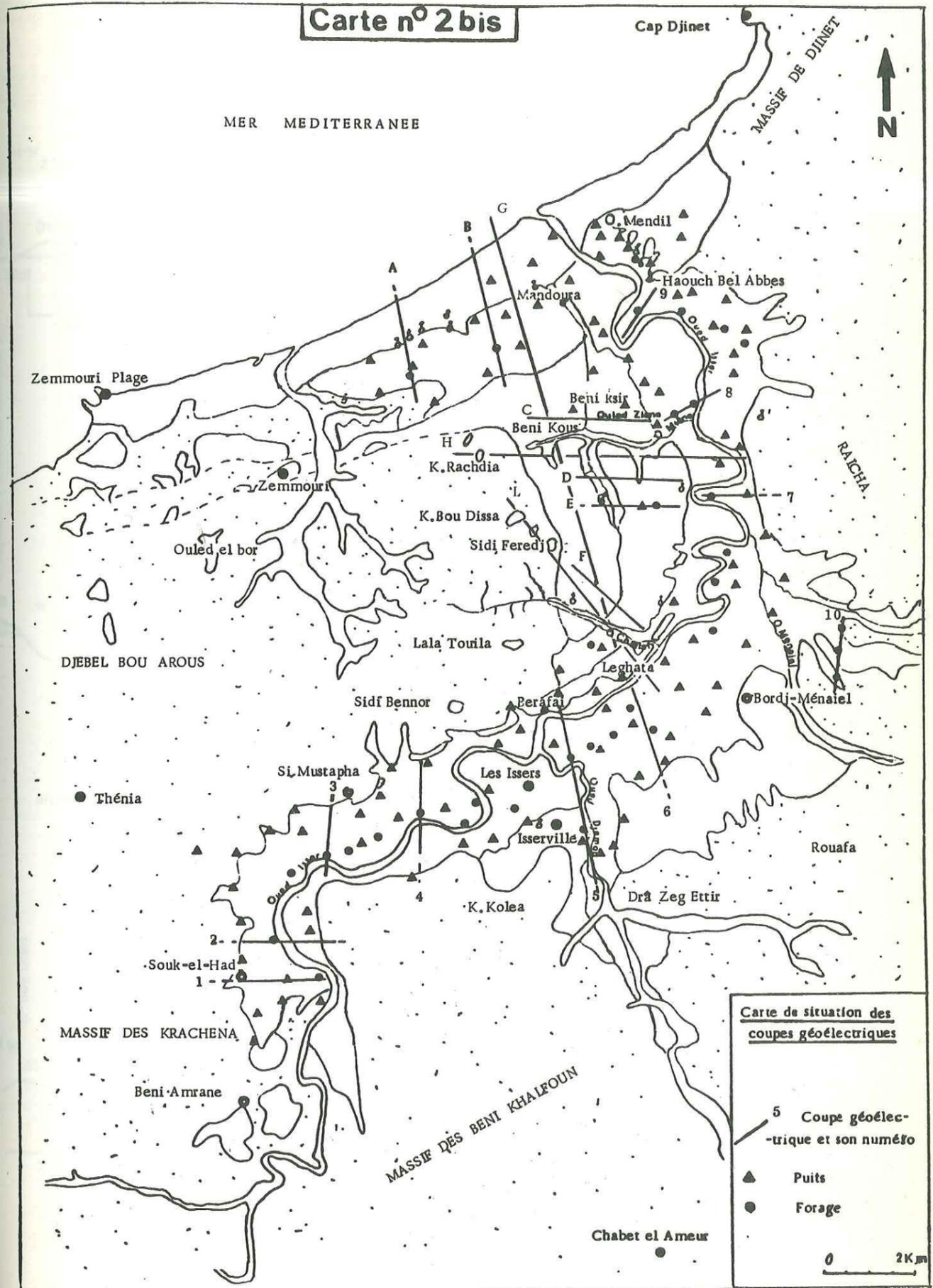


CARTE DES FORMATIONS QUATERNAIRES

LEGENDE

- Plage actuelle
- Dunes anciennes
- 7 Terrasse alluviale
- Plage de 15 m
- 6 Terrasse alluviale
- Plage de 30 m
- 5 Terrasse alluviale
- Plage de 53 m
- 4 Terrasse alluviale
- Plage de 100 m
- 3 Terrasse alluviale
- Sable rouge
- 2 Terrasse alluviale
- 1 Terrasse alluviale
- Formations anté quaternaires
- Anciens lits de l'oued

Carte n° 2 bis



Carte de situation des coupes géoélectriques

- 5 Coupe géoélectrique et son numéro
- Puits
- Forage

Le soubassement de ce plateau est formé par des alluvions (figure 20) appartenant à un ancien lit de l'Oued Isser (3ème terrasse alluviale), alors qu'à l'Ouest des Beni Kous, cette terrasse marine repose directement sur le substratum marneux.

Les sédiments marins visibles en affleurements, sont constitués essentiellement de sables et de graviers faiblement consolidés, un peu argileux ; la puissance apparente de ces dépôts, visible dans les talwegs est de l'ordre de 50 mètres.

Cette terrasse n'a pas fait l'objet d'une étude géophysique et de réalisations de forages ; de ce fait, il nous est impossible de décrire la coupe géologique et de déterminer l'épaisseur réelle de cette terrasse.

IV.2.2. PLAGES DE 53 METRES (figure 21) : q⁴m

C'est la plage que l'on rencontre en rive gauche de l'embouchure de l'Oued Isser et qui forme le plateau de Mandoura, se développant parallèlement à la côte sur 5 km de long et 1,5 km de large.

Au vu de la morphologie actuelle de cette terrasse, l'altitude primitive du plateau près de sa bordure septentrionale devrait être de 53 m (point côté 53 m au Sud-Ouest de Mandoura) ; alors qu'à sa bordure méridionale, la côte de la plage devait atteindre 55m.

Cette plage se retrouve très nette en rive droite de l'Oued Isser, au Nord d'Haouch Bel Abbas.

On a décrit ces terrains sur la base des coupes géoélectriques, que nous avons réétalonnées sur les forages 3523 et 3524.

Forage 3523	Forage 3524
0 - 4m : Sables argileux jaunes	0 - 3m : Sables argileux jaunes
4 - 12m : Graviers	3 - 12m : Graviers
12 - 15m : Argiles bleues	12 - 17m : Argiles bleues

Les coupes géoélectriques (coupes A et B) montrent de francs contrastes de résistivité, correspondant à cinq niveaux différents dont trois seulement sont confirmés par les coupes de forages très peu profonds (15 mètres).

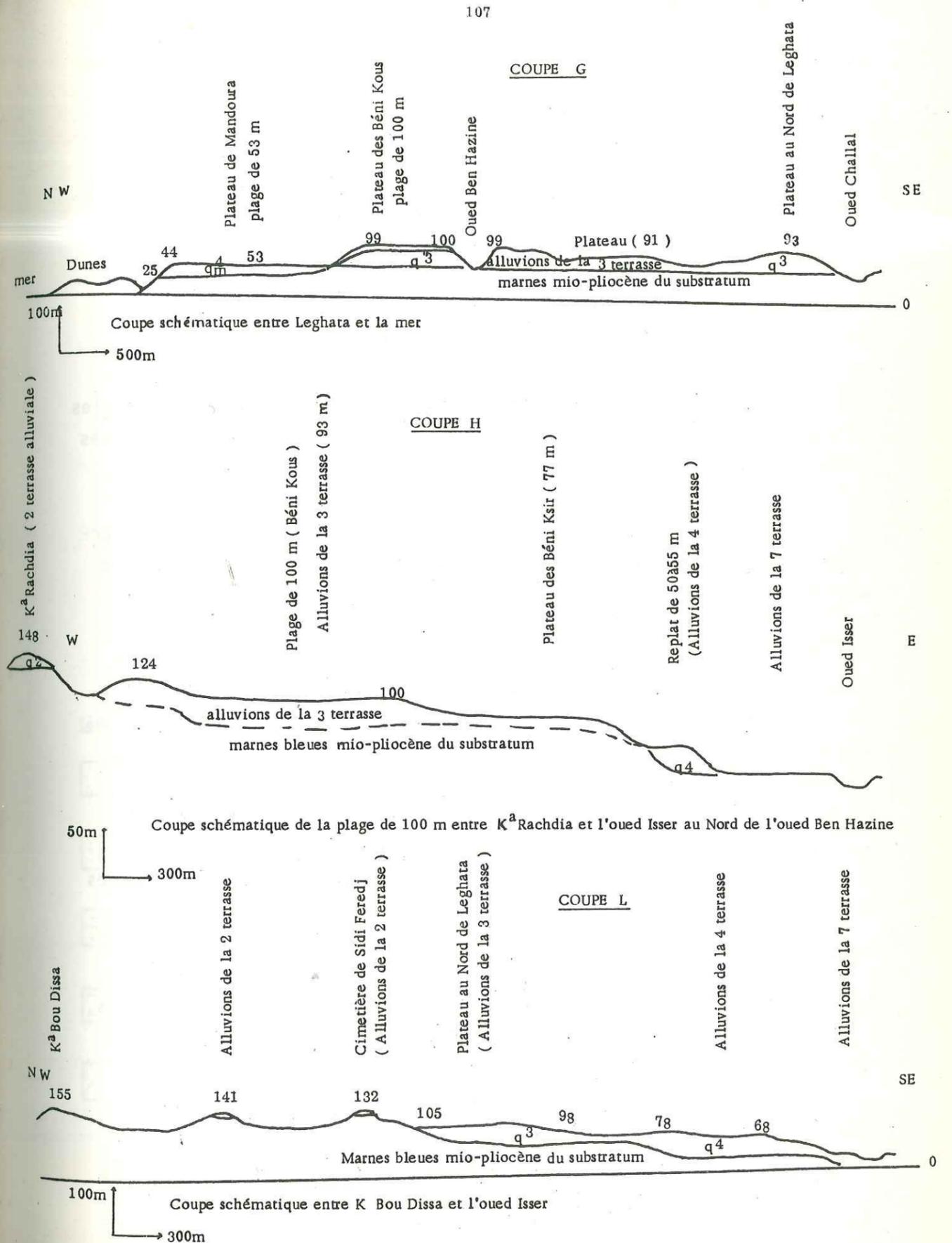


Figure 20: Coupes schématiques à travers les alluvions de la vallée du bas Isser

Le premier niveau de 20 à 1 000 ohm.m de résistivité correspond soit à des sables argileux (20 ohm.m), soit à des sables propres (1 000 ohm.m) de 3 à 6 mètres d'épaisseur.

Le deuxième horizon d'une résistivité de 100 à 200 ohm.m est représenté par des graviers de 8 à 15 mètres de puissance.

Le troisième niveau de 5 à 10 ohm.m de résistivité, constitué d'argiles bleues dont l'épaisseur variant de 5 à 20 mètres n'est pas vérifiée par les coupes de forage.

Le quatrième quant à lui a une résistivité de 30 à 70 ohm.m, peut correspondre à des graviers et galets plus ou moins argileux ; ce niveau n'a pas été confirmé par les forages peu profonds (3523 et 3524).

Enfin, tout cet empilement repose sur un substratum de résistivité inférieure à 5 ohm.m, représentant les marnes bleues mio-pliocènes.

Les coupes géoélectriques de la figure 21 montrent que l'épaisseur de cette terrasse est de l'ordre de 40 à 60 mètres dans sa partie orientale et diminue dans sa partie occidentale pour atteindre 25 à 30 mètres.

IV.2.3. PLAGES DE 15 ET DE 30 METRES : q^5m et q^6m

Au pied des deux plages précédentes, on rencontre des traces de plages plus récentes où on reconnaît deux niveaux :

- Niveau de 15 mètres, visible au Cap Djinet, représenté par des grès et poudingues à petits galets, ayant une épaisseur de 2 à 3 mètres.
- Niveau de 30 mètres, situé au dessus du précédent, constitué de grès coquillers et de galets de quartz blancs, ayant une épaisseur de l'ordre de 4 mètres.

IV.2.4. DEPOTS EOLIENS ACTUELS (DUNES ANCIENNES) : q^7m

Ils sont développés le long du bord de mer, où ils forment des dunes de 5 à 10 mètres de hauteur. Ils sont représentés par des sables plus ou moins argileux.

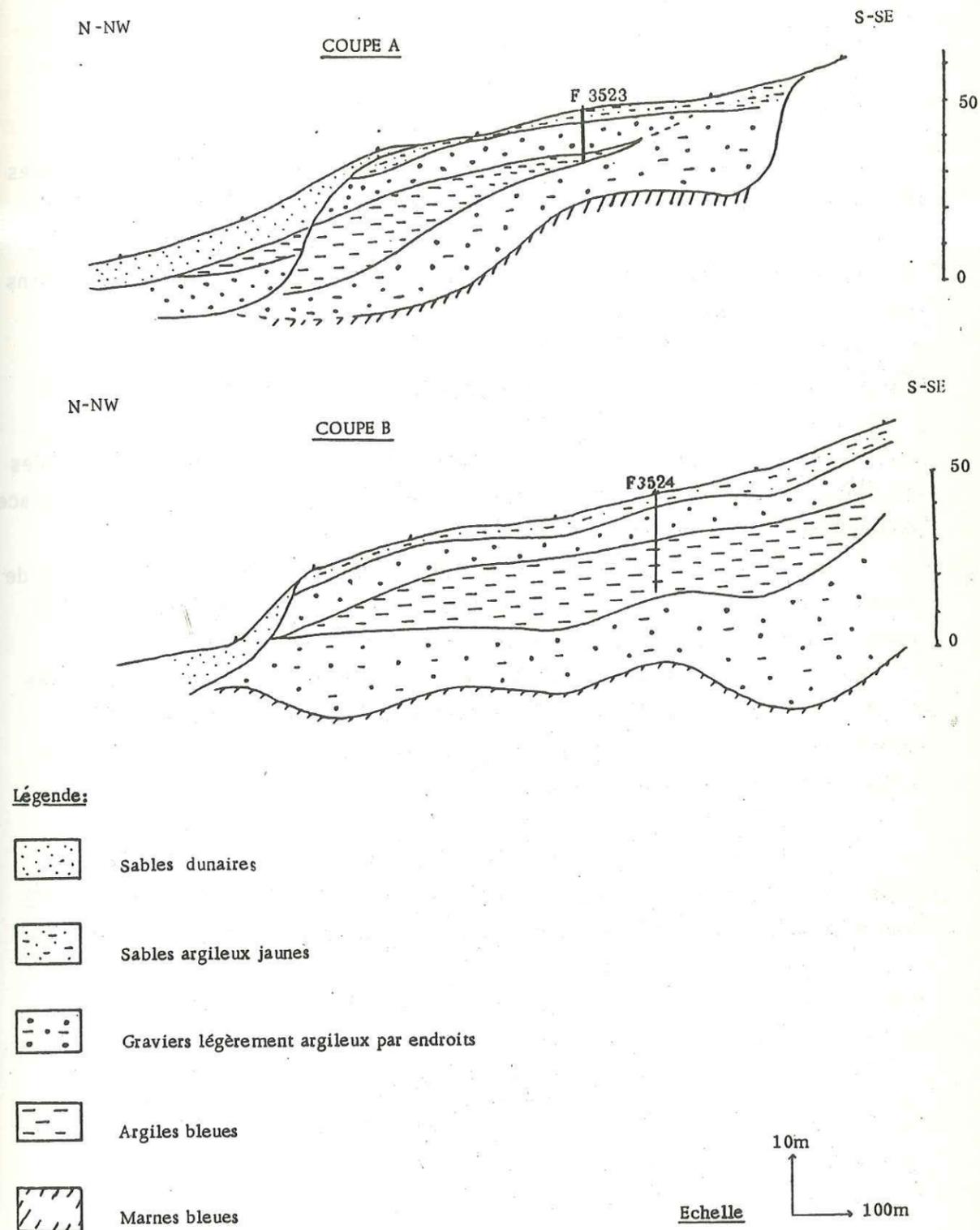


Figure 21: Coupes géoélectriques perpendiculaires à la direction de la terrasse littorale de 53 m

L'étude géophysique a permis d'estimer une épaisseur de 10 à 20 mètres de sables et graviers de 800 à 1 500 ohm.m de résistivité, reposant sur un substratum marneux ; l'existence du puits 266 à deux galeries horizontales à 8 mètres de profondeur, montre que ces terrains ont une épaisseur au moins égale à 10 mètres.

IV.3. ETUDE DES TERRASSES ALLUVIALES DU BAS ISSER

A Béni Amrane, en aval de Lakhadaria, l'Oued coule encaissé entre des murailles presque verticales (gorges de Lakhadaria) et il n'y a pas de traces des anciens lits de l'Oued Isser.

Mais à la sortie des gorges, les pentes s'adoucissent un peu et celle de la rive gauche présente des replats étagés, couverts d'alluvions anciennes que les torrents latéraux ont séparées en lambeaux discontinus.

Un peu en aval de Beni -Amrane, les reliefs élevés qui enserraient le cours de l'Isser s'abaissent et s'écartent en circonscrivant une vaste dépression, qui a été autrefois remplie jusqu'à une altitude de 200 mètres environ par les marnes miocènes.

L'Isser, qui au début du Pliocène supérieur paraît avoir étalé ses alluvions sur les marnes dans la direction de Zemmouri, a peu à peu incliné son cours vers l'Est et fini par creuser son chenal contre les hauteurs de la rive droite (carte n° 2).

Comme trace de ces érosions successives, il a laissé une série de terrasses qui peuvent se rapporter à 7 niveaux qui sont les suivants :

IV.3.1. ALLUVIONS DE LA PREMIERE TERRASSE (q¹)

La terrasse la plus ancienne de l'Oued Isser se rencontre au Sud-Ouest de Zemmouri, sur le plateau d'Oulad el Bor.

La présence de gros galets de schistes cristallophylliens, de phyllades, de grès, quartz et de quartzites, emballés dans une gangue de sables argileux, ne peut s'expliquer qu'en attribuant leur transport à l'Oued Isser.

La puissance apparente de ces formations est de l'ordre de 30 mètres.

On admettra que les cailloutis constituant ce plateau à une altitude de 200 mètres, représentent les traces d'un ancien lit de l'Oued Isser plus élevé de 200 mètres que le lit actuel et situé dans le prolongement direct des gorges de Lakhadaria.

A cette époque, les marnes bleues formaient encore une surface à peu près régulière et continue, à une altitude représentée actuellement par la côte 200 mètres.

IV.3.2. ALLUVIONS DE LA DEUXIEME TERRASSE (q²)

A l'est du dépôt précédent, il n'existe sur les marnes bleues mio-pliocènes qui affleurent seules, aucune trace d'anciennes alluvions sur une distance de 6 km.

Au-delà, on rencontre à des altitudes variant de 132 à 164 mètres, une série de lambeaux isolés de poudingues couronnant des pitons de marnes bleues ; l'épaisseur apparente de ces lambeaux varie de 5 à 10 mètres.

Du Sud au Nord, on distingue les lambeaux suivants : Sidi Bennor (141m), Lalla Touila (164 m), cimetière de SidiFeredj (132 m), Ka Rachdia (148 m) (figure 20).

Les poudingues sont constitués de galets de schistes cristallophylliens, de phyllades, de grès, de calcaires et de quartzites, emballés dans une gangue sableuse, témoignant du passage de l'Oued Isser à ces altitudes.

Les écarts d'altitude de leurs bases et de leurs sommets peuvent n'avoir aucune signification, car ils peuvent s'expliquer par des glissements ou par une côte variable du substratum dans le lit de l'Oued à cette époque ; on admet qu'ils se rattachent à un même niveau que l'Oued a déposé entre 130 et 160 mètres.

IV.3.3. ALLUVIONS DE LA TROISIEME TERRASSE (q³)

A l'Est et au pied des lambeaux de la deuxième terrasse, s'étendent les alluvions des cinq autres niveaux, disposés en gradins étagés partiellement emboîtés sur les pentes de la rive gauche de l'Oued Isser.

Les dépôts de la troisième terrasse se rencontrent au Nord de Bérafai, où elles prennent un extraordinaire développement.

Ces alluvions forment une bande dont la largeur varie de 1200 à 1500 mètres et qui s'étend du Nord de Leghata au plateau des Beni -Kous, situé 4 km au Nord ; partout, elles reposent sur les marnes bleues du mio-plicène.

L'altitude de cette terrasse varie de 90 à 108 mètres.

Les coupes géoélectriques (figures 22 et 23) réalisées au niveau de la 3ème et de la 4ème terrasse ont distingué quatre gammes de résistivité, correspondant à quatre niveaux différents dont l'épaisseur n'est pas confirmée par des forages réalisés au niveau de cette terrasse ; quant à leur lithologie, on l'a déterminée après avoir étalonné ces coupes géoélectriques, à l'aide de coupes des forages 3516 et 3519 implantés dans les alluvions de la 4ème terrasse.

Les différents niveaux observés sont les suivants :

5 ohm.m	Marnes bleues du substratum
$5 < \rho < 10$ ohm.m	Argiles brun jaunâtres
$10 < \rho < 20$ ohm.m	Limons ou argiles sableuses
$40 < \rho < 100$ ohm.m	Graviers et galets peu consolidés peu ou pas argileux

L'épaisseur totale de cette terrasse doit être de l'ordre de 30 à 40 mètres.

Parfois en surface, on observe un niveau résistant (40 à 70 ohm.m) de faible épaisseur (2 à 4 mètres) surtout dans la partie septentrionale de cette terrasse, correspondant à des sables rouges identiques à ceux rencontrés sur le plateau des Beni -Kous.

La terminaison des alluvions de cette terrasse sous la plage des Beni -Kous (figure 20), à une côte (99 mètres) presque égale à celle de cette plage, la présence de sables rouges à une côte égale à celle de la plage de 100 mètres, prouvent en tous cas que la mer a séjourné longtemps à cette altitude et que ce séjour est antérieur à la formation des alluvions de la quatrième terrasse.

Par ailleurs, on note l'absence de cette terrasse en rive droite de l'Oued Isser.

IV.3.4. ALLUVIONS DE LA QUATRIEME TERRASSE (q⁴)

Elles reposent comme les précédentes sur les marnes bleues du mio-pliocène.

Cette terrasse forme une série de replats, dont la côte initiale était de 70 mètres et qui s'abaisse à 64 mètres par endroits.

Ces alluvions forment une bande dont la largeur est de 1000 à 2000 mètres, s'étendant de Bérafai jusqu'au plateau des Beni Ksir, situé 5 km au Nord.

Au Nord de l'Oued Beni -Miane, les alluvions ne forment qu'un placage étroit contre les marnes bleues ; elles y pénètrent ensuite sous les sables rouges de la plage de 53 mètres et finissent en biseau près de Mandoura où leur largeur ne dépasse pas 100 mètres. Cette terrasse se rencontre également en rive droite, entre Isserville et Bordj-Ménaiel.

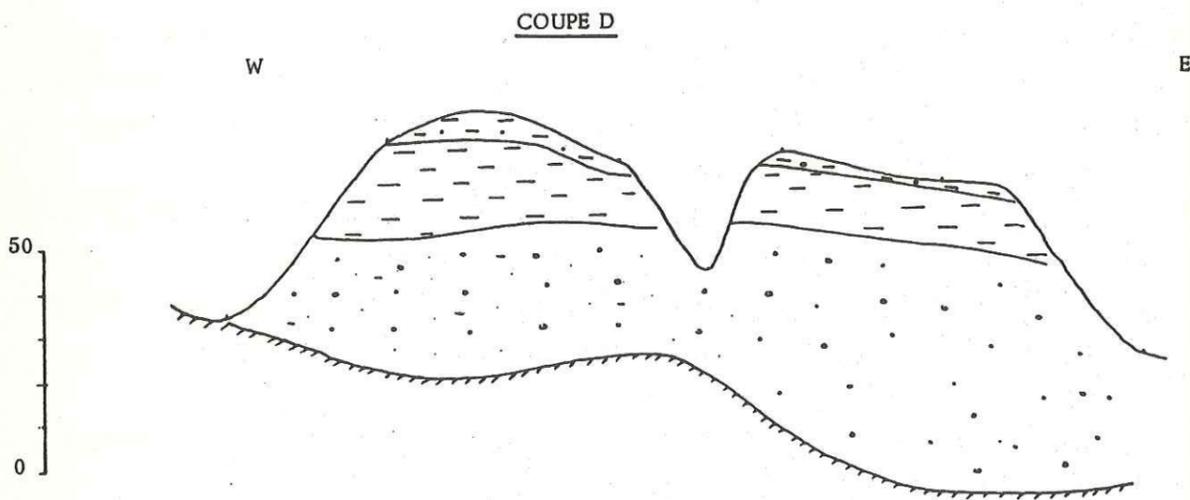
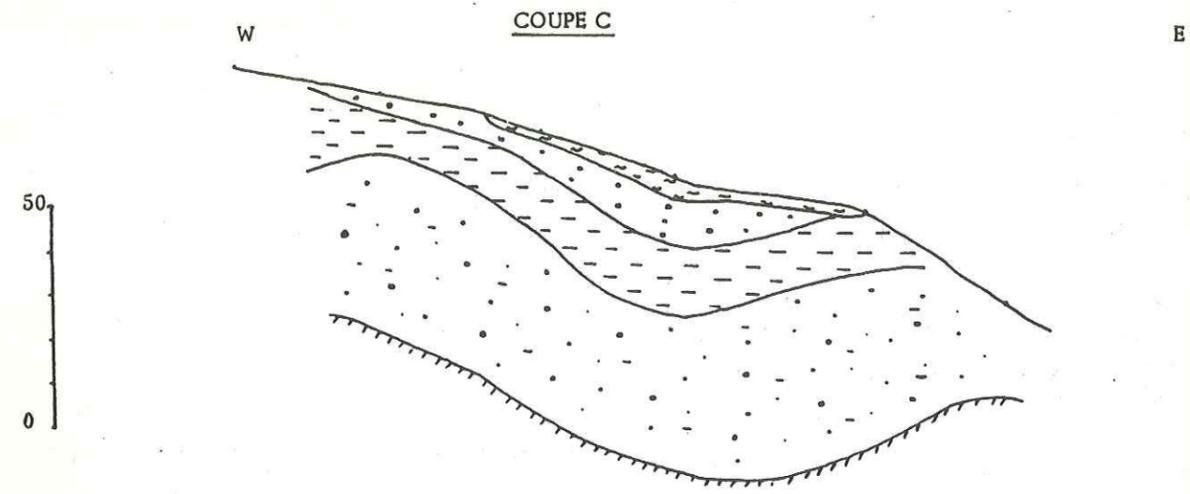
En empruntant la route de Leghata à Mandoura, on distingue des affleurements de cette terrasse montrant des conglomérats dont les éléments sont constitués de phyllades, de grès et de quartzites, à la base desquels émergent des sources, ce qui montre le caractère aquifère de ces conglomérats.

Au Nord de Benbata, des sables et des grès friables les recouvrent et les remplacent en partie.

Dans le vallon de Ben Hamida, on constate l'existence d'une puissante accumulation de sables fins, grès et poudingues à petits galets stratifiés horizontalement ; les éléments constitutifs de ces conglomérats, au lieu de provenir de la haute vallée de l'Oued Isser, sont descendus des hauteurs au Sud-Est de Bordj-Ménaiel ; ce sont des gneiss, granulites, schistes cristallophylliens, grès ...

Le contraste est franc entre ce dépôt et celui des autres terrasses, vues précédemment.

Les coupes géoélectriques (coupes C, D, E et F), réalisées au niveau de cette terrasse (figures 22 et 23), distinguent les mêmes gammes de résistivité correspondant aux niveaux vus dans le paragraphe précédent.



Légende:

-  Sables limoneux
-  Argiles bruns jaunâtres à intercalations de graviers
-  Argiles bruns jaunâtres
-  Galets et graviers sableux parfois argileux
-  Marnes bleues du substratum

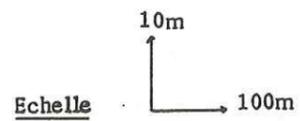
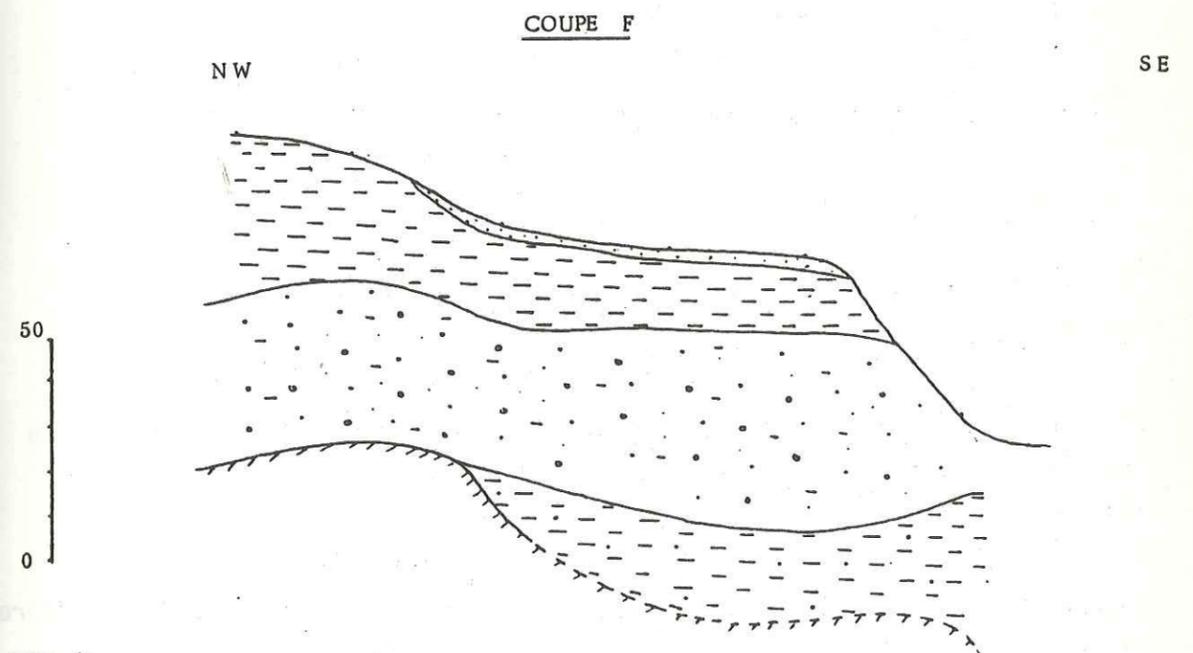
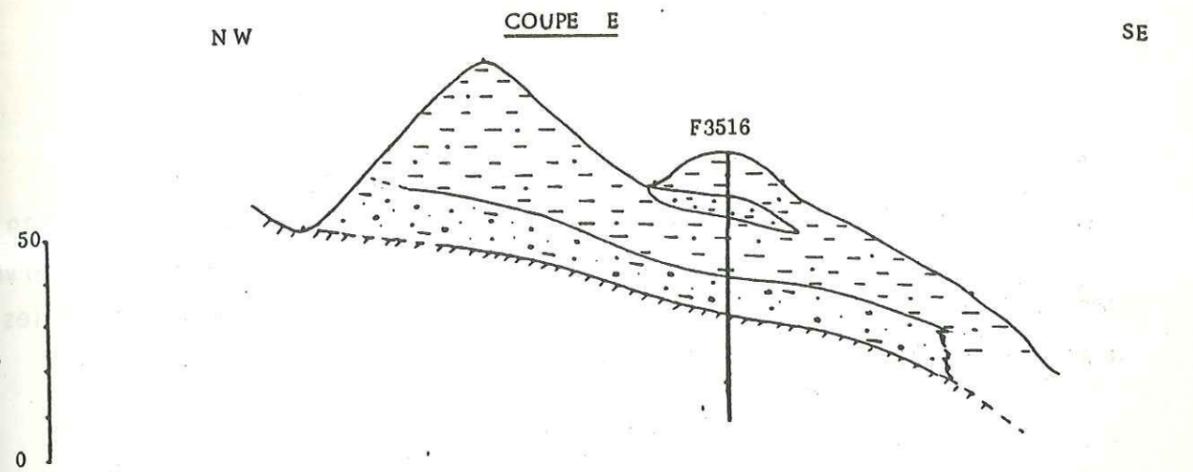


Figure 22: Coupes géoélectriques perpendiculaires à la direction de la 3 et de la 4 terrasse alluviale



Légende:

-  Sables
-  Argiles bruns jaunâtres
-  Galets et graviers sableux parfois argileux
-  Marnes bleues du substratum

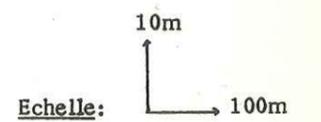


Figure 23: Coupes géoélectriques perpendiculaires à la direction de la 3 et de la 4 terrasse alluviale

Mais à l'inverse des alluvions de la 3ème terrasse, celles de la quatrième ont été étalonnées à l'aide des données des forages 3516 et 3519.

De ce fait, la lithologie et l'épaisseur des différents niveaux observés par les coupes géoélectriques des figures 22 et 23, sont déterminées par les coupes des forages cités ci-dessus.

Forage 3516	Forage 3519
0 - 9m : Argiles bruns jaunâtres à intercalations de graviers	0 -24m : Argiles bruns jaunâtres à intercalations de graviers
9 -13m : Graviers un peu argileux	
13 -27m : Argiles bruns jaunâtres	24 -30m : Galets et graviers à sables argileux
27 -36m : Graviers et galets à sables argileux	
36 - 60m : Marnes bleues	30 -60m : Marnes bleues

Ces coupes de forage montrent une épaisseur des alluvions qui varie de 30 à 40 mètres.

Au Nord de Béni - Miane, les alluvions s'abaissent brusquement de 10 à 15 mètres, alors que leur épaisseur se réduit rapidement vers le Nord où elle n'est plus que de 10 à 15 mètres.

On note également la présence de sables rouges identiques à ceux de la plage de 53 mètres, couvrant le plateau des Beni -ksir et toute la bordure alluviale à une altitude égale à celle de cette plage.

De même que pour les alluvions de la troisième terrasse, il est impossible de ne pas être frappé du lien qui existe entre les sables rouges et les alluvions de la quatrième terrasse et du fait que la mer a dû séjourner longtemps à une côte voisine de 55 mètres.

IV.3.5. ALLUVIONS DE LA CINQUIÈME TERRASSE (q⁵)

On observe les premières traces à Si-Mustapha, sous le village; ces alluvions forment ensuite jusqu'à Bérafai une série de lambeaux étroits, plaqués contre les marnes du substratum.

Leur épaisseur apparente est de 20 à 30 mètres de conglomérats peu consolidés (forage 3539).

De Bérafai jusqu'à Leghata, cette terrasse alluviale s'élargit et atteint près de 400 mètres.

En aval, les conglomérats semblent disparaître et le plateau de Leghata se prolonge en une longue et étroite bande de limons, jusqu'au marabout de Sidi Kacem. Ces limons sont peut-être un produit latéral de l'Oued Challal.

En tout cas, on ne retrouve plus de trace de ces alluvions jusqu'à Haouch Bel Abbes en rive droite, où les conglomérats forment plusieurs mamelons à une altitude de 30 à 35 mètres environ, en placage contre les pentes où l'on rencontre des sources qui émergent à la base de ces niveaux conglomératiques.

Les affleurements de cette terrasse montrent des conglomérats dont les éléments sont constitués de phyllades, de grès, de calcaires et de quartzites, donc de même nature que ceux des terrasses supérieures.

L'altitude de cette terrasse varie de 40 à 45 mètres ; quant à la lithologie et à l'épaisseur de cette terrasse, le forage 3559 réalisé dans la région de Berafai a donné la coupe géologique suivante :

Forage 3559

0 - 4m : Argiles jaunes à intercalations de graviers
4 -28m : Graviers à sables argileux peu consolidés
28 -38m : Marnes bleues

IV.3.6. ALLUVIONS DE LA SIXIÈME TERRASSE (q⁶)

Ces alluvions sont représentées par une terrasse conglomératique dont les éléments sont de même nature que les précédents.

Cette terrasse supporte la gare de Si Mustapha ; elle est à une altitude de l'ordre de 25 à 30 mètres.

L'existence de ce lambeau unique pourra paraître douteuse ; on l'a accepté pour deux raisons :

- Ce niveau complète la série des niveaux d'alluvions de la zone de 0 à 100 mètres et la rend entièrement comparable à celle des plages de la même zone.

- Sa disparition presque complète, s'explique par le fait que le lit de l'Oued Isser, à l'époque de la formation de la 7ème terrasse, ne différait pas sensiblement en étendue de celui de ce niveau.

IV.3.7. ALLUVIONS DE LA SEPTIEME TERRASSE (q⁷)

Elles occupent tout le fond de la basse vallée de l'Oued Isser (1ère terrasse au dessus du lit majeur).

Cette terrasse s'étend de 1 à 4 km de large sur 20 à 25 km de long, de Béni Amrane à l'embouchure de l'Oued Isser.

Elle a fait l'objet d'une étude géophysique par prospection électrique (C.G.G. 1966), durant laquelle 298 sondages électriques ont été réalisés, répartis suivant des profils perpendiculaires au cours de l'Oued Isser ; les profils géoélectriques effectués ont été étalonnés sur les forages peu nombreux qui existaient avant 1966. Nous les avons complétés à l'aide des résultats des forages réalisés de 1966 à ce jour.

Nous pensons que la description de ces forages et leur corrélation avec les coupes géoélectriques réparties sur l'ensemble de la basse vallée du bas Isser, schématiseront la nature du remplissage alluvial, la nature et la morphologie du substratum.

Nous distinguons d'amont en aval, les coupes suivantes :

A- Forage F9 - Coupe 1 (figure 24)

Ce forage se situe à la limite sud de la vallée du bas Isser, à l'Est de Souk el had ; il a permis d'étalonner le profil 1.

Forage F9

- 0 - 2m : Limons sableux
- 2 - 15m : Gravier un peu argileux à la base
- 15 - 21m : Marnes bleues

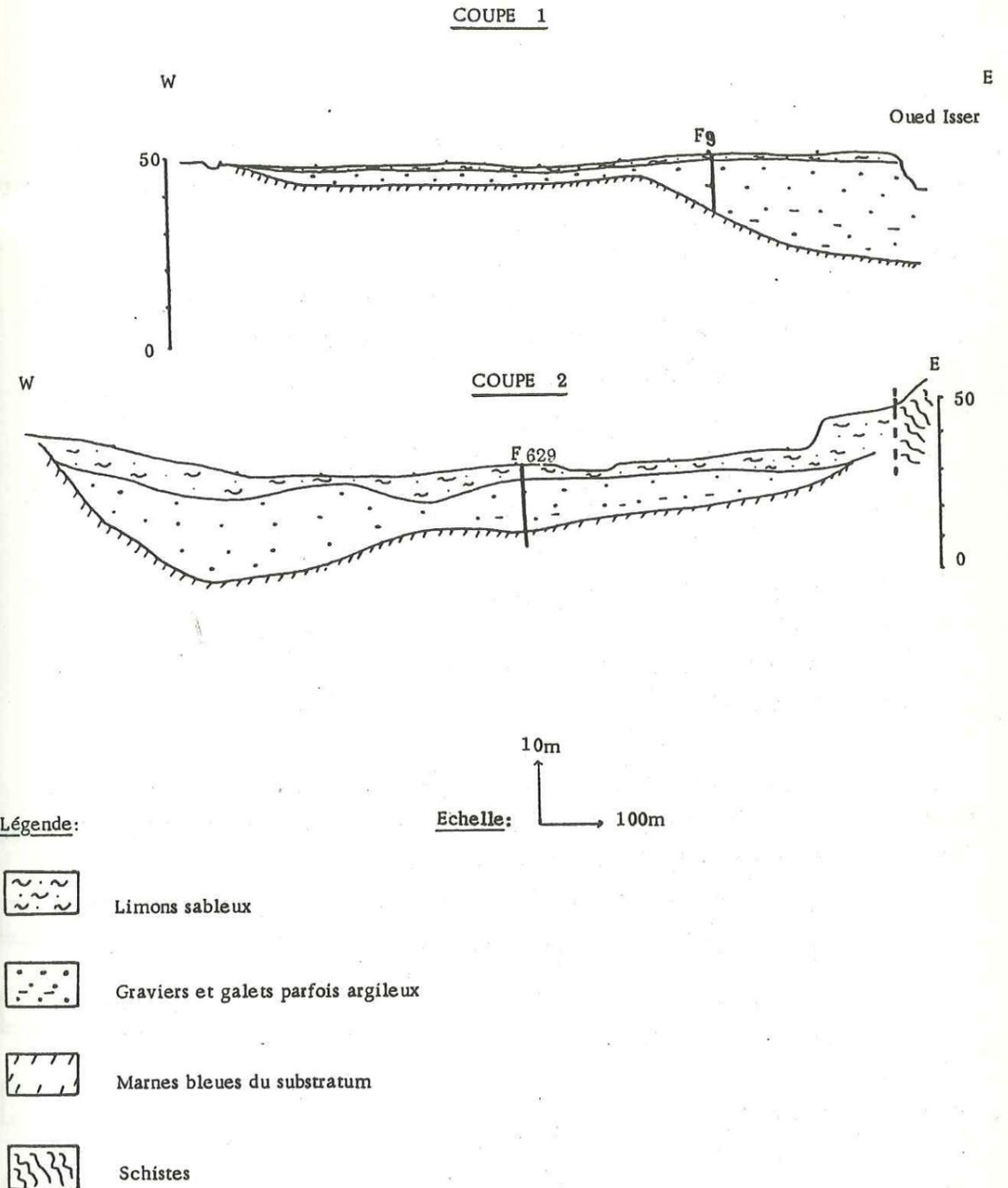


Figure 24: Coupes géoélectriques à travers la 7ème terrasse alluviale

Le niveau limoneux de faible épaisseur n'a pas été mis en évidence par le profil géoélectrique ; par contre, le niveau graveleux est représenté par un horizon résistant (50 ohm.m), reposant sur un substratum marneux de résistivité très faible ($\rho < 5$ ohm.m).

L'épaisseur des alluvions qui est aussi celle de l'horizon graveleux, est de 25 mètres dans le lit majeur de l'Oued Isser et diminue vers les bordures de la vallée pour atteindre 5 mètres.

B- Forage 629 - Coupe 2 (figure 24)

Situé à 800 mètres au Nord-Ouest du forage F9, ce forage est représenté par la coupe géologique suivante :

Forage 629

- 0 - 3m : Limons sableux
- 3 - 17m : Gravier un peu argileux à la base
- 17 - 20m : Marnes bleues

Comme le profil précédent, la coupe 2 représente un niveau graveleux de 50 à 150 ohm.m de résistivité, surmontant le substratum marneux ($\rho < 5$ ohm.m) et recouvert par un mince niveau limoneux.

Ces alluvions ont une épaisseur qui varie de 10 à 25 mètres.

C- Forage F4 - Coupe 3 (figure 25)

Ce forage se situe à 800 mètres au Sud de Si Mustapha, dans le lit majeur de l'Oued Isser.

Forage F4

- 0 - 4m : Limons sableux
- 4 - 10m : Gravier et gros galets
- 10 - 13m : Argiles graveleuses
- 13 - 22m : Gravier et galets
- 22 - 28m : Argiles graveleuses
- 28 - 38m : Gravier et galets légèrement argileux
- 38 - 50m : Argiles et marnes bleues

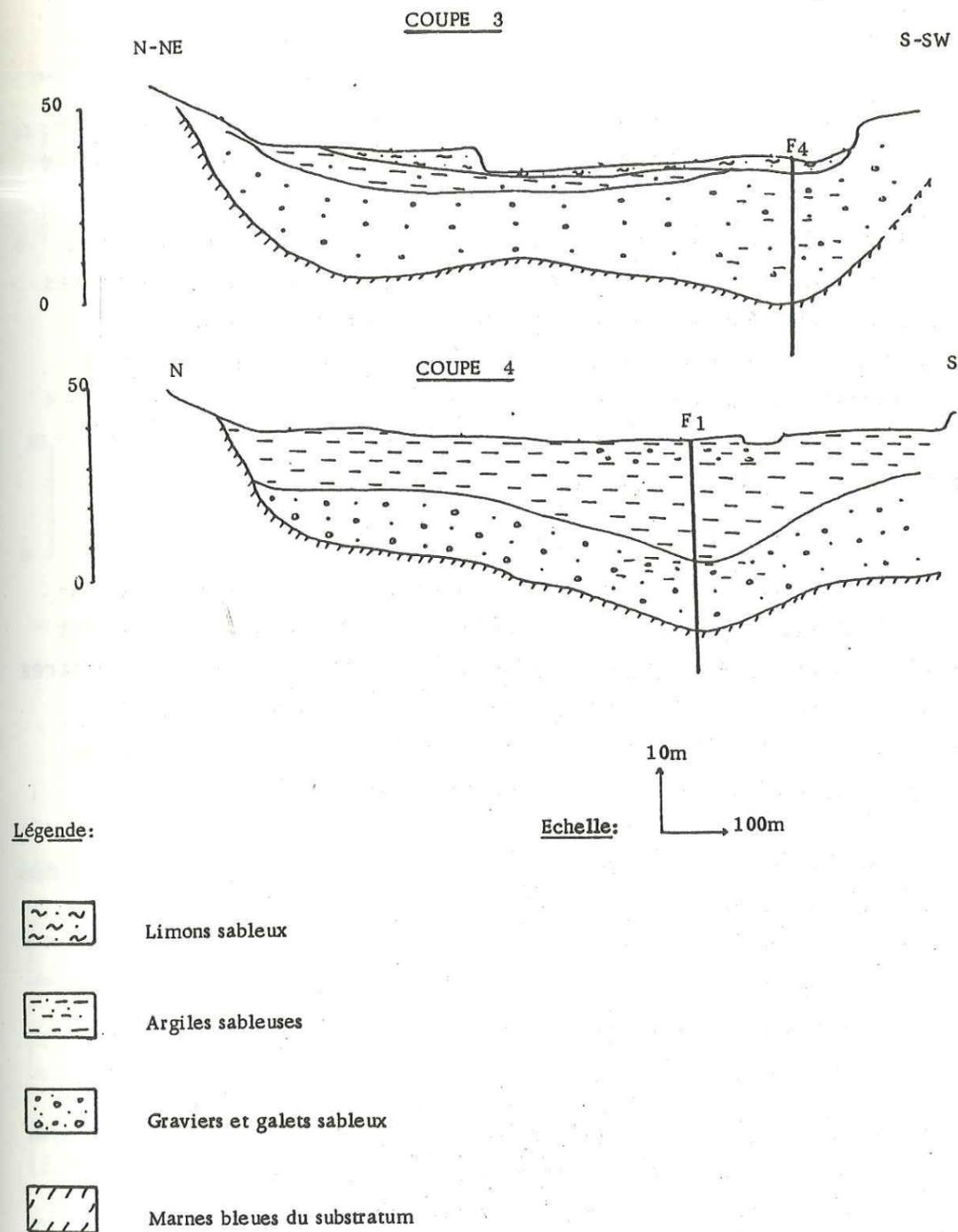


Figure 25: Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale

Ce forage a permis d'étalonner la coupe 3, mais cette dernière n'a pas différencié l'horizon graveleux à gros galets, des niveaux d'argiles graveleuses.

Ainsi, la coupe géoélectrique 3 distingue en surface un niveau de sables limoneux de résistivité variable (40 à 150 ohm.m), de 3 à 5 mètres d'épaisseur, surmontant un horizon résistant de 50 ohm.m correspondant à des graviers et galets. Ce niveau s'enrichit par endroits en argiles et repose sur un substratum marneux.

La puissance de cet horizon est de l'ordre de 40 mètres et diminue vers les bordures de la vallée.

D- Forage F1 - Coupe 4 (figure 25)

Situé à 1500 mètres à l'Est de Si-Mustapha, il a permis d'étalonner la coupe géoélectrique 4 qui a mis en évidence un horizon résistant ($\rho = 50$ ohm.m), constitué de graviers plus ou moins argileux de 10 à 15 mètres de puissance, surmonté par un niveau argileux ($\rho = 10$ à 15 ohm.m) de 15 à 40 mètres d'épaisseur. Enfin, tout cet empilement alluvial repose sur un substratum marneux de résistivité inférieure à 5 ohm.m.

Forage F1

- 0 - 5m : Limons sableux
- 5 - 40m : Argiles verdâtres un peu graveleuses
- 40 - 48m : Galets et graviers
- 48 - 60m : Argiles verdâtres un peu, graveleuses

E- Forage 3552 et 3294 - Coupe 5 (figure 26)

Le forage 3552 se situe 500 mètres, à l'Est du village des Issers, alors que le forage 3294 se trouve 200 mètres, à l'Est d'Isserville.

Ces deux forages et la coupe 5 distinguent deux horizons résistants (5 à 100 ohm.m), correspondant à des sables argileux et à des galets graveleux de 10 mètres d'épaisseur chacun, séparés par un puissant niveau argileux (20 mètres) de 10 ohm.m de résistivité.

Comme partout ailleurs, le niveau graveleux repose sur un substratum marneux de résistivité inférieure à 5 ohm.m.

L'épaisseur de ces alluvions est de l'ordre de 50 mètres dans l'axe de la vallée et diminue vers les bordures de la vallée du bas Isser, pour augmenter à l'Est du forage 3294 (alluvions de l'Oued Djemaa).

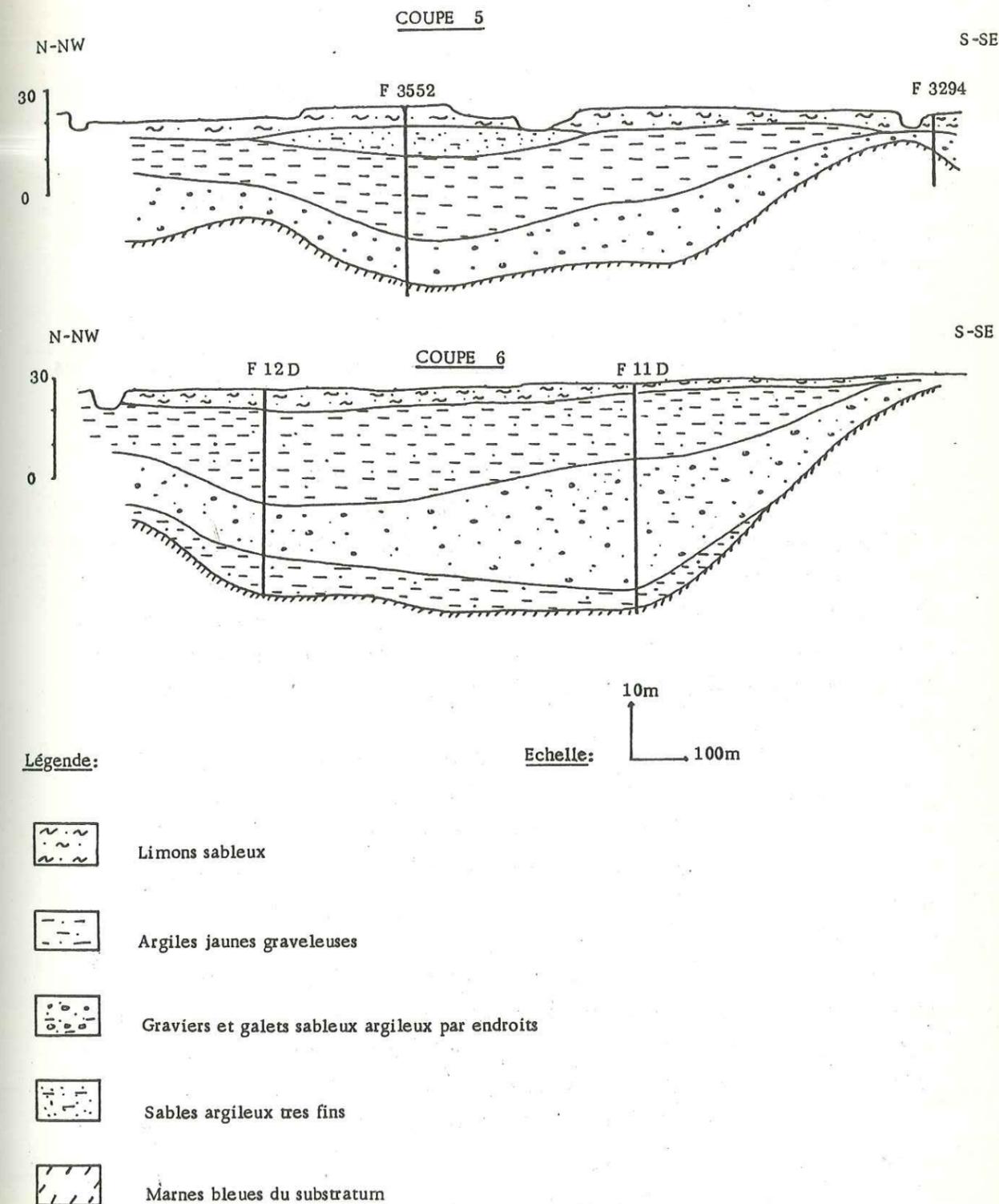


Figure 26 Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale

Forage 3552

0 - 6m : Limons sableux
 6 -15m : Sables argileux très fins
 15 -38m : Argiles brunes
 38 -49m : Galets et graviers
 49 -53m : Marnes bleues

Forage 3294

0 - 5m : Limons sableux
 5 -11m : Gravier et galets
 11 -20m : Marnes bleues

F- Forages F12D et F11D - Coupe 6 (figure 26)

Ces deux forages sont situés dans l'axe de la vallée, entre les Issers et Bordj Ménaïel.

Forage F12D

0 - 4m : Limons sableux
 4 -10m : Argiles jaunes
 10 -32m : Argiles graveleuses
 32 -47m : Galets et graviers
 sableux
 47 -58m : Argiles graveleuses
 58 -60m : Marnes bleues

Forage F11D

0 - 9m : Limons sableux
 9 -21m : Argiles graveleuses
 21 -27m : Galets et graviers à
 sables peu argileux
 27 -45m : Galets un peu argileux
 45 -54m : Galets et graviers à
 sables peu argileux
 54 -59m : Gravier un peu argileux
 59 -64m : Marnes graveleuses
 64 -65m : Marnes bleues

Sur cette coupe géoélectrique, on distingue cinq niveaux de résistivités différentes, confirmés par les coupes géologiques des forages F12D et F11D.

On observe un horizon constitué de galets et graviers sableux parfois argileux, de 15 mètres d'épaisseur qui augmente vers le Sud-Sud-Est (forage F11D) et atteint 40m. Ce niveau est intercalé entre deux assises d'argiles graveleuses, de puissance variant de 10 à 30 mètres.

Le tout repose sur un substratum marneux de résistivité inférieure à 5 ohm.m.

Par ailleurs, on note entre les coupes 5 et 6 une zone correspondant à une dépression du toit du substratum, où les alluvions sont très épaisses (70 à 80 mètres).

Les forages qui ont distingué cette dépression, sont situés respectivement à 500 et 1000 mètres à l'Est du forage 3552. Ce sont les forages 3538 et 3553, dont les coupes géologiques respectives sont les suivantes :

Forage 3538

0 -20m : Argiles gris jaunes
 20 -37m : Sables fins argileux
 37 -75m : Gravier et galets sableux
 75 -76m : Marnes bleues

Forage 3553

0 - 6m : Argiles sableuses gris
 jaunes
 6 -34m : Sables fins argileux
 34 -76m : Galets et graviers à
 sables argileux
 76 -79m : Marnes bleues

D'autres forages réalisés par la DHW de Tizi Ouzou dans cette zone, ont montré sur une épaisseur de l'ordre de 80 mètres, des alluvions représentées essentiellement de galets, de graviers et de sables argileux.

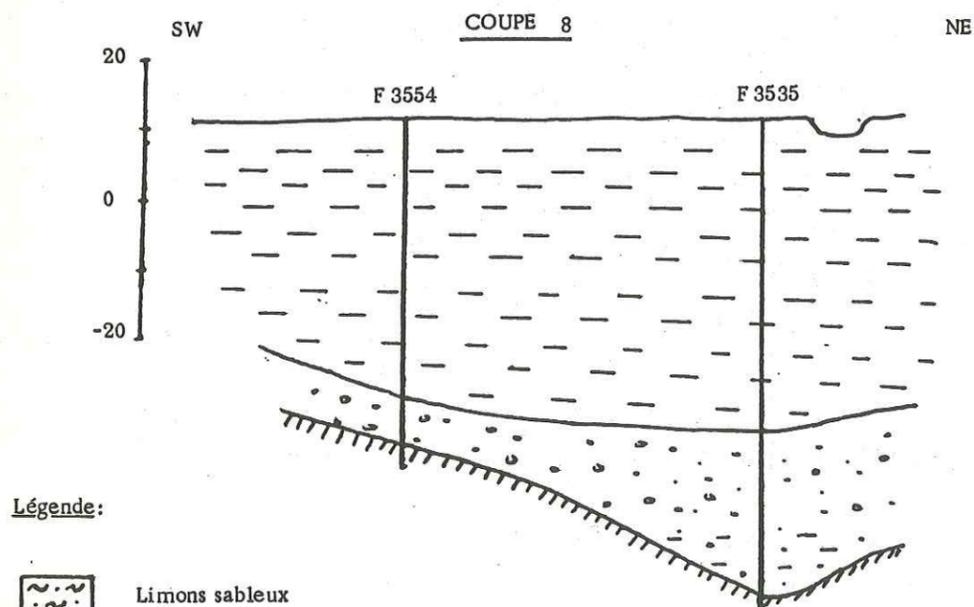
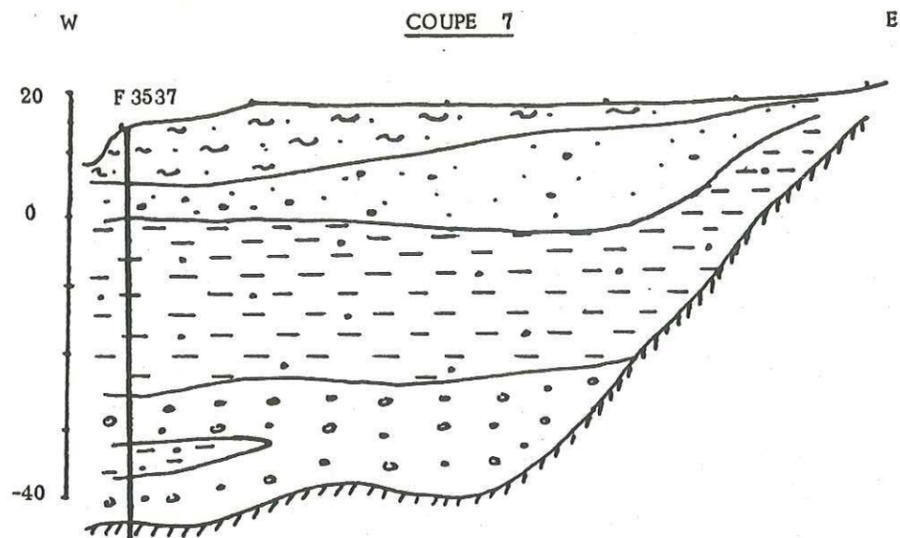
G- Forage 3537 - Coupe 7 (figure 27)

Ce forage, situé à 1000 mètres au Nord-Est de Benbata, a permis après corrélation avec la coupe géoélectrique 7, de corriger les épaisseurs des différents niveaux.

Forage 3537

0 - 8m : Limons sableux
 8 -13m : Sables graveleux
 13 -38m : Argiles graveleuses
 38 -46m : Galets graveleux
 46 -50m : Argiles graveleuses
 50 -57m : Galets graveleux
 57 -59m : Marnes bleues

Ainsi, la coupe géoélectrique montre deux horizons résistants ($\rho = 50$ ohm.m), représentés par des sables graveleux et des galets graveleux de 5 et 20 mètres d'épaisseur, séparés par une importante masse d'argiles grises de 25 mètres de puissance et de 10 ohm.m de résistivité.



Légende:

-  Limons sableux
-  Sables graveleux
-  Argiles jaunes
-  Galets et graviers
-  Marnes bleues du substratum

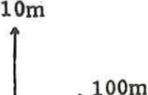
Echelle: 

Figure 27: Coupes géoélectriques à travers la 7 terrasse alluviale

Cet empilement alluvial repose comme partout ailleurs sur un substratum marneux de résistivité inférieure à 5 ohm.m.

H- Forages 3554 et 3535 - Coupe 8 (figure 27)

La coupe située à l'Est d'Oulad Ziane, a été réalisée sur la base des coupes des forages 3554 et 3535.

Forage 3554	Forage 3535
0 - 40m : Argiles jaunes	0 - 45m : Argiles jaunes
40 - 47m : Galets et graviers	45 - 69m : Graviers sableux, argileux à la base
47 - 50m : Marnes bleues	69 - 70m : Marnes bleues

Cette coupe montre un horizon constitué de graviers et galets sableux, de 7 mètres d'épaisseur en bordure de la vallée (F. 3554) et qui atteint 25 mètres dans l'axe de celle-ci (F. 3535); ce niveau repose directement sur le substratum marneux et il est recouvert par 40 à 45 mètres d'argiles jaunes.

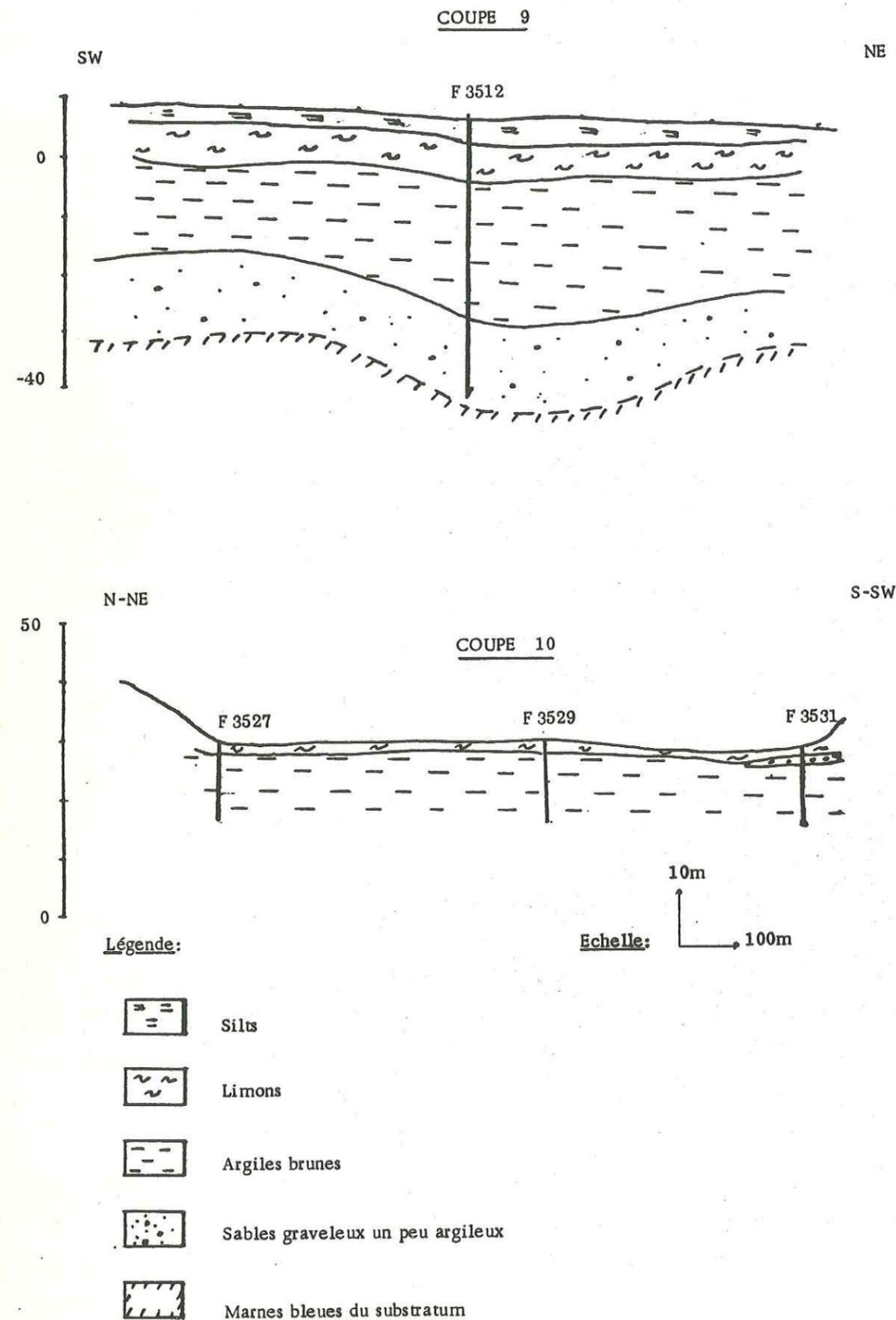
K- Forage 3512 - Coupe 9 (figure 28)

Forage 3512
0 - 4m : Silts
4 - 12m : Limons
12 - 35m : Argiles brunes
35 - 48m : Sables graveleux un peu argileux

Cette coupe est située entre Oulad Allal et Haouch Bel Abbas. Elle montre un niveau résistant ($\rho = 50$ ohm.m), correspondant à des sables graveleux de 10 mètres d'épaisseur, surmontés d'un niveau de 35 mètres de puissance constitué d'argiles brunes, de limons et de silts.

L- Forages 3527 à 3532 - Coupe 10 (figure 28)

Cette coupe, située à l'Est de Bordj-Ménaiel, à la limite des bassins versants du bas Isser et de l'Oued Sebaou, a été réalisée sur la base des données des forages cités ci-dessus.

Figure 28: Coupes géoélectriques à travers la 7^e terrasse alluviale

Elle montre 10 à 15 mètres de formations très peu perméables, représentées par des silts, des limons et d'argiles reposant sur un substratum marneux.

Ceci montre qu'il n'y a aucune relation hydraulique entre ces deux bassins versants, au niveau du col de Naciria.

IV.4. CARTE DU TOIT DU SUBSTRATUM (carte n° 3)

Cette carte a été établie essentiellement sur la base des données de forages.

L'interprétation de cette carte montre d'une part, une baisse de la cote du substratum des bordures vers l'axe de la vallée et d'autre part, elle met en évidence un surcreusement du toit du substratum au niveau de la 7^{ème} terrasse alluviale, qui correspond à un ancien lit de l'Oued Isser.

Par ailleurs, cette carte met en évidence des dépressions locales du substratum, au Sud d'Haouch Bel Abbas et à la confluence de l'Oued Djemaa avec l'Oued Isser.

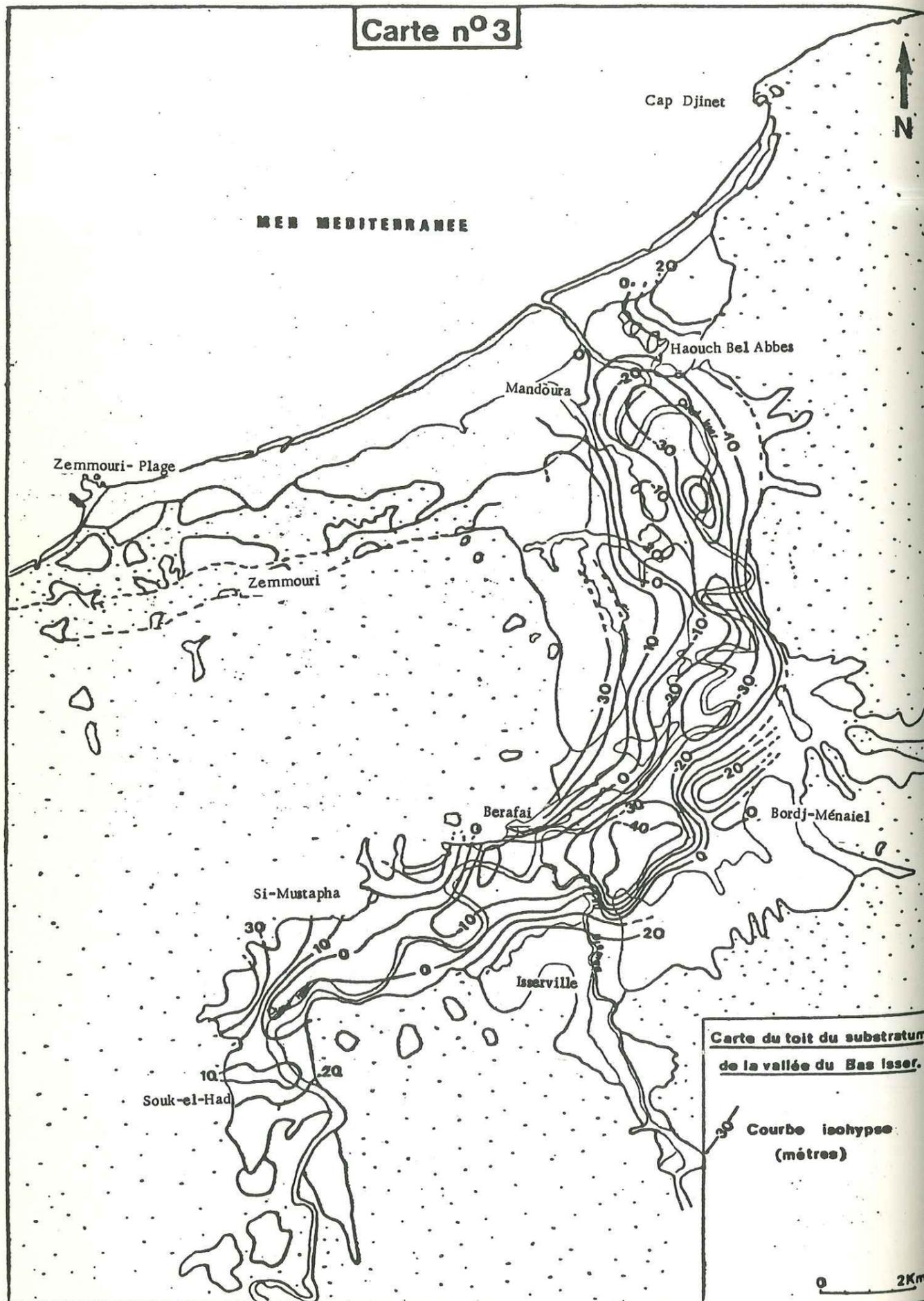
C'est vers ces dépressions et ce sillon que les eaux souterraines vont s'écouler et seront à cet effet les zones les plus intéressantes quant à l'exploitation des eaux souterraines de la vallée du bas Isser.

IV.5. MODE DE FORMATIONS DES TERRASSES ET DEPLACEMENT DE L'OUED ISSER

Les anciennes alluvions de l'Oued Isser sont disposées en gradins d'altitudes décroissantes d'Ouest en Est (carte n°2 et figure 29).

A partir du moment où il étale ses alluvions sur le plateau des Oulad eï Bor, le fleuve a donc sans cesse migré vers l'Est.

Le déplacement de l'Oued Isser vers l'Est, s'explique par des phénomènes de capture et par le mouvement descendant du niveau de base, la mer.



L'absence des alluvions de l'Oued Isser en rive droite, au Nord de Bordj-Ménaïel, est la conséquence du sens Ouest-Est suivant lequel, s'est effectué le creusement de la vallée.

Les apports des vallées latérales près de Bordj-Ménaïel, ont contribué à maintenir l'Isser écarté des pentes de la rive droite.

Il est logique de penser que la disposition des alluvions en gradins superposés, s'expliquerait beaucoup mieux et plus simplement par une variation verticale du niveau de base que constitue la mer.

Celle-ci étant prouvée par l'existence de plusieurs lignes de rivage, au voisinage immédiat de la terminaison des alluvions.

Il est également logique d'en conclure, que la formation des plages et celles des terrasses alluviales sont deux phénomènes contemporains, intimement liés l'un à l'autre.

Altitude absolue des
anciennes plages

100 mètres
53 mètres
30 mètres
15 mètres

Altitudes relatives
des alluvions

90-95 mètres
50-55 mètres
30-35 mètres

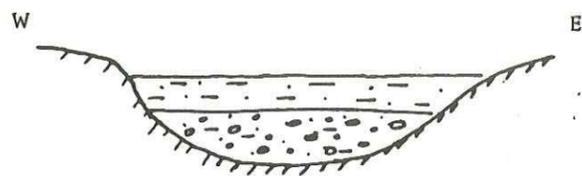
IV.6. RECONSTITUTION DE L'HISTOIRE DE L'OUED ISSER A PARTIR DU PLIOCENE SUPERIEUR (carte n° 2)

A- Pliocène supérieur

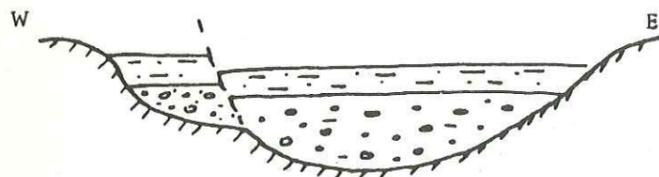
1- 1er cours de l'Oued Isser

Si l'on admet que la submersion de la côte pendant le pliocène marin a atteint au moins 430 mètres, la présence de galets roulés au sommet de Sidi Feredj, s'expliquera en supposant que ces galets sont les débris d'une plage contemporaine des débuts de l'émersion et dont l'âge est par conséquent, à peu près à la fin du pliocène marin.

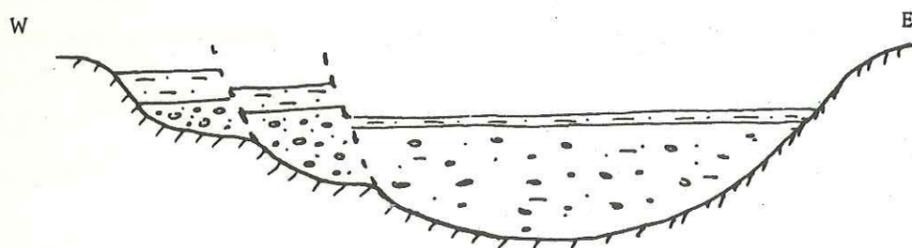
Creusement du lit de l'oued Isser et alluvionnement de la troisième terrasse



Creusement du nouveau lit de l'oued Isser et alluvionnement de la quatrième terrasse



Creusement d'un nouveau lit de l'oued Isser et alluvionnement de la cinquième terrasse



Creusement du nouveau lit de l'oued Isser et alluvionnement de la septième terrasse

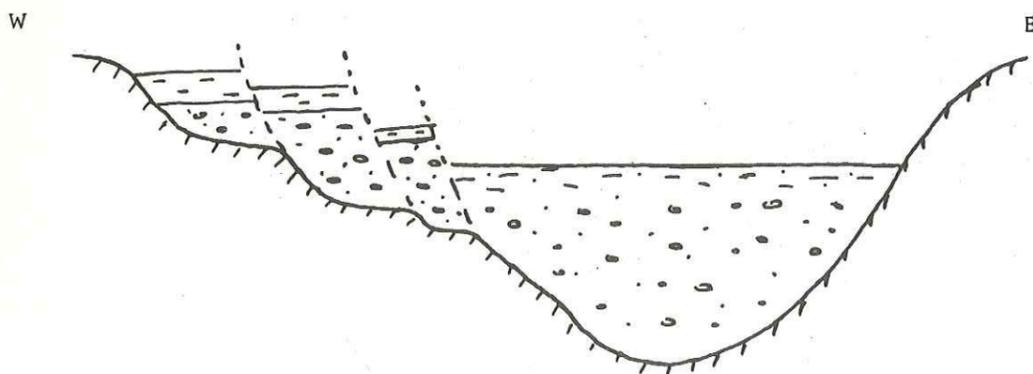


Figure 29: Schéma hypothétique du mode de formation des terrasses alluviales de la vallée du bas Isser

Avec le Pliocène supérieur, le mouvement d'émersion s'est accentué, les dépôts de l'étage précédent ont émergé, c'est alors que l'Isser dont le cours était de 200 mètres plus élevé qu'aujourd'hui, a charrié ses premiers cailloutis (1ère terrasse alluviale), qu'il a étalés sur le Pliocène marin dans la direction de Zemmouri (plateau des Oulad el Bor).

2- 2ème cours de l'Isser

Le mouvement d'émersion continue, la mer est descendue à une côte voisine de 150 mètres.

A la suite du phénomène de capture, dû à l'action des affluents de l'Oued Isser (Oued Djemaa) en aval d'Isserville, l'Oued Isser s'est déplacé brusquement vers l'Est et est passé définitivement de l'autre côté du massif marneux, dont l'arête de Ka Boudissa en est un reste.

Les dépôts de cette époque sont représentés par les lambeaux de Sidi Bemor, de Lalla Touila, du cimetière de Sidi Feredj et dans l'Oued Djemaa, par les cailloutis de Ka Kolea.

Il n'y a pas de traces de plages de ce niveau dans la basse vallée de l'Isser, mais on a la certitude que la mer a occupé dans cette région des niveaux intermédiaires entre 100 et 200 mètres.

B- Pleistocène

A partir de cette époque, le mouvement descendant du niveau de base, la mer, continue et a donné naissance à des terrasses alluviales, disposées en gradins partiellement emboîtées (figure 29).

1- 3ème cours de l'Isser - plage de 100 mètres

Un mouvement d'émersion a amené la mer à une côte voisine de 100 mètres; le fleuve a creusé alors le chenal des alluvions de la 3ème terrasse qu'il a ensuite remblayé.

Puis une montée du niveau de base, la mer, a permis à cette dernière de pénétrer dans la vallée jusqu'à 1 km au Nord de Leghata, pour recouvrir les alluvions de la troisième terrasse de dépôts littoraux (sables rouges).

2- 4ème cours de l'Isser - plage de 53 mètres

Une nouvelle émergence a permis au fleuve de creuser son chenal dans les alluvions de la 3ème terrasse, qu'il a remblayé par la suite, pour donner naissance aux alluvions de la 4ème terrasse.

Le rivage qui était précédemment aux Beni -Kous, s'est éloigné au Nord de Mandoura où se trouvait l'embouchure ; puis la mer a rongé la côte et formé d'abord la plage de 53 mètres en dénudant la nappe alluviale qu'elle a recouverte de ces sables ; enfin une nouvelle montée du niveau de base , la mer, a permis à cette dernière de pénétrer jusqu'à l'oued Miane et de déposer les sables rouges littoraux.

C'est également à cette époque que l'oued Ménaïel, dont le cours était 50 à 55 m plus élevé qu'actuellement, a accumulé près de Ben Hamida ses dépôts alluviaux.

3- 5ème cours de l'oued Isser - plage de 30 et 15 mètres

Une baisse du niveau de base , la mer, à une côte de 30 mètres, a conduit l'oued Isser à creuser son nouveau lit dans les alluvions de la quatrième terrasse, qu'il a ensuite remblayé, pour donner naissance aux dépôts de la 5ème terrasse.

La plage de 30 mètres correspondante s'est formée au voisinage du rivage actuel.

Quant à la plage de 15 mètres, on ne dispose pas d'affleurements importants d'une autre terrasse alluviale nous permettant de la relier à cette plage.

C- Neo-Pleistocene

On range dans cette période, les alluvions de la septième terrasse alluviale (1ère terrasse au dessus du lit majeur) et les dépôts des dunes anciennes.

IV.7. CONCLUSION

L'étude géologique des formations quaternaires, effectuée sur la base des travaux de certains auteurs, a mis en évidence sept terrasses alluviales, disposées en gradins étagés, partiellement emboîtées, dont les cinq dernières sont intimement liées à des terrasses marines.

La formation de ces terrasses semble être la conséquence de la baisse continue du niveau de base, que constitue la mer.

La description de ces terrasses a été faite d'une part, sur la base des observations faites sur les affleurements visibles sur le terrain et d'autre part, sur la base des données de géophysique et de forages. Ces dernières ont mis en évidence deux horizons susceptibles d'être aquifères, représentés par des galets, graviers et sables peu ou pas argileux, dont l'épaisseur est maximale dans l'axe de la vallée et diminue vers les bordures ; ces deux niveaux sont séparés par une masse d'argiles parfois épaisse (20 mètres), qui par endroits, disparaît et permet alors une relation hydraulique très étroite entre eux.

Quant à la carte du toit du substratum, dressée essentiellement sur la base des données de forages , elle a mis en évidence des dépressions locales et un surcreusement du substratum, qui seront les lieux privilégiés de circulation des eaux souterraines.

Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'il n'y a aucune preuve que l'Isser se soit, pendant le Pliocène et le Pleistocène, déversé à l'Ouest par le col de Thénia, ou que l'oued Sebaou ait franchi le col de Naciria pour se jeter dans l'Isser.

CHAPITRE CINQUIEME

ETUDE PIEZOMETRIQUE

- V.1. INTRODUCTION
- V.2. PRINCIPAUX NIVEAUX AQUIFÈRES
- V.3. INTERPRÉTATION DES CARTES PIÉZOMÉTRIQUES
- V.4. RÉGIME DE LA NAPPE
- V.5. FLUCTUATIONS DE LA NAPPE
- V.6. ZONES D'ALIMENTATION
- V.7. CONCLUSION

V.1. INTRODUCTION

La vallée du bas Isser a fait l'objet de relevés piézométriques en 1973 par le service hydrogéologique de l'INRH et en 1980 par le DHW d'Alger.

Pour l'année hydrologique 1981-1982, nous avons sélectionné 100 puits, répartis essentiellement dans la basse vallée du bas Isser (7ème terrasse alluviale) et les terrasses littorales (plages de 53 et 100m).

Ces puits ont fait l'objet d'un relevé piézométrique, en hautes eaux (mars 1982) et en basses eaux (août 1982); nous avons ainsi dressé deux cartes hydro-isohypses (carte n° 4 et 5).

Quant à la nappe aquifère de la 3ème et de la 4ème terrasse alluviale, on a tracé des courbes piézométriques (représentées en pointillés sur les cartes n° 3 et 4) que sur la base des données de 3 puits (253, 255 et 316) et de 4 sources (S10, S11, S14, S15).

Les puits choisis ont une profondeur maximum de 25m et n'atteignent jamais le substratum.

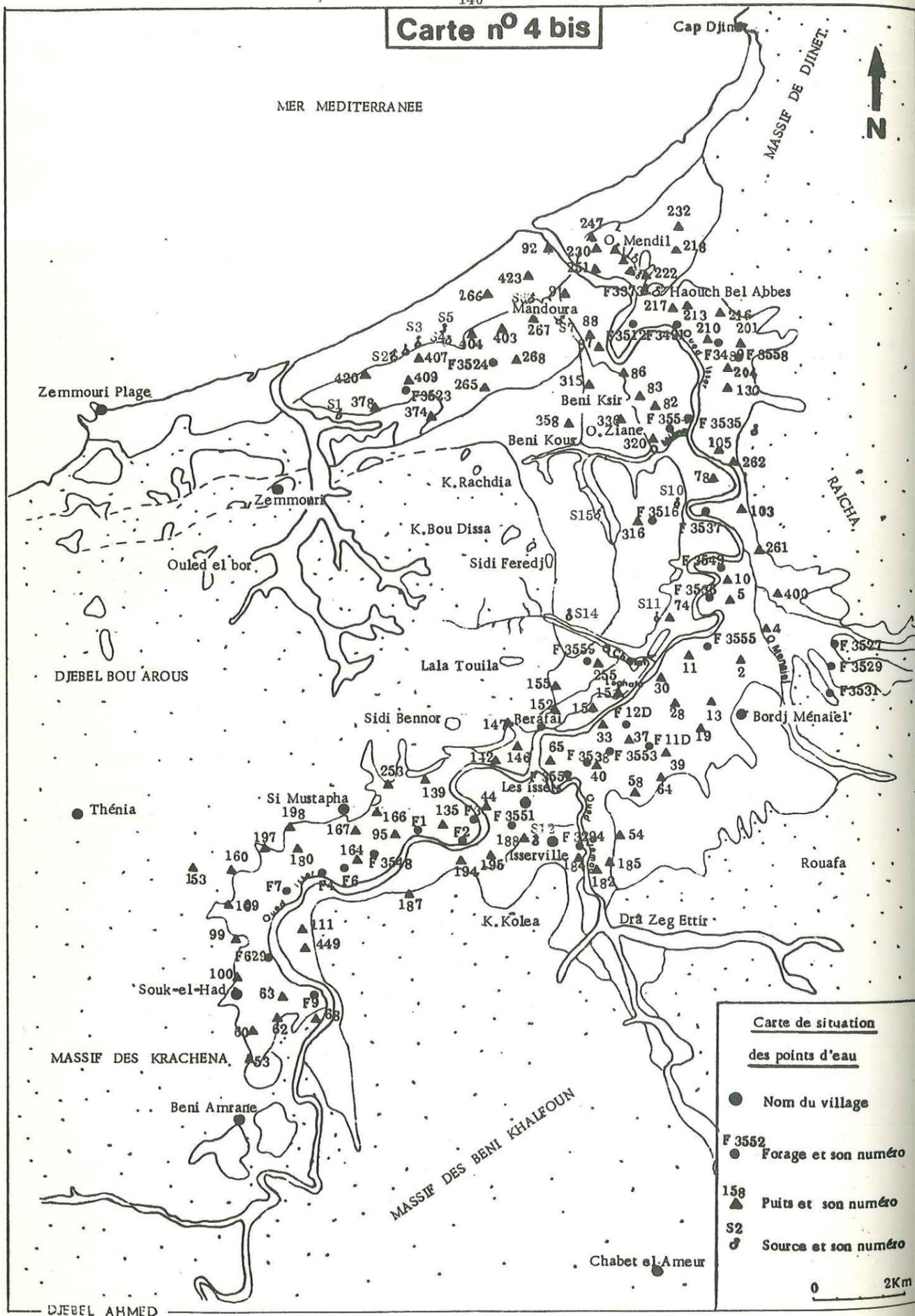
Par ailleurs, on disposait d'une soixantaine de forages profonds, atteignant le substratum, dans lesquels on n'a pas pu mesurer les niveaux piézométriques du fait de l'encombrement de la pompe et du moteur dans les tubages du forage.

V.2. PRINCIPAUX NIVEAUX AQUIFERES

Les conditions hydrogéologiques sont déterminées par la configuration géologique et par la lithologie des terrains.

Les coupes géologiques et géoélectriques, réalisées au niveau des diverses terrasses alluviales et littorales, ont mis en évidence deux niveaux susceptibles d'être aquifères, qui présentent par endroits, une relation hydraulique entre eux.

La nappe aquifère est libre au niveau des terrasses littorales et de la basse vallée de l'oued Isser (7ème terrasse alluviale), entre



Souk-el-Had et les Issers, surtout dans le lit majeur ; ailleurs, cette nappe est semi libre à captive.

V.3. INTERPRETATION DES CARTES PIEZOMETRIQUES

Les courbes piézométriques nous permettent de définir l'écoulement souterrain des eaux de la nappe aquifère, de calculer le gradient hydraulique qui est un paramètre important dans l'estimation des apports latéraux et de voir les relations hydrauliques qui pourraient exister entre les nappes aquifères des différentes terrasses.

De ce fait, nous observons sur les cartes hydro-isohypses, que l'écoulement souterrain reste pratiquement invariable durant toute l'année.

On va étudier l'écoulement souterrain dans les différentes nappes aquifères.

V.3.1. NAPPE AQUIFERE DES TERRASSES LITORALES (53 et 100m)

La côte des eaux diminue de la terrasse de 100m vers la terrasse de 53m et traduit ainsi un écoulement des eaux souterraines vers le Nord-Ouest.

Pour preuve, la présence d'une ligne de sources, orientée NE-SW à une altitude de 30m, le long du pied de la terrasse de 53m, indique un écoulement vers la mer, orienté vers le N.W.

Le gradient hydraulique moyen calculé est de 1,3 %.

V.3.2. NAPPE AQUIFERE DES TERRASSES ALLUVIALES SUPERIEURES (q^3 et q^4)

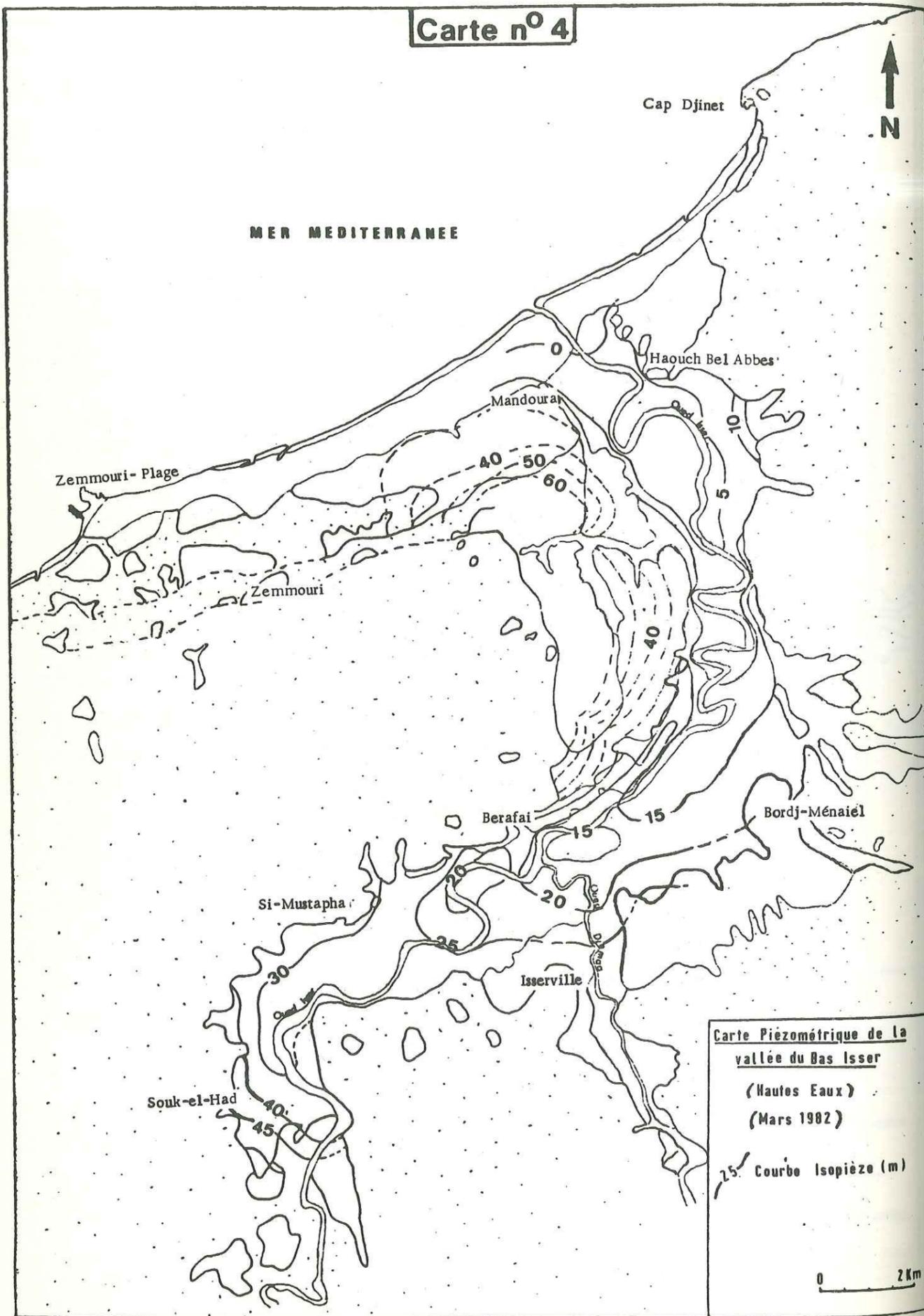
Ce sont les terrasses, situées au Nord de Bérafai et s'étendant jusqu'au plateau des Beni-Ksir.

Dans cette zone, les puits sont de faible profondeur (inférieure à 10m) et jouent le rôle de réservoir d'eau pluviale.

Les courbes piézométriques probables ont été tracées sur la base des données de trois puits profonds (253, 255 et 316) et de quatre sources, dont deux (S14 et S15) émergent à une altitude de l'ordre de 60m et les deux autres (S10 et S11) à une altitude de 25 à 30m.

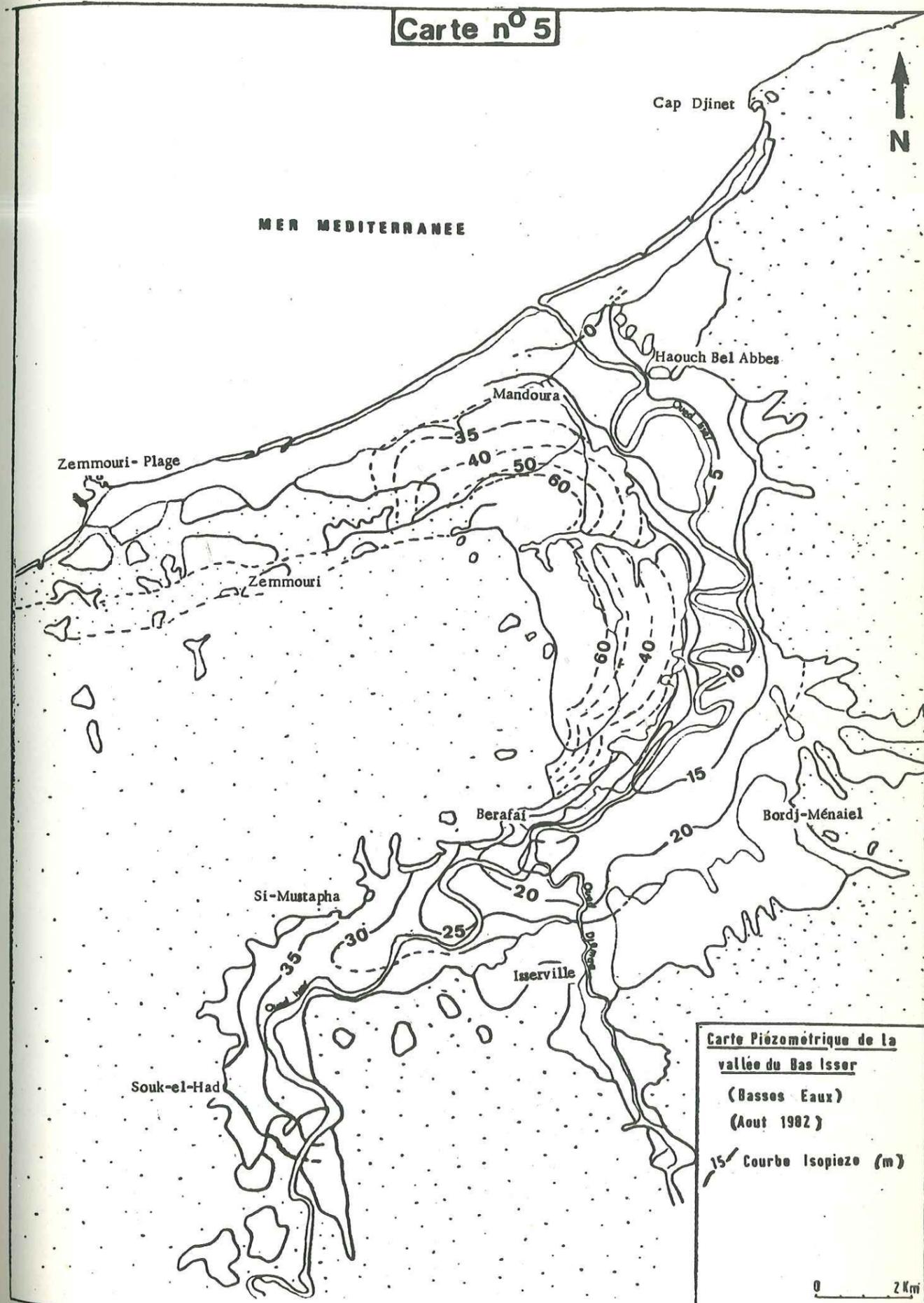
Ces courbes montrent un écoulement des eaux souterraines, de la 3ème

Carte n° 4



Carte Piézométrique de la
vallée du Bas Isser
(Hautes Eaux)
(Mars 1982)
25 Courbe Isopiezo (m)

Carte n° 5



Carte Piézométrique de la
vallée du Bas Isser
(Basses Eaux)
(Aout 1982)
15 Courbe Isopiezo (m)

terrasse vers la quatrième ; il est orienté vers le Sud-Est dans la partie méridionale des terrasses, vers l'Est dans la région de Benbata et vers le Nord-Est dans leur partie septentrionale.

Le gradient hydraulique moyen calculé est de 2,5 %.

V.3.3. NAPPE AQUIFERE DE LA BASSE VALLEE DE L'OUED ISSER (7ème terrasse alluviale q')

De Souk-el-Had à Si-Mustapha, l'écoulement des eaux souterraines se fait des terrains de bordure vers le lit actuel de l'oued Isser et il est orienté vers l'est.

Le gradient hydraulique moyen est de l'ordre de 1,2 %.

A l'aval de Si-Mustapha, l'écoulement s'effectue des formations de bordure vers un axe de drainage, coïncidant avec le sillon défini par la carte du toit du substratum.

Quant à l'orientation de cet écoulement, en rive gauche, il est dirigé vers le Sud-Est entre Si-Mustapha et Berafaï, vers l'Est entre Berafaï et Benbata et vers le Nord-Est à l'aval de Benbata ; en rive droite, il est orienté vers le Nord-Est dans la région d'Isserville, vers le Nord-Ouest entre Isserville et Bordj-Ménaïel, vers l'Ouest entre Bordj-Ménaïel et Haouch-Bel-Abbes et enfin vers le Sud-Ouest au Nord d'Haouch Bel-Abbes.

Le gradient hydraulique moyen calculé est de l'ordre de 0,9 % en rive droite et de 2 % en rive gauche.

Il est à noter, qu'entre Isserville et Bordj-Ménaïel, les courbes hydro-isohypses sont fermées et les lignes de courant convergent vers des dépressions qui coïncident avec celles définies par la carte du toit du substratum.

V.4. REGIME DE LA NAPPE

On a observé le régime des eaux souterraines en mesurant mensuellement, de fin février à fin août, le niveau des eaux souterraines dans neuf puits choisis préalablement et intéressant les différentes terrasses alluviales et littorales (tableau 28).

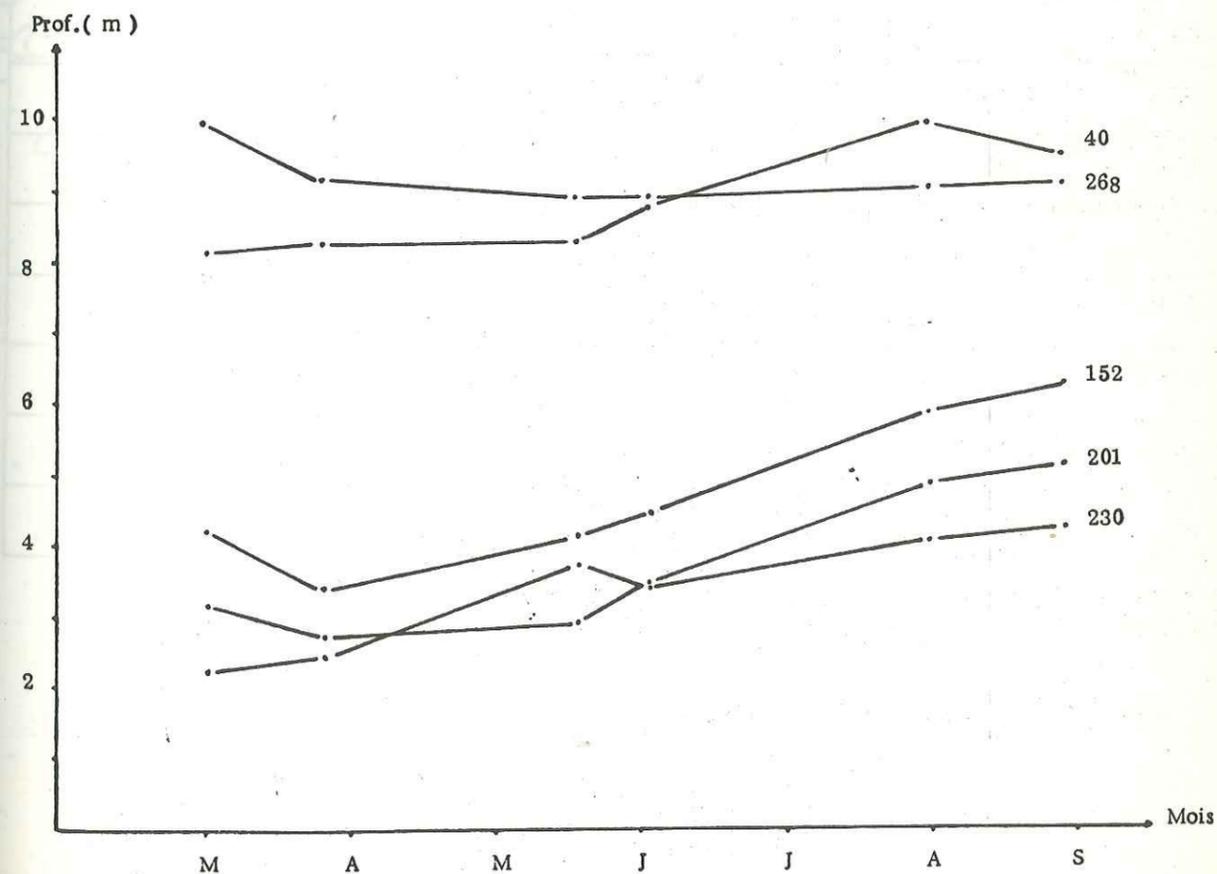
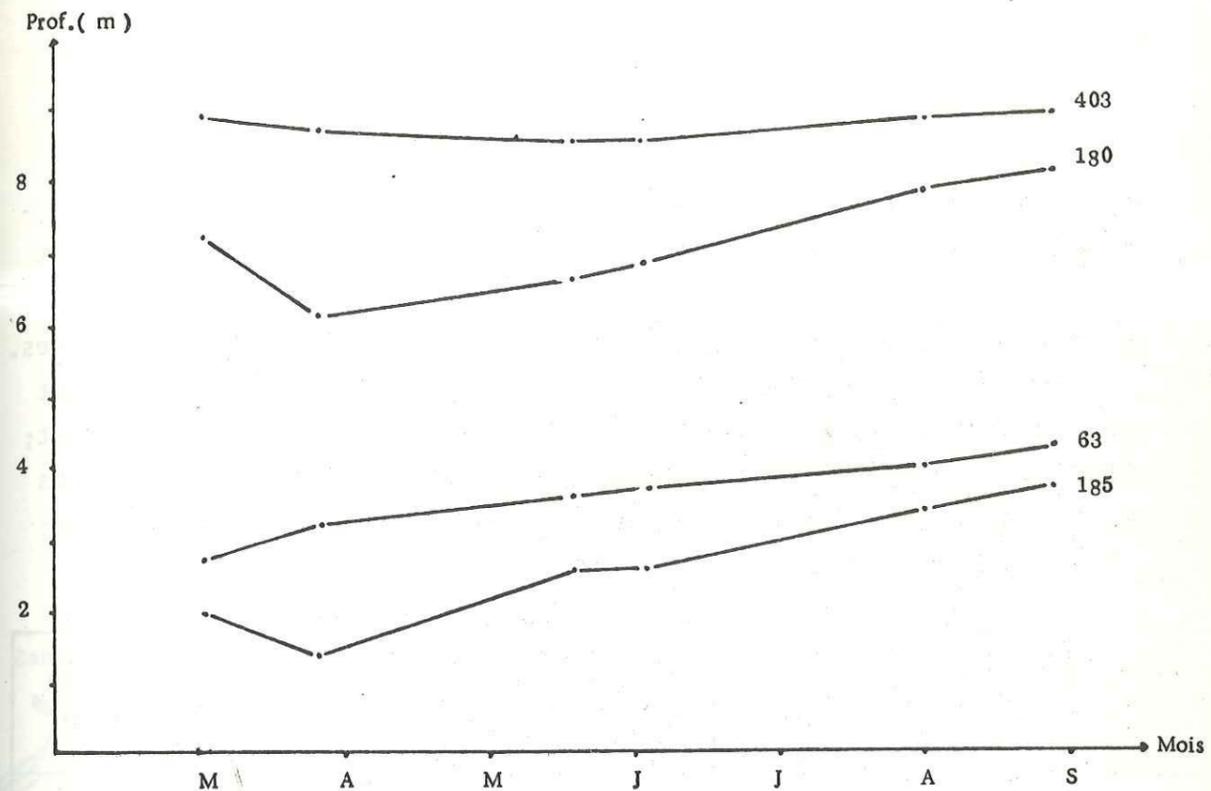


Figure 30: Courbes de variations de la profondeur des eaux souterraines mesurée dans 9 puits

Les courbes de la variation des niveaux de ces eaux souterraines (figure n° 30), montrent que le niveau minimum des profondeurs d'eau a lieu à la fin août - début septembre, alors que le maximum se situe à la fin mars et cela sur toute l'étendue des formations quaternaires.

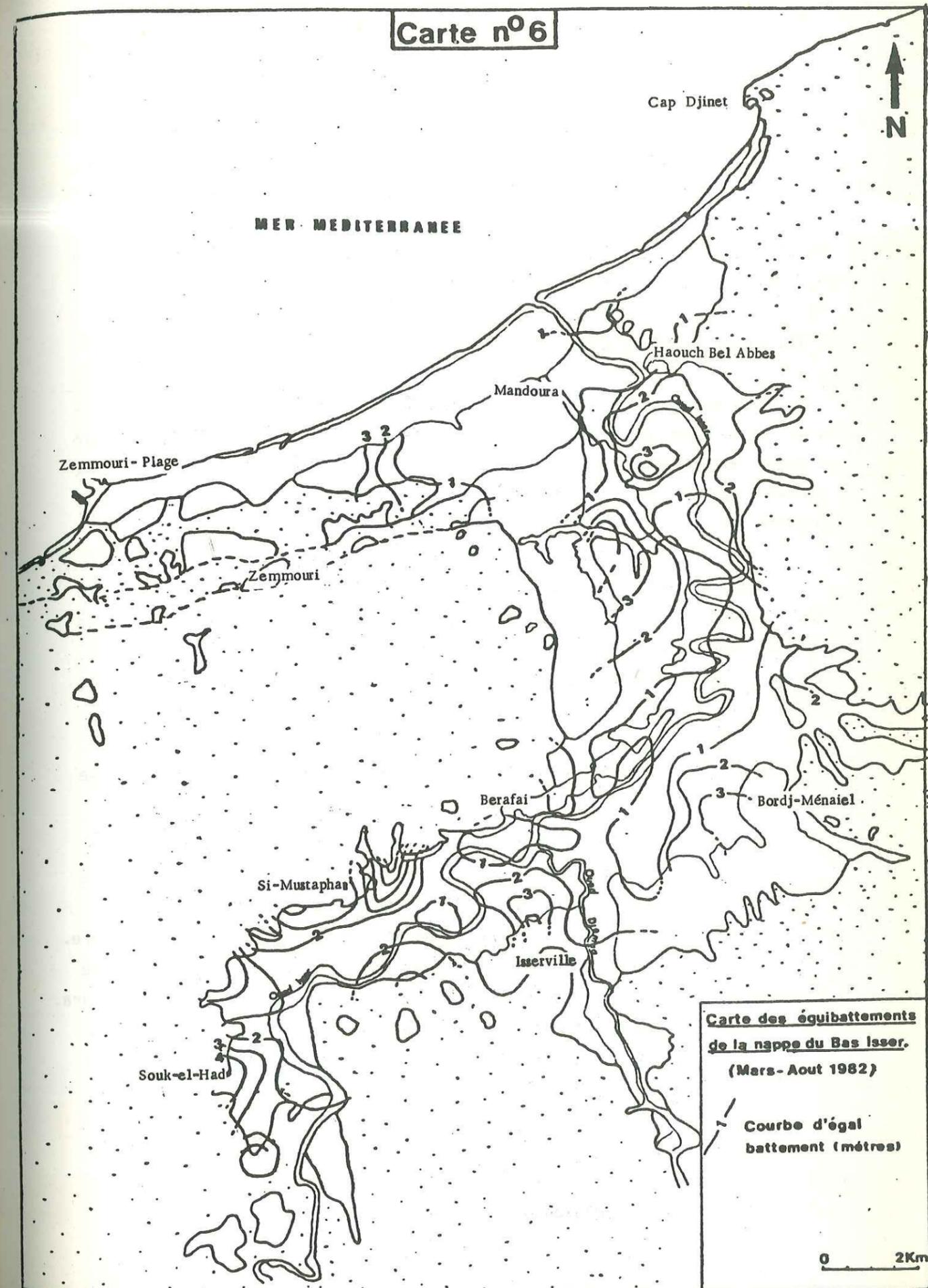
Les précipitations mensuelles pour l'année 1981-1982, atteignent leur maximum au mois de janvier-février et leur minimum en juin-juillet; de ce fait, on note un décalage de un à deux mois entre les précipitations et la montée du niveau des eaux souterraines, ce qui montre que ces dernières dépendent essentiellement de la pluviométrie.

N° du puits	Prof. (m) 1/3/82	Prof. (m) 25/3/82	Prof. (m) 17/5/82	Prof. (m) 2/6/82	Prof. (m) 31/7/82	Prof. (m) 25/8/82
63	2,69	3,22	3,59	3,68	4,02	4,30
180	7,21	6,08	6,62	6,85	7,86	8,13
40	8,11	8,21	8,23	8,71	9,87	9,45
185	1,98	1,37	2,55	2,58	3,40	3,73
201	3,15	2,67	2,90	3,46	4,82	5,08
230	2,24	2,42	3,70	3,41	4,02	4,22
403	8,90	8,72	8,56	8,54	8,84	8,91
268	9,9	9,10	8,85	8,84	8,98	9,01
152	4,19	3,36	4,10	4,46	5,82	6,23

Tableau n° 28 : valeurs des mesures de profondeur d'eau effectuées dans des puits à différentes périodes.

V.5. FLUCTUATIONS DE LA NAPPE

A partir des données piézométriques des hautes eaux et des basses eaux, on a dressé une carte des fluctuations de la nappe (carte n° 6)



pour l'année 1981-1982.

Il ressort de cette carte d'équibattelements de la nappe, que les fluctuations sont de l'ordre de 1m, le long de l'axe de drainage et augmentent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de cet axe, pour atteindre 3 à 4 mètres en bordure des terrains alluviaux.

V.6. ZONES D'ALIMENTATION

Au niveau des terrasses littorales et dunes anciennes, la nappe aquifère est libre et l'alimentation se fera d'une part, directement par l'infiltration des eaux de pluie et d'autre part, par l'afflux des eaux souterraines provenant des formations de bordure et des alluvions (3ème et 4ème terrasse) situées à l'amont de ces terrasses littorales.

Quant aux terrasses alluviales, l'alimentation de la nappe aquifère des terrasses supérieures s'effectue pour une part importante, par les apports souterrains des formations de bordure et pour une part moindre, par l'infiltration des eaux de pluie en raison de la présence au toit de la nappe de limons et d'argiles sableuses peu perméables.

Tandis que l'alimentation de la nappe aquifère de la 7ème terrasse s'effectue quant à elle :

- Par l'intermédiaire de l'oued à l'aval du village les Issers.
- Par l'infiltration directe des eaux de pluie, dans la zone libre (lit majeur de l'oued Isser) de la nappe aquifère.
- Par l'afflux des eaux souterraines provenant des terrains de bordure.
- Par les apports probables des eaux souterraines, qui ont transité
- † Par les alluvions des terrasses supérieures entre Berafaï et Mandoura.
- Ou bien sur toute l'étendue de la 7ème terrasse, par infiltration des eaux pluviales dans les terrains silteux, limoneux et argilo-sableux du toit de la nappe aquifère.

V.7. CONCLUSION

L'étude hydrogéologique des différentes terrasses a mis en évidence,

l'existence de deux nappes aquifères présentant par endroits, une étroite relation hydraulique entre elles.

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

L'allure probable des courbes hydro-isohypses au niveau de la nappe des terrasses supérieures, ainsi que l'existence de sources à diverses altitudes (60 et 25m), sont des arguments qui permettent de supposer l'existence en profondeur, d'une relation hydraulique entre la nappe des terrasses supérieures et celle de la 7ème terrasse.

Quant à l'alimentation de la nappe aquifère, elle s'effectue essentiellement par les apports souterrains des terrains de bordure et par l'infiltration directe des eaux de pluie.

C H A P I T R E S I X I E M E

E T U D E P H Y S I C O - C H I M I Q U E

- VI.1. INTRODUCTION
- VI.2. E T U D E P H Y S I Q U E D E S E A U X : I N T E R P R É T A T I O N D E S C A R T E S
D E C O N D U C T I V I T É
- VI.3. C H I M I E D E S E A U X S O U T E R R A I N E S
- VI.4. E T U D E P H Y S I C O - C H I M I Q U E D E S S O U R C E S
- VI.5. C O N C L U S I O N

VI.1. INTRODUCTION

L'étude exposée dans les chapitres précédents nous a permis de distinguer les différentes nappes aquifères, rencontrées dans les formations quaternaires et les orientations des écoulements qui s'y effectuent.

Pendant notre étude sur la vallée du bas Isser, on a effectué deux campagnes de prélèvements d'échantillons d'eau, en période de hautes et de basses eaux.

Ainsi, 140 échantillons environ ont été prélevés et analysés au laboratoire de chimie des eaux de l'INRH (ex DEMRH).

Les analyses physico-chimiques ont porté sur les mesures de PH, de conductivité, ainsi que sur la détermination des teneurs en principaux ions des eaux prélevées.

Ces données nous permettent d'une part, d'apprécier la qualité des eaux et d'autre part, de dresser des cartes physico-chimiques qui nous donneront des indications supplémentaires sur l'écoulement et les zones d'alimentation des eaux souterraines, ainsi que sur l'origine des ions contenus dans ces dernières.

VI.2. ETUDE PHYSIQUE DES EAUX : INTERPRETATION DES CARTES DE CONDUCTIVITE

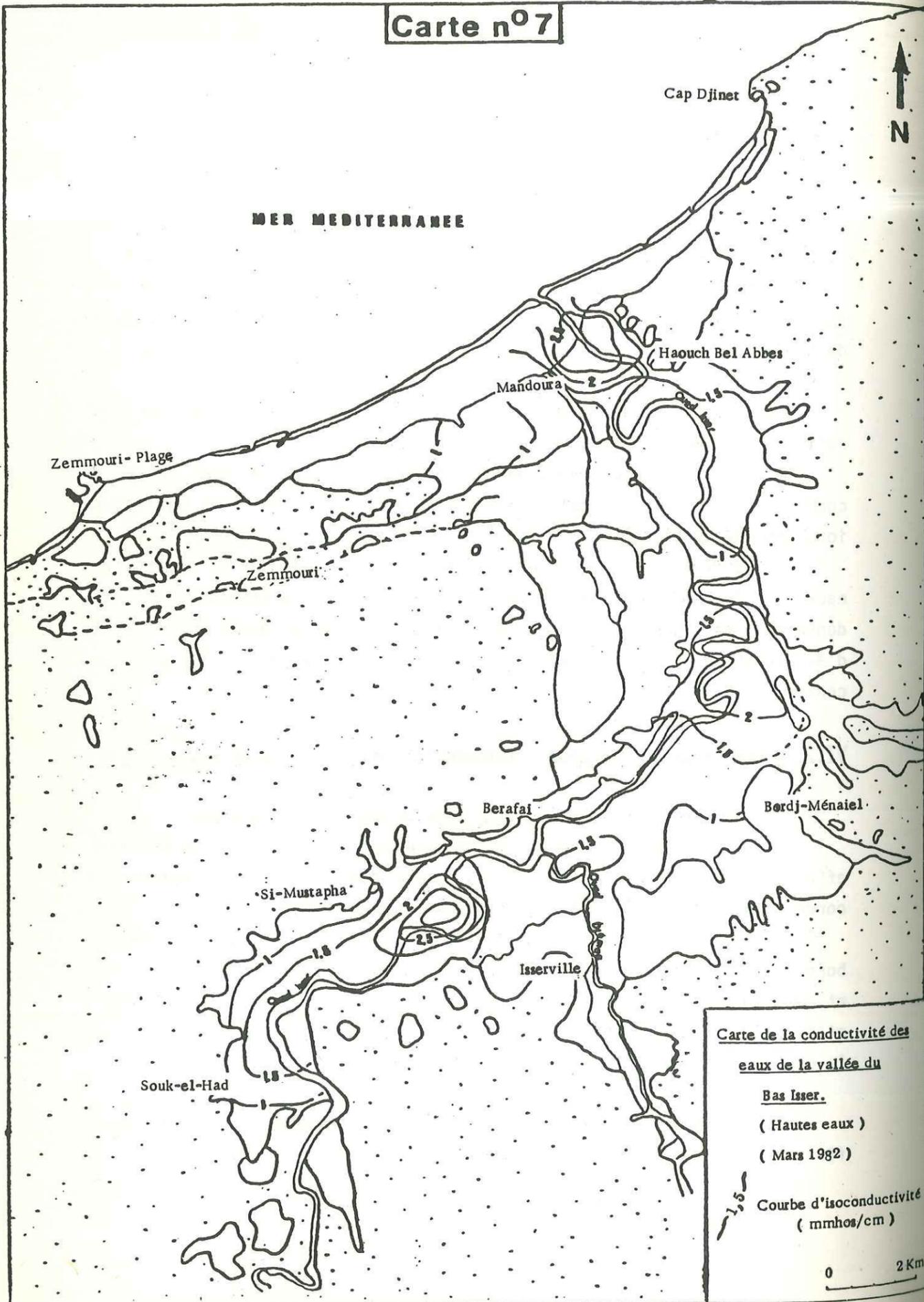
La conductivité d'une eau traduit sa teneur en sels dissous.

A partir des mesures de la conductivité des eaux de la nappe aquifère effectuées au laboratoire, nous avons dressé deux cartes d'isoconductivité, correspondant aux hautes eaux et aux basses eaux (cartes n° 7 et 8).

Les deux cartes indiquent une augmentation de la conductivité, des bordures de la nappe alluviale (7ème terrasse) vers l'axe de drainage et vers les dépressions, mis en évidence par les cartes piézométriques et du toit du substratum, ce qui confirme les résultats déjà obtenus dans le chapitre précédent.

L'évaporation que subissent les eaux peu profondes de la nappe aquifère en bordure de la vallée, se traduit par une augmentation de la

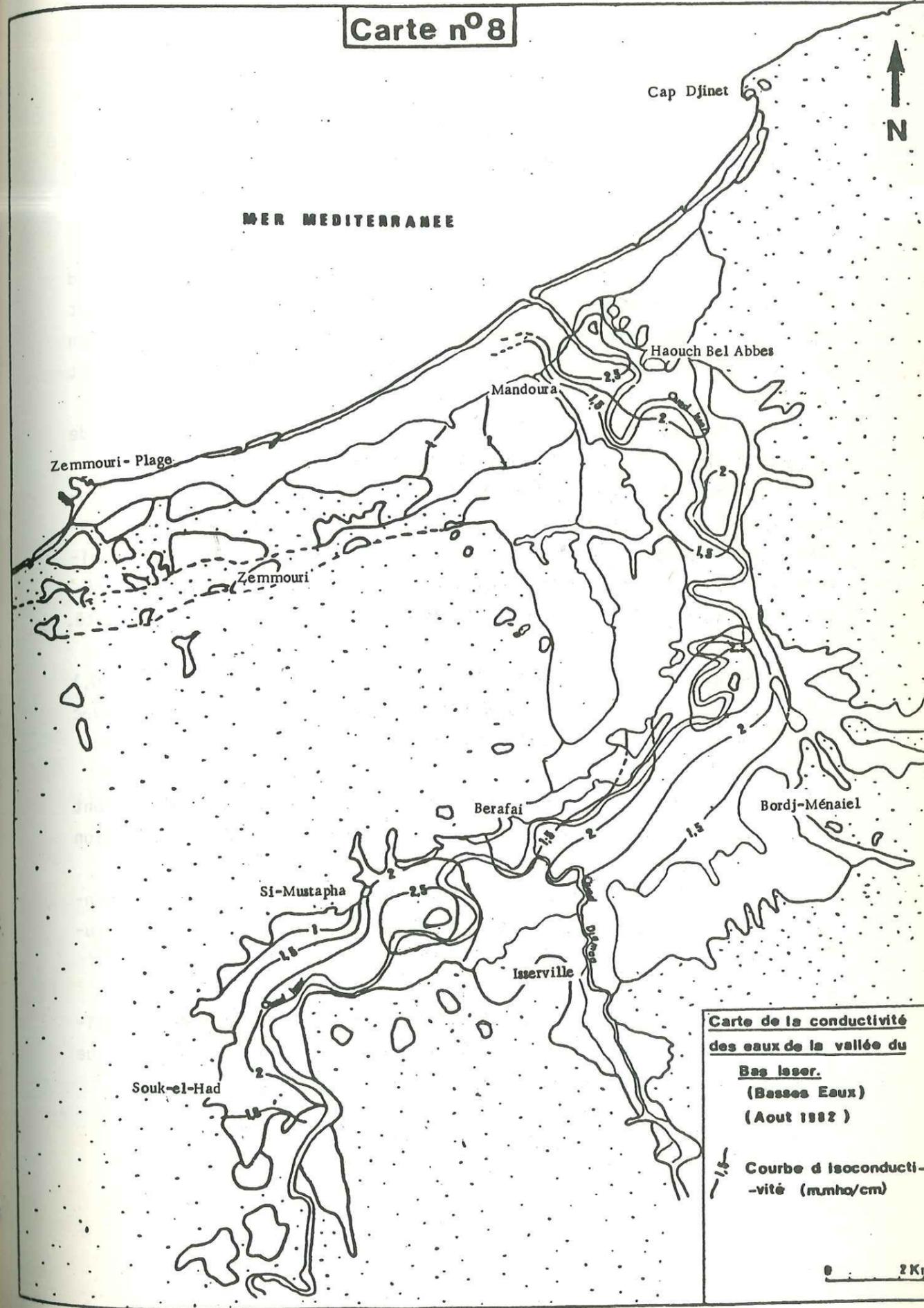
Carte n°7



Carte de la conductivité des
eaux de la vallée du
Bas Isser.
(Hautes eaux)
(Mars 1982)
— Courbe d'isoconductivité
(mmhos/cm)

0 2 Km

Carte n°8



Carte de la conductivité
des eaux de la vallée du
Bas Isser.
(Basses Eaux)
(Aout 1982)
— Courbe d'isoconductivité
(mmho/cm)

0 2 Km

concentration en sels dissous dans le sens de l'écoulement, les eaux se chargent en sels tout au long de leur trajet.

Par ailleurs, il ressort de l'étude de ces deux cartes, trois zones à fortes conductivités.

- La première, située à deux kilomètres de l'embouchure de l'oued Isser, est la conséquence de la conjugaison de deux phénomènes, qui sont l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe aquifère et l'invasion de l'eau de mer, dont la forte teneur en NaCl (supérieur à 1g/l) en est la preuve.

- La seconde, dans la région de Souk el Had, est surtout le fait de l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe aquifère (puits 111).

- La troisième zone, située entre Si Mustapha et Bordj-Ménaïel, coïncide avec l'axe de drainage et surtout avec les dépressions, est la conséquence de l'évaporation des eaux peu profondes en bordure la nappe aquifère (NS < 3m), avec dissolution des sels tout au long de leur trajet vers ces dépressions, où l'on rencontre les valeurs maximales de la conductivité.

On note aussi une augmentation de la conductivité de l'ordre de 0,1 à 0,5 m.mhos/cm en basses eaux, due à un temps de contact plus long avec l'aquifère et à une concentration par évaporation.

Les eaux de la nappe aquifère de la terrasse littorale de 53m ont une conductivité qui varie de 0,7 à 1,2 m.mhos/cm, avec une augmentation dans le sens de l'écoulement.

Du fait de la profondeur des eaux (supérieure à 9m) cette augmentation est due à un enrichissement progressif en sels dissous par circulation lente et un contact plus long avec l'aquifère.

Les plus faibles conductivités sont rencontrées dans la nappe aquifère des dunes anciennes (puits 266 et 423) ; ceci est dû au fait que ces eaux circulent dans des sables très peu argileux.

VI.3. CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

Les principaux ions faisant l'objet d'une analyse chimique sont :

Cations : Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+

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

Les teneurs des ions déterminées dans ces eaux, vont nous permettre de dresser un certain nombre de cartes chimiques, qui nous donneront des indications intéressantes quant à l'origine des ions.

VI.3.1. INDICE D'ECHANGE DE BASES (i.e.b.)

Les échanges ioniques entre les eaux et les terrains encaissants, seront étudiés en considérant l'indice d'échange de bases (i.e.b) de SCHOELLER, qui détermine le sens dans lequel se font les échanges :

$$\text{i.e.b.} = \frac{r\text{Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{Cl}^-}$$

- Si i.e.b est positif, les eaux échangent des ions Na^+ contre des ions Na^{++} et Mg^{++} .

- Si i.e.b est négatif, les eaux échangent des ions Ca^{++} et Mg^{++} contre des ions Na^+ . A ce moment là, il est préférable de calculer l'i.e.b par la formule suivante :

$$\text{i.e.b.} = \frac{r\text{Cl}^- - r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{r\text{SO}_4^{--} + r\text{HCO}_3^- + r\text{NO}_3^-}$$

Les eaux des différentes nappes aquifères indiquent un indice d'échange de bases généralement positif, mais du fait de l'accroissement simultané des teneurs en Ca^{++} , Mg^{++} et Na^+ en basses eaux, il ne nous est pas possible de déduire que les eaux échangent des ions Ca^{++} et Mg^{++} contre des ions Na^+ contenus dans l'aquifère.

VI.3.2. FACIES CHIMIQUES ET INTERPRETATION GRAPHIQUE DES ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX

Nous avons utilisé le diagramme semi logarithmique SCHOELLER-BERKALOFF pour la représentation graphique des analyses chimiques (figure n° 31).

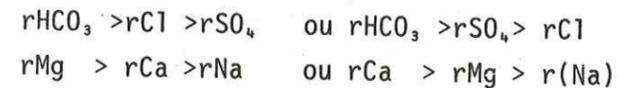
La classification tient compte de l'importance des principaux anions et cations et détermine ainsi le faciès chimique des eaux.

Les analyses chimiques, effectuées sur les eaux des nappes aquifères de la vallée du bas Isser, permettent de distinguer trois grandes classes.

A- Les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes

Les formules caractéristiques de cette classe sont les suivantes :

vantes :



En hautes eaux, le faciès calcique est plus répandu en bordure de la vallée et devient plus magnésien vers l'axe de la vallée.

En basses eaux, ce faciès persiste mais avec une prédominance du faciès bicarbonaté magnésien.

Les eaux de la nappe aquifère de la terrasse littorale de 53 mètres sont bicarbonatées magnésiennes dans sa partie méridionale et sulfatées magnésiennes ou chlorurées magnésiennes dans sa partie septentrionale, aussi bien en hautes qu'en basses eaux.

Par contre, les eaux de la nappe aquifère des dunes anciennes sont bicarbonatées calciques ou magnésiennes durant toute l'année.

B- Les eaux sulfatées magnésiennes et calciques

Ce faciès est moins important que le précédent en hautes eaux et se rencontre généralement en rive droite, entre Si Mustapha et Dar Raïcha; par contre, en basses eaux, ce faciès prend de l'importance sur toute l'étendue de la nappe aux dépens des eaux bicarbonatées magnésiennes, parce que ces dernières sont devenues en basses eaux, sulfatées magnésiennes à la suite d'un enrichissement important en sulfates par rapport aux bicarbonates.

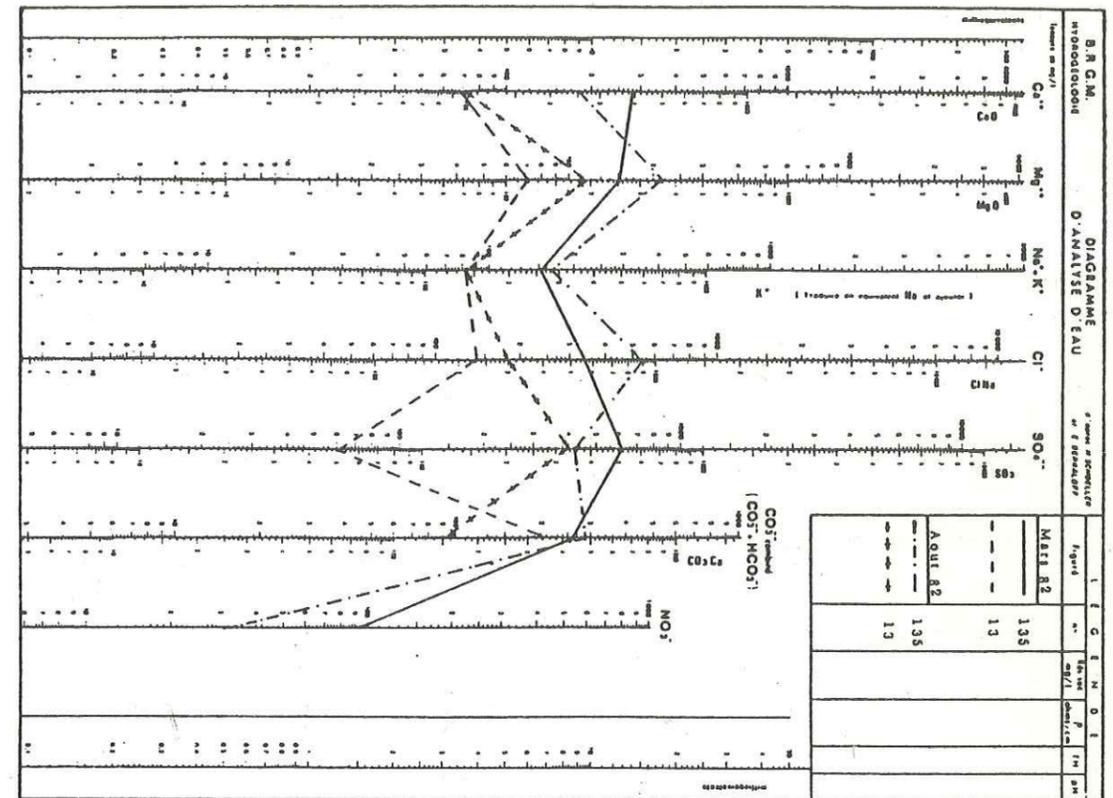
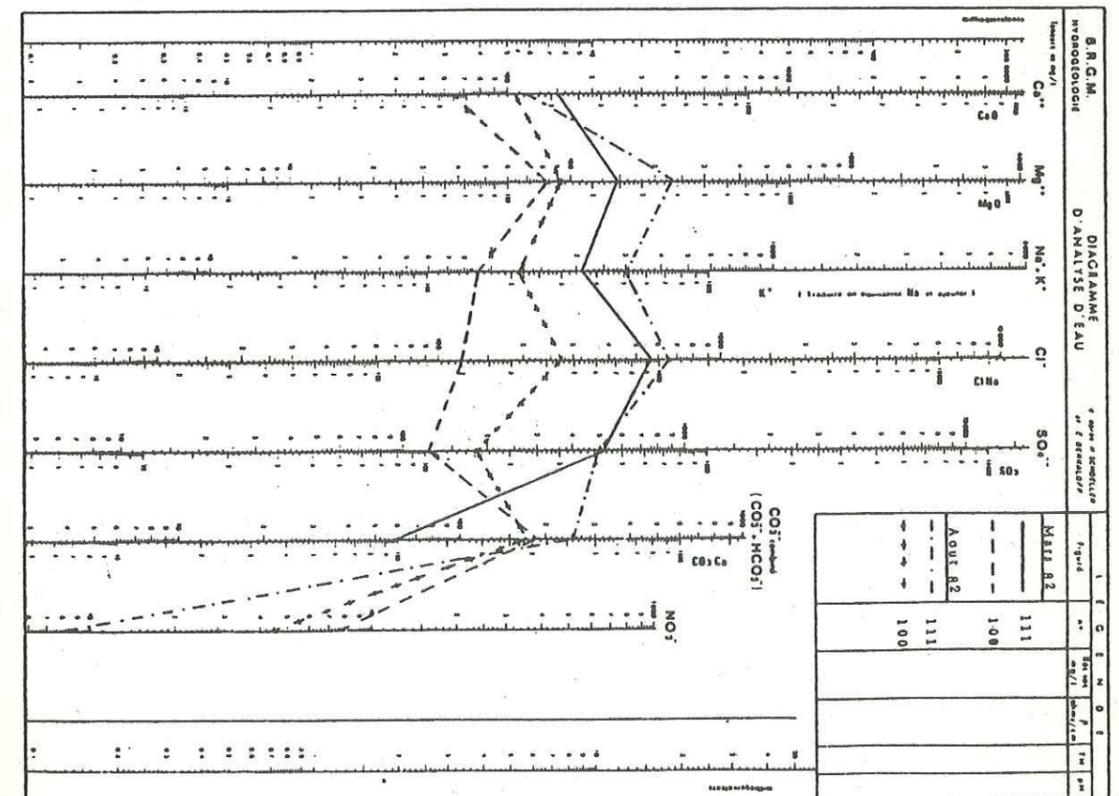


Figure 31: Diagrammes d'analyse d'eau



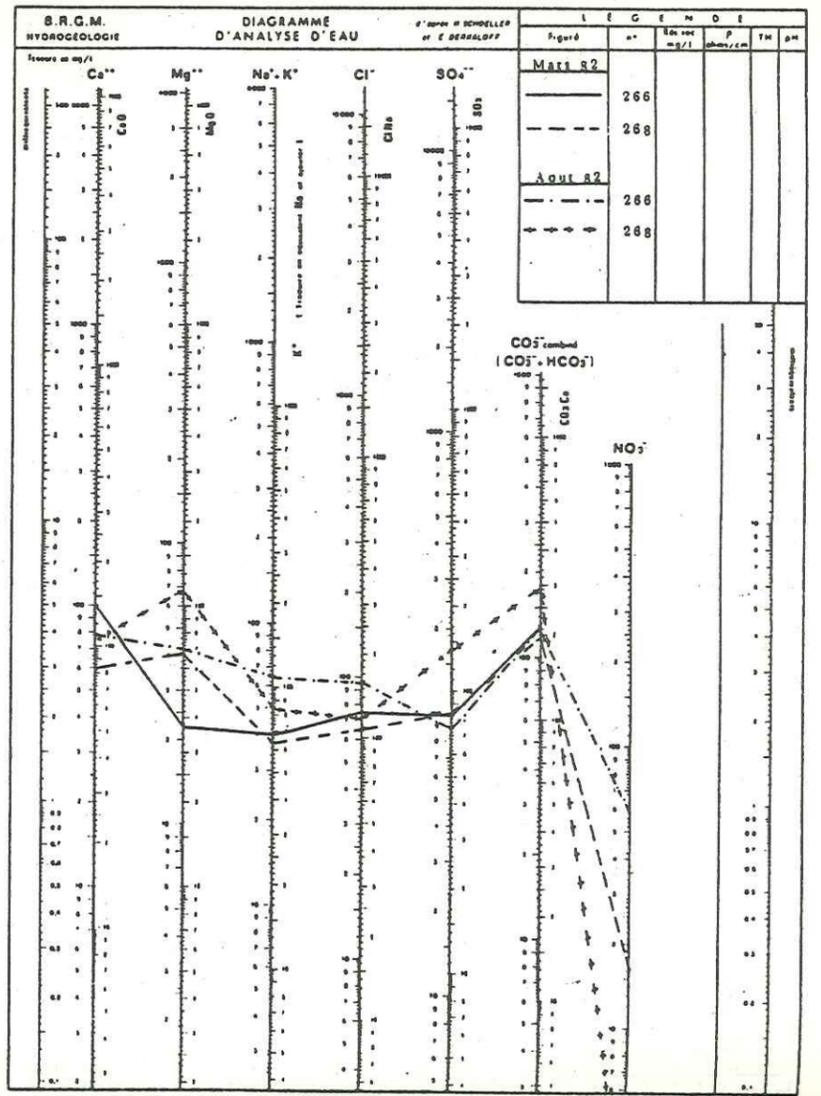
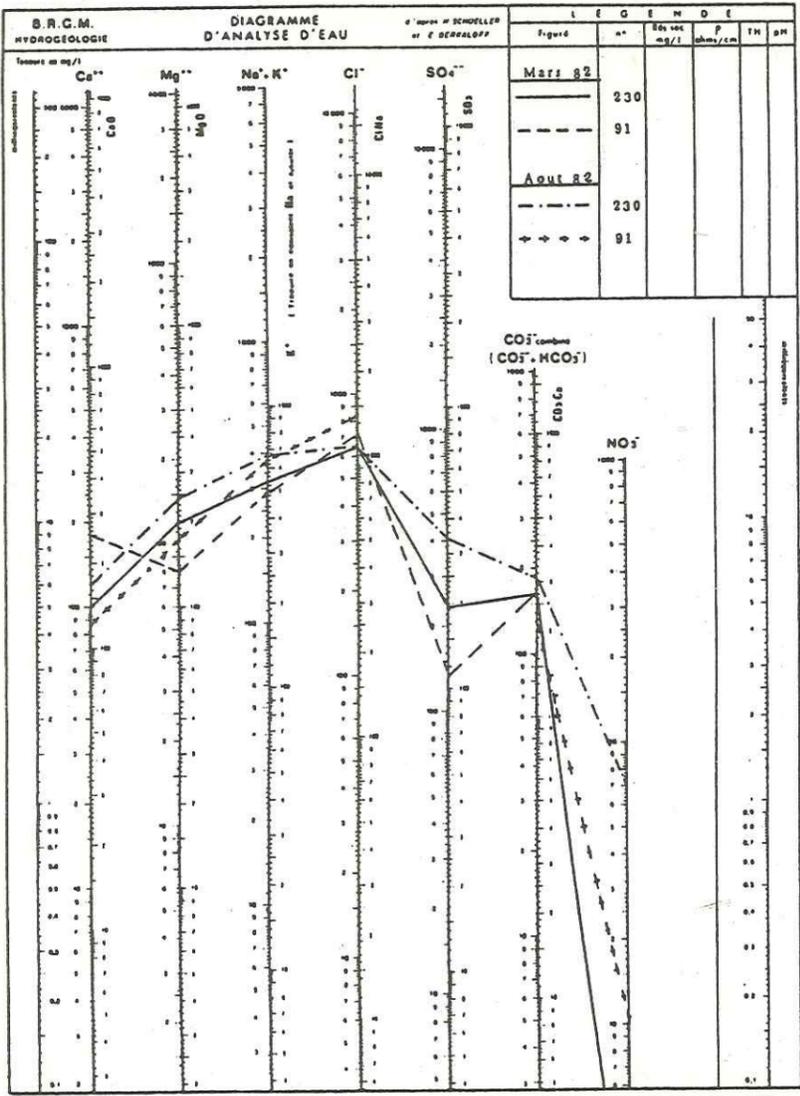


Figure 31: Diagrammes d'analyse d'eau

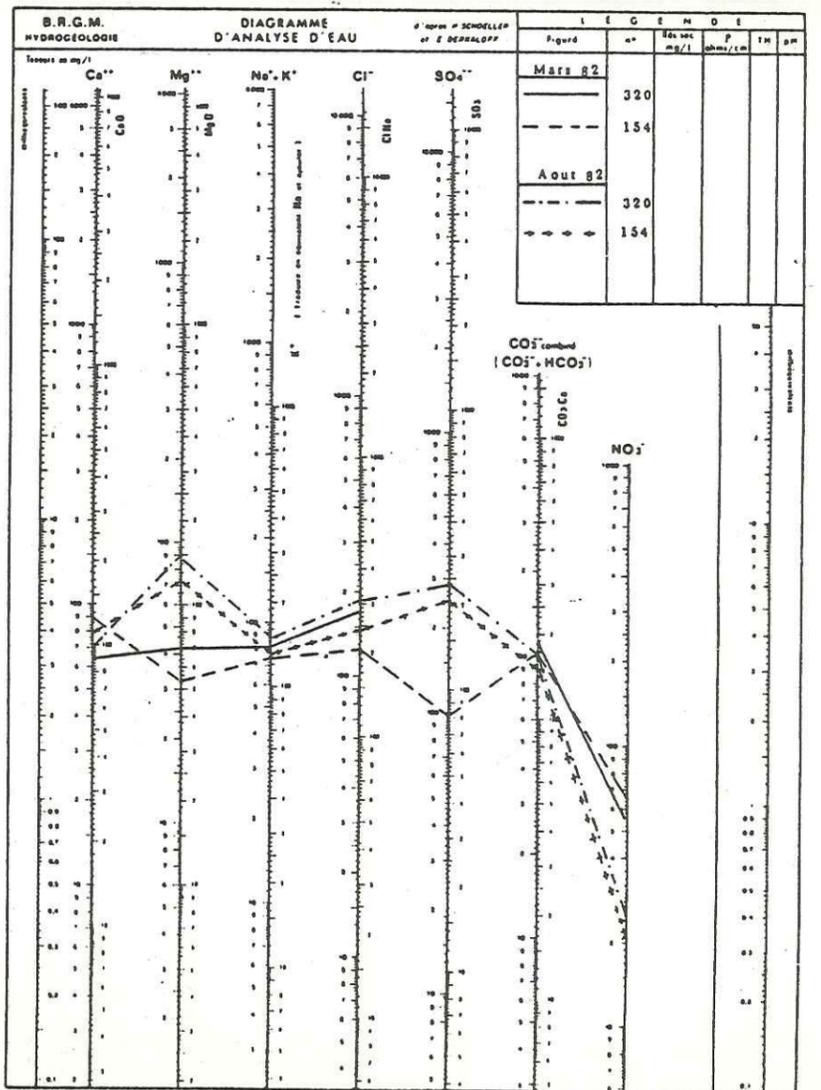
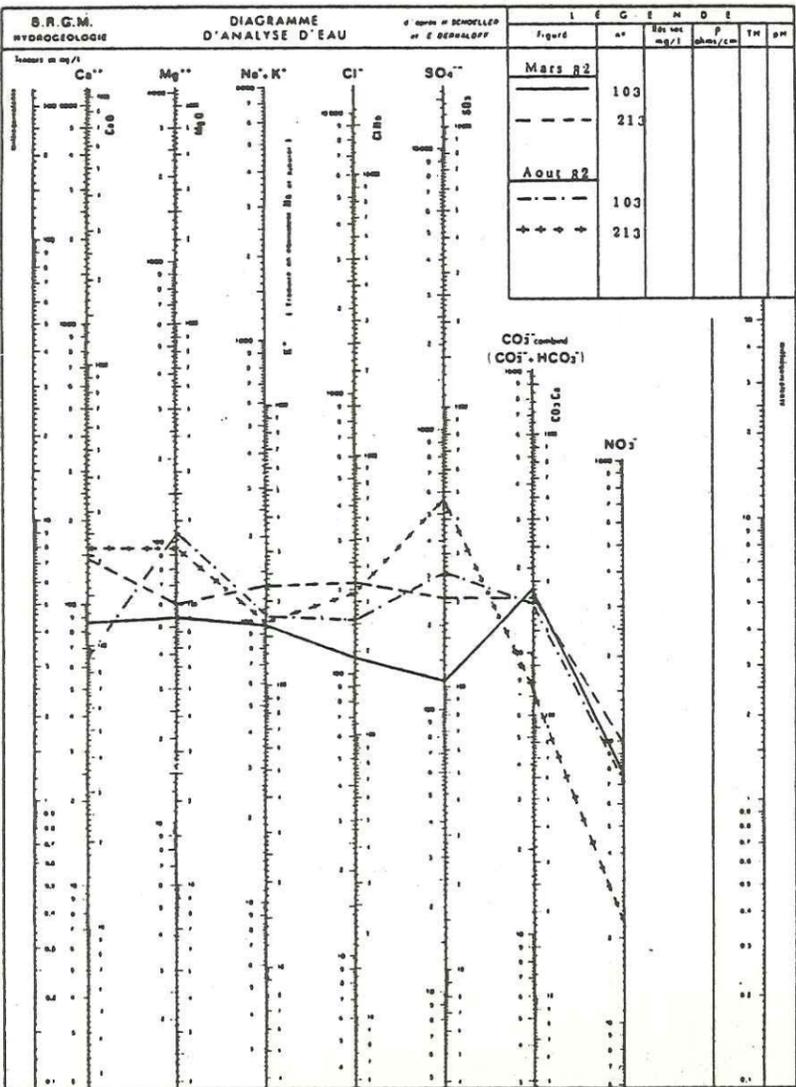


Figure 31: Diagrammes d'analyse d'eau

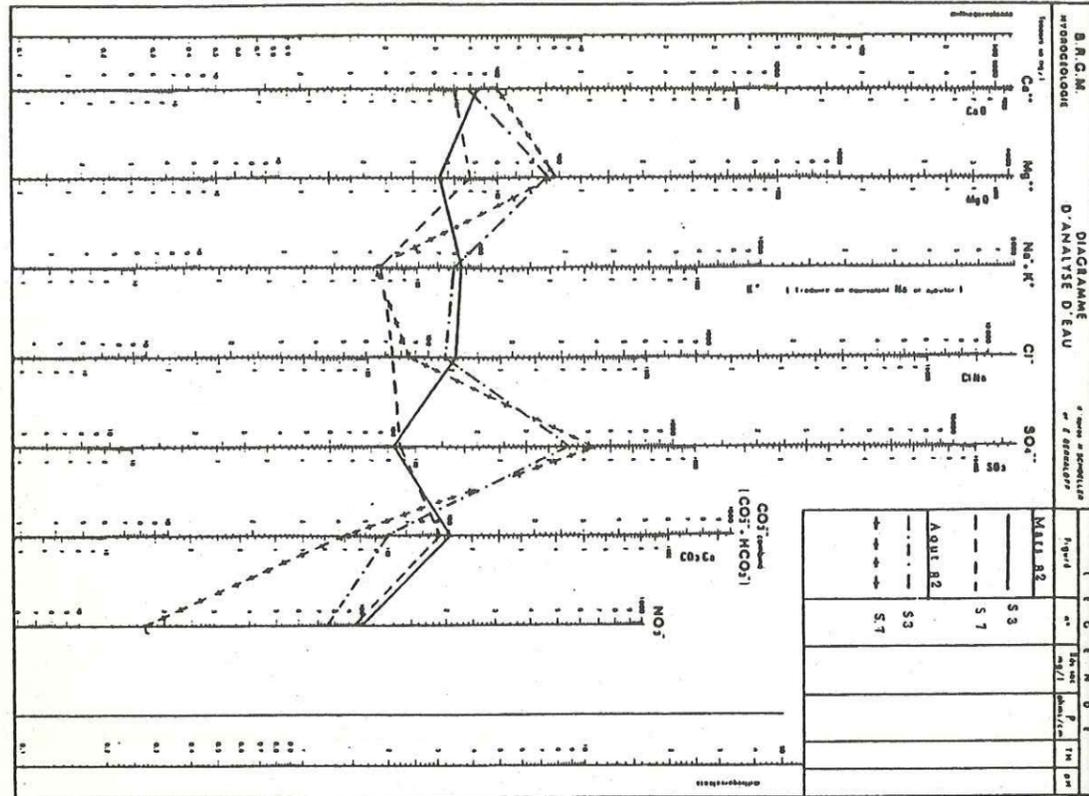
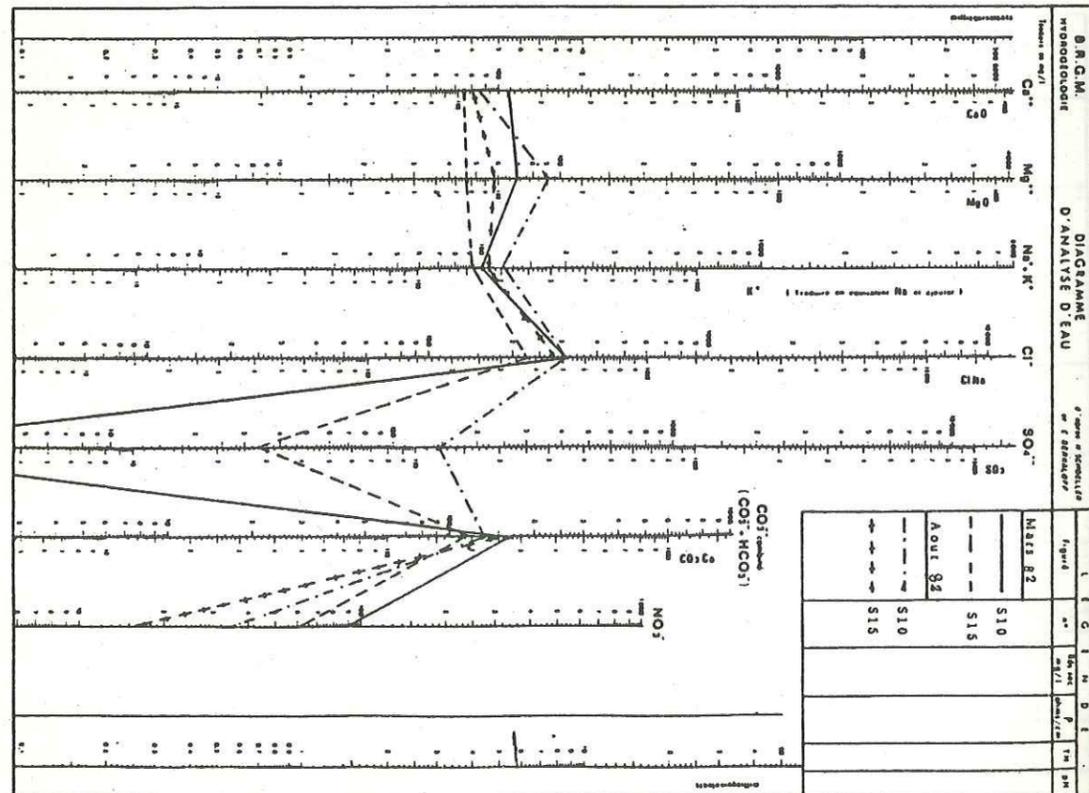


Figure 31: Diagrammes d'analyse d'eau



Les formules caractéristiques sont :
 $rSO_4 > rHCO_3 > rCl$ ou $rSO_4 > rCl > rHCO_3$
 $rMg > rCa > r(Na)$

C- Les eaux chlorurées sodiques et magnésiennes

Les formules caractéristiques sont :

$rCl > rSO_4 > rHCO_3$ ou $rCl > rHCO_3 > rSO_4$
 $rNa > rMg > rCa$ ou $rMg > rNa > rCa$

Le faciès chloruré sodique se rencontre à l'embouchure de l'oued Isser (puits 91, 92, 251 et 230...) où l'influence marine est prépondérante, mais cette invasion n'est pas très étendue parallèlement à la côte et ne s'étend que sur une distance de 500 à 1000 mètres de part et d'autre de l'oued Isser.

Par contre, le faciès chloruré magnésien se rencontre dans des zones où l'influence de l'évaporation est importante, c'est-à-dire en bordure de la vallée (puits 320...) et dans le lit majeur (puits 111...).

On rencontre aussi d'autres faciès chimiques très localisés, que l'on peut attribuer, soit à une pollution locale, soit à des erreurs d'analyses.

VI.3.3. ETUDE DE L'ORIGINE DES IONS

On va essayer de formuler des hypothèses sur l'origine des ions en étudiant les cartes des teneurs en ions d'une part et l'environnement lithologique d'autre part.

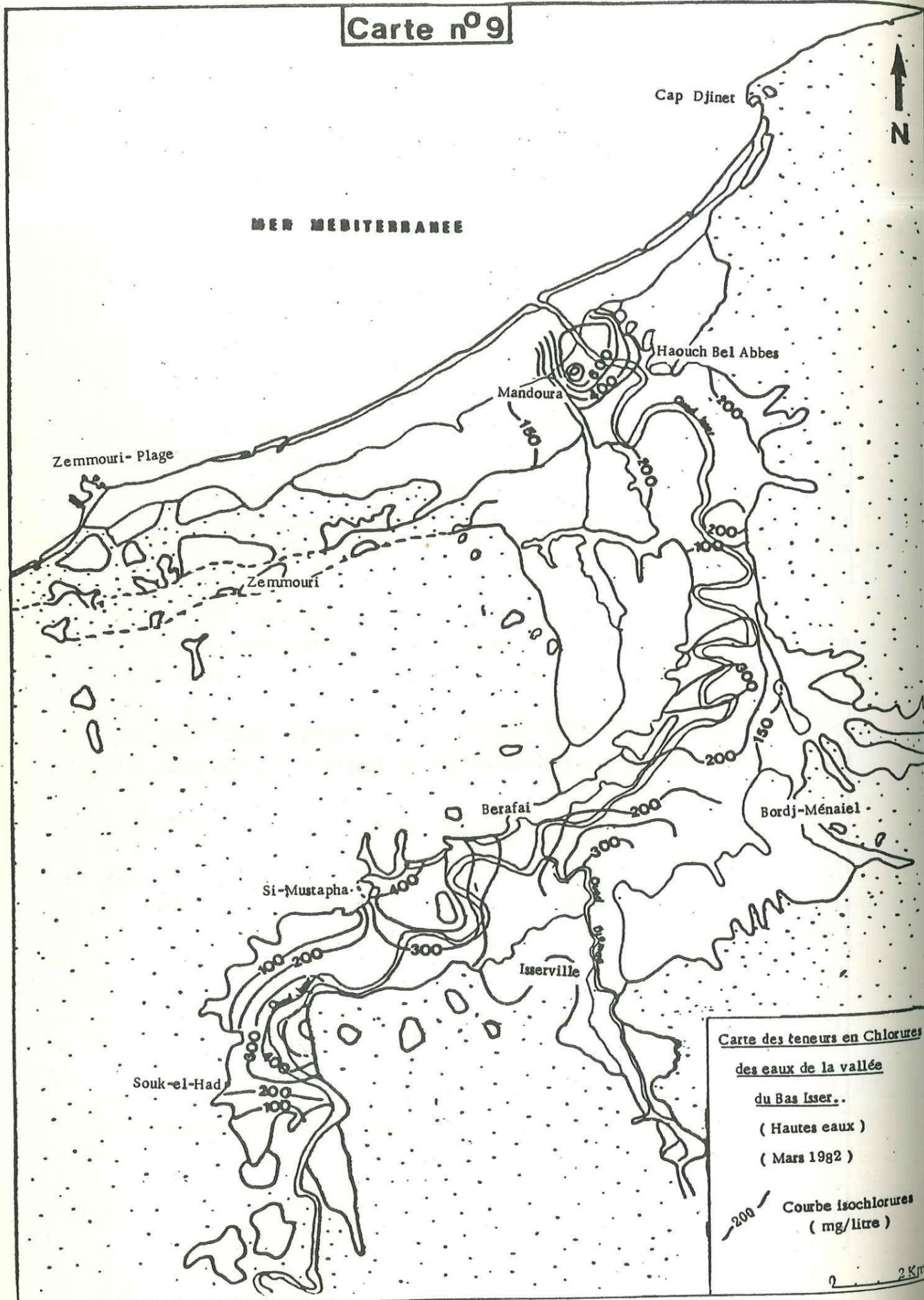
A- Carte des teneurs en chlorures

(carte n° 9)

Cette carte a été établie sur la base des teneurs en chlorures, déterminées sur les eaux prélevées en basses eaux.

On constate qu'elle se superpose aisément aux cartes d'isoconductivité et piézométrique et indique une augmentation de la teneur en chlorures dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines.

Carte n° 9



Cette augmentation s'explique par l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe aquifère de la 7^{ème} terrasse en bordure de la vallée, entraînant une concentration des chlorures qui s'accompagne d'un enrichissement progressif dans le sens d'écoulement des eaux souterraines.

La carte des teneurs en chlorures présente des zones à fortes teneurs ($Cl > 500$ mg/l) :

- La première zone, située à 2 km de l'embouchure de l'oued Isser (puits 230, 251, 91 et 92), indique des teneurs de l'ordre de 500 à 800 mg/l qui sont la conséquence des phénomènes d'évaporation des eaux peu profondes de la nappe et surtout de l'invasion d'eau de mer.

- La seconde, située dans la région de Souk-el-Had (puits 111, $Cl > 500$ mg/l), s'explique surtout par un phénomène d'évaporation.

- La troisième zone, située à l'Est de Si-Mustapha, coïncide avec la zone de dépression du substratum ; elle résulte de l'évaporation subie par les eaux en bordure de la vallée et de leur enrichissement progressif dans le sens de l'écoulement, qui se traduit par des teneurs maximales en chlorures au niveau de ces dépressions.

B- Carte des teneurs en sulfates

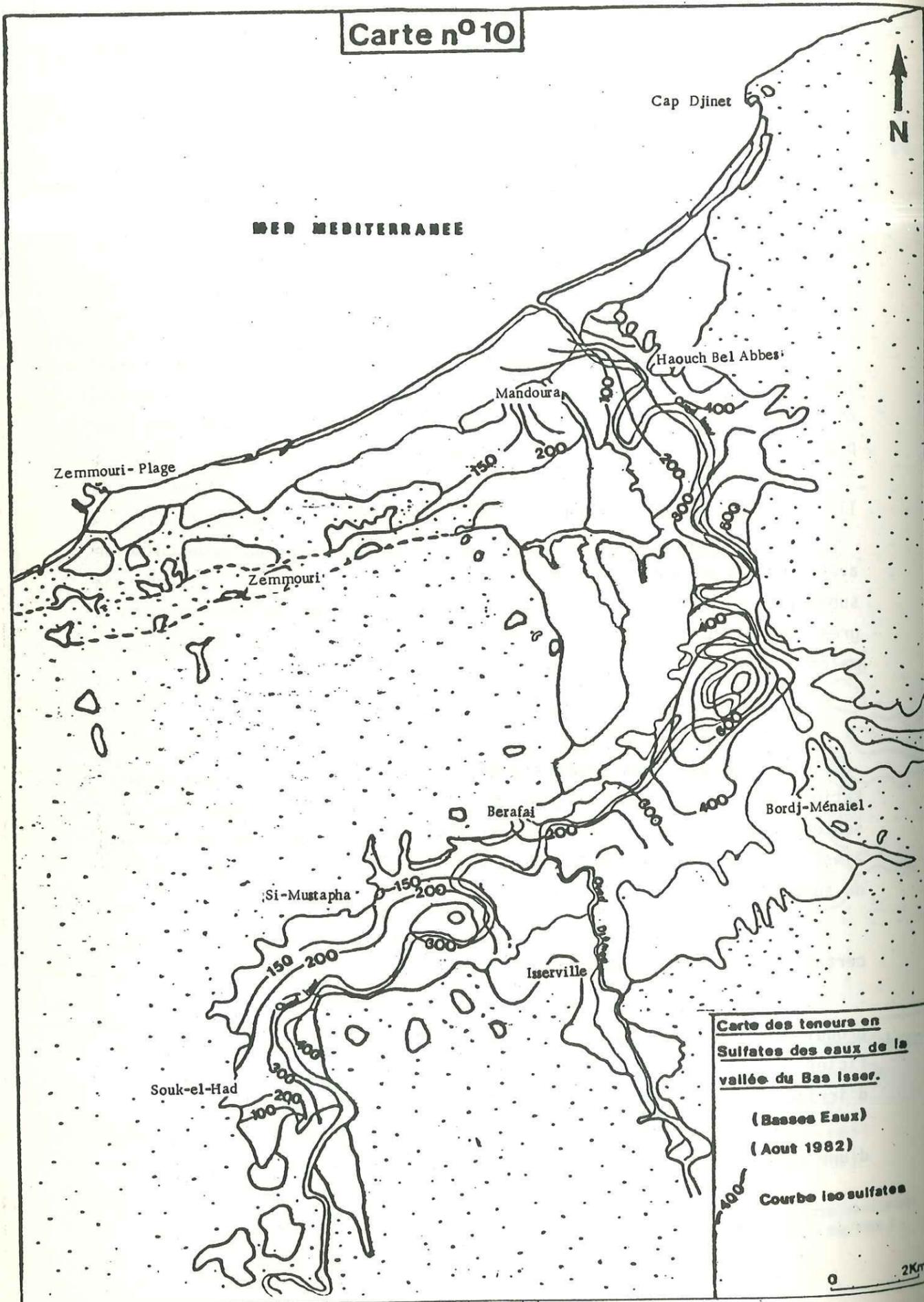
(carte n° 10)

Cette carte, établie pour les basses eaux, indique une augmentation de la teneur en sulfates dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines, avec de fortes concentrations le long de l'axe de drainage ainsi qu'au niveau des dépressions, mis en évidence par la carte du toit du substratum.

L'origine de ces sulfates ne peut être expliquée de façon certaine, mais on peut émettre les deux hypothèses suivantes :

- La première, est celle d'une pollution artificielle par des produits sulfatés, utilisés en agriculture. La présence sur de vastes superficies de vignes traitées avec ces produits, permet aux eaux de pluie et d'irrigation de lessiver le sol agricole qui est riche en sulfates.

Ceci permet aux eaux infiltrées de s'enrichir en sulfates, d'une part avec la profondeur et d'autre part en fonction de la distance



dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines et se traduit par des teneurs élevées au niveau des points bas de la surface piézométrique de la nappe aquifère (axe de drainage et dépressions).

- La deuxième, correspondrait d'une part à l'oxydation des sulfures que peuvent contenir les roches cristallines de bordures (schistes, tufs, laves volcaniques et granites ...) et d'autre part à la dissolution de niveaux évaporitiques.

En effet, l'étude géologique a mis en évidence dans les formations du miocène inférieur (Burdigalien) de minces niveaux gypsifères, qui peuvent être à l'origine des sulfates dans la région de Souk-el-Had à Si-Mustapha ; quant à leur teneur en aval de Si-Mustapha, elle peut être la conséquence d'une oxydation de sulfures, que peuvent contenir les formations cristallines des terrains de bordures (surtout en rive droite), après lessivage par les eaux qui s'enrichissent progressivement tout au long de leur trajet dans ces formations, avant de s'infiltrer dans les terrains alluviaux.

C- Teneurs en bicarbonates

Les teneurs en bicarbonates des nappes aquifères de la terrasse littorale de 53 mètres et des dunes anciennes sont généralement inférieures à 300 mg/l ; par contre celles de la nappe aquifère de la 7ème terrasse indiquent des valeurs variant de 100 à 700 mg/l, avec des valeurs maximales dans l'axe de la vallée.

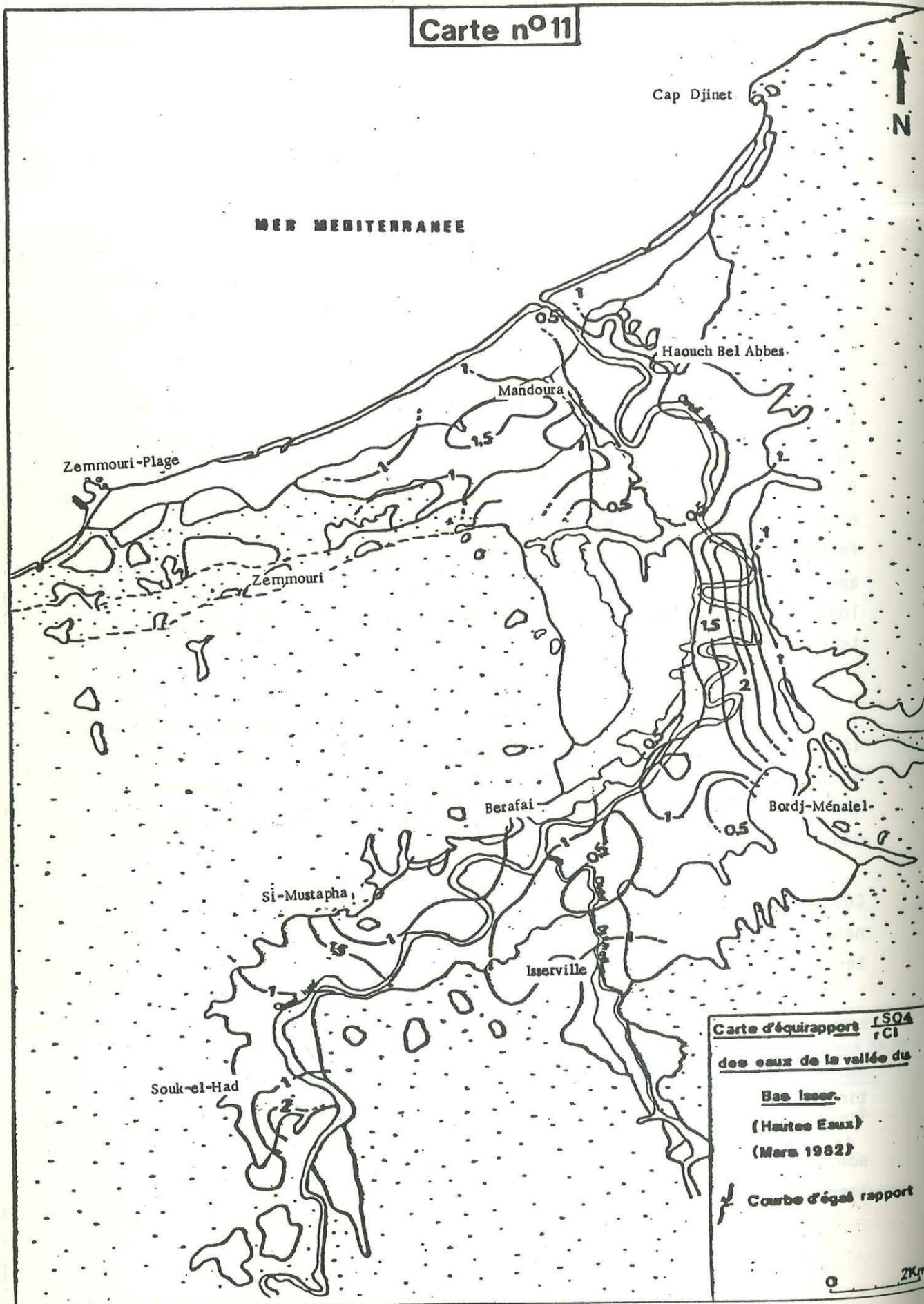
Les bicarbonates proviennent de l'attaque chimique par le CO_2 atmosphérique dissous par les eaux d'infiltration des formations carbonatées, constituant les terrains de bordures (calcaires et marnes) et le terrain aquifère (graviers et galets calcaires des alluvions).

D- Teneurs en nitrates

Ces teneurs varient de 0 à 100 mg/l ; les fortes concentrations se rencontrent au niveau des terres cultivées. Elles sont dues à une pollution artificielle liée à l'utilisation d'engrais par l'agriculture.

Du fait de la teneur supérieure à 50 mg/l qui est la teneur admissible en nitrates pour une eau potable, ces eaux sont par endroits impropres à la consommation.

Carte n° 11



VI-3.4. INTERPRETATION DES CARTES D'EQUIRAPPORT

A- Carte d'équirapport $\frac{rSO_4}{rCl}$

(carte n° 11)

La carte d'égal rapport $\frac{rSO_4}{rCl}$, dressée pour les hautes eaux, permet de distinguer deux zones :

- la première, de Souk-el-Had à la confluence de l'oued Miane avec l'oued Isser, indique d'une part un rapport supérieur à 1 qui traduit le caractère dominant des sulfates et d'autre part une augmentation de ce rapport dans le sens de l'écoulement, qui montre un enrichissement en sulfates par rapport aux chlorures ; mais on note dans cette zone des points où le rapport $\frac{rSO_4}{rCl}$ est inférieur à 1 (Souk-el-Had), traduit l'importance des chlorures, dus à l'évaporation des eaux peu profondes de la nappe aquifère, dans le lit majeur de l'oued Isser (puits 111).

- la seconde zone, située au Nord de la confluence citée précédemment, correspond à un rapport inférieur à 0,5 montrant alors le caractère dominant des chlorures, dus à la conjugaison des phénomènes d'évaporation et d'invasion de l'eau de mer.

B- Carte d'équirapport $\frac{rMg}{rCa}$

Cette carte, établie pour les hautes eaux, indique un rapport supérieur à 1 et montre le caractère dominant du magnésium, mais ne donne aucune indication, complétant les résultats obtenus par l'étude des autres cartes.

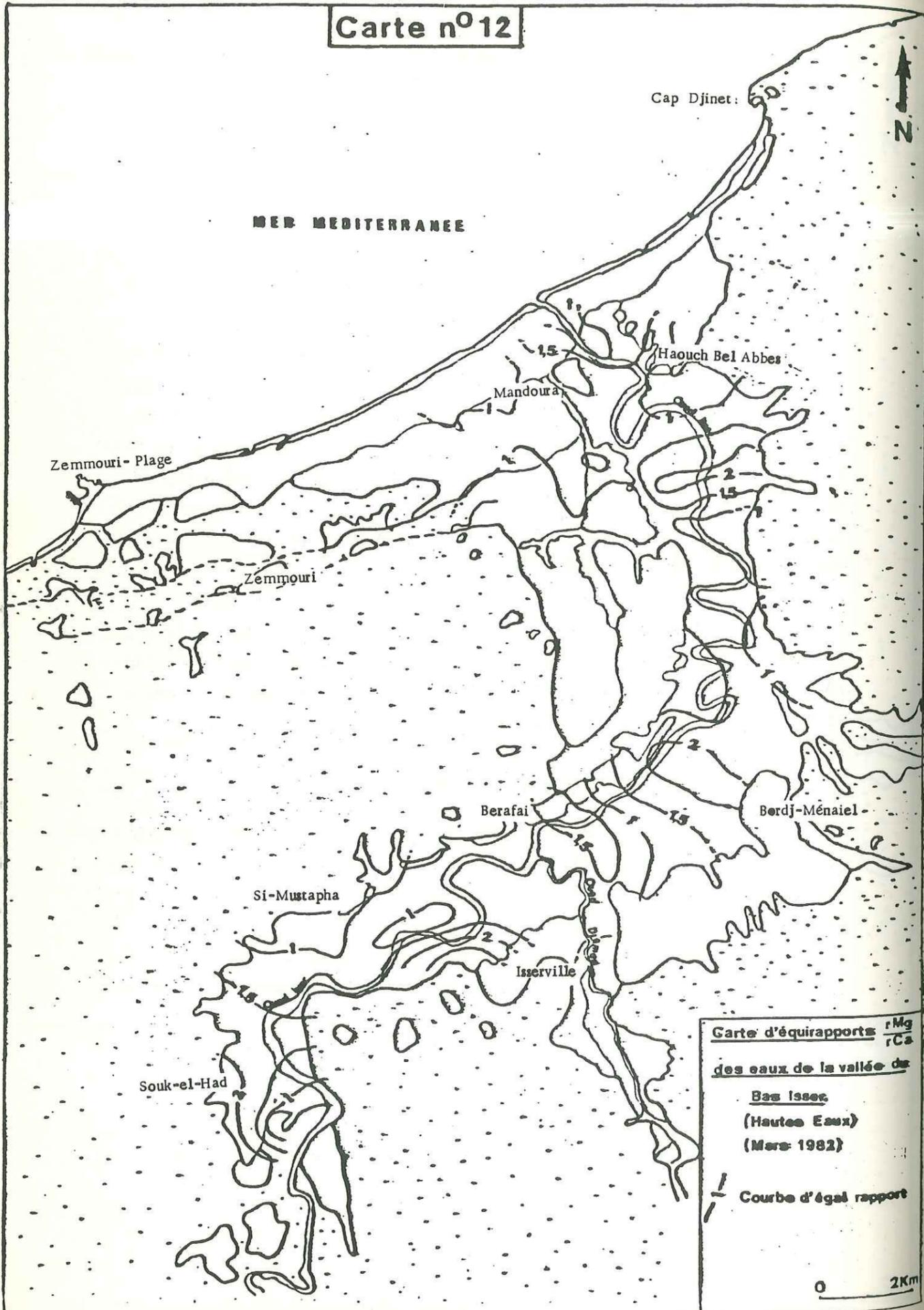
L'importance du magnésium s'explique peut-être par le fait que les sels $MgCl_2$ et $MgSO_4$ se dissolvent plus rapidement que les sels $CaCl_2$ et $CaSO_4$.

C- Carte d'isovariation du rapport $\frac{rMg}{rCa}$

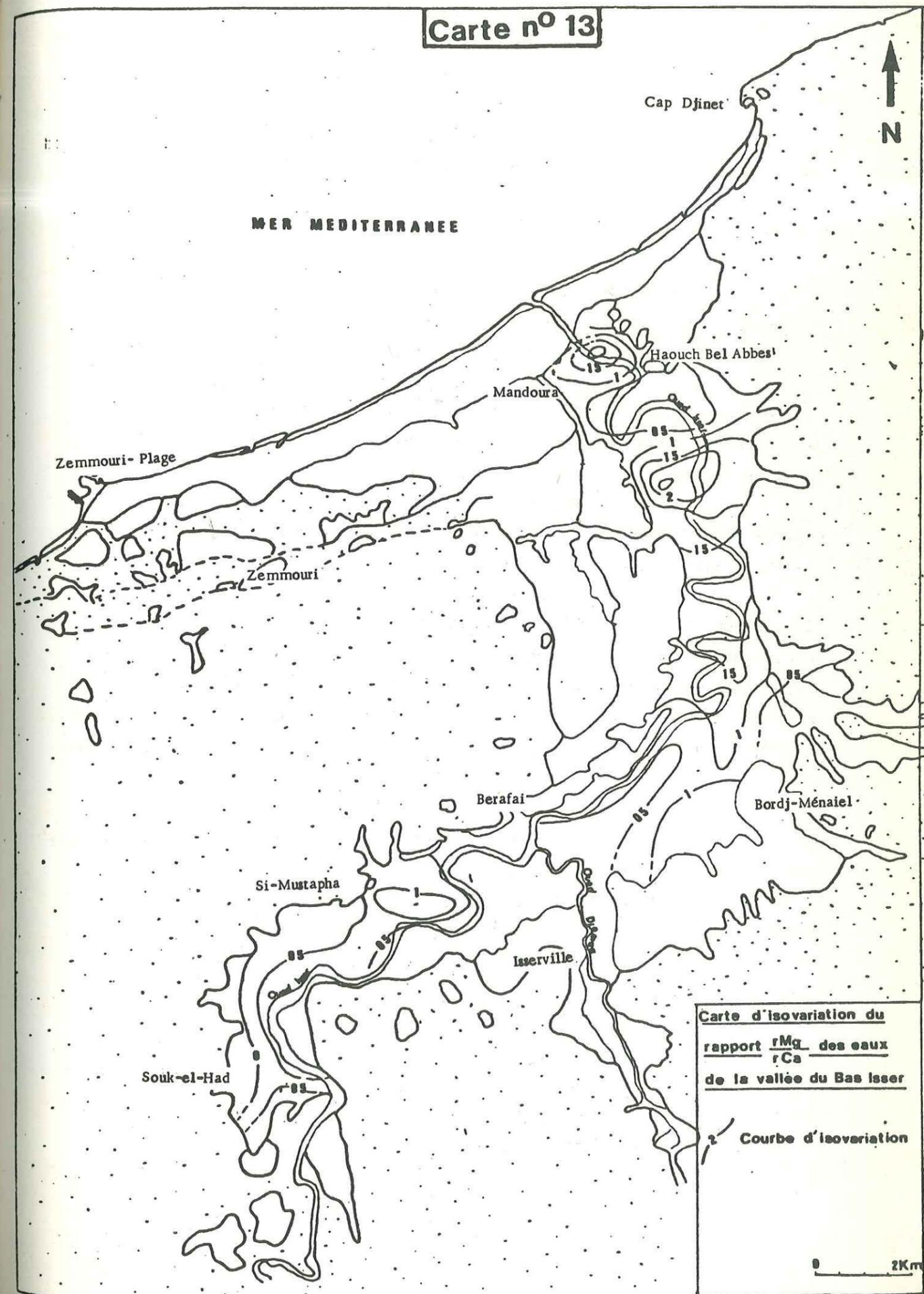
(carte n° 13)

Cette carte a été dressée sur la base des données de variation du rapport $\frac{rMg}{rCa}$ entre les hautes et les basses eaux.

Carte n° 12



Carte n° 13



Elle montre une augmentation des variations de ce rapport dans le sens de l'écoulement, avec des valeurs maximales le long de l'axe de drainage et des dépressions mis en évidence par la carte du toit du substratum.

L'augmentation des teneurs en magnésium en basses eaux peut s'expliquer par une concentration par évaporation plus importante.

Le magnésium peut avoir deux origines :

- La première, serait le lessivage par les eaux, des roches cristallines qu'on rencontre souvent sous forme altérée ; le magnésium proviendrait alors des minéraux ferromagnésiens et des micas contenus dans ces roches.

- La deuxième, serait une dissolution du magnésium que peuvent contenir les formations aquifères par les eaux souterraines, tout au long de leur trajet dans ces dernières.

VI.4. ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES SOURCES

On constate au vu des mesures physico-chimiques, effectuées sur les différentes eaux prélevées, que la conductivité évolue d'une part dans le temps (des hautes vers les basses eaux) et d'autre part dans l'espace (d'amont en aval) qui est la conséquence d'un enrichissement progressif dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines.

Le faciès chimique des eaux des sources, émergeant à la base de la terrasse littorale de 53 mètres est variable d'une source à l'autre en hautes eaux et devient sulfaté magnésien en basses eaux, traduisant ainsi le caractère dominant des sulfates par rapport aux autres anions ; par contre, les sources des terrasses alluviales sont chlorurées magnésiennes, aussi bien en hautes qu'en basses eaux.

VI.5. CONCLUSION

L'étude des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines et de leur répartition dans l'espace et dans le temps tend à confirmer les résultats obtenus dans les chapitres précédents.

L'analogie entre les cartes piézométriques et les cartes physico-chimiques confirme d'une part, le sens d'écoulement des eaux souterraines avec la mise en évidence de l'axe de drainage et des dépressions qui sont les lieux de fortes concentrations en sels dissous et d'autre part, de préciser les zones d'alimentation.

L'interprétation de la carte des teneurs en chlorures souligne, à l'exception de la zone proche de l'embouchure laquelle, est sujette à l'influence marine, le rôle important de l'évaporation qui entraîne une augmentation de la salinité des eaux.

Les concentrations en sels se produisent par évaporation et par un enrichissement progressif, tout au long du trajet des eaux dans le terrain aquifère.

Quant à la variation de la composition chimique, elle est la conséquence de la diversité de l'alimentation et des phénomènes de concentration (évaporation, pollution, invasion marine, enrichissement progressif dû à un contact plus long avec l'aquifère).

C H A P I T R E S E P T I E M E

D E T E R M I N A T I O N D E S C A R A C T E R I S T I Q U E S H Y D R O D Y N A M I Q U E S

D E S A Q U I F E R E S D U B A S I S S E R

- VII.1. INTRODUCTION
- VII.2. DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES
PAR ESSAIS DE POMPAGE
- VII.3. ÉTUDE DES SOURCES
- VII.4. CONCLUSION ET TABLEAU RÉCAPITULATIF DES CARACTÉRISTIQUES
HYDRODYNAMIQUES

VII.1. INTRODUCTION

Les principales caractéristiques hydrodynamiques étudiées au cours de notre étude, se résument à la transmissivité et au coefficient d'emmagasinement. Ce sont des paramètres très importants dans l'estimation du bilan hydrogéologique et des réserves en eaux souterraines des nappes aquifères de la vallée du Bas Isser.

VII.1. 1. DEFINITIONS

1. Coefficient d'emmagasinement :

Il exprime le volume d'eau libérée par un prisme vertical de terrain aquifère, pour une variation unitaire de la charge hydraulique. C'est un nombre sans dimension, désigné par le symboles S . Dans les nappes libres, il correspond à la porosité utile de l'aquifère. Dans les nappes captives, il est lié à la compressibilité du terrain aquifère et de l'eau.

2. Transmissivité :

C'est le produit de la perméabilité par l'épaisseur du niveau aquifère, il s'exprime en m^2/s . La détermination de ces diverses caractéristiques fait appel aux essais de pompage, dont l'interprétation est souvent délicate en raison de la complexité des conditions aux limites rencontrées dans la nature et aux conditions d'application des différentes méthodes.

VII.1. 2. MODE OPERATOIRE DES ESSAIS DE POMPAGE

Afin d'étudier les caractéristiques hydrodynamiques des nappes aquifères de la vallée du Bas Isser, le service hydrogéologique de l'INRH a effectué des essais de pompage sur une quarantaine de puits et forages.

Les essais de pompage effectués étaient à deux paliers de débits enchainés, dont le premier durait 24 à 36 heures et le second à un débit maximum pendant 72 heures. A chaque palier, on attendait la stabilisation du rabattement.

Après ces pompages, on a observé la remontée du niveau durant 24 heures.

Quant à la DHW d'Alger, elle a réalisé neuf forages de 1977 à 1980, dont le programme des essais de pompage a été le suivant :

Après le développement à l'air lift, on a effectué un essai à blanc qui est un essai à paliers (3 à 4 paliers) de débits enchainés ; on changeait de paliers après avoir observé la stabilisation durant 2 à 4 heures ; après l'arrêt du pompage, on laisse le niveau reprendre son niveau initial (niveau statique).

C'est cet essai à blanc qui nous permettra par la suite, de déterminer le débit de pompage de l'essai définitif ou essai de longue durée (48 à 72 heures).

Enfin, on observe la remontée du rabattement jusqu'à atteindre le niveau statique de la nappe aquifère.

Les mesures sont effectuées dans le forage en cours de pompage.

Vu l'inexistence de piézomètres, il nous a été impossible d'effectuer des mesures dans des points d'eau autre que les forages de pompage.

VI.2. DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour la détermination de T et S.

VII.2. 1. METHODE DE THEIS

Les formules de Dupuit, Thiem etc... existant avant celle de Theis, ne sont applicables qu'en régime d'équilibre et ne tiennent pas compte d'une part, de la compressibilité du terrain et de l'eau et d'autre part, du temps de pompage.

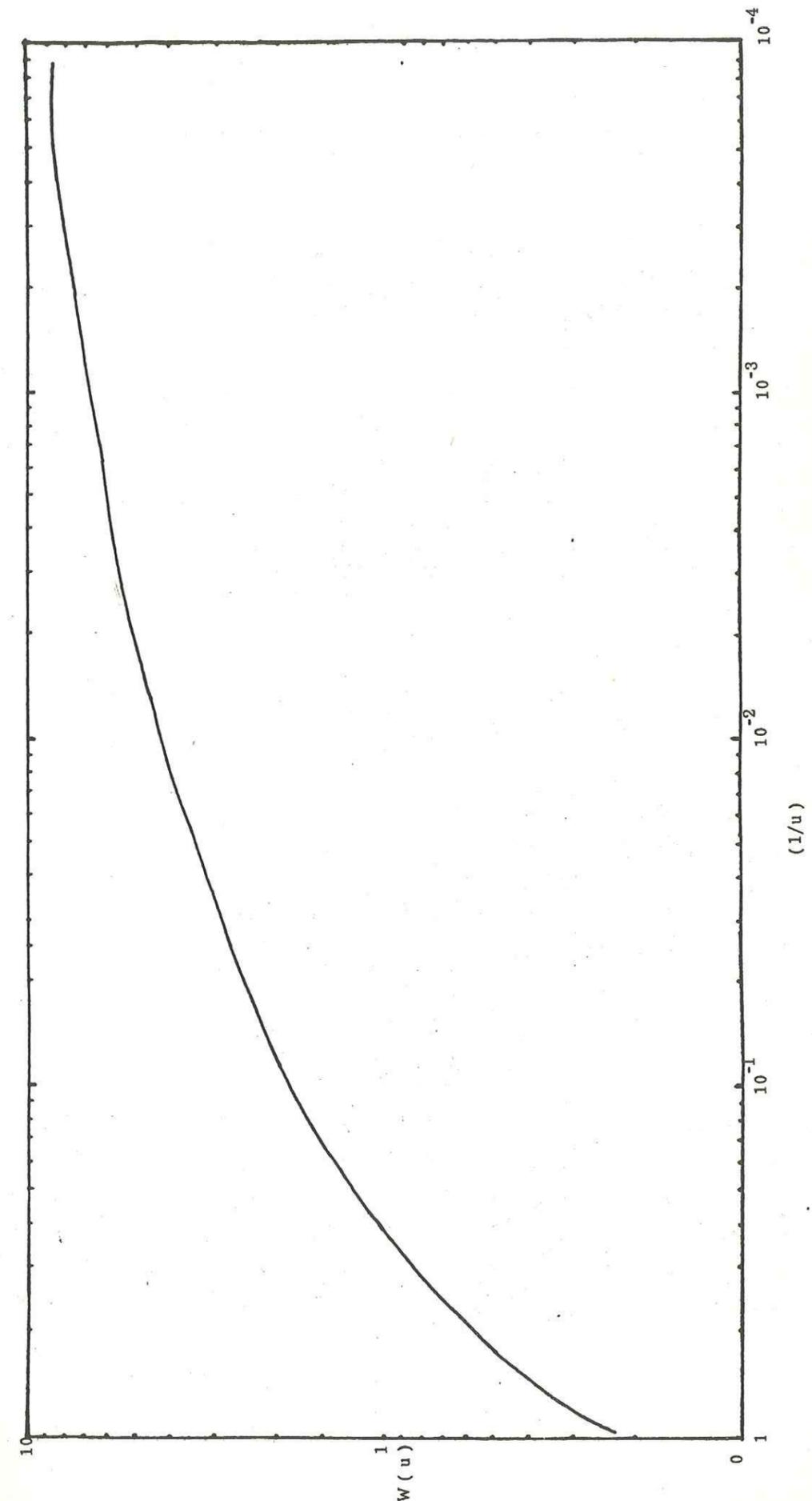


Figure 32: Courbe standard de THEIS

Il fallait donc au moins dans le cas d'une nappe captive, trouver une méthode qui tienne compte des hypothèses citées précédemment et applicable en régime de non équilibre.

C'est C.V. THEIS qui en 1935, fut le premier à proposer de comparer l'écoulement des eaux souterraines à la propagation de la chaleur en milieu isotrope et en régime de non équilibre (transitoire) ; c'est la méthode de l'analogie thermique.

Cette solution tient compte du temps de pompage qui est assez court.

THEIS a abouti à la formule exponentielle intégrale suivante :

$$\Delta = W(u) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^a \frac{e^{-y}}{y} dy \frac{Q}{4\pi T}$$

Après résolution l'équation s'écrit :

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (I) \quad \text{avec} \quad u = \frac{x^2 S}{4Tt} \quad (II)$$

Δ = Rabattement en mètres

Q = Débit de pompage constant (m^3/s)

t = Temps de pompage en secondes

x = Distance du puit d'observation à l'axe du forage.

T = Transmissivité en m^2/s

S = Coefficient d'emménagement

1. Mode Opérateur :

La résolution graphique nécessite l'établissement de deux courbes sur diagramme bilogarithmique ; la courbe standard (figure 32) est obtenu en portant sur un papier bilogarithmique, les valeurs $W(u)$ en ordonnées et celles de u ou $\frac{1}{t}$ en abscisse ; la courbe expérimentale quant à elle, est obtenue en portant sur un diagramme bilogarithmique transparent et de même module que celui de la courbe standard, les valeurs du rabattement Δ en ordonnées et celles du temps t ou $\frac{1}{t}$ en abscisse.

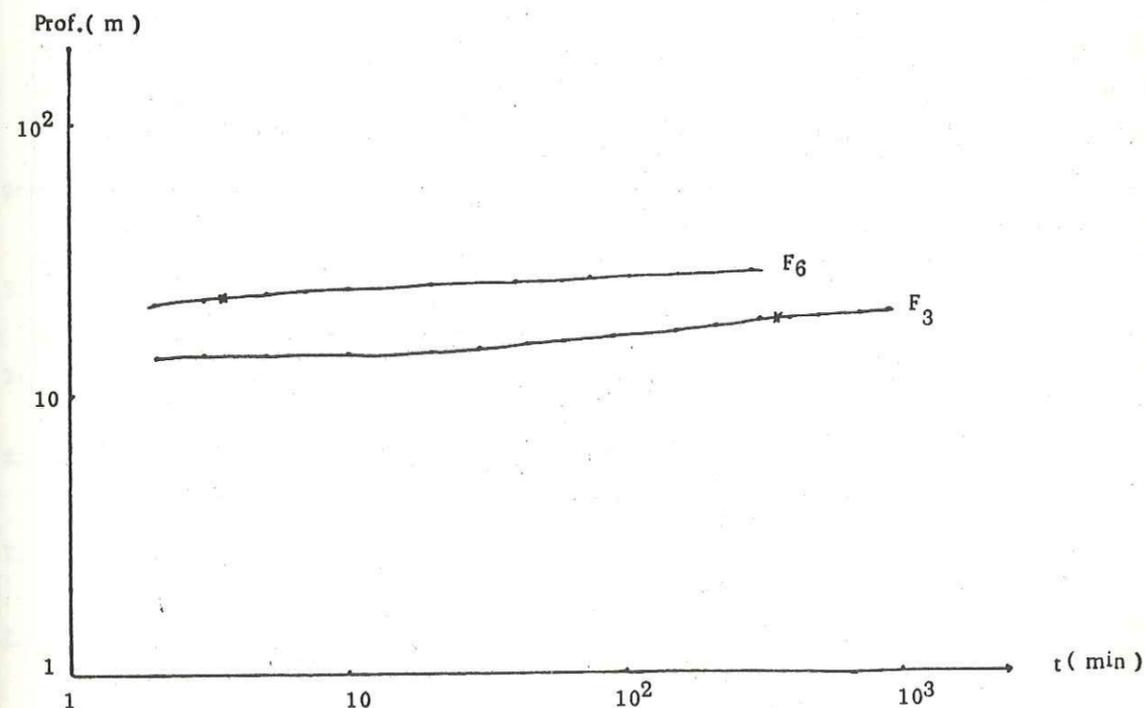
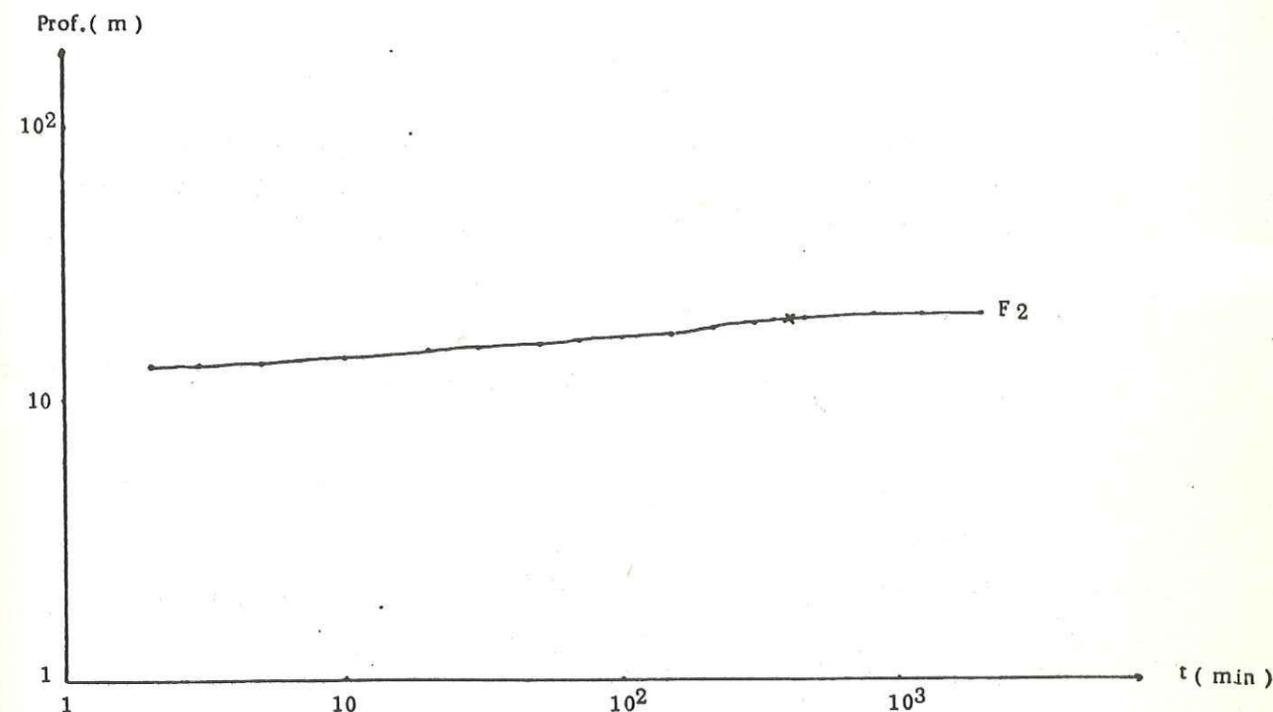


Figure 33: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après THEIS

Par translation, on tente de superposer en maintenant les axes respectivement parallèles aussi parfaitement que possible, la courbe expérimentale à la courbe standard ; on choisit un point A ayant pour coordonnées dans les deux graphes $W(u)$, u ou $\frac{1}{u}$ et Δ , t ou $\frac{1}{t}$.

En introduisant ces valeurs dans les équations I et II on obtient :

$$T = \frac{Q}{4\pi\Delta} W(u) \quad \text{et} \quad S = \frac{4Tt}{x^2} u.$$

2. Application.

On dispose de trois essais de pompage, dont les mesures ont été effectuées dans les forages en cours de pompage.

Leur interprétation par la méthode de THEIS, a été faite en utilisant un rayon efficace estimé à l'unité.

Le tableau n° 29 et la figure 33 indiquent les forages sur lesquels on a appliqué cette méthode et les résultats obtenus.

N° DU FORAGE	Q ($10^{-3}m^3/s$)	Δ (mètre)	u (10^{-3})	W(u)	t (sec.)	T ($10^{-2}/s$)	S (%)
F2	20	12,17	0,33	8	23 700	1,05	3,28
F3	13	9,71	0,33	8	23 000	0,85	2,58
F6	14,28	10,12	0,33	8	210	0,90	0,03

Tableau n° 29 : Valeurs de transmissivités et de coefficients d'emmagaînement d'après la méthode de THEIS .

VII.2. 2. METHODE DE JACOB

Cette méthode découle de l'équation de THEIS, qui se réduit à la formule d'approximation logarithmique de JACOB quand le temps de pompage croît ($u < 0,01$).

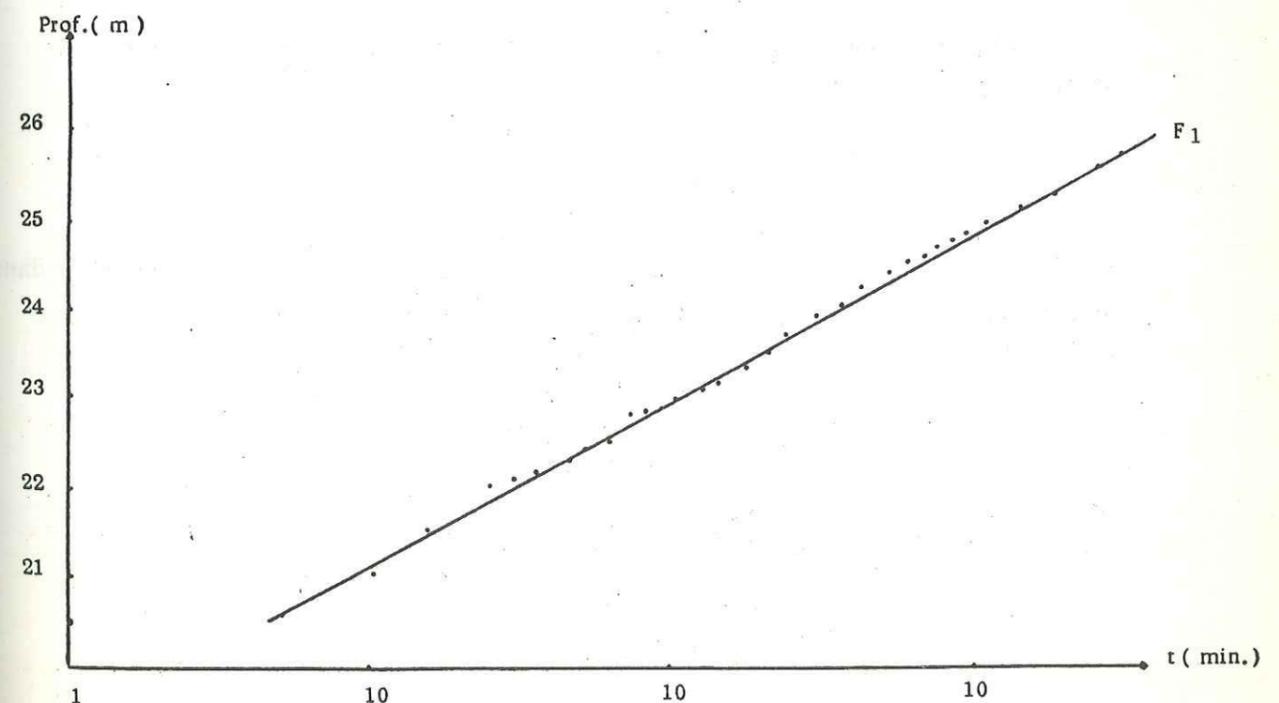
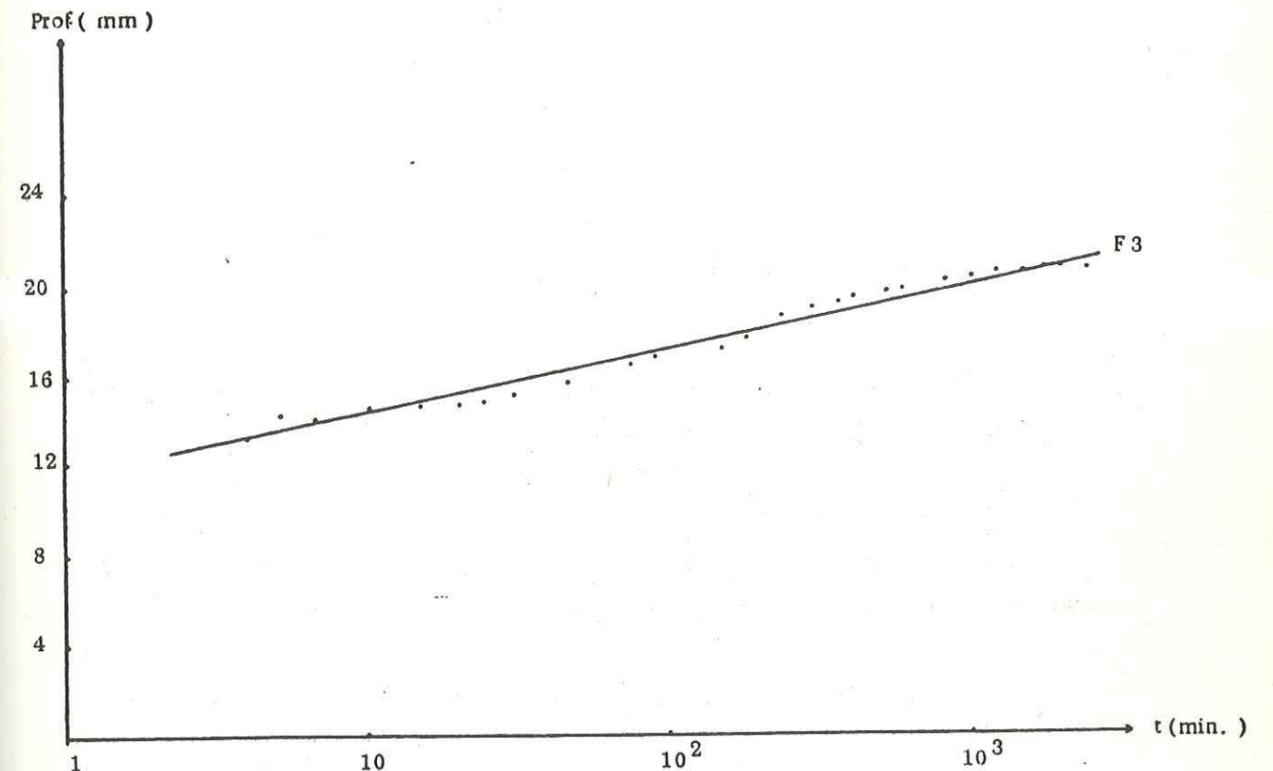


Figure 34: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de JACOB

Elle s'écrit :

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \text{ Log } \frac{2,25 T \cdot t}{x^2 \cdot S}$$

Cette formule simplifiée donne une solution d'autant plus proche de la courbe de dépression réelle à l'instant t que x est plus petit.

1. Mode Opérateur :

On porte sur un diagramme semi-logarithmique, en abscisse logarithmique les temps de pompage et en ordonnée les rabattement correspondants.

La droite moyenne passant par les points obtenus a pour équation :

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} (\text{Log. } \frac{2,25 T}{x^2 \cdot S} + \log t) \quad (\text{III})$$

Cette équation est de la forme :

$$Y = ax + b$$

$$y = a (\log b + \log x)$$

La constante a est déterminée par le coefficient angulaire de la droite, soit :

$$a = \frac{0,183 Q}{T} \quad (\text{IV}) \text{ pour un cycle logarithmique.}$$

Si cette droite coupe l'axe des temps (cas de mesures effectuées dans un piézomètre) en un point t_0 pour un rabattement nul, le deuxième terme de l'équation (III) s'écrit :

$$\log \frac{2,25 T t_0}{x^2 \cdot S} = 0 \Rightarrow \frac{2,25 T \cdot t_0}{x^2 \cdot S} = 1 \quad (\text{V})$$

A l'aide des équations (IV) et (V) on détermine T et S

$$T = \frac{0,183 Q}{a} \quad \text{et} \quad S = \frac{2,25 T \cdot t_0}{x^2}$$

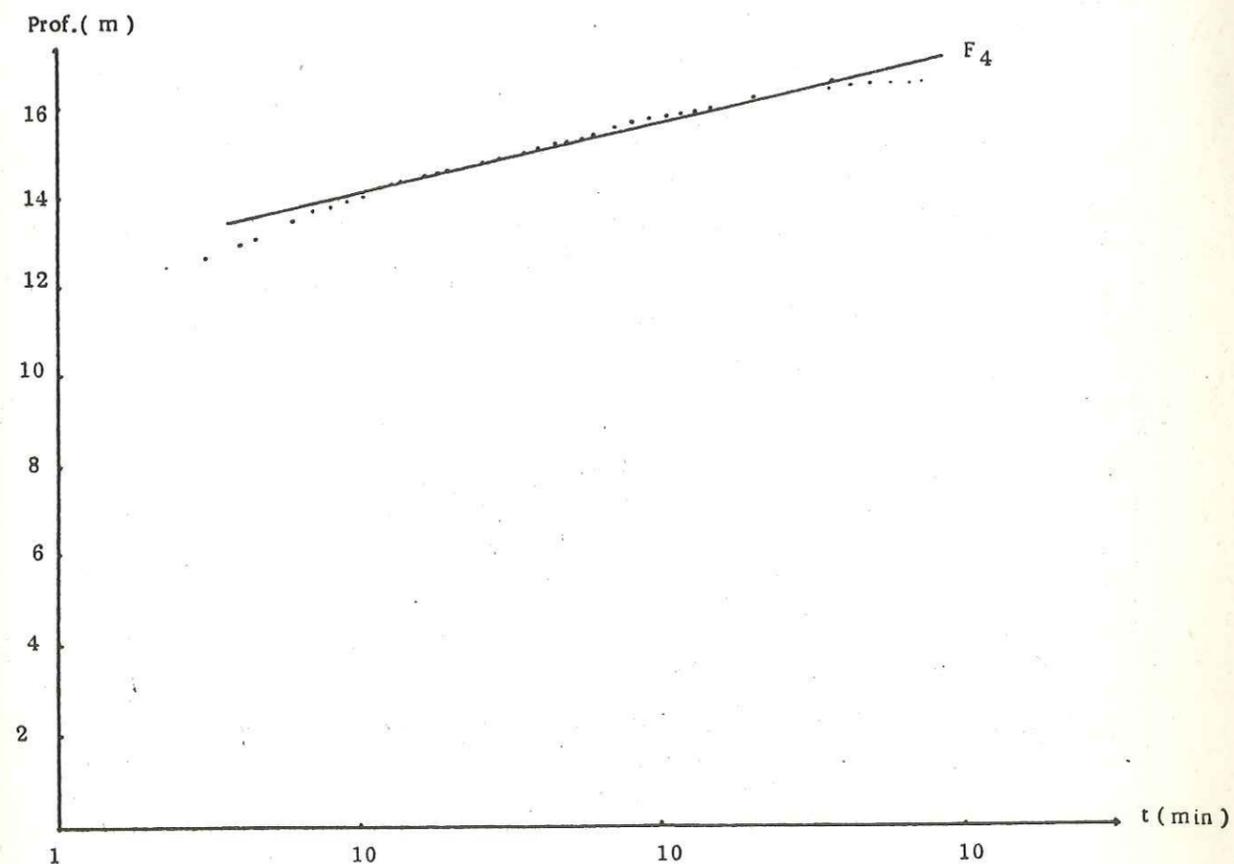
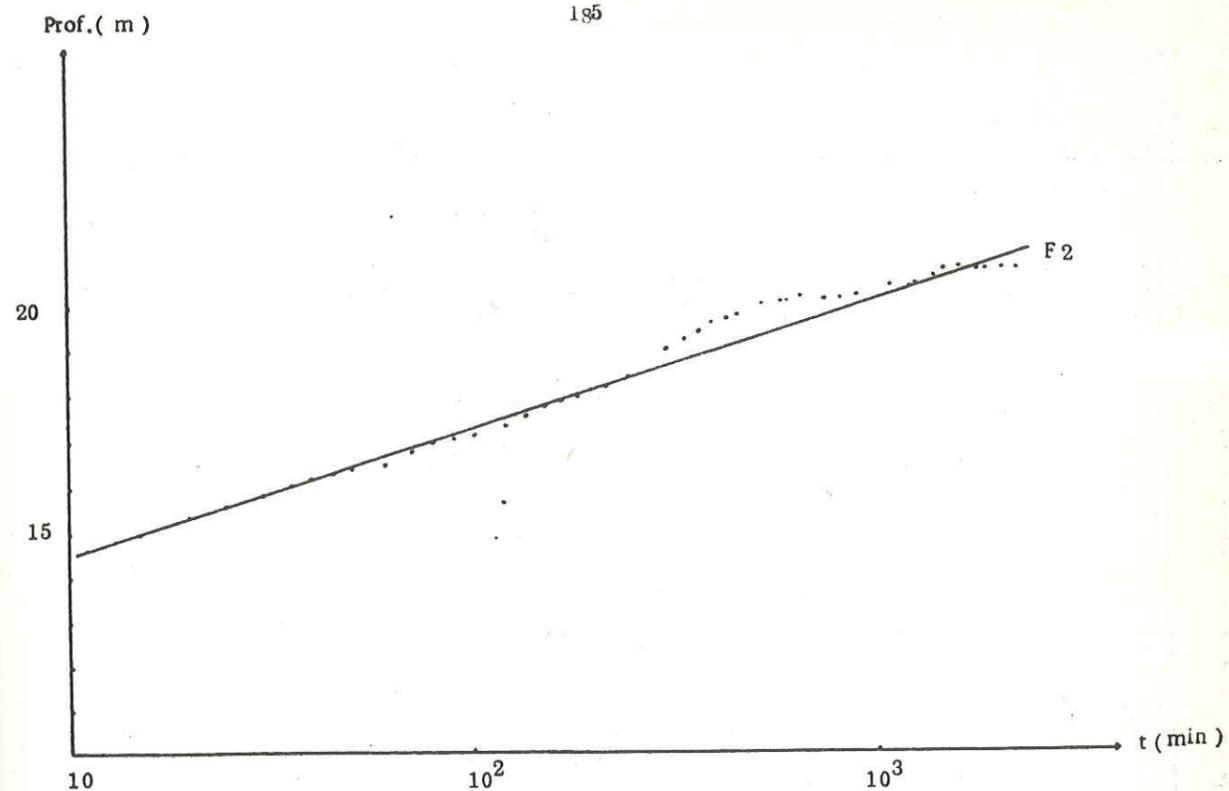


Figure 34 : Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de JACOB

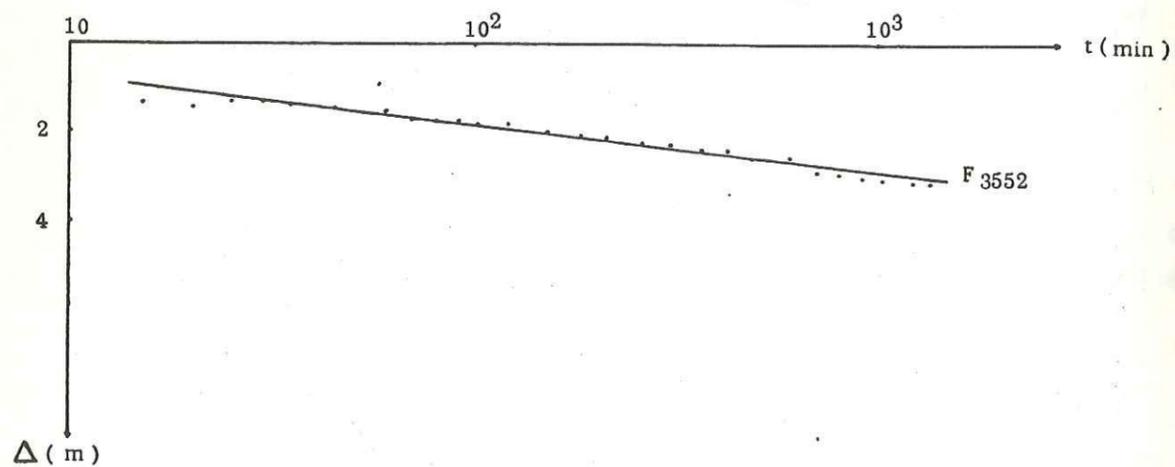
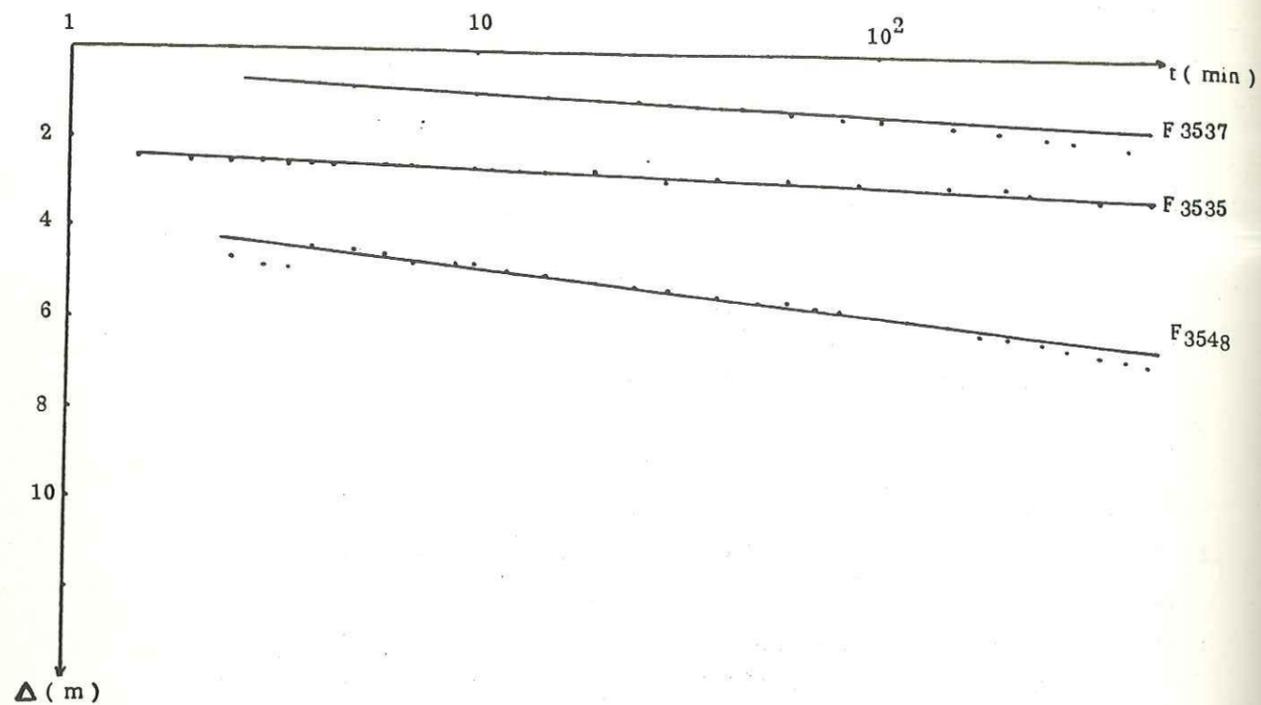


Figure 34: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de JACOB

2. Application

On a interprété par cette méthode une vingtaine d'essais de pompage. Les conditions d'application de cette méthode ont été respectées puisque le temps de pompage est élevé (supérieur à 48 heures).

Dans notre cas, cette méthode nous permet de déterminer que la transmissivité T , car les mesures ont été effectuées dans le forage en pompage et non pas dans un piézomètre.

Les résultats obtenus sont portés sur le tableau 30.

N° de Forage	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	N° de Forage	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)
F1	3,95	F 3537	7,9
F2	1,22	F 3538	1,56
F3	0,88	F 3548	2,6
F4	4,2	F 3552	4,2
F6	1,23	F 3553	2,62
F7	12,35	F 3554	5,02
F 3535	6,91	F 3516	1,72
F 3536	6,58		

Tableau n° 30 : Valeurs de transmissivités d'après la méthode de JACOB.

L'interprétation des essais de pompage à l'aide de cette méthode, a porté sur 15 forages dont 9 ont été réalisés par l'INRH; les essais de pompage de ces 9 forages étaient à 2 paliers de débits enchainés. Afin de respecter les conditions d'applications de l'équation de JACOB, on a utilisé les mesures effectuées au 1er palier (figure 34).

Quant aux 6 autres forages réalisés par la D.H.W. d'Alger, les mesures ont été effectuées lors de l'essai définitif (figure 34).

VII.2. 3. METHODE DE LA DROITE DE REMONTEE DE THEIS

La détermination de la transmissivité d'après la courbe de remontée de THEIS est la plus fiable parce que la remontée exprime mieux le régime naturel des eaux souterraines.

A la fin du pompage, le niveau d'eau remonte à son niveau d'origine ; ceci peut être considéré comme une injection d'eau dans le forage, correspondant à un débit négatif constant.

On mesure le rabattement résiduel Δ' qui représente la différence entre le niveau statique et le niveau mesuré à l'instant t' (temps écoulé depuis l'arrêt du pompage).

Le rabattement résiduel s'exprime comme suit :

$$\Delta' = \Delta - \Delta = \frac{0,183 Q}{T} \left(\log \frac{2,25 T \cdot t}{x^2 \cdot S} - \log \frac{2,25 T \cdot t'}{x^2 \cdot S} \right)$$

On aboutit à l'équation de remontée de THEIS -JACOB qui est de la forme :

$$\Delta' = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t}{t'}$$

Δ = Rabattement à la fin du pompage.

Δ' = Rabattement durant la remontée.

t = Temps écoulé depuis le début du pompage

t' = Temps écoulé depuis l'arrêt du pompage.

Cette équation permet de déterminer la transmissivité T ; il faut ajouter que cette formule n'est valable que pour des valeurs t et t' élevées.

1. Mode Opératoire :

On porte sur un diagramme semi-logarithmique, en ordonnée les rabattements résiduels Δ' et en abscisse t/t' (en échelle logarithmique).

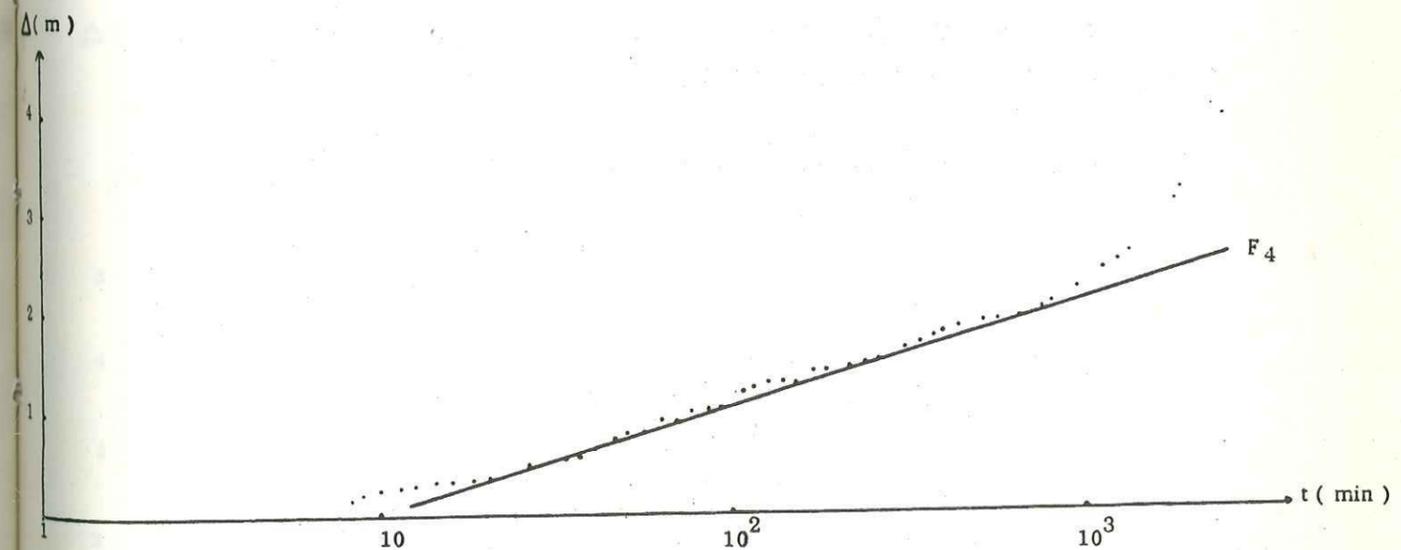
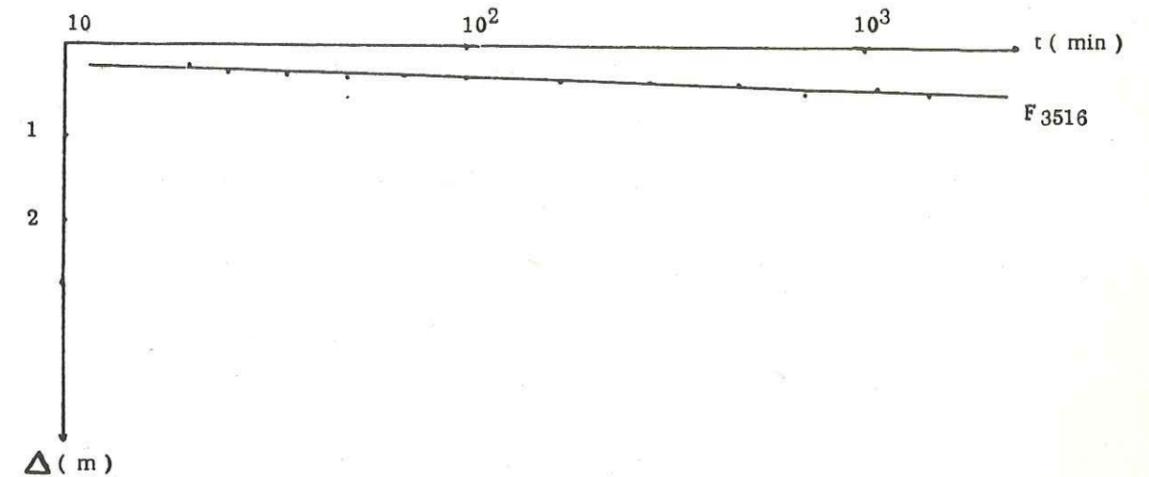


Figure 35: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de la droite de remontée de THEIS

Après la période de post-production (période durant laquelle le niveau de l'eau dans le forage atteint celui de la nappe), les points devraient s'aligner selon une droite moyenne, qui pour un cycle logarithmique aura une pente égale à :

$$a = \frac{0,183 Q}{T}$$

On en déduit ainsi la Transmissivité :

$$T = \frac{0,183 Q}{a}$$

2. Application

Un certain nombre de forages réalisés en 1973, ont vu leurs essais de pompage interprétés par le service hydrogéologique de l'INRH, par la méthode de la courbe de remontée de THEIS - JACOB.

Quant aux forages réalisés par la DHW d'Alger, on les a interprétés en utilisant cette méthode (figure 35).

Les résultats obtenus sont portés sur le tableau n° 31.

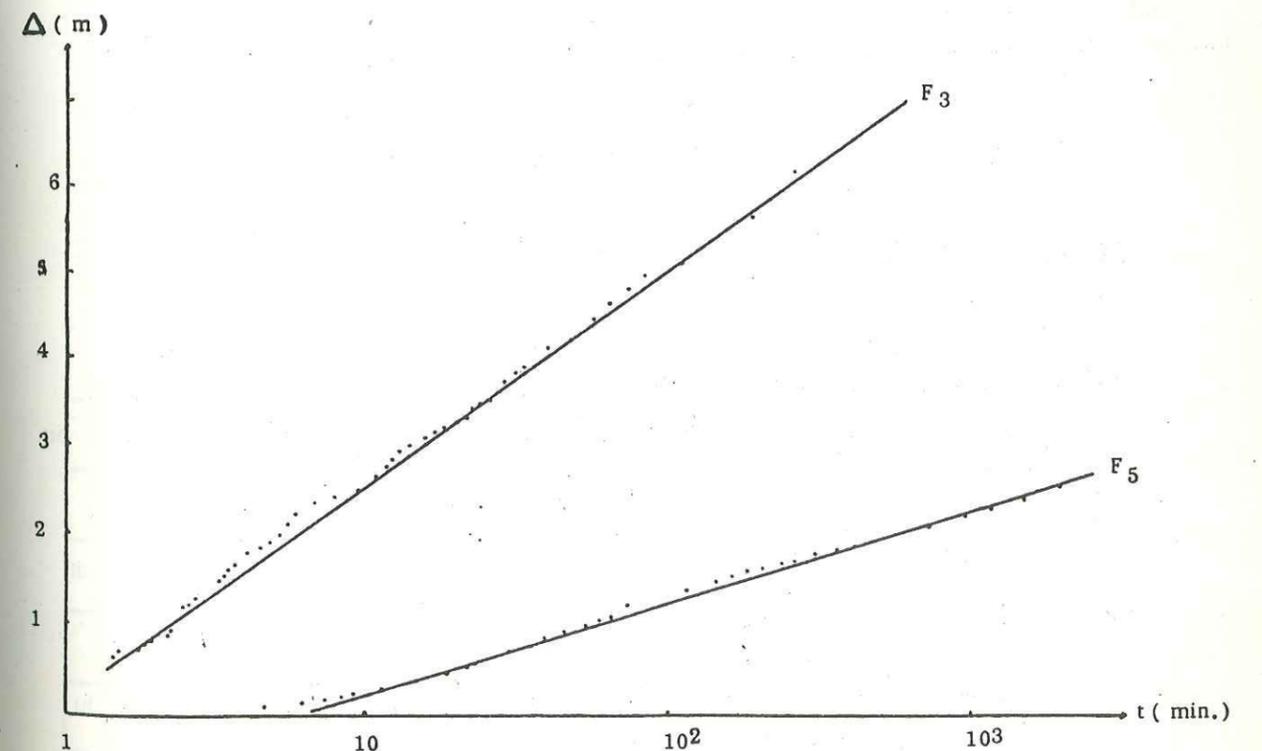
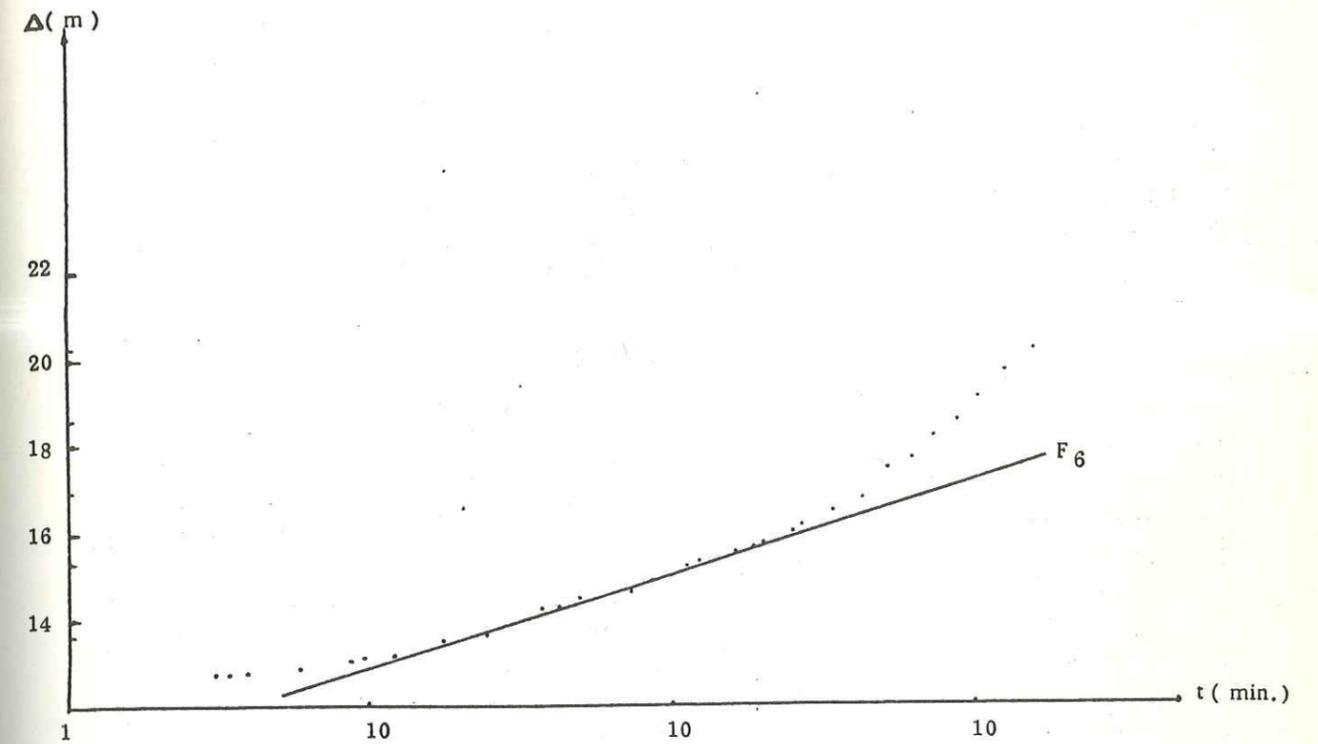


Figure 35: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de la droite de remontée de THEIS

N° FORAGE	T (10 ⁻³ m ² /s)	N° FORAGE	T (10 ⁻³ m ² /s)	N° FORAGE	T (10 ⁻³ m ² /s)
F1	5,2	3335	1,8	3538	1,3
F2	1,71	3336	0,2	3548	2,8
F3	0,99	3373	1,7	3549	7,5
F4	5	3489	13	3551	3
F5	6,9	3490	0,7	3552	5,9
F6	1,22	3491	0,7	3553	2,7
F7	10,5	3492	4,7	3554	3,5
3516	1,79	3519	3,4	3556	5
627	0,7	3535	7,3	3558	1,1
3291	2,8	3536	7,2		
3294	4,4	3537	8		

Tableau n° 31 : Valeurs de transmissivités d'après la méthode de la droite de remontée de THEIS .

VII.3. ETUDE DES SOURCES

Dans la vallée du Bas Isser, une vingtaine de sources ont été inventoriées à la base des diverses terrasses littorales et alluviales (voir carte de situation), dont 15 sont captées à des fins domestiques ou d'irrigation.

Ainsi, 9 sources émergent à la base de la terrasse littorale de 53 m et les autres au pied des terrasses alluviales.

Ces émergences ont fait l'objet de mesures périodiques de débit du début Mars à fin Août, qui sont portées dans le tableau n° 32.

Les débits mesurés sont généralement inférieurs à 1 l/s, sauf pour les sources S8 et S15 où il sont de 3 l/s.

Du fait de l'utilisation d'un seau de 4 litres de capacité, les mesures effectuées aux sources à fort débit (S8 et S15) ont été prises par défaut.

Ces mesures indiquent une baisse des débits du mois de Mars au mois d'Août et traduisent le tarissement de la nappe aquifère.

Les sources au niveau desquelles on note une augmentation sensible des débits (S3 et S10) à partir du mois de Mai, sont des émergences qui présentaient auparavant des fuites et qui ont été réaménagées par la suite.

N° SOURCES	Q (l/s) Mars 1982	Q (l/s) Mai 1982	Q (l/s) Juillet 1982	Q (l/s) Août 1982
S1	0,5	0,41	0,3	0,3
S2	0,17	0,13	0,11	0,09
S3	0,68	1	1	1
S4	0,17	0,18	0,36	0,3
S5	0,57	0,67	0,57	0,57
S6	0,067	0,06	1	1
S7	0,33	0,5	0,16	0,12
S8	3	3	3	2,5
S9	0,8	0,5	0,3	0,26
S10	0,14	0,5	0,4	0,37
S11	0,44 - 0,3	0,36 - 0,25	0,34 - 0,28	0,33 - 0,22
S12	0,44	0,33	0,23	0,15
S13	0,28	0,25	0,2	0,18
S14	0,67	0,36	0,3	0,23
S15	3	3	3	2,5

Tableau n° 32 : Valeurs des débits des sources.

VII.4. CONCLUSION ET TABLEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

Les caractéristiques hydrodynamiques déterminées, sont des paramètres très importants dans l'estimation des réserves en eaux souterraines d'une région.

Pour les nappes aquifère de la vallée du Bas Isser, on a déterminé ces caractéristiques par trois méthodes différentes, portés dans le tableau récapitulatif n° 33.

Ce tableau montre bien la concordance des valeurs de transmissivités déterminées par les différentes méthodes ; on remarque que les valeurs déterminées par la méthode de THEIS sont toujours les plus faibles, mais elles restent toujours du même ordre de grandeur.

Quant à la répartition spatiale de la Transmissivité, on constate qu'elle est de l'ordre de $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la nappe aquifère de la terrasse littorale de 53 m (Puits 265 et 268) et des Dunes anciennes (Puits 423).

Les essais de pompages effectués dans les forages réalisés dans la nappe aquifère des terrasses élevées (forage 3516 et 3519), ont déterminé des transmissivités respectives de $1,7$ et $3,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Quant à la basse vallée du Bas Isser (7ème terrasse alluviale), on remarque que la transmissivité est maximale le long de drainage où elle est de l'ordre de 7 à $13 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ (Forages 3555, 3536, F7, 3489...) et elle diminue avec l'éloignement de cet axe ($0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en puits 197 et $0,34 \cdot 10^{-3}$ au puits 261).

Le coefficient d'emménagement quant à lui, n'a pu être déterminé que pour la nappe aquifère de la 7ème terrasse alluviale, où il varie de $0,03$ à 24% (Forages F6 et 3553).

Pour l'estimation des réserves en eaux souterraines, on utilisera les valeurs de Transmissivités déterminées par la droite de remontée de THEIS -JACOB, car la remontée exprime mieux le régime naturel des eaux souterraines et pour le coefficient d'emménagement une valeur moyenne de 10% , vu la grande dispersion des valeurs déterminées par le service hydrogéologique de l'INRH.

C H A P I T R E H U I T I E M E

EVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

- VIII.1. GÉNÉRALITÉS
- VIII.2. RÉSERVES RÉGULATRICES
- VIII.3. RÉSERVES PERMANENTES
- VIII.4. ÉVALUATION DES APPORTS LATÉRAUX DES TERRAINS
DE BORDURE
- VIII.5. ESTIMATION DES APPORTS ET DES EXHAURES DE LA
NAPPE AQUIFÈRE DE LA TERRASSE LITTORALE DE 53 MÈTRES
- VIII.6. ESTIMATION DES SORTIES VERS LA MER
- VIII.7. EXPLOITATION ACTUELLE ET FUTURE DE LA NAPPE
AQUIFÈRE DE LA 7ÈME TERRASSE ALLUVIALE
- VIII.8. CONCLUSION

VIII.1. GENERALITES

Dans ce chapitre, nous tenterons d'estimer les ressources en eaux souterraines de la vallée du Bas Isser, d'après les résultats obtenus dans les chapitres précédents.

Les réserves en eaux souterraines d'une région donnée, sont classées en quatre catégories.

1. Réserve Régulatrice :

C'est le volume d'eau gravitaire contenu dans la zone de fluctuation de la surface piézométrique d'un aquifère à nappe libre ; elle est calculée par référence à une période définie (fluctuation moyenne annuelle).

2. Réserve Permanente :

C'est la part de la réserve totale non renouvelée. Pour l'aquifère à nappe libre elle est limitée, au sommet, par la surface piézométrique minimale moyenne. Dans les aquifères à nappe captive, réserves permanentes et réserves totales sont pratiquement identiques.

3. Réserve totale :

C'est la quantité d'eau gravitaire, contenue dans le volume d'aquifère délimité dans tous les cas à la base par le substratum et au sommet par le toit imperméable pour l'aquifère à nappe captive et la surface piézométrique maximale moyenne pour celui à nappe libre.

4. Réserve exploitable :

C'est la quantité ou le volume d'eau maximal qu'il est possible d'extraire de la réserve totale d'un aquifère temporairement ou définitivement dans des conditions économiques acceptables et sans porter préjudice à la qualité des eaux et au régime de la nappe. Ce volume doit être inférieur ou égale à la réserve régulatrice, il peut être supérieur si l'on peut envisager une meilleure infiltration des précipitations.

VIII.2. RESERVES REGULATRICES

C'est le volume d'eau qui joue le rôle de régulateur du débit de la nappe et qui représente le volume des fluctuations de cette nappe.

Il s'exprime par l'expression suivante :

$$V_r = A \cdot \Delta h \cdot S$$

A = Surface de la zone considérée

Δh = Variation moyenne du niveau piézométrique de la nappe dans la zone considérée.

S = Coefficient d'emménagement ou porosité efficace de l'aquifère, dans la zone considérée.

Dans notre région d'étude, la valeur de Δh a été déterminée par la moyenne arithmétique des fluctuations constatées dans les puits situés dans chaque zone considérée.

Quant au coefficient d'emménagement déterminé dans le chapitre hydrodynamique des eaux souterraines, il présente une grande dispersion des valeurs calculées ; à cet effet on estime le coefficient d'emménagement moyen à 10 % sur toute l'étendue des formations aquifères, ce qui est une valeur surestimée.

Le tableau n° 34 indique les réserves de chaque zone considérée.

Paramètres Zones Considérées	A (Km ²)	Δh (Mètre)	S %	Réserves Régulatrices (Hm ³)
Souk-el- Had Si Mustapha	13,44	2	10	2,69
Si Mustapha - Ben bata	25,24	1,5	10	3,78
Benbata - Ouled Mendil	17,24	1,8	10	3,10
Terrasse 53 m	8,4	0,2	10	0,17
Dunes Anciennes	5,6	0,5	10	0,28

Tableau n° 34 : Réserves régulatrices

Les réserves régulatrices de la vallée du Bas Isser ont été ainsi estimées à 9,57 Hm³ pour la nappe aquifère de la 7ème terrasse, à 0,17 Hm³ pour celle de la terrasse littorale de 53 m et à 0,28 Hm³ pour celle des dunes anciennes.

Il est à noter que ces valeurs ont été surestimées du fait de l'utilisation d'un coefficient d'emménagement de 10 %.

VIII.3. RESERVES PERMANENTES

C'est le volume d'eau emmagasiné au dessous du niveau le plus bas de l'aquifère (Basses eaux). Ces réserves s'expriment par l'expression suivante :

$$V_p = A \cdot H_p \cdot S$$

A = Surface de la zone considérée

S = Coefficient d'emménagement moyen

$H_p = H - \Delta h$ = Puissance de l'aquifère non affecté par les fluctuations.

H : Epaisseur de l'horizon aquifère déterminée pour chaque zone, par la moyenne arithmétique des épaisseurs mesurées sur les coupes de forages et géoélectriques.

Les fortes épaisseurs sont rencontrées le long de l'axe de drainage, surtout à la confluence de l'Ouest Isser avec l'Ouest Djemaa où elles atteignent 70 m ; ces épaisseurs diminuent vers les bordures de la vallée.

Le tableau n° 35 résume les réserves permanentes calculées dans les diverses zones considérées.

Paramètres Zones Considérées	A (Km ²)	H (Mètre)	Δh (Mètre)	H_p (Mètre)	S (%)	U_p (Hm ³)
Souk-el- Had Si Mustapha	13,44	18	2	16	10	21,5
Si Mustapha-Ben bata	25,24	25	1,5	23,5	10	59,3
Ben bata-Ouled Mendil	17,24	15	1,8	13,2	10	22,7
Terrasse de 53 m	8,4	20	0,2	19,8	10	16,6
Dunes Anciennes	5,6	10	0,5	9,5	10	5,32

Tableau n° 35 : Réserves Permanentes

Les réserves permanentes ont été évaluées à 104 Hm^3 pour la nappe aquifère de la 7ème terrasse, à $16,6 \text{ Hm}^3$ pour celle de la terrasse littorale de 53 m et de $5,32 \text{ Hm}^3$ dans sables des dunes anciennes.

VIII.4. EVALUATION DES APPORTS LATÉRAUX DES TERRAINS BORDURE

Les cartes piézométriques ont mis en évidence une alimentation des différentes nappes aquifères de la vallée du Bas Isser par les terrains de bordure.

Les apports souterrains latéraux correspondent au débit de l'écoulement souterrain, qui passe à travers une section de l'horizon aquifère normale à la direction de cet écoulement.

Le débit est calculé par la formule de DARCY :

$$Q = T.l.i$$

avec T : transmissivité de l'aquifère à l'endroit considéré
l : longueur de la section ou de l'isopièze considérée
i : gradient hydraulique moyen de la zone considérée.

Pour calculer ces apports, on considère d'une part, la longueur des isopièzes qui sont proches et parallèles aux bordures de la vallée et d'autre part, les transmissivités déterminées par essais de pompage sur les quelques puits et forages existants, en bordure de la nappe aquifère.

De ce fait les transmissivités en bordure de la nappe aquifère de la 7ème terrasse alluviale sont estimées à $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ en rive gauche, à $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ entre Isserville et Dar Raïcha et $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ entre Dar Raïcha et Haouch Bel Abbes pour la rive droite.

Les tableaux n°36 et 37 résument les différents apports latéraux arrivant à la nappe aquifère.

- Apports latéraux en rive gauche :

paramètres zones considérées	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	l (m)	i (%)	isopièze (m)	Q (l/s)
Souk el Had-Si Mustapha	0,5	5000	1,2	40	31
Berafaï - Ben bata	0,5	6000	2	25	60
Ben Bata - Ouled Ziane	0,5	4500	2	10	45
Ouled Ziane - Mandoura	0,5	2300	2	5	23

Tableau n°36 : Apports latéraux en rive gauche

Les apports latéraux en rive gauche sont évalués à un débit de 159 l/s soit un apport annuel de $0,16 \times 31,5 \times 10^6 \text{ m}^3 = 5 \text{ Hm}^3$.

- Apports latéraux en rive droite :

Paramètres zones considérées	T ($10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$)	l (m)	i (%)	isopièze (m)	Q (l/s)
Si Mustapha - O.Djemaa	2,4	3100	0,9	25	67
O.Djemaa - Raïcha	2,4	7400	0,9	20	160
Raïcha - Haouch Bel Abbes	0,3	5600	0,9	10	15
Haouch Bel Abbes - O.Mendil	1,5	1950	0,9	5	26

Tableau n°37 : Apports latéraux en rive droite

Les apports latéraux en rive droite sont évalués à 268 l/s, soit un apport annuel de $0,268 \times 345 \cdot 10^6 = 8,40 \text{ Hm}^3$

Les apports latéraux en eaux souterraines qui arrivent à la nappe aquifère de la 7ème terrasse évalués à 427 l/s, soit un volume annuel de $13,40 \text{ Hm}^3$, ne peuvent être qu'une approche parce que d'une part, nous

n'avons pas de valeurs de transmissivités sur tout le pourtour de la nappe aquifère et d'autre part, l'utilisation de la formule de DARCY qui n'est applicable qu'en milieu homogène, isotrope et en régime permanent ; ce qui n'est pas le cas des nappes alluviales.

VIII.5. ESTIMATIONS DES APPORTS ET DES EXHAURES DE LA NAPPE AQUIFERE DE LA TERRASSE LITTORALE DE 53 M

On utilise toujours la formule de DARCY

$$Q = T.l.i.$$

- estimation des apports

On considère l'isopièze se trouvant à l'amont de la terrasse (isopièze 40).

$$l = 3000 \text{ m}$$

$$T.\text{moyen} = 0,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (puits 265 et 268)}$$

$$i.\text{moyen} = 1,3\%$$

$$Q_{\text{app.}} = 19,5 \text{ l/s}$$

- estimation des débits sortants :

On considère l'isopièze 30m se trouvant en aval de la terrasse.

$$l = 3700 \text{ m}$$

$$T.\text{moyen} = 0,5.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$i = 1,3\%$$

$$Q = 36 \text{ l/s}$$

VIII.6. ESTIMATION DES SORTIES VERS LA MER

On utilise la méthode de DARCY qui exprime le débit qui passe à travers une section normale à la direction de l'écoulement des eaux souterraines.

Dans la vallée du Bas Isser, le front de nappe de la 7ème terrasse s'étale sur une distance de l'ordre de 2 km parallèlement à l'embouchure de l'Ouest Isser.

Pour notre cas, on considère l'isopièze zéro.

On va surestimer ce débit d'exhaure en utilisant d'une part, un gradient hydraulique de 1% qui est plus élevé que celui qu'indiquent les cartes piézométriques dans l'axe de la vallée et d'autre part, une transmissivité de $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ correspondant à celle du forage 3373, situé en rive droite, au pied de la terrasse de 53 m.

$$Q = T.l.i.$$

$$T = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$l = 2400 \text{ m}$$

$$i = 1\%$$

$$Q_s = 36 \text{ l/s}$$

VIII.7. EXPLOITATION ACTUELLE ET FUTURE DE LA NAPPE AQUIFERE DE LA 7ÈME TERRASSE ALLUVIALE

Les eaux souterraines de la vallée du Bas Isser sont surtout exploitées pour les besoins en AEP des localités de la région d'une part et pour l'irrigation d'autre part.

On distingue plusieurs types d'exploitation :

1 - On a tout d'abord des puits où l'exploitation des eaux souterraines s'effectue au seau pour un usage domestique ; ils sont nombreux, mais les prélèvements moyens annuels sont négligeables par rapport aux autres types d'exploitation.

2 - On a ensuite les puits équipés de pompes et de moto-pompes, qui servent à l'alimentation en eaux domestiques des fermes isolées et à l'irrigation des parcelles de terres agricoles de la région ; ces puits sont peu nombreux, leur exploitation est maximale en période d'irrigation, c'est à dire 6 mois par an.

Les prélèvements annuels par ce type d'exploitation ont été estimés au minimum à 20 l/s, soit un volume annuel de 0,63 Hm³.

3 - Enfin on a les ouvrages profonds (forages) atteignant le substratum et captant 50 à 70% de l'horizon aquifère.

Ils sont exploités 6 à 12 heures par jour pour les besoins en AEP, AEA et AEI.

Dans ce type d'exploitation, on distingue l'exploitation actuelle et future.

A - Exploitation actuelle

L'enquête faite par les services de l'INRH et de la DHW d'Alger, avec la collaboration des services techniques de la société Anglaise BINNIE - PATNERS sur les débits extraits de la nappe aquifère par les forages gérés par la SONADE, la SEDAL et le service des eaux des communes, nous a permis d'évaluer les prélèvements pour l'année 1980 à 4,23 Hm³, soit un débit moyen de 135 l/s.

B - Exploitation future

L'exploitation future (1984-1985) des 9 forages réalisés en rive gauche par la DHW d'Alger, en vue de renforcer l'AEP de la région Est - Algéroise (Thenia-Zemmouri-Boumerdes) à un débit total minimum de 200 l/s, pour une durée de pompage quotidienne minimum de 6 heures, extraira de la nappe un volume annuel de 1,58 Hm³.

D'autre part, l'exploitation des 18 forages réalisés en rive droite par la DHW de Tizi-Ouzou, pour l'AEP, l'AEA et l'AEI de la rive droite de l'Ouest Isser, peuvent être exploités à un débit total de 654 l/s mais dont on suppose qu'ils seront exploités à 300 l/s (soit 50% de leur capacité), prélèvera de la nappe un volume annuel de 2,37 Hm³, pour une durée de pompage quotidienne de 6 heures.

De ce fait, on constate que l'exploitation future de ces nouveaux forages augmentera les volumes annuels extraits de la nappe à 9 Hm³.

VIII.8. CONCLUSION

L'estimation des réserves en eaux souterraines de la nappe aquifère du Bas Isser (7ème terrasse) a été réalisée sur la base des résultats obtenus dans les chapitres précédents.

Cette évaluation a été surestimée du fait de l'utilisation d'un coefficient d'emmagasinement de 10%. Quant aux apports souterrains et aux sorties vers la mer, ils ont été évalués par la formule de DARCY qui n'est qu'un moyen d'approche, car l'utilisation de cette formule n'est valable qu'en milieu homogène et isotrope d'une part et en régime permanent d'autre part; ce qui n'est pas le cas des formations alluviales lesquelles sont hétérogènes.

Par ailleurs, les réserves exploitées actuellement évaluées à 5 Hm³ par an, sont inférieures aux réserves renouvelables; mais l'exploitation future des nouveaux forages augmentera les volumes prélevés de la nappe à 9 Hm³ au minimum et seront égaux ou supérieurs aux réserves régulatrices.

L'exploitation future de ces nouveaux forages pourra porter préjudice au régime de la nappe; il serait indispensable à ce moment là, de surveiller attentivement le niveau piézométrique de la nappe aquifère qui pourrait baisser et entraînerait l'assèchement des nombreux puits peu profonds qui servent à l'irrigation et à l'AEP des fermes isolées.

Les estimations quantitatives des différentes ressources en eaux souterraines que nous avons effectuées sont à confirmer, et seule une détermination précise du coefficient d'emmagasinement sur toute l'étendue des nappes aquifères, peut nous permettre de parvenir à une meilleure évaluation des ressources en eaux souterraines de la vallée du Bas Isser.

CONCLUSION GENERALE

Dans le cadre de notre étude, consacrée à la paléomorphologie et à l'hydrogéologie de la vallée du bas Isser, nous avons essayé de définir les principaux paramètres hydroclimatologiques, géologiques, piézométriques, hydrodynamiques et physico-chimiques .

L'étude hydroclimatologique a permis, par l'utilisation conjuguée de plusieurs méthodes, de déterminer une lame d'eau moyenne tombée sur les bassin versant du bas Isser de 794mm, dont la plus grande partie a été évapotranspirée, soit 636mm. Quant à la détermination du ruissellement et de l'infiltration, faute de station de jaugeage, on les a estimé par une méthode théorique à 123mm pour le ruissellement et à 45mm pour l'infiltration.

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

Les données géologiques, géophysiques et de forages ont permis d'une part, d'expliquer le mode de formation des différentes terrasses alluviales et litorales et d'autre part, de décrire leur faciès.

Les coupes géoélectriques et de forages ont mis en évidence deux niveaux aquifères d'épaisseur variable, présentant entre eux par endroits, d'étroites relations hydrauliques. Le niveau inférieur est plus grossier, il est constitué de galets et de graviers sableux un peu argileux; alors que le niveau supérieur est plus fin (graviers sableux, argileux par endroits).

C'est sur la base des connaissances acquises sur le remplissage quaternaire, la morphologie du substratum et des formations de bordure, que l'on a pu comprendre le régime des écoulements souterrains des nappes aquifères, contenues dans les diverses terrasses de la vallée du bas Isser.

L'étude piézométrique a permis de définir deux types d'écoulement liés à la configuration morphologique du substratum. On a un écoulement vers la mer et un autre des formations de bordure vers l'axe de la vallée actuelle, correspondant à un axe de drainage. Cet axe coïncide avec le sillon mis en évidence par la carte du toit du substratum. L'allure des courbes hydro-isohypses a permis de distinguer une alimentation des alluvions à partir des terrains de bordure.

L'étude des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines des différentes nappes aquifères de la vallée du bas Isser, leur répartition dans l'espace et dans le temps, tendent à confirmer les résultats et les hypothèses formulées dans le chapitre piézométrie.

L'analogie des différentes cartes dressées durant cette étude, aboutit aux conclusions suivantes :

- L'augmentation de la concentration en sels dissous dans le sens de l'écoulement.
- La mise en évidence de l'axe de drainage, des dépressions du substratum et des zones d'alimentation.

Par ailleurs, les différentes cartes ont montré le rôle important que joue l'évaporation quant à la concentration des eaux en sels dissous.

Les analyses chimiques réalisées sur des échantillons d'eau prélevés dans des puits proches de l'embouchure, indiquent des valeurs en NaCl supérieures à 1g/l et traduisent ainsi une invasion de biseau salé, qui est à surveiller par un suivi continu d'analyses chimiques.

Les fortes teneurs de certains ions (SO_4 , NO_3) qui sont supérieures à la teneur admissible, confèrent à ces eaux un caractère impropre à la consommation.

Le calcul des caractéristiques hydrodynamiques par différentes méthodes, a permis de déterminer des valeurs de transmissivité variant de 0,2 à $12 \cdot 10^{-3}$ m²/s, avec une augmentation des bordures de la vallée vers l'axe de drainage qui coïncide avec une zone à forte épaisseur du réservoir utile (70 à 80 mètres), entre les Issers et Bordj-Ménaïel.

Quant au coefficient d'emménagement, il a été déterminé en certains points, par le service technique de l'INRH ; il varie de 0,03% à 24 %.

Vu la grande différence de ces valeurs, on a jugé utile d'utiliser dans le calcul des ressources en eaux souterraines, un coefficient d'emménagement de 10 % ce qui est une valeur surestimée.

Les estimations quantitatives des diverses ressources que nous avons effectuées, sont à confirmer et seule une détermination du coefficient d'emménagement plus précise sur toute l'étendue des nappes, peut nous permettre de parvenir à une meilleure évaluation des ressources en eaux souterraines de la vallée du bas Isser.

A N N E X E S

- RELEVES PIEZOMETRIQUES

- RESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES

RELEVÉ PIEZOMETRIQUE DE LA NAPPE
ALLUVIALE DU BAS ISSER

N° Pt d'eau	Altitude (m)	M A R S 1982		A O U T 1982		Fluctuations (cm)
		Prof. (m)	NP (m)	Prof. (m)	NP (m)	
153	52,073	3,76	48,313	4,78	47,29	1,02
197	41,582	7,62	34,962	10,92	30,66	3,3
198	47,172	11,59	35,582	12,80	34,37	1,21
180	38,856	6,08	32,776	8,13	30,72	2,05
167	37,438	5,30	32,138	7,36	30,07	2,06
164	36,861	10,78	26,081	12,45	24,41	1,67
95	33,764	4,07	29,694	5,12	28,64	1,05
135	33,675	12,74	20,935	13,57	20,10	0,83
44	31,97	7,05	24,92	9,62	22,35	2,57
40	28,176	8,21	19,966	9,45	18,72	1,24
51	27,84	8,35	19,49	9,52	18,32	1,17
54	30,67	4,04	26,63	5,35	25,32	1,31
185	32,767	1,37	31,397	3,73	29,03	2,36
182	28,75	1,39	27,36	3,41	25,34	2,02
184	28,30	1,42	26,88	3,11	25,19	1,69
188	31,564	2,79	28,774	6,96	24,60	4,17
195	36,64	3	33,64	2,97	33,67	- 0,03
194	30,404	1,30	29,104	2,38	28,02	1,08
187	46,55	3,14	43,41	6,20	40,35	3,06
449	38,20	3,73	34,47	4,82	33,38	1,09
111	38,35	3,94	34,41	5,12	33,23	1,18
68	42,30	5,43	36,87	7,52	34,78	2,09
62	45,850	5,22	40,630	7,62	38,23	2,4
63	36,467	3,22	33,277	4,30	32,16	1,08
60	47,889	0,95	46,939	3,07	44,81	2,12
53	61,63	2,22	59,410	14,25	47,38	12,03

N° Pt d'eau	Altitude (m)	M A R S 1982		A O U T 1982		Fluctuations (cm)
		Prof. (m)	NP (m)	Prof. (m)	NP (m)	
100	46,166	5,42	40,746	9,80	36,36	4,38
99	51,120	6,71	44,41	7,96	43,16	1,25
109	44,809	2,83	41,979	3,08	41,72	0,25
156	52,35	1,94	50,41	1,95	50,4	0,01
166	35,063	2,46	32,603	6,72	28,34	4,26
199	44,458	2,08	42,38	3,70	40,75	1,62
253	35,810	1,33	34,48	7,43	28,38	6,1
139	31,084	3,18	27,904	4,74	26,34	1,56
142	23,945	6,05	17,895	6,33	17,61	0,28
146	25,45	3	22,45	3,95	21,5	0,95
147	26,840	0,20	26,64	1,70	25,14	1,50
152	28,986	3,36	25,626	6,23	22,75	2,87
154	26,630	6,52	20,11	7,28	19,35	0,76
158	38,55	19,47	19,08	20,63	17,92	1,16
162	29,60	1,49	28,11	2,45	27,15	0,96
74	22,710	3,26	19,45	3,82	18,89	0,56
11	20,943	11,10	9,843	11,62	9,323	0,52
30	23,011	11,30	11,711	12,20	10,81	0,9
33	24,650	7,40	17,25	9,42	15,23	2,02
65	17,961	5,65	12,31	6,41	11,55	0,76
58	26,282	0,90	25,382	1,08	25,20	0,18
37	24,784	10,46	14,324	8,75	16,03	- 1,71
39	21,760	0,71	21,05	2,67	19,09	1,96
64	24,940	1,45	23,49	3,93	21,01	2,48
19	20,83	1,15	19,68	4,56	16,27	3,41
28	22,804	4,50	18,304	6,95	15,85	2,45

N° Pt d'eau	Altitude (m)	M A R S 1982		A O U T 1982		Fluctuations (cm)
		Prof. (m)	NP (m)	Prof. (m)	NP (m)	
13	21,125	1,44	19,685	4,05	17,07	2,61
2	22,047	1,75	20,297	2,96	19,08	1,21
4	22,20	3,72	18,48	4,75	17,45	1,03
400	19,35	0,53	18,82	2,94	16,41	2,41
261	20,60	1,71	18,89	2,71	17,89	1
5	18,726	5,57	13,156	6,48	12,24	0,91
10	17,827	10,20	7,627	10,30	7,52	0,1
34,90	12,25	3,92	8,33	5,90	6,35	1,98
103	21,35	2,91	18,44	3,84	17,51	0,93
262	19,50	2,45	17,05	8,24	11,26	5,79
105	12,869	6,57	6,299	6,77	6,09	0,20
130	12,85	4,47	8,38	7,21	5,64	2,74
204	12,75	6,05	6,7	7,43	5,32	1,38
201	20,05	2,67	17,38	5,08	14,97	2,41
216	16,599	8,85	7,749	10,04	6,55	1,19
210	9,968	0,76	9,208	2,21	7,75	1,45
213	9,387	1,52	7,867	3,48	5,9	1,92
217	7,99	2,20	5,79	4,35	3,64	2,15
232	43,593	17,12	26,473	17,34	26,25	0,22
222	10,65	1,15	9,5	1,56	9,08	0,41
226	7,570	1,33	6,23	6,01	1,56	4,68
218	28,92	3,96	24,96	5,18	23,74	1,22
230	3,06	2,42	0,64	4,22	1,16	1,80
423	5,6			4,57	1,03	
247	1,285	2,52	- 1,235	3,86	- 2,58	1,34
251	4,15	2,15	2	2,52	1,63	0,37

N° Pt d'eau	Altitude (m)	M A R S 1982		A O U T 1982		Fluctuations (cm)
		Prof. (m)	NP (m)	Prof. (m)	NP (m)	
78	14,536	6,92	7,616	7,91	6,62	0,99
82	11,126	6,90	4,226	8,52	2,6	1,62
83	11,97	3,38	8,59	7,40	4,3	4,02
336	41,65	2,38	39,27	4,22	37,43	1,84
86	10,508	1,67	8,838	4,60	5,9	2,93
345	48,70	8,42	40,28	8,76	39,94	0,34
87	8,59	0,77	7,82	2,83	5,76	2,06
88	6,35	2,65	3,7	3,75	2,6	1,1
267	42,255	11,82	30,435	12,23	30,02	0,41
92	0,769	1,95	- 1,18			
91	3,95	2,18	1,77	2,70	1,25	0,52
316	62,65	7,65	55	9,71	50,94	2
403	40,25	8,72	31,53	8,91	31,34	0,19
268	48,361	9,10	39,261	9,01	39,35	- 0,09
320	15,85	1,91	13,94	2,65	13,2	0,74
358	80,58	15,10	68,48	15,77	67,81	0,67
265	53,703	11,55	42,153	11,45	42,25	- 0,1
404	42,35	10,97	31,38	10,92	31,43	- 0,05
266	5,42	1,92	3,5	2,60	2,82	0,68
409	46,77	8,92	37,85	9,10	37,67	0,18
407	43,35	8,17	35,18	8,92	34,43	0,75
374	61,65	16,98	44,67	18,45	43,2	1,47
378	41,85	13,48	28,37	16,40	25,45	2,92
420	40,86	13,49	27,37	16,58	24,28	3,09
153	50,15	1	49,15	3,29	46,86	2,29
255	52,85	24,05	28,8	24,58	28,27	0,53

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES D'EAUX

N° du puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na + K mg/l	Cl mg/l	S04 mg/l	H CO3 mg/l	NO3 mg/l	Cond. mmhos/cm	Σ ions mg/l	PH	rMg/rCa	rS04/r Cl	rNa/rCn	i.e.b.
153	03.82	94	83	159	205	198	422	26	1,8	1187	7,6	1,47	0,707	1,42	-0,08
	08.82	46	83	135	240	195	195	55	1,4	949	8	3	0,6	2,48	0,15
198	03.82	270	88	81	240	558	256	91	2,4	1584	8,1	0,54	1,66	0,24	0,50
	08.82	158	150	97	235	610	275	30	2,4	1555	8,1	1,58	1,92	0,48	0,39
180	03.82	66	37	40	55	125	164	74	0,8	561	7,9	0,94	1,73	0,51	- 0,03
	08.82	98	68	47	50	148	415	41	1,2	867	7,8	1,16	2,21	0,41	- 0,05
167	03.82	48	31	121	150	88	159	60	1	657	7,9	1,08	0,43	2,12	- 0,18
	08.82	74	66	57	95	105	329	35	1	761	7,5	1,49	0,81	0,42	0,11
164	03.82	140	85	102	156	288	458	57	1,9	1286	7,5	1,01	1,33	0,61	0,02
	08.82	114	116	102	220	225	592	53	2,3	1422	7,4	1,7	0,76	0,77	0,29
135	03.82	280	150	154	341	625	543	94	3,3	2487	7,5	0,89	1,35	0,46	0,31
	08.82	180	216	166	540	420	659	31	3,1	2140	7,2	2	0,57	0,79	0,53
44	03.82	94	84	60	90	128	458	75	1,4	989	7,5	1,49	1,08	0,53	0
	08.82	94	92	72	105	150	580	81	1,8	1174	7,4	1,64	1,03	0,64	0
40	03.82	94	91	79	220	105	360	90	1,6	1039	7,4	1,62	0,35	0,70	0,45
	08.82	136	132	99	360	88	531	30	2,2	1376	7,3	1,74	0,18	0,60	0,58
54	03.82	114	80	215	360	320	207	100	2,2	1396	7,9	1,17	0,66	1,58	0,09
	08.82	140	170	210	440	413	488	6	2,9	1867	7,5	2,1	0,69	1,24	0,27
185	03.82	114	54	84	120	240	305	36	1,4	953	7,5	0,79	1,47	0,61	- 0,02
	08.82	80	96	114	195	215	360	55	1,6	1115	7,5	2	0,82	1,2	0,11
194	03.82	54	96	147	185	298	262	99	1,7	1141	8	2,96	1,19	2,07	- 0,07
	08.82	116	108	120	225	250	464	28	2,1	1311	7,4	1,55	0,83	0,83	0,19

N° du Puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na + K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	Cond. m.m.hos/cm	Σ ions mg/l	PH	r Mg / r Ca	r SO4 / r Cl	r Na / r Ca	i.e.b
111	03.82	150	144	209	565	513	122	0	2,9	1703	7,6	1,6	0,67	1,19	0,43
	08.82	116	230	294	650	495	525	8	3,7	2318	7,5	3,3	0,56	2,15	0,31
68	03.82														
	08.82	96	106	101	145	393	354	0	1,8	1195	7,2	1,83	1,98	0,92	-0,02
62	03.82	114	30	41	55	145	287	28	1	700	7,8	0,44	2	0,3	-0,02
	08.82	98	78	42	45	133	500	47	1,4	943	7,7	1,33	2,15	0,35	-0,03
63	03.82	94	72	52	92	143	440	11	1,3	904	7,6	1,28	1,11	0,45	0,18
	08.82	104	110	71	200	165	500	33	1,8	1183	7,5	1,77	0,61	0,58	0,46
53	03.82	50	73	162	185	165	390	31	1,6	1056	7,9	2,44	0,67	2,68	-0,16
	08.82														
100	03.82	64	82	91	121	123	384	77	1,4	942	7,4	2,13	0,76	1,12	-0,04
	08.82	106	92	124	270	183	354	43	1,8	1172	7,4	1,45	0,5	1,02	0,29
109	03.82														
	08.82	66	44	45	50	163	287	8	1	663	7,7	1,12	1,64	0,58	-0,07
166	03.82	136	92	149	295	263	433	95	2,1	1463	7,8	1,13	0,66	0,93	0,23
	08.82	108	142	152	480	195	311	87	2,4	1475	7,7	2,19	0,3	1,19	0,52
199	03.82	118	30	92	70	163	342	51	1,2	866	7,5	0,42	1,7	0,66	-0,2
	08.82	88	94	129	205	218	482	14	1,8	1230	7,5	1,77	0,78	1,23	0,05
253	03.82	150	70	96	240	348	177	95	1,8	1176	7,6	0,77	1,06	0,49	0,41
	08.82	114	107	115	240	163	525	5	1,8	1269	7,5	1,56	0,49	0,77	0,29
139	03.82	94	78	122	245	163	329	31	1,6	1052	8,1	1,32	0,49	1,04	0,25
	08.82	108	122	145	460	0	409	30	2,1	1274	7,7	1,89	0,19	1	0,55

222

N° du Puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na + K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	Cond. m.m.hos/cm	Σ ions mg/l	PH	r Mg / r Ca	r SO4 / r Cl	r Na / r Ca	i.e.b
146	03.82	90	59	50	75	130	390	21	1,2	815	7,5	1,09	1,26	0,44	0,007
	08.82	74	71	48	60	208	323	30	1,2	814	7,5	1,59	2,47	0,63	-0,03
152	03.82	64	76	52	85	178	287	94	1,2	837	7,8	1,97	1,54	0,69	0,08
	08.82	98	118	57	190	456	104	26	1,6	1049	7,7	2,02	1,76	0,49	0,56
154	03.82	90	32	75	125	98	220	65	1	705	7,5	0,6	0,57	0,71	0,09
	08.82	78	73	77	145	250	189	21	1,3	833	7,8	1,56	1,27	0,85	0,20
162	03.82	90	54	159	235	93	384	76	1,6	1091	7,5	1	0,29	1,49	-0,02
	08.82	106	128	105	305	456	140	33	2,1	1277	7,8	2,02	1,10	0,87	0,45
30	03.82	60	68	100	110	255	268	0	1,2	861	8	1,9	1,71	1,30	-0,11
	08.82	116	161	52	180	504	311	0	2,1	1324	7,6	2,31	2,06	0,40	0,57
39	03.82	64	24	54	80	95	220	153	0,8	552	7,6	0,63	0,87	0,69	0,01
	08.82	78	97	122	240	351	183	0	1,6	1071	7,9	2,08	1,07	1,23	0,25
13	03.82	68	72	82	140	60	421	0	1,3	843	7,9	1,76	0,33	1	0,1
	08.82	70	115	82	180	403	195	0	1,6	1045	7,9	2,74	1,65	0,97	0,31
2	03.82	126	84	78	115	325	366	49	1,7	1143	7,5	1,11	2,13	0,51	-0,007
	08.82														
4	03.82	120	78	192	262	400	250	99	2,1	1401	7,5	1,08	1,12	1,32	-0,06
	08.82	120	96	81	115	290	451	35	1,8	1188	7,2	1,33	1,88	0,58	-0,02
400	03.82	106	59	85	140	100	403	76	1,4	969	7,5	0,92	0,56	0,68	0,08
	08.82	90	88	57	75	400	220	12	1,4	942	7,9	1,62	3,86	0,51	-0,03
261	03.82	128	19	126	105	128	354	99	1,4	959	7,3	0,25	0,9	0,84	-0,24
	08.82	103	58	86	100	155	403	63	1,4	969	7,4	0,92	1,14	0,71	-0,08

223

N° du puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na + K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	Cond. m.m.hos/cm	Σ ions mg/l	PH	rMg/rCa	rSO4/rCl	rNa/rCa	i.e.b
5	03.82	196	121	114	174	488	488	97	2,5	1678	7,4	1,03	2,08	0,49	0,003
	08.82	138	217	152	335	855	287	0	3,1	1984	7,8	2,62	1,89	0,93	0,31
103	03.82	86	54	97	115	125	348	76	1,3	901	8,3	1,05	0,81	0,43	-0,095
	08.82	64	108	104	156	307	317	71	1,7	1127	7,6	2,81	1,45	1,4	-0,008
105	03.82	180	32	47	89	163	427	78	1,4	1016	7,7	0,3	1,36	0,21	0,2
	08.82	108	109	131	220	664	323	0	2,4	1535	8,3	1,72	2,16	1,02	0,1
204	03.82	46	56	122	145	135	256	58	1,2	818	7,8	2,04	0,71	2,22	-0,14
	08.82	94	104	129	170	456	281	4	1,9	1178	7,8	1,85	1,96	1,15	-0,05
201	03.82	106	80	83	175	140	474	10	1,6	1068	7,5	1,22	0,59	0,62	0,29
	08.82	84	113	79	225	360	165	3	1,4	1029	7	2,24	1,19	0,76	0,46
210	03.82	76	53	67	89	63	348	59	1,1	755	7,6	1,16	0,56	0,74	-0,04
	08.82	84	79	70	105	360	183	32	1,3	913	7,8	1,57	2,5	0,71	0
213	03.82	144	60	133	210	248	336	98	1,8	1229	7,6	0,69	0,88	0,78	-0,034
	08.82	58	95	98	190	557	159	22	2,1	1279	7,5	1	2,15	0,52	0,24
232	03.82	76	29	104	156	170	140	73	1,1	748	8,3	0,63	0,80	1,16	-0,014
	08.82	66	22	111	142	95	293	62	1,2	821	7,5	1,87	0,50	1,45	-0,1
222	03.82	100	85	125	170	218	474	0	1,7	1172	7,8	1,42	0,94	1,04	-0,04
	08.82	76	98	93	140	284	250	19	1,6	1060	7,8	2,16	2,05	0,97	0
218	03.82	120	53	133	190	245	275	84	1,6	1100	7,6	0,73	0,94	0,93	-0,03
	08.82	126	116	94	235	471	195	35	2,1	1272	8	1,54	1,49	0,59	0,41
230	03.82	100	119	317	653	233	342	1	2,9	1765	7,8	1,98	0,26	2,64	0,26
	08.82	118	145	393	650	408	393	69	3,1	2180	7,5	2,05	0,46	2,68	0,09

224

N° du puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na + K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	Cond. m.m.hos/cm	Σ ions mg/l	PH	rMg/rCa	rSO4/rCl	rNa/rCa	i.e.b
247	03.82	90	107	56	144	185	519	11	1,6	1082	7,5	1,98	1,19	0,53	0,25
	08.82	146	114	100	225	576	183	9	2,2	1363	7,8	1,30	1,9	0,51	0,35
251	03.82	70	96	381	620	163	427	17	2,8	1774	7,8	2,29	0,19	4,57	0,07
	08.82	40	106	404	590	103	549	2	2,8	1794	8	4,4	0,12	8,65	-0,08
78	03.82	64	47	64	50	183	281	0	1	689	6,7	1,22	2,71	0,84	-0,16
	08.82	90	83	54	55	145	482	76	1,5	985	7,5	1,53	1,5	0,51	-0,03
82	03.82	30	42	161	195	0	366	7	1,3	801	8,2	2,33	0	4,47	-0,23
	08.82	20	60	131	165	101	287	2	1,1	766	8,3	5	0,43	5,4	-0,15
336	03.82	226	31	102	255	170	354	85	1,8	1223	7,8	0,23	0,49	0,33	0,43
	08.82														
86	03.82	70	55	109	250	83	195	73	1,3	835	7,7	1,31	0,24	1,34	0,33
	08.82	80	94	97	215	155	317	55	1,5	1036	7,7	1,95	0,52	1,05	0,33
345	03.82	80	74	93	155	218	232	100	1,4	952	8	1,55	1,02	0,95	0,11
	08.82	90	109	116	215	336	317	37	2,1	1290	7	2,02	1,15	0,74	0,2
88	03.82	60	42	82	150	85	177	83	0,9	669	7,8	1,17	0,38	1,1	0,17
	08.82	76	67	98	174	70	348	44	1,3	876	7,4	1,47	0,31	1,05	0,18
267	03.82	64	53	147	120	290	146	96	1,3	916	7,4	1,38	1,74	0,94	-0,16
	08.82	86	80	75	160	403	55	39	1,3	898	6,9	1,56	1,87	0,74	0,29
92	03.82	60	82	326	487	300	238	0	2,4	1493	8,3	2,27	0,45	4,47	-0,02
	08.82														
91	03.82	180	79	292	710	133	336	0	2,8	1730	7,5	0,73	0,14	1,33	0,38
	08.82	86	104	373	830	0	266	10	2,8	1611	7,6	2,02	0	3,58	0,32

225

N° du Puits	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	Cond. mm hos/cm	Σ ions mg/l	PH	rMg/rCa	rSO4/rCl	rNa/rCa	i.e.b
403	03.82	84	49	42	80	180	122	100	1	657	7,4	0,98	1,61	0,41	0,22
	08.82	75	53	62	100	100	287	11	1,1	739	7,2	1,16	1,11	0,68	0,07
268	03.82	60	41	41	65	100	256	16	0,8	579	7,4	1,13	1,11	0,47	0,11
	08.82	74	68	49	70	168	354	2	1,1	785	7	1,54	1,7	0,54	0,27
320	03.82	64	42	82	170	0	238	52	1	648	7,7	1,09	0	1,01	0,27
	08.82	70	88	89	185	283	220	25	1,5	960	7,5	2,09	1,13	1,09	-0,23
358	03.82	44	28	155	165	103	195	98	1,1	788	7,3	1,04	0,46	2,95	-0,29
	08.82	54	47	158	160	302	177	67	1,5	969	8	1,44	1,4	2,52	-0,23
265	03.82	50	34	22	30	50	262	17	0,6	465	7,2	1,12	1,25	0,32	-0,07
	08.82	60	58	30	35	158	268	0	0,9	609	7,2	1,6	1,2	0,4	-0,03
404	03.82	50	32	44	48	128	110	97	0,7	509	7,2	1,08	1,87	0,76	-0,08
	08.82	56	43	41	81	95	122	78	0,8	516	6,8	1,29	0,87	0,61	0,26
266	03.82	100	22	40	75	98	268	0	0,9	603	7,5	0,36	0,95	0,34	0,19
	08.82	78	42	64	95	88	262	58	1	687	7,5	0,91	0,67	0,69	0
469	03.82	76	59	88	110	120	244	88	1,2	785	8,3	1,29	1,26	0,95	-0,07
	08.82	73	40	84	100	113	281	57	1,1	749	7,4	0,89	0,86	0,97	-0,1
374	03.82	64	44	35	60	55	195	90	0,8	543	7,9	1,16	0,65	0,41	0,18
	08.82	76	50	31	55	150	128	51	0,9	620	7,7	1,11	0,67	0,29	0,71
423	03.82														
	08.82	50	37	22	30	150	207	2	0,7	498	7	1,24	3,75	0,36	-0,02

226

N° de sources	Date	Ca mg/l	Mg mg/l	Na+K mg/l	Cl mg/l	SO4 mg/l	HCO3 mg/l	NO3 mg/l	Cond. m.m.hos/cm	Σ ions mg/l	PH	rMg/rCa	rSO4/rCl	rNa/rCa	i.e.b
S12	03.82	146	101	85	245	183	238	11	2,2	1009	7,2	1,4	0,55	0,5	0,46
	08.82	134	112	107	280	245	397	31	2	1306	7,5	1,4	0,65	0,67	0,42
S11	03.82	96	49	96	210	60	354	22	1,3	887	7,3	0,85	0,2	0,85	0,30
	08.82	56	110	87	135	399	134	24	1,4	945	8	3,28	2,18	1,29	0,03
S10	03.82	108	71	101	310	3	336	89	1,6	1018	7,3	1,09	0,01	0,81	0,49
	08.82	86	90	119	315	144	275	35	1,7	1064	7,4	1,74	0,34	1,19	0,43
S7	03.82	70	47	44	75	105	189	94	0,9	624	8	1,11	1,05	0,54	0,10
	08.82	98	97	40	85	514	85	17	1,4	936	7,7	1,65	4,46	0,35	0,29
S5	03.82	100	47	39	100	173	153	99	1	711	7,9	0,78	1,29	0,34	0,39
	08.82	90	90	35	85	408	79	17	1,2	804	7,7	1,67	3,57	0,31	0,42
S1	03.82	76	48	163	170	238	299	76	1,7	1070	7,4	1,05	1,04	1,82	-0,2
	08.82	68	74	157	202	168	421	25	1,7	1115	7,2	1,82	0,61	1,97	-0,09
S13	03.82	86	37	85	125	100	207	100	1,1	740	7,7	0,72	0,6	0,81	-0,014
	08.82	78	90	80	115	408	122	76	1,5	968	7,8	1,92	2,66	0,85	-0,017
S15	03.82	76	46	94	225	33	226	61	1,1	761	7,7	1	0,11	1,05	0,37
	08.82	80	58	105	280	0	305	16	1,4	930	7,6	1,2	0	1,12	0,43
S14	03.82	68	48	61	105	125	226	86	1	711	7,3	1,18	0,87	0,76	0,13
	08.82	96	74	79	135	158	390	59	1,6	991	7,2	1,29	0,84	0,7	0,11

227

BIBLIOGRAPHIE

- ARMAND C. (1978).- Régime des eaux souterraines et paléomorphologie, géologie et hydrogéologie de la basse vallée de l'Arve (Haute Savoie) Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Grenoble.
- AYME A. (1948).- Contribution à l'étude des terrasses entre Bordj-el-Bahri (ex. Cap Matifou) et l'oued Isser. B.S.H. NAT.
- BOUILLON J.P., DURAND DELGA M., GELAND J.P., LEIKINE M., RAOULT J.F., RAYMOND D., TEFIANI M., VILLA J.M. (1970).- Définition du flysch massylien et du flysch maurétanien au sein des flyschs allochtones de l'Algérie. C.R.Acd. Paris, tome 270.
- CAIRE A. (1956).- Données et hypothèses relatives aux nappes du Tell algérien. B.S.G.F. tome 6 fascicule 7 et 9.
- CASTANY G. (1967).- Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod, Paris
- C.G.G. (1966 et 1973) Etude hydrogéologique par prospection électrique de la plaine alluviale de l'oued Isser.
- COUELLE A. (1971).- Flysch du flanc sud du Djurdjura, composition, relations structurales et position paléogéographique. B.S.G.A. Nulle série Bulletin n° 4.
- COUELLE A. (1971).- Existence d'une nappe à matériel tellien dans les flyschs du versant sud du Djurdjura, un nouvel argument en faveur de l'allochtonie du massif de grande Kabylie; B.S.H. NAT. Afrique du Nord tome 62.
- COUELLE A. (1971).- Variations longitudinales de faciès dans les flyschs du versant sud du Djurdjura. Critique de la définition du flysch maurétanien. B.S.H. Nat, tome 62 fascicule 2 et 3.
- COUELLE A. (1975).- Mise au point sur un flysch externe du flanc du Djurdjura. B.S.G.A. Nouvelle série n° 5.
- DEHAYS H. (1980).- Paléomorphologie et circulation des eaux souterraines. Etude hydrogéologique des ressources en eaux de la haute vallée de la Fure et de ses relations avec les bassins du Paladru et de l'Ainan. Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université de Grenoble.
- DE LA MOTTE (1911).- Note sur les anciennes plages et terrasses du bassin versant de l'oued Isser.
- FLANDRIN J. (1937).- Présence du Sénonien dans la chaîne calcaire kabyle au Nord-Est de Lakhdaria. C.R.S.S.G.F. n° 2.
- FLANDRIN J. (1937).- Attribution à l'Oligocène d'une partie des terrains Nummulitiques de la Kabylie du Djurdjura et de son prolongement occidental. C.R.A.S. tome 206.
- FLANDRIN J. (1938).- Les grands traits structuraux de la chaîne du Djurdjura. C.R.A.S. tome 206.
- FLANDRIN J. (1948).- Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien. Bulletin du service de la carte d'Algérie. 2ème série stratigraphique n° 19.

- GLANGEAUD L. (1939).- Terrains secondaires d'Alger Nord et d'Alger Sud (région tellienne) B.S.C.G. Algérie. Note explicative des cartes géologiques au 1/500000.
- GLANGEAUD L. et MURAOUR P. (1953).- Signification morphologique et stratigraphique des cailloutis pontiens de Bou Naha (Thénia-Tizi ouzou) C.R.A.S.T. tome 237 n° 20.
- GRAVELLE M. (1955).- Contribution à l'étude du massif volcanique du Cap Djinet. B.S.H.Nat. Doubs. n° 59.
- HANNACHI A. (1981) Relations entre aquifères profonds et superficiels. Hydrogéologie de la vallée de l'oued M'Zi à l'Est de Laghouat (Algérie) Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Grenoble.
- HERNANDEZ J. (1979).- Le volcanisme calco-alkalin miocène de la région d'Alger, pétrologie et signification géodynamique. B.S.G.F. tome XXI n° 1.
- KHAMMAR C. (1981).- Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Kébir ouest (Algérie). Thèse de Doctorat de 3ème cycle Université de Grenoble.
- KRUSEMAN G.P. et DERIDDER N.A. (1974).- Interprétation et discussion des pompages d'essai. "international Institute for land reclamation and Improvment wagenungen the Netherlands". Traduit par A. MEILHAC.
- LAMBERT A. (1945).- Transgression sénonienne de la région tellienne du département d'Alger. C.R.A.S.A.S. tome 220.
- MATTAUER M. (1951).- Présence de structures obliques dans l'Atlas tellien de la province d'Alger. B.S.G.F. I.
- MATTAUER M. (1956).- Essai de coupe du Tell algérien. B.S.G.F. TOME 6 fascicule 1à3.
- POLVECHE J., BASSETO D., GLANGEAUD L., MATTAUER M. (1945).- Nouveaux affleurements de la "nappe du flysch" dans l'Algérois et l'Oranie. C.R.S.S.G.F. fascicule 2.
- RICARD J. (1979).- Evaluation des ressources d'un aquifère d'après l'analyse du bilan d'eau. Application au système aquifère de Tebessa Morsott (Algérie). Thèse de Doctorat de 3ème cycle. Université de Montpellier.
- ROCHE M. (1963).- Hydrologie de surface. Ed. Gauthier. Villars. Paris.
- ROYER L. (1937).- Relations qui existent entre les roches gneissiques, granitiques et rhyolitiques du Djebel Bou-Arous au Nord de Thénia. C.R.S.A.S.
- SELTZER P. (1946).- Le climat de l'Algérie. Etude publiée avec le concours de LASSERE A., GRANDJEAUD A., AUBERTY R., FOUREY A. I.M.P.G.A.
- SCHOELLER H. (1934).- Relations entre la concentration en Chlorures des eaux souterraines et les échanges de bases sur les terrains qui les renferment. B.S.G.F. 5ème série tome IV.

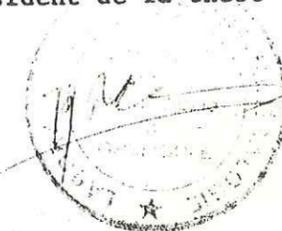
- SCHOELLER H. (1934).- Les échanges de bases des eaux souterraines vadoses. B.S.G.F. 5ème série tome IV.
- SCHOELLER H. (1948).- Les variations de la composition chimique de l'eau dans les nappes souterraines et les modifications de la composition chimique de l'eau dans une même nappe. Extrait des PV des séances de l'Assemblée Générale d'Oslo (19-28 août 1948) de l'Union géodésique et géophysique internationale.
- SCHOELLER H. (1962).- Les eaux souterraines, Hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Ed. Masson, Paris.
- SONAREM (Inédit) Levé géologique de la feuille de Thénia et de Lakhadaria au 1/50000 dans le cadre des travaux de recherche minière.
- TEFIANI M. (1967).- Le flysch crétacé-nummulitique de l'unité du Djebel Zima. B.S.C.G.A. n° 35.
- TEFIANI M. (1968).- Unité des Tamarkénit, nouvel élément de la chaîne calcaire algéroise. C.R.S.S.G.F. fascicule 2.
- THIEBAUT J. (1949).- Description du contact entre le granodiorite de Thénia et le cristallophillien. C.R.S.S.G.F. n° 4.

Dernière page d'une thèse

VU

Grenoble, le 22-183

Le Président de la thèse



Vu, et permis d'imprimer,



Grenoble, le

Le Président de l'Université
Scientifique et Médicale

Tanche



Le Président

M. TANCHE

RESUME

MOTS CLES :

Atlas tellien - vallée du bas Isser (Algérie) - bilan hydrologique - terrasses alluviales et marines - nappes aquifères - piézométrie - physico-chimie des eaux - réserves en eaux souterraines.

Après avoir décrit le cadre géologique de la région d'étude, située au sein de l'ensemble géologique de l'Atlas tellien, zone plissée alpine de l'Afrique du Nord, sont tout d'abord, traitées les données hydroclimatologiques nécessaires à l'établissement du bilan hydrologique du bassin versant du bas Isser.

La cartographie des formations quaternaires a mis en évidence cinq terrasses marines et sept terrasses alluviales ; ces dernières sont disposées en gradins étagés décroissant d'Ouest en Est.

C'est sur la base des données géophysiques (prospection électrique) et de forages, que sont d'une part décrits les dépôts de ces diverses terrasses, où l'on distingue deux horizons aquifères, constitués de galets, de graviers et de sables peu ou pas argileux, présentant par endroits d'étroites relations hydrauliques entre eux et d'autre part, schématisé la morphologie du substratum marneux.

La minéralisation des eaux souterraines des nappes contenues dans ces terrasses augmente dans le sens de l'écoulement des eaux ; leurs faciès chimiques sont essentiellement sulfatés et bicarbonatés magnésiens ou calciques ; à l'embouchure ils sont chlorurés sodiques ou magnésiens.

L'interprétation des cartes physico-chimiques établies montre que la minéralisation des eaux souterraines est due à :

- Une concentration par évaporation très importante.
- Une concentration en sels au contact des dépôts alluvionnaires et littoraux tout au long de leur trajet souterrain.
- A l'invasion de l'eau de mer dans la zone proche de l'embouchure de l'oued Isser.

La piézométrie des différentes nappes établie en hautes et en basses eaux a permis de déterminer les divers types d'écoulement et les zones d'alimentation des nappes souterraines.

Le résultat des essais de pompages effectués ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (T et S) des nappes, constituant les diverses terrasses, lesquels couplés à ceux obtenus lors de l'étude piézométrique ont permis d'estimer :

- Les diverses réserves en eaux souterraines,
- Les apports latéraux souterrains,
- Les sorties vers la mer.