



**HAL**  
open science

# Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam (Algérie)

Mohamed-Saïd Bennabi

► **To cite this version:**

Mohamed-Saïd Bennabi. Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam (Algérie). Hydrologie. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1985. Français. NNT: . tel-00759401

**HAL Id: tel-00759401**

**<https://theses.hal.science/tel-00759401>**

Submitted on 30 Nov 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.

BENNABI (M.S.)  
EX. n° 1**THESE**

présentée à

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

pour obtenir le titre de

**DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE  
de Géologie Appliquée**

(Option Hydrogéologie)

**CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE  
DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL - SOUMMAM (ALGERIE)**

29 MAI 1985

par Mohamed-Said BENNABI

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1  
INSTITUT DE GEOLOGIE  
DOCUMENTATION  
RUE MAURICE-GIGNOUX  
E 38031 GRENOBLE CEDEX  
TEL. (76) 87.46.42

Soutenue le 23 MAI 1985 devant la Commission d'Examen.

R. BARBIER

Professeur Emérite à l'USMG de Grenoble

Président

J. SARROT-REYNAULD

Professeur à l'USMG de Grenoble

Rapporteur

J.C. FOURNEAUX

Maître Assistant à l'USMG de Grenoble

Examineur

J. DAZY

Assistant à l'USMG de Grenoble

Examineur

THESE de 3<sup>e</sup> CYCLE  
de *Géologie Appliquée*  
(option Hydrogéologie)

*Titre de l'ouvrage :*

**CONTRIBUTION A L'ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE  
DE LA VALLÉE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM  
(ALGÉRIE)**

*Nom de l'auteur :* Mohamed-Said BENNABI

*Établissement :* Université Scientifique et Médicale de Grenoble

**RÉSUMÉ**

— La vallée de l'oued Sahel Soummam, dépression située à l'Est du domaine de l'Atlas tellien est une zone très complexe formée d'une superposition de nappes d'épaisseur relativement faible, par rapport à leur extension.

— La carte géomorphologique des formations quaternaires met en évidence quatre terrasses alluviales très inégalement réparties sur les deux rives de l'oued.

— L'étude des données hydroclimatologiques, dont la pluviométrie, l'évapotranspiration et le ruissellement ont permis de tenter l'établissement d'un bilan hydrologique.

— Les données de l'étude géophysique complétée par la description de quelques forages mécaniques, donnent une estimation sur le volume du réservoir aquifère formé aussi bien par les alluvions quaternaires que par le Miocène conglomératique.

— L'étude piézométrique a montré deux directions principales d'écoulement avec peu de variations dans l'allure générale de la surface piézométrique entre deux périodes de mesures.

— Les résultats d'interprétation des essais de pompage ont permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques (T et S) qui sont ensuite utilisées dans l'estimation des réserves de la zone étudiée.

— L'étude physico-chimique des eaux a montré deux types de faciès chimiques dominants : bicarbonate calcique en rive gauche et chloruré sodique en rive droite.

La minéralisation des eaux augmente dans le sens de l'écoulement et particulièrement dans la zone du « verrou » de Takrietz où ce phénomène est accentué par l'évaporation plus importante à ce niveau.

**MOTS-CLÉS**

Vallée de l'Oued Sahel-Soummam (Algérie) ; Terrasses alluviales ; Aquifère mio-quaternaire ; Bilan hydrologique ; Piézométrie ; Caractéristiques hydrodynamiques ; Physico-chimie des eaux ; Réserves en eaux souterraines.

29 MAI 1985

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1  
INSTITUT DE GEOLOGIE  
DOCUMENTATION  
RUE MAURICE GIGNOUX  
E 38031 GRENOBLE CEDEX  
TEL. (76) 87.46.43

# THESE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE  
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3<sup>e</sup> CYCLE  
de Géologie Appliquée

(Option Hydrogéologie)

CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE  
DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL - SOUMMAM (ALGERIE)

29 MAI 1985

2

UNIVERSITE DE GRENOBLE 1  
INSTITUT DE GEOLOGIE  
DOCUMENTATION  
RUE MAURICE-GIGNOUX  
F 38031 GRENOBLE CEDEX  
TEL. (76) 87.46.43

par Mohamed-Said BENNABI

Soutenu le 23 MAI 1985 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

10098266

AVANT - PROPOS

Au terme de cette étude, je tiens à exprimer tout particulièrement ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD, Directeur de l'U.E.R. de Géologie et Responsable du Service Hydrogéologie de l'INSTITUT DOLOMIEU.

Il m'a accueilli dans son Laboratoire et m'a soutenu tout au long de cette étude. J'ai pu ainsi profiter de son expérience et de ses précieux conseils dans le domaine de l'hydrogéologie.

Je tiens à adresser, également, tous mes remerciements à:

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

Monsieur J.C. FOURNEAUX qui a bien voulu participer à ce jury.

Monsieur J. DAZY, pour ses conseils concernant, en particulier, la bibliographie et pour sa participation au jury.

Monsieur R. GRANGE, pour m'avoir fourni certains documents relatifs à la région étudiée, dont la carte géologique qui m'a été d'une grande importance.

Je ne saurais oublier de remercier le C.R.O.U.S. de Grenoble auprès de qui j'ai toujours trouvé aide et compréhension.

Les membres du personnel technique et scientifique de l'Institut Dolomieu et en particulier Madame N. REVOL qui s'est chargée de la dactylographie de cette thèse.

Mes anciens enseignants de l'Institut des Sciences de la Terre de l'Université d'Alger.

Mes collègues et amis de la D.H.W. de Béjaïa pour m'avoir assisté tout au long de mon travail de terrain.

Mes amis de la salle de 3e cycle de l'Institut Dolomieu.

Je dédie ce travail à mes parents

---

CONTRIBUTION A L'ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM

ALGERIE

---

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I - Introduction ..... 1

I.1: Généralités ..... 1

I.1.1: Situation géographique - Cadre de l'étude..... 1

I.1.2: Limite de l'étude ..... 2

I.1.3: Importance économique de la vallée..... 2

I.2: Méthodes d'étude ..... 4

I.2.1: Etude géologique..... 4

I.2.2: Etude du remplissage mio-quaternaire ..... 4

I.2.3: Etude hydroclimatologique..... 4

I.2.4: Etude hydrodynamique - piézométrie ..... 4

I.2.5: Détermination des caractéristiques hydrodynamiques ..... 5

I.2.6: Etude physico-chimique ..... 5

I.2.7: Evaluation des ressources en eaux souterraines..... 5

I.2.8: Conclusion générale ..... 5

I.3: Caractéristiques physiographiques du bassin versant étudié ..... 6

I.3.1: Forme du bassin ..... 6

I.3.2: Rectangle équivalent ..... 6

I.3.3: Répartition altimétrique du bassin versant ..... 8

I.3.4: Conclusion ..... 10

CHAPITRE II - Etude géologique ..... 12

II.1: Les grands ensembles structuraux ..... 12

II.1.1: Les chaînes telliennes ou domaine tellien ..... 12

II.1.1.1: Le tell méridional ..... 12

II.1.1.1.1: a) Les unités autochtones ou parautochtones ..... 12

II.1.1.1.1.2: b) Les nappes telliennes ou masses allochtones ..... 14

II.1.1.2: Le tell septentrional ..... 14

II.1.1.2.1: a) Les massifs anciens ..... 14

II.1.1.2.2: b) La chaîne calcaire ou dorsale kabyle ..... 14

II.1.1.2.3: c) L'oligocène kabyle ..... 14

II.1.1.2.4: d) Les flyschs crétacé, éocène, oligocène ..... 14

II.1.2: Les hauts plateaux et les hautes plaines ..... 16

II.1.3: L'Atlas saharien ..... 16

II.1.4: La plate-forme saharienne ..... 17

II.2.1: Cadre géologique de la région étudiée ..... 17

II.2.2: Stratigraphie - Lithologie ..... 17

II.2.2.1: Trias ..... 17

II.2.2.2: Jurassique ..... 19

II.2.2.2.1: a) Lias ..... 19

II.2.2.2.2: b) Jurassique moyen ..... 19

II.2.3: Crétacé ..... 19

II.2.3.1: Crétacé parautochtone ..... 19

II.2.3.1.1: a) Néocomien ..... 19

II.2.3.1.2: b) Albo-Aptien ..... 19

II.2.3.1.3: c) Crétacé supérieur ..... 19

II.2.3.2: Crétacé allochtone ..... 19

II.2.3.2.1: a) Flyschs internes ..... 19

II.2.3.2.2: b) Unité tellienne ..... 20

II.2.3.2.3: c) Flyschs externes ..... 20

II.2.4: Miocène .....	20
II.2.5: Quaternaire .....	21
II.3: Coupes dans la région d'Akbou .....	21
II.4: Tectonique .....	21
II.5: Esquisse structurale .....	23
II.5.1: Autochtone et paraautochtone .....	23
II.5.2: Les unités allochtones inférieures .....	23
II.5.3: Les unités allochtones médianes .....	23
II.5.4: Les unités allochtones supérieures .....	23
II.5.5: Conclusion .....	26
II.6: Faciès des formations de bordure et géomorphologie de la plaine .....	26
II.6.1: faciès .....	26
a) Série calcaires et dolomitique .....	26
b) Série pélitique .....	26
c) Série calcaro-marneuse et marneuse .....	26
d) Série de flysch .....	26
e) Série conglomératique .....	26
II.6.2: Géomorphologie de la plaine .....	28
II.6.2.1: Alluvions de la première terrasse .....	28
II.6.2.2: Alluvions de la deuxième terrasse .....	32
II.6.2.3: Alluvions de la troisième terrasse .....	32
II.6.2.4: Alluvions de la quatrième terrasse .....	32
CHAPITRE III - Etude du remplissage mio-quaternaire de la vallée de l'oued Sahel-Soummam .....	35
III.1: Introduction .....	35
III.2: Etude du remplissage mio-quaternaire par prospection géophysique .....	35
III.2.1: Exposé de la méthode .....	37
III.2.2: Objectif de la méthode .....	37
III.2.3: Interprétation des résultats obtenus .....	37
III.2.3.1: SE. C8 sur le forage dit "Bulgare" .....	37
III.2.3.2: SE. sur le forage d'Ighil Ali .....	39
III.2.3.3: Echelle des résistivités .....	39
III.2.3.4: Examen des coupes géoélectriques à travers la vallée .....	41
a) Coupes C et E .....	41
b) Coupes P, S et W .....	41
III.2.3.5: Examen des coupes par zones .....	44
a) Zone d'Ighzer Illoula et d'Akbou .....	44
b) Zone d'Ighzer Amokrane-Azib .....	44
c) Zone du verrou de Takrietz .....	44
III.2.3.6: Carte des résistivités en ligne AB = 100 m .....	47
III.3: Etude du remplissage mio-quaternaire par les sondages mécaniques .....	49
III.3.1: Région d'Azib (moyenne Soummam) .....	49
III.3.2: Région de Tazmalt-Chorfa (Oued Sahel) .....	50
III.3.3: Dimension du réservoir .....	52
III.3.3.1: Extension des alluvions .....	52
III.3.3.2: Epaisseur des alluvions et du Miocène .....	52
III.3.3.3: Volume du réservoir .....	53
III.4: Conclusion .....	53

CHAPITRE IV - Hydroclimatologie et hydrologie de surface .....	55
IV.1: Etude des précipitations .....	55
IV.1.1: Introduction .....	55
IV.1.2: Répartition des moyennes mensuelles et annuelles (1913-1938) .....	56
IV.1.3: Pluies orageuses .....	56
IV.1.4: Répartition annuelles des pluies (1966-1978) .....	58
IV.1.5: Moyennes mensuelles des hauteurs de pluies .....	58
IV.1.5.1: Station d'El Kseur .....	60
IV.1.5.2: Station Sidi-Afich .....	61
IV.1.5.3: Station d'Akbou .....	61
IV.1.6: Relation pluviométrie - éloignement de la mer .....	61
IV.1.7: Précipitations annuelles .....	63
IV.1.8: Calcul des valeurs caractéristiques .....	66
IV.1.9: Test d'homogénéité ou corrélation double-masse .....	66
IV.1.10: Regression linéaire .....	66
IV.2: Températures de l'air .....	69
IV.2.1: Station de Béjaïa .....	69
IV.2.2: Station de Sidi-Afich .....	69
IV.2.3: Station de M'Chedellah (ex. Maillot) .....	71
IV.2.4: Gradient thermique .....	73
IV.3: Humidité de l'air .....	73
IV.3.1: Tension de vapeur d'eau .....	73
IV.3.2: Humidité relative ou état hydrométrique (H) .....	73
IV.4: Vents et nébulosité .....	75
IV.4.1: Fréquence des vents .....	77
IV.4.2: Nébulosité .....	77
IV.5: Orages .....	77
IV.5.1: Nombres moyens de jours d'orage .....	77
IV.5.2: Rapport C/F .....	78
IV.6: Grêle, gelée blanche et sirocco .....	78
IV.6.1: Grêle .....	78
IV.6.2: Gelée blanche .....	79
IV.6.3: Sirocco .....	79
IV.7: Evaporation totale ou déficit d'écoulement .....	80
IV.7.1: Introduction .....	80
IV.7.2: Evapotranspiration potentielle .....	80
a) Formule de Thornthwaite .....	81
b) Formule de Serra .....	81
IV.7.3: Tableau récapitulatif des différentes méthodes .....	83
IV.8: Evapotranspiration réelle .....	83
IV.8.1: Introduction .....	83
IV.8.2: Formule de Turc .....	83
IV.8.3: Formule de Coutagne .....	84
IV.8.4: Méthode de Wundt .....	84
IV.8.5: Méthode du bilan de Thornthwaite .....	87
IV.8.6: Discussion des résultats .....	87
IV.9: Hydrologie de surface .....	88
IV.9.1: Généralités .....	88
IV.9.2: Station de Sidi Afich .....	88
IV.9.3: Station de Sidi Yahia .....	89



IV.10: Estimation du bilan hydrologique .....	90
IV.10.1: Pluviométrie - moyenne annuelle .....	90
IV.10.2: Evapotranspiration réelle .....	90
IV.10.3: Ruissellement .....	91
IV.10.4: Infiltration .....	92
IV.11: Conclusion .....	92
Chapitre V - Etude hydrodynamique - Piézométrie .....	94
V.1: Introduction .....	94
V.1.1: Caractéristiques des puits et leur utilisation .....	94
V.1.1.1: Utilisation des puits .....	94
V.1.1.2: Caractéristiques des puits .....	96
V.2: Interprétation des cartes piézométriques .....	96
V.2.1: Profondeur de l'eau sous le sol .....	96
V.2.2: Conditions d'écoulement .....	99
V.2.3: Zone d'alimentation de la nappe .....	99
V.2.4: Détermination des gradients hydrauliques .....	99
V.2.5: Allure générale de la surface piézométrique .....	100
V.2.6: Etude des conditions aux limites - relation avec les versants .....	100
V.2.7: Conclusion .....	101
Chapitre VI - Etude des caractéristiques hydrodynamiques des formations aquifères .....	103
VI.1: Introduction .....	103
VI.2 Définitions .....	103
VI.2.1: Coefficient d'emménagement .....	103
VI.2.2: Transmissivité .....	105
VI.2.3: Mode opératoire des essais de pompage .....	105
VI.2.4: Méthodologie et rappels des équations .....	105
VI.3 : Méthode graphique de la courbe caractéristique de Theis .....	105
VI.3.1: Mode opératoire .....	107
VI.3.2: Application .....	107
VI.4: Méthode de Jacob .....	108
VI.4.1: Mode opératoire .....	108
VI.4.2: Application .....	112
VI.5: Méthode de la droite de remontée de Theis .....	112
VI.5.1: Mode opératoire .....	114
VI.5.2: Application .....	115
VI.6: Méthode de Show .....	115
VI.6.1: Mode opératoire .....	115
VI.6.2: Application .....	115
VI.7: Détermination de la porosité utile pour la méthode d'Archie .....	118
VI.8: Tableau récapitulatif. Discussion des résultats .....	119
VI.8.1: Tableau récapitulatif .....	119
VI.8.2: Discussion des résultats .....	120
VI.8.3: Conclusion à l'étude hydrodynamique .....	120

Chapitre VII - Etude physico-chimique des eaux .....	122
VII.1: Introduction .....	122
VII.2: Caractéristiques physiques des eaux .....	122
VII.2.1: Interprétation de la carte des conductivités .....	123
VII.2.2: pH .....	124
VII.3: Chimie des eaux souterraines .....	124
VII.3.1: Indice d'échange de base (i.e.b.) .....	124
VII.4: Classification chimiques et représentations graphiques des analyses .....	125
VII.4.1: Famille des eaux bicarbonatées calciques .....	125
VII.4.2: Famille des eaux chlorurées sodiques .....	125
VII.4.3: Famille des eaux sulfatées calciques et magnésiennes .....	125
VII.5: Etude de l'origine des ions .....	129
VII.5.1: Carte des teneurs en chlorures .....	129
VII.5.2: Carte des teneurs en bicarbonates .....	129
VII.5.3: Carte des teneurs en sulfates .....	129
VII.6: Interprétation des cartes d'équi-rapports .....	133
VII.6.1: Carte d'équi-rapport rMg/rCa .....	133
VII.6.2: Carte d'équi-rapport rSO <sub>4</sub> /rCl .....	133
VII.7: Aptitude des eaux à l'irrigation .....	133
VII.8: Conclusion à l'étude physico-chimique des eaux .....	137
Chapitre VIII - Evaluation des ressources en eaux souterraines .....	139
VIII.1: Réserves régulatrices .....	139
VIII.2: Réserves permanentes .....	139
VIII.3: Réserves totales .....	139
VIII.4: Réserves exploitables .....	139
VIII.5: Etude des réserves de la zone étudiée .....	140
VIII.5.1: Réserves régulatrices .....	140
VIII.5.2: Réserves permanentes .....	140
VIII.6: Evaluation des sorties et pertes du système .....	141
VIII.6.1: Débits extraits de la nappe pour l'agriculture .....	141
VIII.6.2: Débits extraits pour les besoins en eau potable et industrielle .....	142
VIII.7: Essai de bilan de la nappe .....	142
VIII.7.1: Différents termes du bilan .....	143
VIII.7.1.1: Entrées .....	143
VIII.7.1.2: Sorties .....	143
VIII.7.2: Evaluation des apports et des sorties .....	143
VIII.7.2.1: Apports .....	143
VIII.7.2.2: Evaluation des pertes .....	144
VIII.8: Conclusion .....	144
Conclusions générales .....	145
Annexes .....	147
Bibliographie .....	153

## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1: Répartition altimétrique du sous-bassin versant étudié  
 Tableau 2: Altitudes caractéristiques  
 Tableau 3: Répartition des précipitations mensuelles et annuelles  
 Tableau 4: Nombre de jours de pluies torrentielles observées de 1913 à 1938  
 Tableau 5: Répartitions annuelles des pluies de 1966 à 1978  
 Tableau 6a: Station d'El Kseur  
 Tableau 6b: Station de Sidi-Aïch  
 Tableau 6c: Station d'Akbou  
 Tableau 7: Précipitations en fonction de l'éloignement par rapport à la mer  
 Tableau 8: Précipitations annuelles  
 Tableau 9: Valeurs caractéristiques des précipitations (mm) aux différentes stations  
 Tableau 10: Valeurs des précipitations annuelles et cumulées (mm)  
 Tableau 11: Résultats des corrélations par régression linéaire  
 Tableau 12: Stations météorologiques  
 Tableau 13a: Valeurs mensuelles et annuelles des températures (minima: m et maxima: M, et leur  $\frac{1}{2}$  somme à la station de Béjaïa).  
 Tableau 13b: Valeurs mensuelles et annuelles des températures m, M et  $m+M/2$  à la station de Sidi Aïch  
 Tableau 13c: Valeurs mensuelles et annuelles des températures m, M et  $m+M/2$  à la station de M'Chedellah  
 Tableau 14: Altitudes et températures des stations  
 Tableau 15: Valeurs mensuelles et annuelles de la tension de vapeurs (f) et de l'humidité relative (H), à 7h, 13h et 18h à la station de Béjaïa  
 Tableau 16: Force du vent à Béjaïa  
 Tableau 17: Valeurs mensuelles et annuelles de la nébulosité à Béjaïa  
 Tableau 18: Nombre moyen de jours d'orage pour la station de Béjaïa, El Kseur, Sidi-Aïch et M'Chedellah  
 Tableau 19: Nombre de jours de grêle aux stations de Béjaïa, Sidi-Aïch, Akbou et M'Chedellah.  
 Tableau 20: Nombre de jours de gelée blanche aux stations de Béjaïa, El Kseur et M'Chedellah.  
 Tableau 21: Nombre de jours de sirroco aux stations de Béjaïa, El Kseur, Akbou et M'Chedellah  
 Tableau 22a: Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées pour la station de Béjaïa  
 Tableau 22b: Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles  
 Tableau 23a: Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées par la méthode de SERRA pour la station de M'Chedellah (ex. Maillot)  
 Tableau 23b: Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées par la méthode de THORNTHWAITE pour la station de M'Chedellah (ex. Maillot).  
 Tableau 24a: Evapotranspirations potentielles annuelles et mensuelles pour la station de Béjaïa  
 Tableau 24b: Evapotranspirations potentielles annuelles et mensuelles pour la station de M'Chedellah (ex. Maillot)  
 Tableau 25: Valeurs de l'ETP en mm/an pour les stations de Béjaïa et de M'Chedellah (ex. Maillot).  
 Tableau 26: Valeurs de l'ETR par la méthode du bilan de THORNTHWAITE  
 Tableau 27: Tableau récapitulatif de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes.

## LISTE DES FIGURES

- Fig.1: Situation géographique  
 Fig.2: Carte du sous bassin de l'oued Sahel Soummam et de son chevelu hydrographique  
 Fig.3: Courbe hypsométrique  
 Fig.4: Cadre structural schématique de l'Algérie  
 Fig.5: Coupes montrant les différentes hypothèses de l'origine des flyschs  
 Fig.6: Carte géologique de la vallée de l'oued Sahel Soummam  
 Fig.7: Coupes dans la région d'Akbou  
 Fig.8: Schéma structural de l'Est de la Grande Kabylie, des Babors occidentaux et de la région des Biban.  
 Fig.9: Coupe synthétique de l'extrémité orientale du Djurdjura  
 Fig.10: Carte géomorphologique des formations quaternaires  
 Fig.11a: Coupes transversales à travers les alluvions  
 Fig.11b: Coupes en long dans les alluvions  
 Fig.12: Plan de position des coupes géoélectriques et des sondages étalons  
 Fig.13a: S.E. étalon C8 sur forage dit "bulgare"  
 Fig.13b: S.E. étalon sur forage d'Ighil Ali  
 Fig.14a à Fig.14c: Coupes géoélectriques à travers la vallée  
 Fig.15: Carte des résistivités apparentes (AB=100 m)  
 Fig.16: Coupes interprétatives d'après les sondages mécaniques  
 Fig.17: Répartition des précipitations mensuelles et annuelles  
 Fig.18: Répartition annuelle des pluies de 1966 à 1978  
 Fig.19: Profil pluviométrique  
 Fig.20: Répartition des totaux annuels des précipitations  
 Fig.21a et 21b: Courbe de corrélation double-masse  
 Fig.22: Température de l'air  
 Fig.23: Profil thermique  
 Fig.24: Tension de vapeur et humidité relative à la station de Béjaïa  
 Fig.25: Vents, nébulosité, fréquence des vents, orages, gelée, gelée blanche et sirocco.  
 Fig.26: Déficit d'écoulement d'après le diagramme de Wundt  
 Fig.27: Carte de situation des points d'eau  
 Fig.28a: Carte piézométrique, avril 1983  
 Fig.28b: Carte piézométrique, septembre 1983  
 Fig.29: Courbe de Theis  
 Fig.30: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après THEIS  
 Fig.31a à 31c: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après de Jacob  
 Fig.32: Courbes interprétatives des essais de pompages d'après la méthode de la droite de remontée de Theis  
 Fig.33a à 33b: Courbes interprétatives des essais de pompage d'après SHOW  
 Fig.34: Carte de conductivité (hautes eaux)  
 Fig.35a à 35c: Représentation graphique des analyses d'eau  
 Fig.36: Carte des teneurs en chlorures  
 Fig.37: Carte des teneurs en sulfates  
 Fig.38: Carte des teneurs en bicarbonates  
 Fig.39: Carte d'équi rapport  $rMg/rCa$   
 Fig.40: Carte d'équi rapport  $rSO_4/rCl$   
 Fig.41: Classification des eaux d'irrigation

- Tableau 28: Valeurs des débits à la station de Sidi-Aïch (1953-1974)  
 Tableau 29: Valeurs des débits à la station de Sidi-Yahia (1964-1976)  
 Tableau 30: Valeurs des gradients hydrauliques  
 Tableau 31: Valeurs de transmissivité et du coefficient d'emménagement d'après la méthode de THEIS  
 Tableau 32: Transmissivités d'après la méthode de JACOB  
 Tableau 33: Valeurs des transmissivités d'après la méthode de la courbe de remontée de THEIS  
 Tableau 34: Valeurs des transmissivités d'après la méthode de SHOW  
 Tableau 35: Valeurs de la porosité utile d'après la méthode d'ARCHIE  
 Tableau 36: Valeurs de T et S selon les différentes méthodes  
 Tableau 37: Débits extraits de la nappe pour les besoins agricoles  
 Tableau 38: Débits extraits de la nappe pour les besoins en eau potable et industrielle.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

--

I.1 - GÉNÉRALITÉS

I.2 - MÉTHODES D'ÉTUDE

I.3 - CARACTÉRISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT  
ÉTUDIÉ

## CHAPITRE I - INTRODUCTION

### I.1 - GÉNÉRALITÉS

#### I.1.1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE - CADRE DE L'ETUDE (fig.1)

Le bassin versant de l'oued SaheI-Soummam, objet de cette étude est le plus important de Kabylie. Il s'étend sur une superficie de 9 125 km<sup>2</sup>. Ses limites approximatives sont:

- . Au Nord, les monts de Djurdjura
- . Au Sud, les monts du Hodna et le plateau Sétifien
- . A l'Ouest, le plateau de Bouira
- . A l'Est, la Méditerranée.

Du point de vue administratif, ce bassin versant s'étend sur les wilayas de Bouira et de Béjaïa.

#### I.1.2 - LIMITES DE L'ETUDE

Rappelons tout d'abord que l'oued SaheI prend le nom de Soummam au niveau d'Akbou à la confluence de l'oued Bou-Sellam.

Dans cette étude, nous nous intéressons à la "basse vallée de l'oued SaheI" et à la "haute vallée de l'oued Soummam"; zone comprise entre Tazmalt à l'Ouest et Sidi Aïch à l'Est.

La présence d'un seuil hydrogéologique à Sidi-Aïch justifie en partie la division en deux zones du bassin versant de l'oued SaheI-Soummam. La vallée proprement dite dessine un étroit sillon orienté SW-NE.

#### I.1.3 - IMPORTANCE ECONOMIQUE DE LA VALLEE

Les principales agglomérations se trouvant dans la zone d'étude, sont situées en majorité sur la rive gauche de l'oued. On y trouve d'Est en Ouest:

- Sidi-Aïch, Akbou et Tazmalt qui sont de gros bourgs vivant essentiellement des produits de l'agriculture. En particulier la région produit une huile d'olive de grande réputation.

On note également un développement industriel qui s'y opère avec:

- L'usine Sonitex de Sidi-Aïch pour la fabrication de tapis et moquettes.

- L'usine Sonipex d'Akbou pour la confection de chaussures.

Sur le plan infrastructure, il y a lieu de citer:

- Le chemin de fer Alger-Bejaïa qui constitue un axe de communication des régions est de la Kabylie vers la capitale;

- Les routes nationales 12 et 26 reliant Bejaïa à Alger, respectivement par Tizi-Ouzou et par Bouira.

- L'oléoduc Hassi-Messaoued-Bejaïa suit la vallée. Sa localisation précise est fixée sur des cartes d'échelle 1/4000e.

Sur le plan agricole, la vallée comprend plusieurs milliers d'hectares de terres potentiellement très fertiles et irrigables. Mais en même temps l'oued présente une menace grave et continue sur l'agriculture et les infrastructures, car il est le siège de crues très violentes et dévastatrices qui provoquent des dégâts très importants, avec:

- Erosion et sapement des berges, entraînant la disparition des terrasses cultivables.

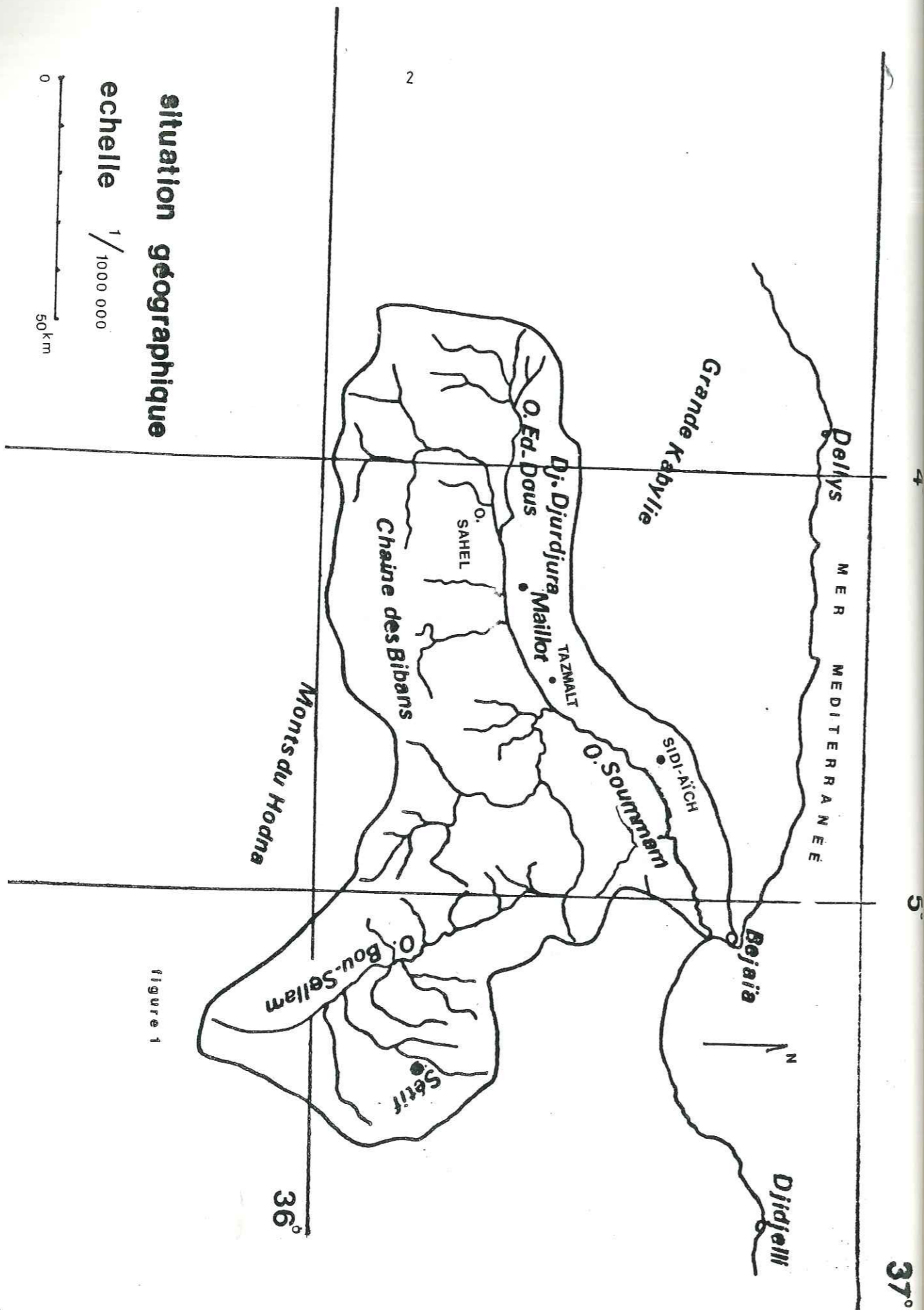
- Dépôts abondants de transports solides étouffant les cultures.

- Ponts détruits ou menacés et voies de communication attaquées

- Inondations des zones habitées.

Selon les termes du rapport de synthèse de C'YGNE et BELLIER " l'oued Soummam fait donc peser une menace grave et continue, à la fois sur les cultures et sur toutes les infrastructures. Outre les pertes provoquées à ce qui existe, cette menace de destruction des investissements que l'on pourrait réaliser constitue un frein au développement. C'est pourquoi l'aménagement rationnel de la vallée repose sur la maîtrise de l'oued".

A la suite de la bourse qui nous a été accordée par le gouvernement français (bourse de coopération) et avec l'accord de Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD, nous avons entrepris l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Sahel-Soummam. Pour ce faire, nous avons procédé aux études suivantes.



## I.2 - MÉTHODES D'ÉTUDE

### I.2.1 - ETUDE GEOLOGIQUE

L'étude géologique s'appuie sur de nombreux travaux et documents relatifs à la région. Nous avons consulté en particulier:

- La carte géologique de l'Algérie au 1/50 000e (feuille d'Algérie du Nord)
- La carte géologique de la vallée de la Soummam au 1/200 000e par J.P. NEMEROU et P. ROGNON
- Les cartes géologiques au 1/50 000e de Sidi Aïch et Tazmalt
- La carte structurale de la vallée au 1/200 000e par A. COUTELLE
- Les minutes des levés au 1/25 000e des bordures de la vallée de l'oued Sahel-Soummam établies par A. COUTELLE.

### I.2.2 - ETUDE DU REMPLISSAGE MIO-QUATERNAIRE

Nous avons pour cela exploité les résultats des études géophysiques successives de la C.G.G. (Compagnie Générale de Géophysique) dont la première réalisée en 1966 dans la région de M'Chedellah (en Mai), la seconde en 1968 (Novembre-Décembre) dans la région d'Ighil-Ali, et la troisième (qui est la plus importante) en 1969 sur l'ensemble de la vallée (Bejaïa-Chorfa). A l'aide de certaines coupes, nous avons essayé de schématiser la géométrie de réservoir utile. Nous avons également exploité les données des sondages mécaniques pour compléter l'étude géophysique.

### I.2.3 - ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

Cette étude est importante car les conditions hydroclimatologiques déterminent directement les potentialités en eau des nappes souterraines. Cette étude portera sur l'analyse et l'interprétation des facteurs climatologiques qui sont la pluviométrie, les températures, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

A partir de ces différentes données nous tenterons d'établir un bilan hydrologique.

### I.2.4 - ETUDE HYDRODYNAMIQUE - PIEZOMETRIE

Afin de réaliser une étude piézométrique, nous avons été amené à considérer un réseau de points d'eau nivelés. Ainsi deux cartes piézométriques ont été établies, l'une en période de "basses eaux", l'autre en période de "hautes eaux".

Elles nous permettent d'apprécier les grandes lignes de l'écoulement des eaux souterraines et d'en déduire les relations pouvant rester entre l'oued Sahel-Soummam et la nappe.

### I.2.5 - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

L'interprétation des essais de pompage réalisés au niveau des ouvrages de captage nous permet de préciser certaines caractéristiques hydrodynamiques du réservoir utile et particulièrement la transmissivité "T" et le coefficient d'emmagasinement "S".

### I.2.6 - ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE

Les analyses chimiques des échantillons d'eau (environ 80) effectuées au Laboratoire des eaux de l'I.N.R.H. (Institut National des Ressources Hydrauliques) ont porté sur la conductivité, le pH, les principaux cations à savoir le  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^{+}$  +  $K^{+}$  et les anions avec  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^{-}$ .

Ces analyses permettent d'apprécier les qualités chimiques des eaux et d'en étudier l'évolution dans la vallée en établissant quelques cartes chimiques.

### I.2.7 - EVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

Après avoir défini les différents types de réserves, nous allons tenter d'évaluer les débits extraits au niveau du système aquifère et de prévoir l'exploitation future.

### I.2.8 - CONCLUSIONS GENERALES

### I.3 - CARACTÉRISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES DU BASSIN VERSANT ÉTUDIÉ

Le bassin versant de l'oued Sahel-Soummam d'une superficie totale de 9 125 km<sup>2</sup> est subdivisé en cinq sous-bassins dont celui qui intéresse cette étude avec 1 028 km<sup>2</sup>. L'exutoire de ce sous-bassin est situé au pont de Sidi-Aïch où la vallée présente un retressissement maximum.

#### I.3.1 - FORME DU BASSIN ETUDIÉ

La forme est représentée par l'indice de compacité ou indice de GRAVELIUS. Elle est importante à déterminer pour connaître les modalités des écoulements et la forme des hydrogrammes.

$$K = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} = 0,28 \cdot \frac{154}{\sqrt{1028}} = 1,34$$

P = Périmètre du bassin versant

A = Superficie

Cet indice K définissant la forme représente le rapport du périmètre du bassin considéré sur le périmètre du cercle de surface équivalente. On a K = 1 pour un carré. 1,28 pour un rectangle latéral. K = 1,12 pour un rectangle dont la longueur est 5 fois supérieure à la largeur. Dans notre cas, K étant égal à 1,34 le bassin versant a la forme d'un triangle quelconque.

#### I.3.2 - RECTANGLE EQUIVALENT

On détermine la longueur et la largeur du rectangle équivalent qui aurait la même superficie et le même indice de Gravelius. La formule qui permet de déterminer les dimensions de ce rectangle fait intervenir l'indice K et la superficie du bassin.

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

On obtient

$$L = 59,42 \text{ km} \quad \text{et} \quad l = 17,3 \text{ km}$$

### CARTE DU SOUS-BASSIN VERSANT DE L'OUED

#### SAHEL-SOUMMAM ET DE SON CHEVELU HYDROGRAPHIQUE

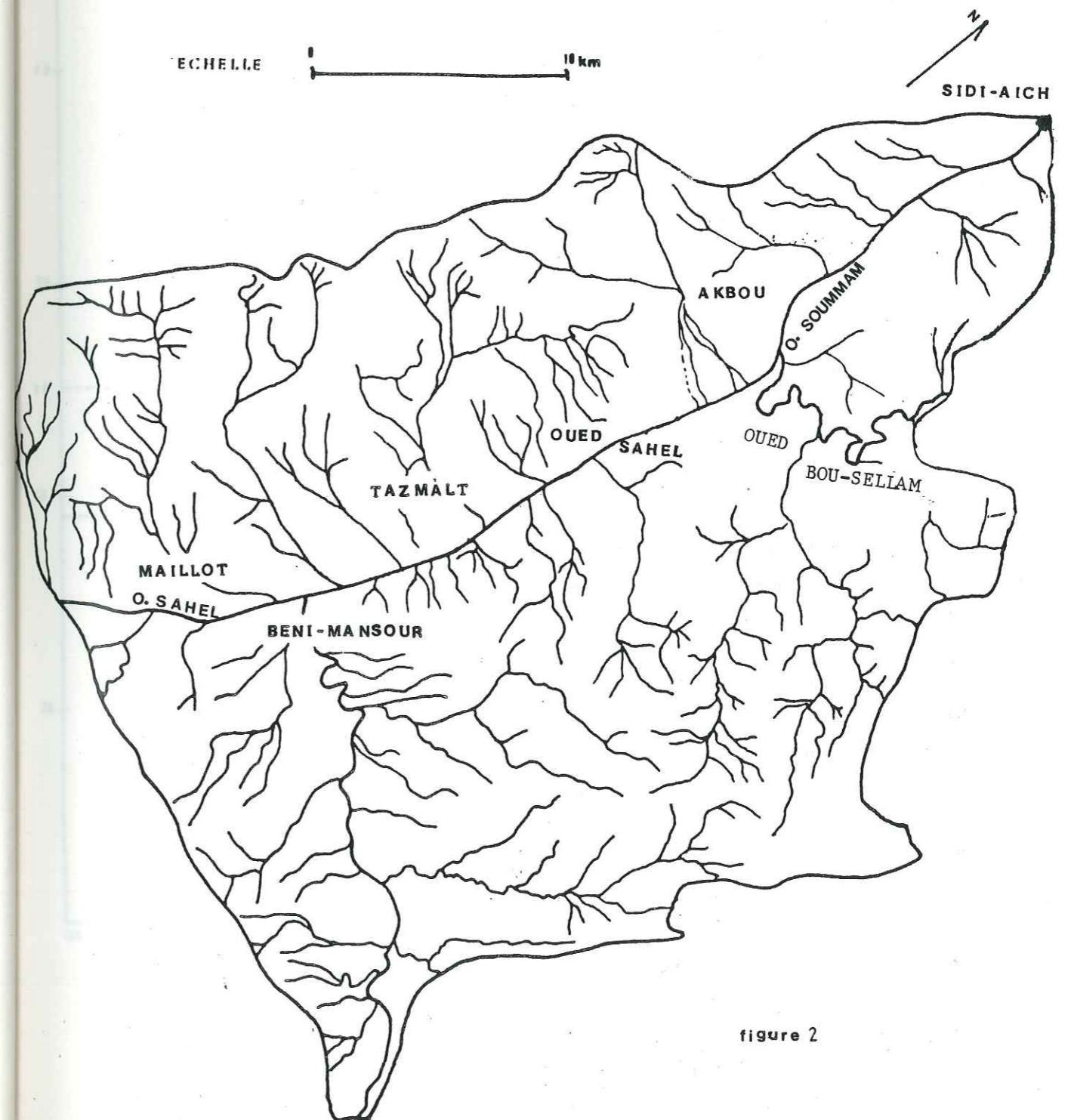


figure 2



### I.3.3 - REPARTITION ALTIMETRIQUE DU BASSIN VERSANT

Les altitudes du sous-bassin considéré de l'oued Sahel-Soummam, entre M'Chedellah (ex.Maillot) à l'Ouest et Sidi-Aïch sont comprises entre 100 m au centre de la plaine et 2 200 m sur la bordure nord-ouest du massif de Djurdjura.

Sur le tableau 1, sont déterminées les surfaces par tranches d'altitude de 200 mètres. Sont portés également sur ce tableau les superficies mesurées et les pourcentages par tranches d'altitude.

Tranches d'altitude	Moyenne (h <sub>i</sub> )	Superficie		
		km <sup>2</sup> (a <sub>i</sub> )	%	% cumulés
>1700		4	1,4	1,4
1500-1700	1600	7	2,6	4
1300-1500	1400	12	4,4	8,4
1100-1300	1200	17	6,4	14,8
900-1100	1000	23	8,6	23,4
700-900	800	25	9,3	32,7
600-700	600	31	11,6	44,3
300-500	400	48	18	62,3
100-300	200	101	37,6	99,9

Tableau 1: Répartition altimétrique du sous-bassin versant étudié

Cette répartition nous permet de tracer la courbe hypsométrique. La courbe indique que les forts pourcentages correspondent aux basses altitudes. La région est caractérisée par des reliefs relativement élevés, en particulier vers la limite nord du bassin.

A partir de cette courbe, on peut déterminer quelques altitudes caractéristiques:

- Altitude moyenne du bassin :  $\bar{h} = \frac{\sum a_i h_i}{A_i}$

h<sub>i</sub> = altitude moyenne correspondant à la surface a<sub>i</sub>

A<sub>i</sub> = superficie totale du bassin considéré

On trouve  $\bar{h} = 511,2$  m

- Indice de pente globale, ou pente moyenne du bassin versant

$$I_G = \frac{\bar{h}_{5\%} - \bar{h}_{95\%}}{L}$$

Cet indice exprime le rapport de la différence des altitudes de fréquence 5% et 95%, par la longueur du rectangle équivalent du bassin.

$$I_G = \frac{D}{L} = \frac{1610 - 320}{59420} = 2,1 \%$$

Ces valeurs caractéristiques sont portées sur le tableau 2.

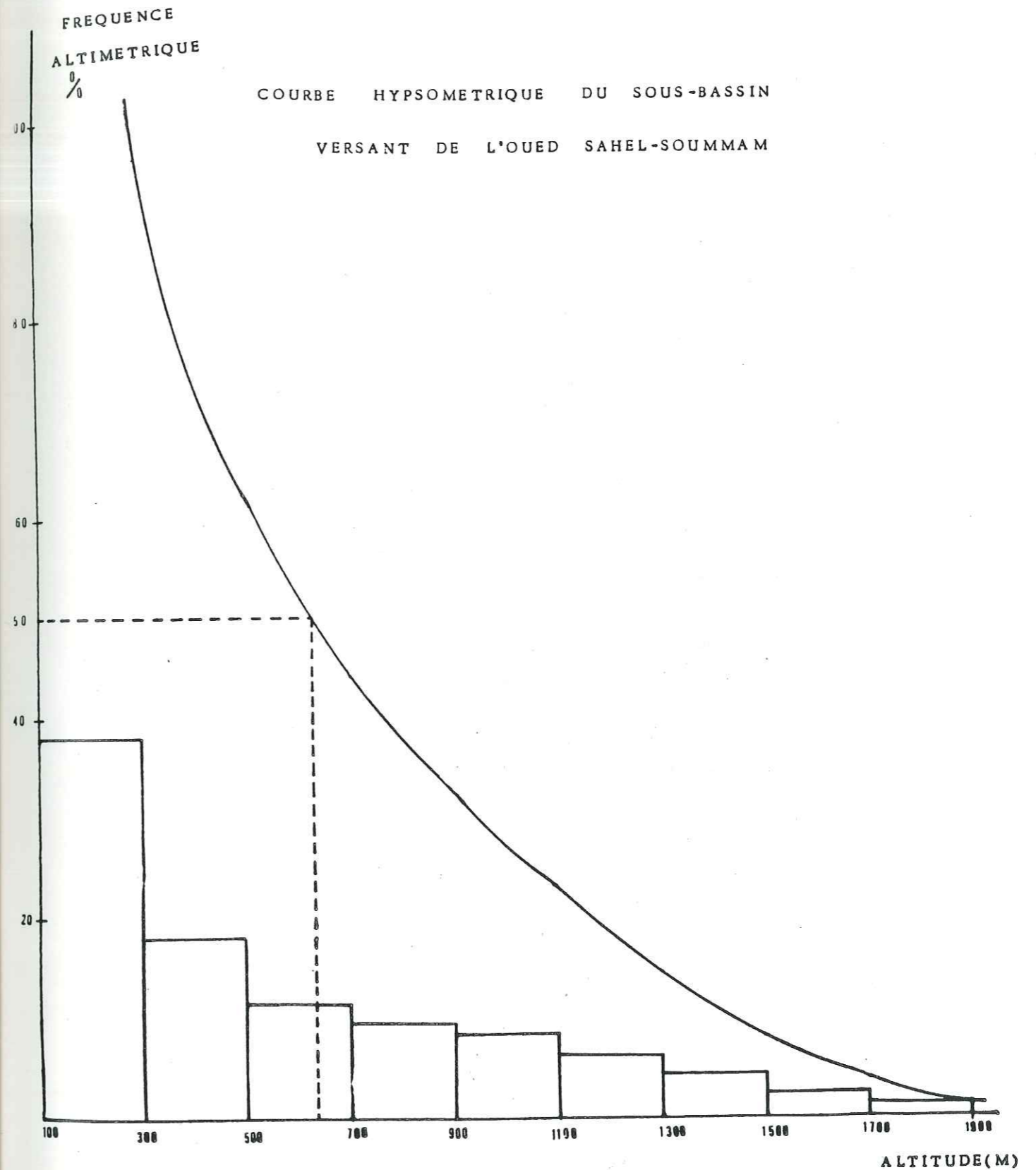


FIGURE 3

Altitudes caractéristiques	Valeurs (m)
Altitude maximum (Lalla Khedidja)	2 308
Altitude minimum	108
Altitude moyenne	511,2
Altitude de fréquence 0,5	635
Classe d'altitude la plus fréquente	100-300

Tableau 2 : Altitudes caractéristiques

## I.3.4 - CONCLUSION

L'étude morphologique du bassin versant de l'oued Sahel-Soummam nous a permis de dégager quelques paramètres caractéristiques, qui ont une influence sur la circulation des eaux à l'intérieur de ce bassin. La courbe hypsométrique montre des reliefs assez élevés notamment sur le versant sud de Djurdjura, mais avec toutefois toute la plaine correspondant aux basses altitudes (entre 100 et 300 mètres).

L'altitude maximum est de 2 308 m au pic de Lalla Khadidja. Ces reliefs élevés sur les bordures du bassin provoquent un écoulement assez rapide des eaux et des temps de concentration assez courts. Les paramètres morphologiques déterminés sont intimement liés aux caractères lithologiques des roches du bassin qui sont en majorité semi-perméables à imperméables. La relative abondance de la végétation (oliviers dans la vallée) permet de diminuer le phénomène de l'érosion dans le secteur.

-----

## CHAPITRE II

### ETUDE GEOLOGIQUE

---

## II.1 - LES GRANDS ENSEMBLES STRUCTURAUX

## II.2 - CADRE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION ÉTUDIÉE

## II.3 - COUPES DANS LA RÉGION D'AKBOU

## II.4 - TECTONIQUE

## II.5 - ESQUISSE STRUCTURALE

## II.6 - FACIÈS DES FORMATIONS DE BORDURE ET GÉOMORPHOLOGIE DE LA PLAINE

## CHAPITRE II - ETUDE GEOLOGIQUE

*L'Algérie présente du point de vue géologique des caractères très complets aussi bien pour l'âge des terrains et des formations que pour les variations de styles tectoniques.*

*C'est ainsi qu'on retrouve les terrains les plus anciens au Sud du pays et les plus récents au Nord formant le domaine tellien à structures très complexes.*

### II.1 - LES GRANDS ENSEMBLES STRUCTURAUX (fig.4)

On peut distinguer quatre grands ensembles structuraux qui du Nord au Sud forment:

- . Les chaînes telliennes
- . Les hauts-plateaux et les hautes plaines
- . L'Atlas saharien
- . La plate-forme saharienne.

#### II.1.1 - LES CHAINES TELLIENNES OU DOMAINE TELLIEN (Zones très complexes)

Elles se composent de deux ensembles.

**Au Sud**, le tell méridional constitué par les chaînons de l'Ouarsenis, des Bibans et des Babors.

**Au Nord**, on retrouve le tell septentrional avec les noyaux métamorphiques kabyles, la chaîne calcaire et les flyschs sud et nord kabyles. Ces deux chaînes à relief élevé orientées E-W sont séparées par des zones déprimées où se sont accumulés des sédiments miocène, pliocène et quaternaire. Ce sont à l'Est les sédiments de la vallée de la Soummam et à l'ouest ceux du bassin du Chellif.

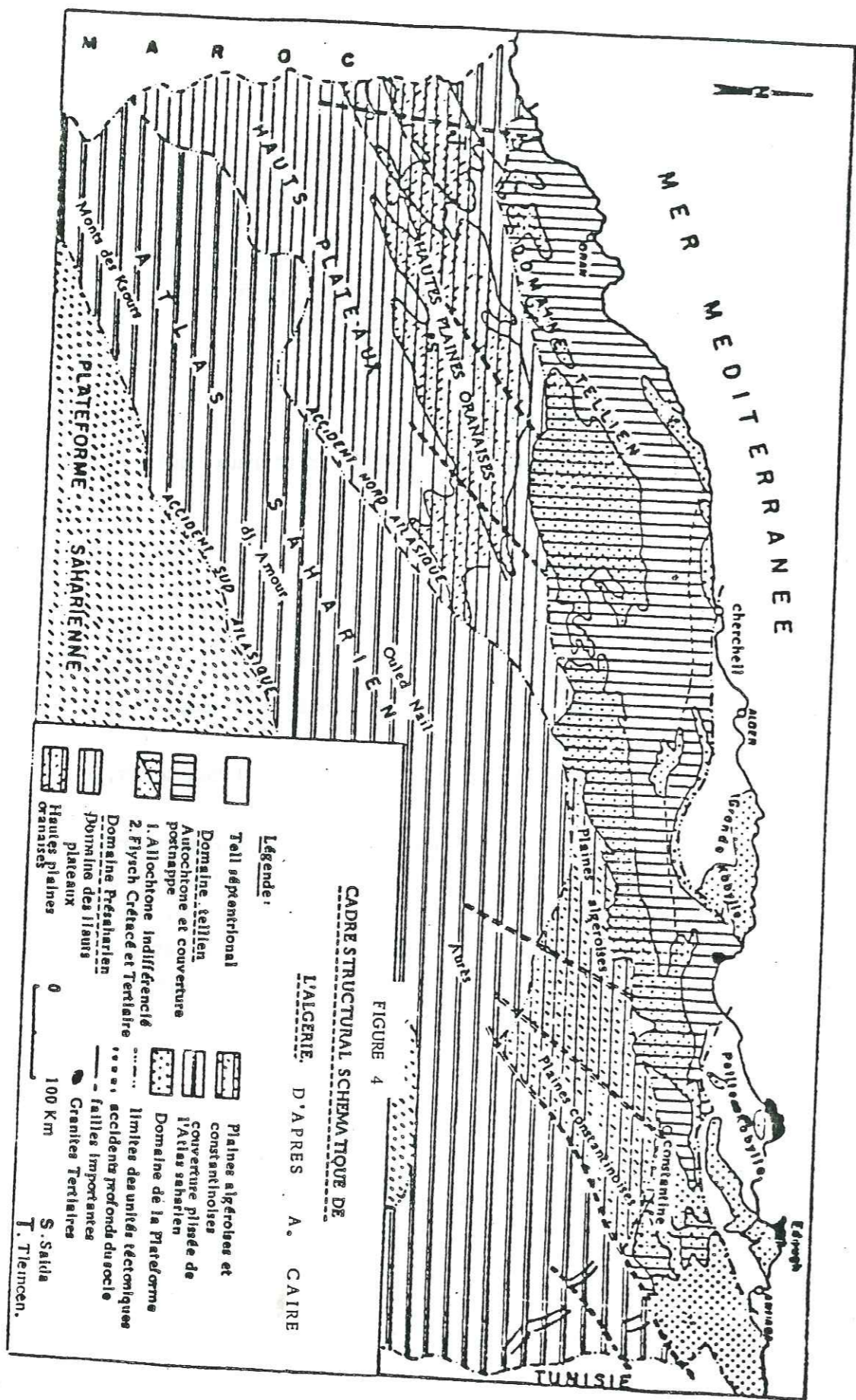
##### II.1.1.1 - Le tell méridional

On distingue plusieurs zones qui sont souvent de même âge.

###### a) Les unités autochtones ou parautochtones

Ces unités apparaissent en différents endroits de l'Atlas tellien méridional. Sur le littoral oranais, dans les massifs du Chellif, dans l'Algérois, dans l'Ouarsenis et dans les Bibans.

Ces unités sont constituées de terrains mésozoïques et parfois paléozoïques souvent affectés d'un métamorphisme léger; leur extension est réduite.



b) Les nappes telliennes ou masses allochtones

Formées par un empilement de nappes appartenant à différentes unités tectoniques. Les unes constituent les nappes telliennes proprement dites formées de dépôts marno-calcaires du Crétacé supérieur, les autres constituent une unité à faciès flysch d'âge crétacé - miocène situées généralement au-dessus des précédentes.

II.1.1.2 - Le tell septentrional

Sa structure est plus complexe. Les différents éléments qui le constituent sont:

a) Les massifs anciens littoraux dits encore massifs kabyles à terrains cristallophylliens, métamorphiques, sédimentaires et éruptifs du primaire et plus anciens encore. Les équivalents des massifs kabyles sont le massif d'Alger bien exprimé à Bouzareah, le Chenoix, le Cap tenes et à l'Ouest d'Annaba, le massif de l'Edough. Ce dernier est formé de séries métamorphiques; toutefois sa position est assez spéciale par rapport au reste, car il aurait été placé originellement plus au Sud que les massifs kabyles.

b) La chaîne calcaire ou dorsale kabyle

Cette chaîne calcaire représente la couverture sédimentaire secondaire et tertiaire des massifs anciens. Dès l'Eocène moyen, le socle et la couverture sédimentaire sont affectés par un plissement très intense et un découpage en écaïlles. Ce dispositif est particulièrement net dans le Djurdjura où les contacts sont redressés à la verticale.

c) L'Oligocène kabyle: c'est une molasse (sédiments de démolition après orogénèse de l'Eocène moyen). Elle est discordante sur le socle ancien et sur les écaïlles de la dorsale kabyle.

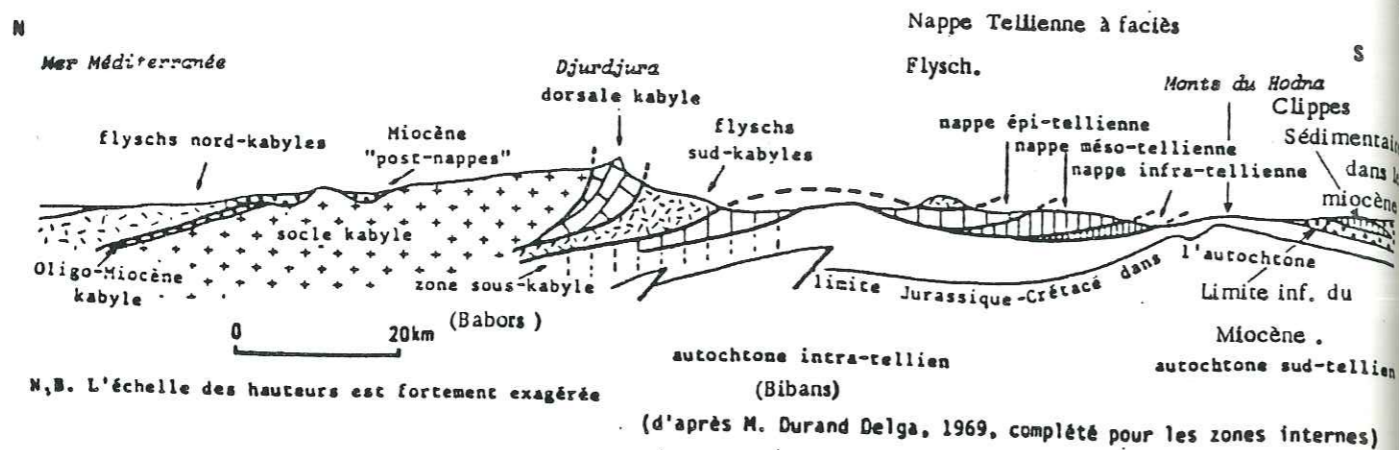
Elle débute par des conglomérats constitués par des galets du socle kabyle, de la dorsale et se poursuit par des dépôts de grès arkosiques.

d) Les flyschs crétacé - éocène et oligocène

Ces flyschs se présentent dans deux positions différents. Ils sont soit recouverts en contact anormal par la dorsale kabyle, soit superposés à l'Oligocène kabyle.

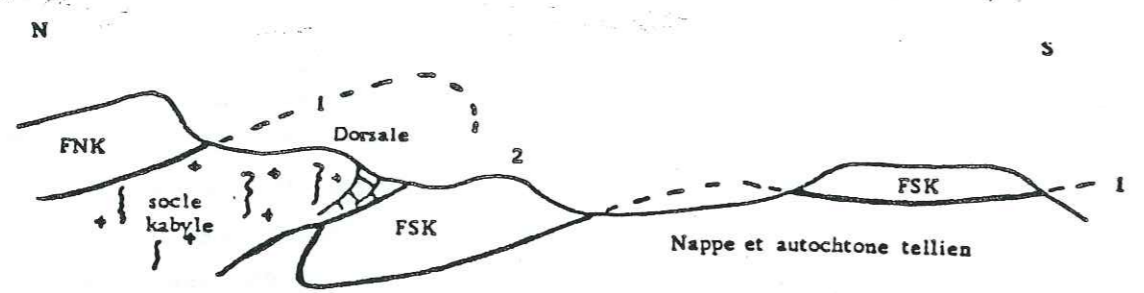
En fonction de leur position, par rapport au bourrelet kabyle, ils sont nommés flyschs Nord Kabyle (FNK) ou Sud Kabyle (FSK).

Plusieurs hypothèses furent émises sur l'origine des flyschs (fig.5).

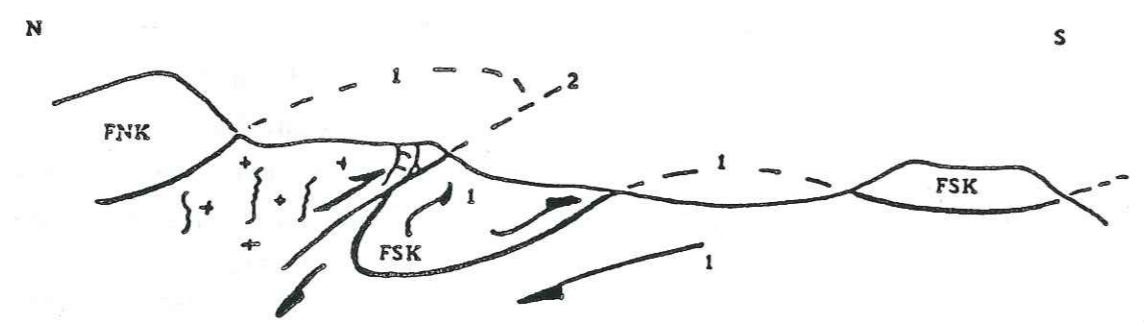


N.B. L'échelle des hauteurs est fortement exagérée  
(d'après M. Durand Delga, 1969, complété pour les zones internes)

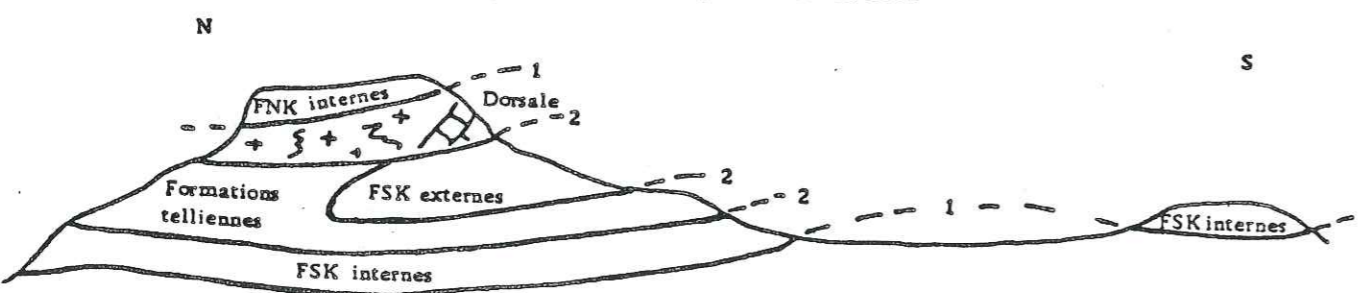
Rapports entre les grandes unités structurales sur le méridien de la Grande Kabylie



Hypothèse des Flyschs internes.



Hypothèse des Flyschs externes.



Hypothèse mixte.

COUPES MONTRANT LES DIFFERENTES HYPOTHESES DE L'ORIGINE DES FLYSCHS.

FIGURE 5

- 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).

- Hypothèse d'origine "mixte"

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

- Hypothèse "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 flyschs vers le Nord et vers le Sud, s'expliquant par des phénomènes de sous-charriages (DURAND-DELGA M., 1963).

II.1.2 - LES HAUTS PLATEAUX ET LES HAUTES PLAINES

Du point de vue structural, ce sont des terrains autochtones et tabulaires. On connaît cependant quelques anticlinaux et faisceaux de failles qui permettent la remontée de terrains paléozoïques à la faveur des horsts. Le meilleur exemple est le horst de Ghar-Roubane dans les monts de Tlemcen.

Ces terrains sont formés d'un matériel sédimentaire mésozoïque transgressif sur un socle primaire qui affleure parfois à la faveur de cassures.

Nous pouvons distinguer, de l'Ouest à l'Est les unités suivantes:

- . le môle oranais;
- . les hautes plaines oranaises;
- . les hautes plaines algéroises;
- . les hautes plaines constantinoises;
- . le môle d'Ain M'lila.

II.1.3 - L'ATLAS SAHARIEN

La limite entre les hautes plaines et l'Atlas saharien est assez nette. Elle est marquée par des lignes de fractures qu'on appelle "accident nord atlasique". L'allure méridionale de cet accident (du côté du Sahara) correspond à un système de plis chevauchant largement. Ces failles de chevauchement à pendage relativement faible intéressent uniquement le secondaire. Du point de vue stratigraphique, il est composé de sédiments mésozoïques qui ont été plissés au cours des phases orogéniques tertiaires. Ils forment ainsi de grands plis d'orientation WSW-ESE. Le Jurassique présente une série très épaisse de sédiments calcaro-dolomitiques.

II.1.4 - LA PLATE-FORME SAHARIENNE

Au-delà de la flexure sud-atlasique, c'est le domaine de la plate-forme saharienne. Elle est formée par de très vastes zones de bassins sédimentaires, non perturbés par des déformations comme dans l'Algérie du Nord.

Depuis la base du primaire, seuls quelques plissements ont donné naissance à la chaîne de l'Ougarta.

Ces couvertures paléozoïques, mésozoïques et cénozoïques laissent apparaître à la faveur de l'érosion, le gigantesque bombement antécambrien du Hoggar au centre et le massif de l'Eglab à l'Ouest.

II.2.1 - CADRE GEOLOGIQUE DE LA REGION ETUDIEE (fig.6)

La vallée de l'Oued Sahel-Soummam, objet de cette étude dessine un étroit sillon d'orientation SW-NE. Elle est bordée au Nord par la chaîne du Djurdjura dont le plus haut sommet culmine à 2 308 m (sommet de Lalla Khedidja), et au Sud par les chaînons des Bibans et des Babors, dont l'altitude est rarement supérieure à 1 400 m.

Du point de vue géologique, la zone étudiée est constituée de plusieurs structures tectoniques, avec:

- au Nord, le massif kabyle, la chaîne calcaire et les flyschs sud et nord kabyles;
- au Sud, le tell méridional, auquel appartiennent les chaînons des Bibans et des Babors.

Ainsi la vallée de l'oued Sahel-Soummam forme la jonction entre le tell septentrional au Nord et le tell méridional au Sud.

II.2.2 - STRATIGRAPHIE - LITHOLOGIE

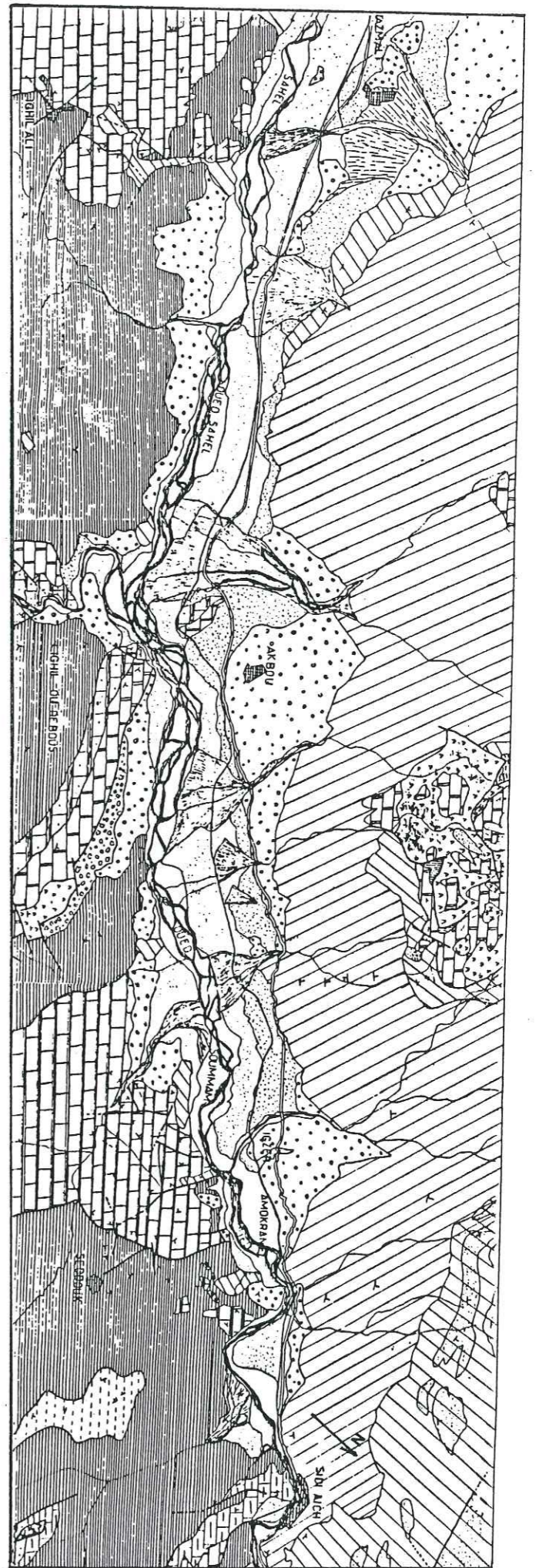
La série stratigraphique des formations affleurant en bordure de la vallée, en partant de la plus ancienne à la plus récente, est la suivante.

II.2.2.1 - Le Trias

Il forme des masses plus ou moins étendues le long de grandes cassures (Djebel Gueldamane). On le rencontre, également, le long des contacts de nappes (région nord d'Akbou). Il présente le faciès gypseux et dolomitique d'un trias tellien.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA VALLEE DE

L'OUED SAHEL-SOUMMAM D'APRES R. GRANGE inedit



- LEGENDE
- |  |   |  |  |  |               |
|--|---|--|--|--|---------------|
|  | ALUVIONS récents  |  | CENOMANIEN                                     |  | LIAS          |
|  | ALUVIONS anciens  |  | ALBO-BARREMIEN                                 |  | TRIAS         |
|  | MIOCENE marnes et conglomérats à galets calcaires et gresseux |  | EOCENE marnes gresseuses et gres calcaire rose |  | NEOCOMIEN     |
|  |   |  | CRETACE SUPERIEUR marnes schisteuses noires    |  | JURASSIQUE    |
|  |   |  | OLIGOCENE gres calcaires conglomérats-marnes   |  | FACIES FLYSCH |
|  |   |  |  |  | HOULLIER      |
|  |   |  |  |  | FRACTURES     |

FIGURE 6



echelle

### II.2.2.2 - Le Jurassique

Ce Jurassique est représenté par l'anticlinal faillé du Djebel Gueldamane, et par le piton d'Akbou qui font partie du domaine des Babors occidentaux. Il serait parautochtone. On rencontre, également, un Jurassique franchement allochtone qui affleure dans la région de Guendouz.

Ce Jurassique comprend:

- a) un Lias calcaire et dolomitique à cassure grise ou rouille;
- b) un Jurassique moyen formé de marnes et de calcaires oolithiques bien lités.

Le terme de passage du Jurassique au Crétacé (Néocomien) est formé de calcaires marneux et de marnes à débit noduleux.

### II.2.3 - LE CRÉTACÉ

Il faut distinguer le Crétacé parautochtone du Crétacé allochtone (ou nappé).

#### II.2.3.1 - Le Crétacé parautochtone

Il affleure en rive droite depuis l'oued El Mahrir, jusqu'au Djebel Gueldamane où il forme un vaste synclinal à fond plat.

Il constitue également la rive droite de la Soummam entre l'oued Seddouk et Sidi-Aïch.

En rive gauche, on ne le rencontre qu'à l'Ouest du village d'Ighram.

On y distingue:

a) Le Néocomien constitué de calcaires marneux et de marnes à débit noduleux.

b) L'Albo-Aptien représenté par des schistes noirs, à débit en plaquettes et par des calcaires beiges au sommet (synclinal du Djebel Gueldamane).

c) Le Crétacé supérieur est formé de calcaires noirs et de marnes schisteuses noires (rive droite de la Soummam à l'aval de l'oued Seddouk).

#### II.2.3.2 - Le Crétacé allochtone

Il forme la majeure partie de la rive gauche de l'oued Sahel-Soummam. On le rencontre également en position chevauchante sur le flanc nord du Djebel Gueldamane, et à l'Est du village de Seddouk.

Il est constitué de quatre grandes unités tectoniques.

a) Les flyschs internes affleurent en rive gauche depuis l'oued Beni-Hamdoun jusqu'à Sidi-Aïch. Les formations y apparaissent sans ordre structural. On y rencontre:

- un terme gypseux associé à des grès fins à grossiers et des quartzites (Albo-Aptien);

- un terme pélitique formé de schistes noirs, grisâtres à brun noirs à petits bancs de calcaires noirs, de quartzites, de phanites Cénomano-Sénoniennes.

b) L'unité tellienne surmonte les flyschs internes. On y distingue:

- un Crétacé moyen (Cénomaniens à Turoniens) constitué de marnes brunâtres à débit en plaquettes;

- un Crétacé supérieur (Sénonien) renfermant des marnes brunes à microbrèches, des conglomérats en bancs ou à éléments dispersés dans une matrice argileuse; des calcaires en boules jaunes, mais jamais de quartzites. C'est en effet, ce critère qui le distingue du Sénonien des flyschs.

Le Crétacé du flanc nord du Djebel Gueldamane ne s'observe que le long des oueds qui entaillent le Djebel. Le reste étant recouvert par des éboulis de pente.

c) Les flyschs externes chevauchent l'unité tellienne et se rencontrent principalement au Nord d'Akbou. Ils comprennent une série allant de l'Albo-Aptien jusqu'au Sénonien, mais la série est renversée (Sénonien à la base).

On y distingue:

- L'Albo-Aptien constitué de pélites sombres alternant avec des bancs de grès verts ou blanchâtres et de quartzites. Il renferme également des microbrèches sableuses.

- Le Cénomaniens-Turoniens est formé de marnes et de calcaires gris, avec quelques lits de quartzites gris et de phanites noires.

- Le Sénonien comprend des pélites bleu-sombre avec des bancs espacés de quartzites gris, de microbrèches argileuses, de conglomérats grossiers, mais le plus souvent les galets sont dispersés dans les pélites.

d) La nappe de l'Arbala-Seddouk, elle est constituée de marnes noires à boules de calcaires à patine jaune d'âge Sénonien (faciès tellien).

- L'Eocène fait partie des flyschs internes et affleure aux environs du village de Tifrit. Il est formé de marnes rouges à microbrèches calcaires, de grès glauconieux vert-sombres, de grès quartziteux, de conglomérats gréseux et de calcaires de couleur rouille.

### II.2.4 - LE MIOCÈNE II

Le Miocène post-nappe est une épaisse série de conglomérats jaunâtres à rouges briques où alternent des niveaux marno-gréseux. Les éléments conglomératiques sont de taille très variable. Cette série est transgressive, ou en contact par faille avec les autres formations. Elle appartient

drait encore au Miocène inférieur. Ce Miocène affleure largement en rive gauche de la Soummam dans la région d'Akbou et d'Azib.

En rive gauche de l'oued Sahel, il affleure au Nord de Tazmalt. Il existe également quelques pointements du Miocène au sein de la plaine alluviale à l'Ouest et à l'Est de Tazmalt.

II.2.5 - LE QUATERNAIRE

Il occupe le fond de la cuvette creusée par l'oued Sahel-Soummam et ses affluents. Il comprend les importants cônes de déjection des affluents de rive gauche de l'oued Beni-Mellikench, Ighzer Illoula, Ighzer Tifrit, Ighzer Mchaa, Ighzer Tsiar et Amokrane, et ceux moins importants des affluents de rive droite, avec l'oued Seddouk, Ighzer Oukri et l'oued Dessène.

Les éboulis de pente sont bien développés sur le flanc du Djebel Gueldamane. Les alluvions de l'oued Sahel-Soummam forment une série de terrasses constituées de galets, graviers sables et argiles.

II.3 - COUPES DANS LA RÉGION D'AKBOU (fig.7)

L'examen des coupes de la figure 7 effectuées dans la région d'Akbou, montre que l'unité tellienne apparaît intercalée entre les deux unités à matériel (flysch et ne se voit que là. Quand cette unité tellienne est absente, on peut montrer qu'il s'agit d'une oblitération liée à la tectonique post-nappe. C'est le cas de la coupe de l'Ighzer Tsiar (d'après A. COUTELLE).

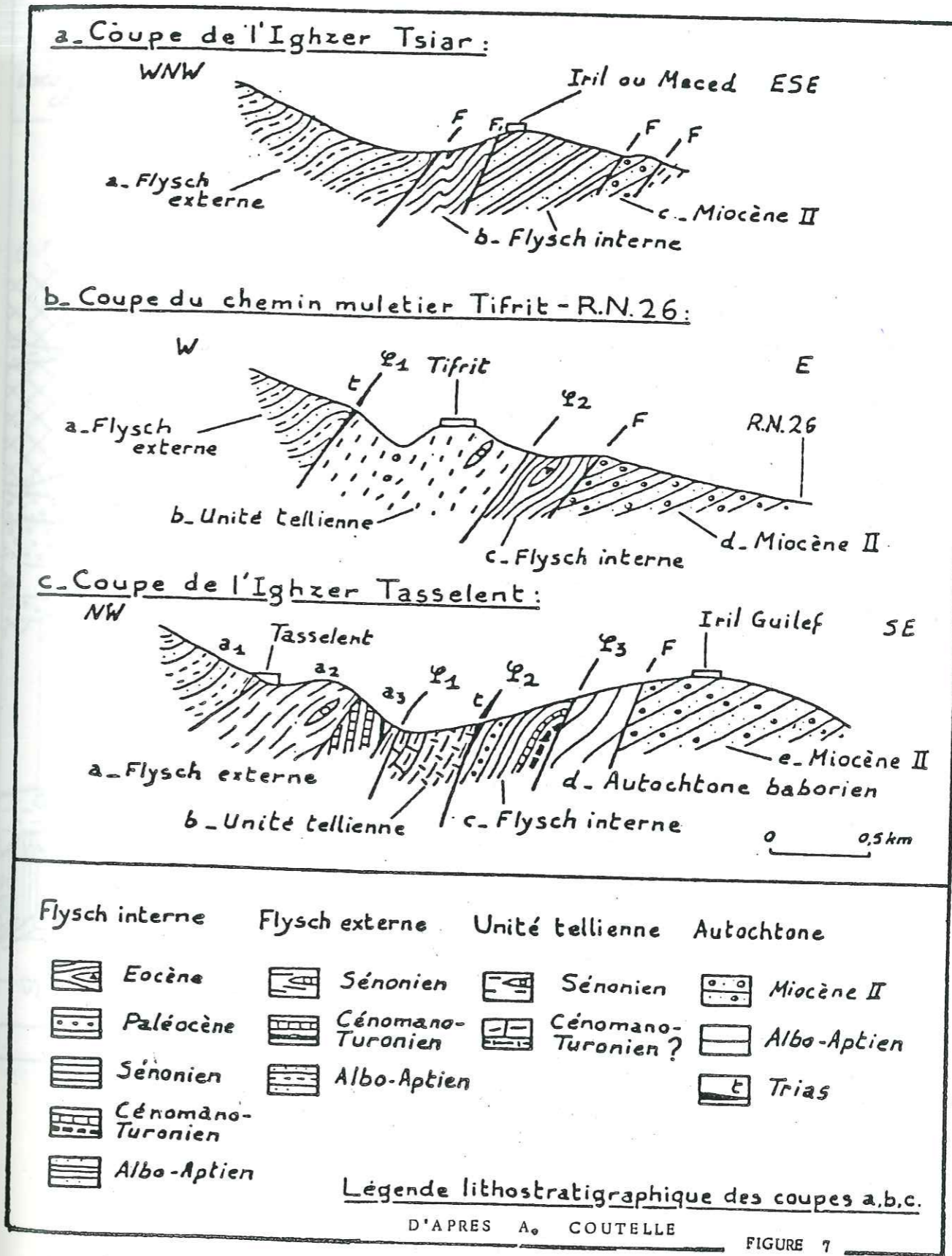
II.4 - TECTONIQUE

On se limitera à donner quelques traits généraux de la tectonique très complexe de la région qui fait encore l'objet de nombreuses études structurales.

Durant la période qui va du Jurassique au Crétacé, on rencontre du Nord au Sud:

- un bassin externe où se sédimentent les formations qui donneront les flyschs externes;
- un bassin interne où se déposent les matériaux qui forment la chaîne calcaire;
- une zone où se constituent les formations du sillon tellien.

Il y a de ce fait une grande analogie de faciès entre les formations des flyschs externes et celles du sillon tellien.





## II.5 - ESQUISSE STRUCTURALE (A. COUTELLE)

La carte de la figure 8 permet de situer la région étudiée dans un cadre géologique plus vaste. Sauf au Sud où l'autochtone apparaît, il s'agit entièrement d'un pays de nappes, d'épaisseur relativement faible par rapport à leur extension, en séries généralement normales. Quatre grands ensembles stratigraphiques et structuraux peuvent y être individualisés.

### II.5.1 - AUTOCHTONE ET PARAUTOCHTONE

L'autochtone s'observe au Sud de la zone étudiée (Djébel Mansoura, Djébel Choukchot). Sa série stratigraphique se caractérise par un Mésozoïque-Eocène à influences néritiques et un cénozoïque marno-gréseux. Le parautochtone apparaît dans un certain nombre de fenêtres d'importance inégale (chaîne des Azerou, Djebel Guergour).

### II.5.2 - LES UNITES ALLOCHTONES INFÉRIEURES

Elles comprennent un soubassement écaillé où dominent les terrains jurassiques et crétacés (unité des Biban, de Bou Hamza, de Beni Ourtilane) et supportent un empilement de nappes, d'origine de plus en plus lointaine au fur et à mesure qu'on monte dans l'édifice.

### II.5.3 - LES UNITES ALLOCHTONES MĒDIANES

Ce troisième ensemble d'unités formé lui aussi d'une base jurassico-crétacé (unité de Barbacha) qui surmonte anormalement une superstructure réduite presque exclusivement à une nappe: le Numidien.

### II.5.4 - LES UNITES ALLOCHTONES SUPÉRIEURES

Enfin supporté par les deux autres ensembles immédiatement inférieurs, un ensemble d'unités supérieures termine l'empilement. On y observe une lame de socle métamorphique d'âge paléozoïque (socle kabyle) et sa couverture sédimentaire (chaîne calcaire) est surmontée par des unités à faciès flysch dominant. En ce qui concerne ces recouvrements, il faut signaler le rôle notable de la gravité, et le fait que l'origine d'une partie importante du matériel est encore très discutée.

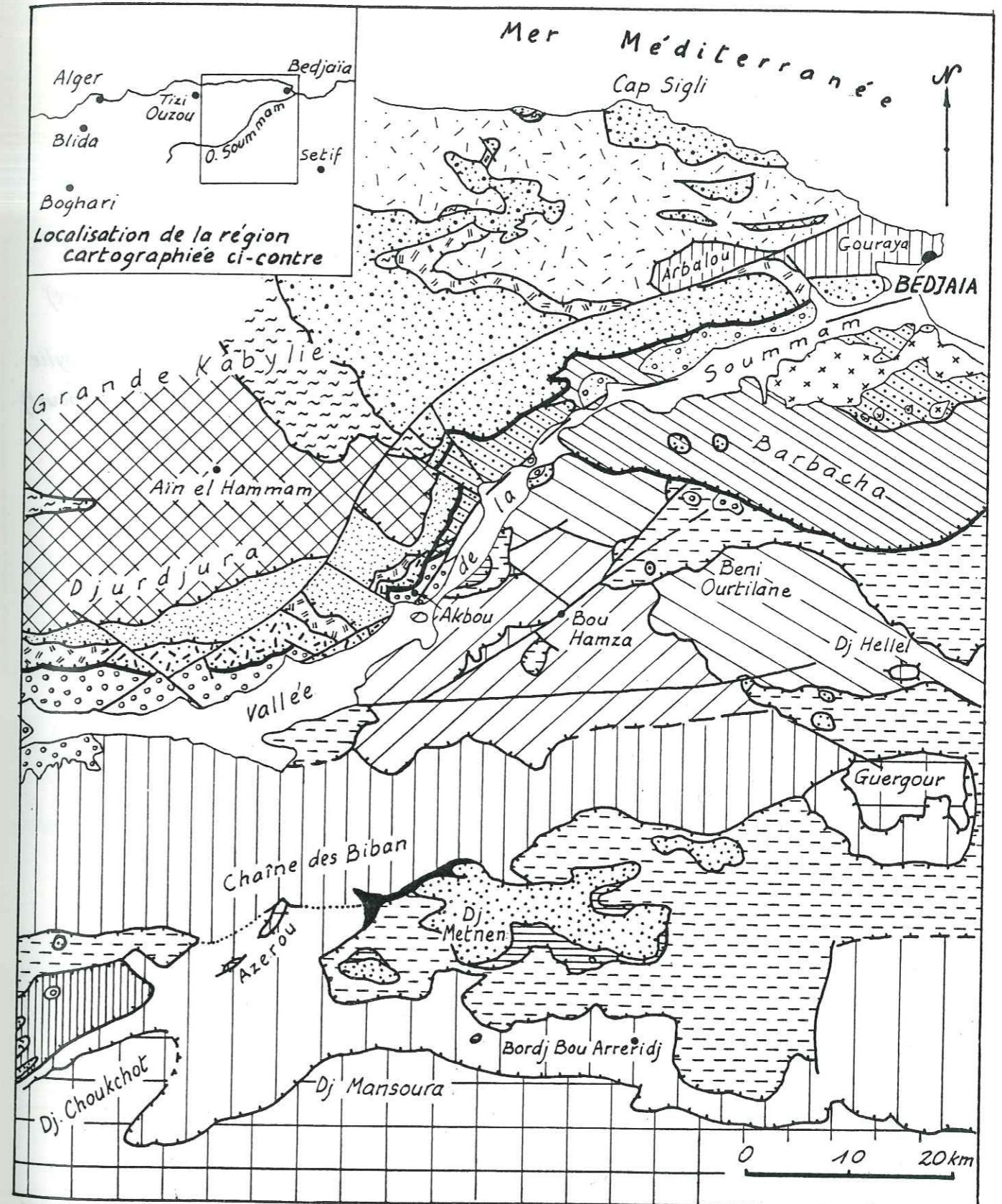




Schéma structural de l'E de la Grande Kabylie, des Babors occidentaux et de la région des Biban. Mis à part les contours de la portion centrale et centro-occidentale du schéma structural, qui sont originaux, les autres tracés sont empruntés à A. Caire (1957) pour la portion méridionale, à J. Glâçon (1964) et J.M. Vila et M. Leikine (1976) pour la région du Guergour-Hellel, à M. Leikine (1971) pour la région située au S de Bejaïa, à F. Laval (1974) pour tout le NE de la Grande Kabylie.


 Quaternaire

*Unités supérieures*


 Numidien


 Flysch chaotique

 Socle kabyle et Chaîne calcaire

 Unité des Ait Ouakour (flysch de Guerrouch et formation de bordure)


 Unités des Beni ou Amar et d'El Medjeze (flanc sud du Djurdjura) et unité marneuse et microconglomératique du NE de la Grande Kabylie

 Unité inférieure des flyschs du flanc sud du Djurdjura (u. de Takerbouzt)

 Unité inférieure des flyschs du NE de la Grande Kabylie

 Unité du Djebel Gouraya


*Unités médianes*

 Miocène de la Basse Soummam (sédimentaire et éruptif)

 Numidien

 Unité de Barbacha et apparentées

*Unités inférieures*

 Miocène de la Moyenne Soummam


 Numidien et "Medjanien"

 Flysch crétacé de la lame C<sub>2</sub>

 Unités à Sénonien conglomératique, lame C<sub>1</sub>

 Unités à Sénonien marneux, lames B

 Unité des Beni Ourtilane

 Unité de Bou Hamza

 Unité des Biban

 Lames A


 Trias tellien

 Autochtone et paraautochtone

*Contacts géologiques*

 Limite stratigraphique

 Base de nappe

 Recouvrement post-nappes

 Faille

Légende du schéma structural.

II.5.5 - CONCLUSION

La coupe synthétique de l'extrémité orientale du Djurdjura (fig.9) d'après A. COUTELLE, permet de mieux rendre compte des superpositions observées.

Sur cette coupe, les flyschs du flanc sud du Djurdjura sont distingués par leur origine paléogéographique. Structuralement, on peut distinguer les flyschs supérieurs (flyschs externes) et les flyschs inférieurs (flyschs internes). Ces derniers sont identiques par leur faciès à certaines unités des flyschs qui reposent sur la grande kabylie (flysch supra-kabyle) eux aussi supposés d'origine interne. On obtient ainsi, dans l'ordre de haut en bas:

- Flysch interne
- Domaine kabyle
- Formation de bordure
- Flysch externe
- Unité tellienne
- Autochtone relatif Baborien.

II.6 - FACIÈS DES FORMATIONS DE BORDURE ET GÉOMORPHOLOGIE DE LA PLAINE

II.6.1 - FACIES

Les formations affleurant sur les bordures de la plaine alluviale offrent cinq types principaux de faciès.

a) Une série calcaire et dolomitique - Elle est représentée par l'anticlinal faillé du Djébel Gueldamane et le piton d'Akbou.

b) Une série pélitique que l'on rencontre en rive droite de l'oued Sahel principalement. Elle est constituée de pélites sombres à débit en frites.

c) Une série calcaro-marneuse et marneuse affleurant sur le flanc nord du Djébel Gueldamane et au Nord d'Akbou, qui constitue l'unité tellienne.

d) Une série de flysch située en rive gauche de l'oued Sahel-Soummam, on y rencontre des pélites bleu-sombres à débits en paillettes intercalées de bancs ou de lentilles de grès fins à grossiers ou de quartzites. Cette formation renferme également des phtanites et des radiolarites.

e) Une série conglomératique - de teinte rouge brique, elle comprend des éléments de tailles variables empruntés presque exclusivement aux flyschs et à la chaîne calcaire, alternant avec des niveaux marno-

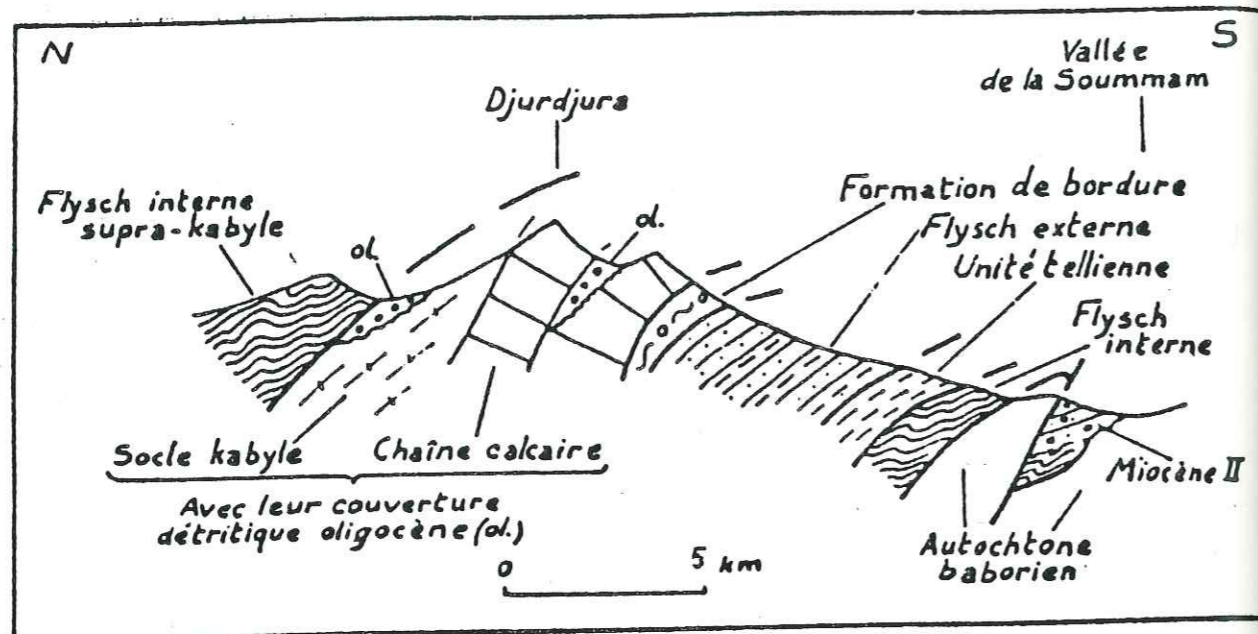


FIGURE 9 Coupe synthétique de l'extrémité orientale du Djurdjura. Sur la figure, les flyschs du flanc sud du Djurdjura sont distingués par leur origine paléogéographique. Structuralement, on distingue les flyschs supérieurs (= Flysch externe) et les flyschs inférieurs (= Flysch interne). Ces derniers sont identiques par leurs faciès à certaines unités des flyschs qui reposent sur la Grande Kabylie (= flyschs suprakabyles) eux aussi d'origine supposée interne. D'APRES A. COUTELLE

gréseux. Elle affleure largement dans la région de Tazmalt et d'Akbou. Mis à part la série calcaire de faible extension et la série conglomératique, toutes ces formations peuvent être considérées du point de vue hydrogéologique comme semi-perméables à imperméables.

Le ruissellement sur les flancs du bassin versant est donc très important et les réserves souterraines peu développées sauf dans les formations miocènes et surtout quaternaires.

#### II.6.2 - GEOMORPHOLOGIE DE LA PLAINE

La carte géomorphologique avec les différentes terrasses alluviales a été établie au moyen de la couverture aérienne au 1/10 000e de la vallée de l'oued Sahel-Soummam. Elle est complétée par des observations faites sur le terrain. Les formations quaternaires de la région étudiée sont représentées par des faciès alluviaux particulièrement développés sur la rive gauche (fig.10).

On y observe une grande dissymétrie entre les deux rives. En effet, le cours de l'oued semble être constamment repoussé vers le Sud par les cônes de déjection des affluents de la rive gauche. De ce fait, les terrasses alluviales de la rive droite sont de très faible extension, et parfois même inexistantes.

Ainsi à l'embouchure de l'oued Bou-Sellam, l'oued coule pratiquement sur le substratum crétacé.

Le lit d'inondation de l'oued occupe une grande superficie. Sa largeur est minimum aux seuils de Takrietz et de Sidi Aïch (90 m environ) et est maximum à l'Est d'Akbou et d'Azib (entre 1000 et 1200m).

Quatre niveaux de terrasses alluviales ont pu être mis en évidence, cependant les corrélations, tant longitudinales que transversales entre ces différentes terrasses étant très difficiles à établir sans étude sédimentologique de la nature des matériaux qui les constituent. Elles sont par conséquent différenciées plus par leur position topographique par rapport au lit de l'oued que par un critère d'âge. Ces terrasses alluviales disposées en gradins d'altitudes décroissantes, sont des plus anciennes au plus récentes.

##### II.6.2.1 - Alluvions anciennes de la première terrasse

Cette terrasse présente une grande extension en rive gauche de l'oued où elle occupe la majeure partie de la plaine alluviale. Elle est surtout bien représentée dans les régions d'Ighzer Amokrane, d'Azib et de Tazmalt.

COUPES TRANSVERSALES A TRAVERS LES ALLUVIONS

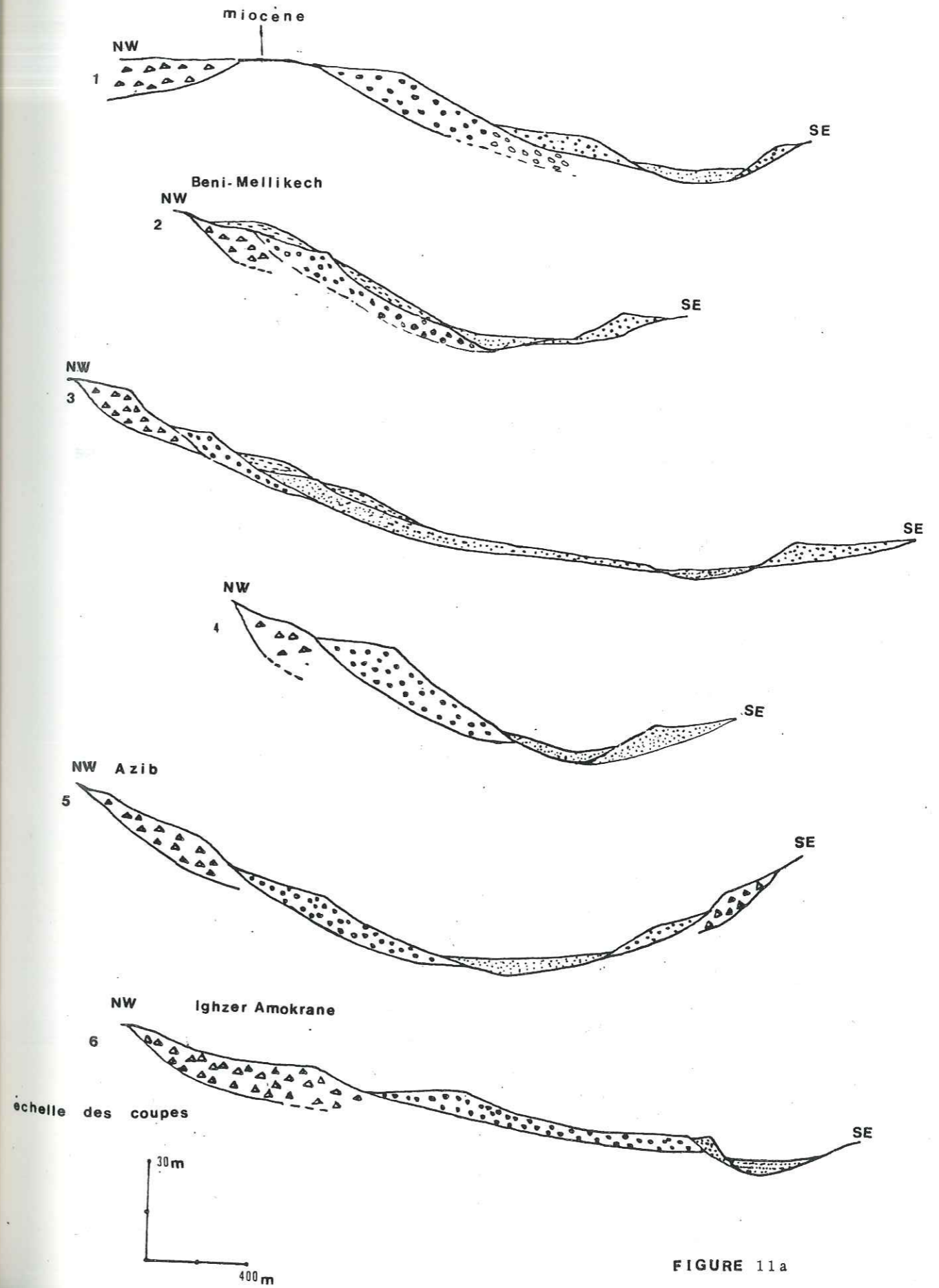
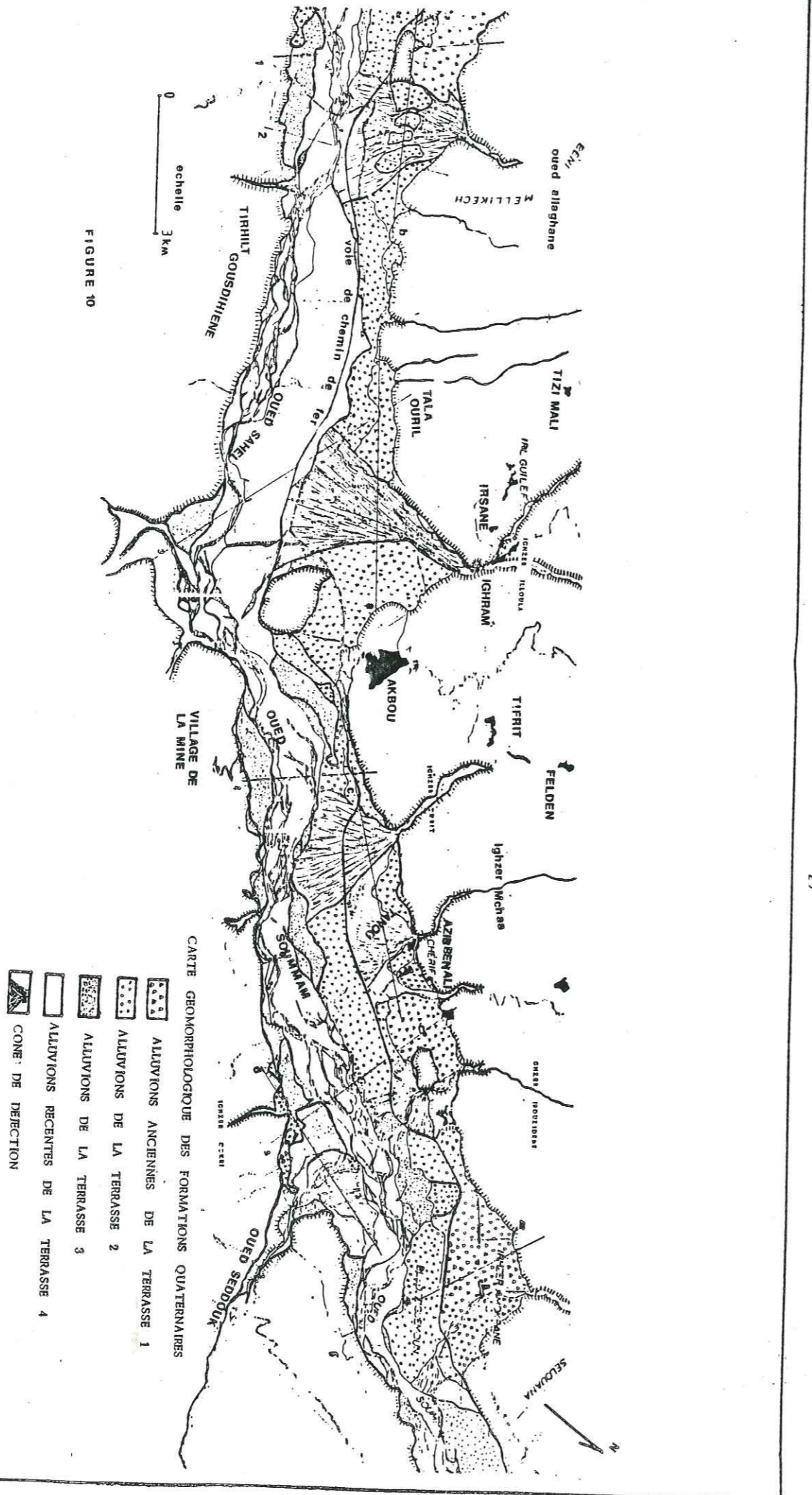
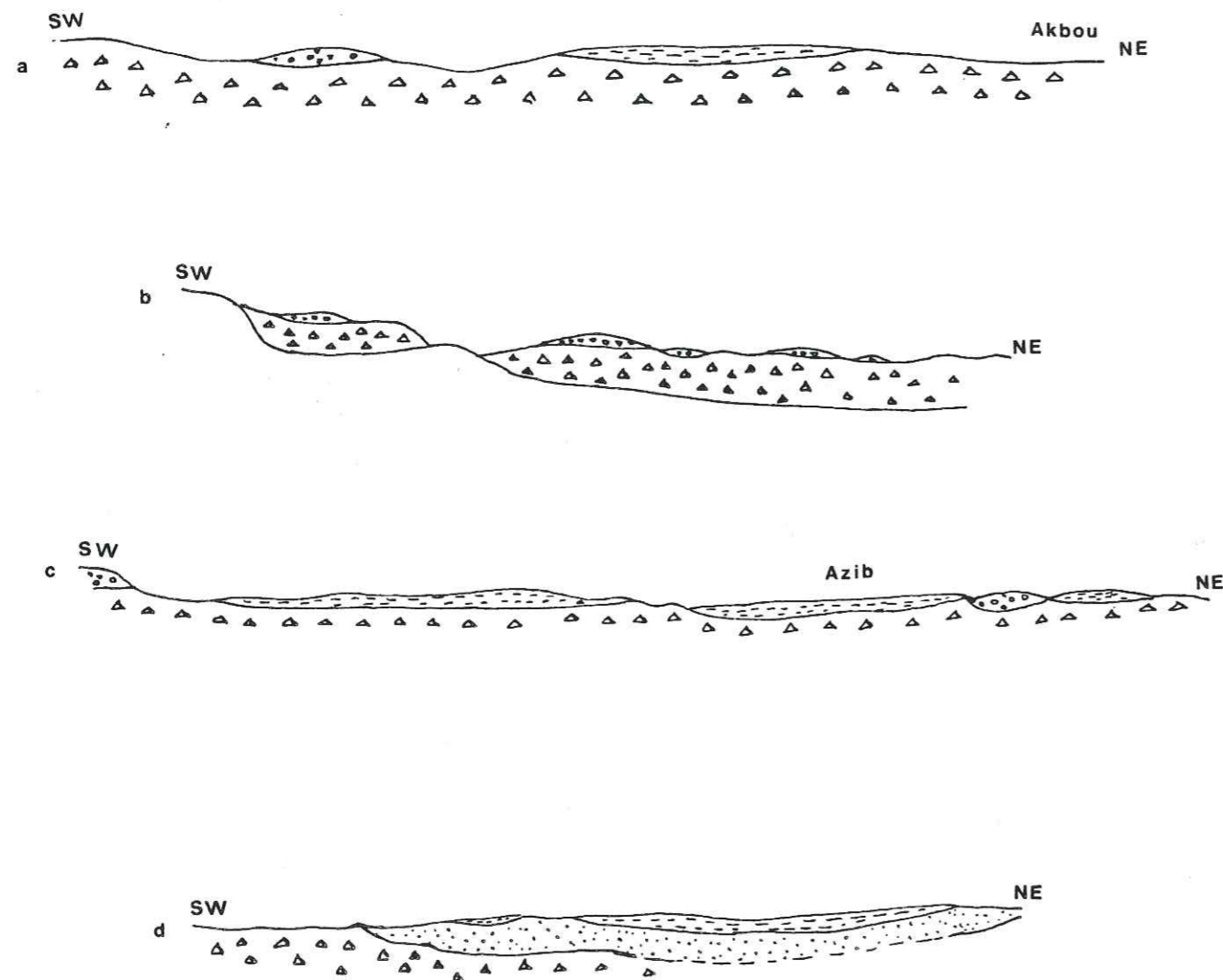


FIGURE 11a

29



## COUPES EN LONG DANS LES ALLUVIONS



## LEGENDE






-  ALLUVIONS ANCIENNES DE LA PREMIERE TERRASSE
-  ALLUVIONS DE LA DEUXIEME TERRASSE
-  ALLUVIONS DE LA TROIXIEME TERRASSE
-  ALLUVIONS RECENTES DE LA QUATRIEME TERRASSE
-  CONE DE DEJECTION

FIGURE 11b

Les pentes y sont accentuées atteignant parfois jusqu'à 10 %. On y trouve des niveaux d'argiles, de galets, de graviers et d'argiles graveleuses. On retrouve également un niveau qui peut être assimilé à une cinquième terrasse de très faible extension, et qui correspond en fait à une ancienne terrasse démantelée. Elle est visible uniquement dans la région de Tazmalt où elle recouvre le plus souvent des "buttes témoins" du Miocène. Au niveau ces "buttes", les isopièzes se resserent laissant supposer une mauvaise perméabilité des terrains.

## II.6.2.2 - Alluvions de la deuxième terrasse

Cette terrasse est pratiquement absente au niveau de la rive droite; en rive gauche, par contre, elle forme des niveaux assez continus avec des épaisseurs parfois supérieures à 10 mètres. On la retrouve comme pour la précédente terrasse, bien représentée dans la région d'Ighser Amokrane, d'Azib et de Tazmalt.

Elle est constituée généralement de niveaux de graviers argileux, galets et sables. Les pentes y sont plus faibles que pour la première terrasse, ne dépassant pas quelques degrés.

## II.6.2.3 - Alluvions de la troisième terrasse

Cette terrasse est dissymétrique et discontinue sur les deux rives. Elle forme des lambeaux dont les épaisseurs varient de 1 à 10 m. Elle affleure assez largement au niveau de Takrietz. Du point de vue constitutif elle présente généralement des graviers, des galets et des sables argileux. On note souvent un niveau de graviers argileux à la base. Les pentes sont relativement faibles par rapport aux terrasses précédentes.

## II.6.2.4 - Alluvions récentes de la quatrième terrasse

Elle est constituée par les alluvions actuelles avec des galets et des limons. Ces alluvions occupent le lit d'inondation de l'oued. On note parfois la présence de gros galets qui peut s'expliquer pour leur transport par l'oued en crue.

Cette terrasse présente une faible pente et correspond au niveau zéro.

Les cônes de déjection actuels des affluents de l'oued Sahel-Soummam occupent généralement une grande superficie en rive gauche où ils tendent à repousser constamment le lit de l'oued vers la rive droite. Ces cônes de déjection sont formés par les oueds torrentiels descendant de Djurdjura.

La longueur de leur cours ne dépasse pas 15 kilomètres, alors que leur pente moyenne avant de déboucher dans la plaine est supérieure à 15 %. Cette pente se réduit à 2 ou 3 % dans la plaine alluviale.

En rive droite, on n'observe que deux cours de déjection importants. Ce sont ceux des oueds Seddouk et Dessène.

L'érosion post-miocène et anté-quaternaire a donné une paléomorphologie différente de l'actuelle. L'oued Sahel-Soummam ayant occupé différentes positions durant le Quaternaire. En particulier, l'ancien lit de l'oued passait à l'Ouest du piton d'Akbou. Ceci peut se constater grâce à la topographie, la vallée étant plus encaissée du côté ouest du piton.

La morphologie des cônes de déjection et du lit d'inondation de l'oued Sahel-Soummam se trouve modifiée de façon importante après chaque crue. Ces modifications peuvent s'observer à l'aide de nombreuses photographies aériennes prises à des époques différentes.

-----

### CHAPITRE III

#### ETUDE DU REMPLISSAGE MIO-QUATERNAIRE DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL - SOUMMAM

---

##### III.1 - INTRODUCTION

##### III.2 - ETUDE DU REMPLISSAGE MIO-QUATERNAIRE PAR PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

##### III.3 - ETUDE DU REMPLISSAGE MIO-QUATERNAIRE PAR LES SONDAGES MÉCANIQUES

##### III.4 - CONCLUSION

### CHAPITRE III

#### ETUDE DU REMPLISSAGE MIO-QUATERNAIRE

#### DE LA VALLEE DE L'OUED SOUMMAM

##### III.1 - INTRODUCTION

Au cours de cette étude, on s'attachera à définir l'aquifère utile et à en établir la géométrie en se basant essentiellement sur:

- les données lithologiques de forages;
- l'étude par prospection géophysique (rapport CGG 1969).

L'aquifère utile défini par son toit et son mur comprendra:

- Le quaternaire généralement constitué de graviers et de galets;
- Le Miocène conglomératique d'origine continentale qui affleure sur le flanc sud du Djurdjura. Ce Miocène présente des niveaux grossiers (galets et graviers) alternant avec des argiles sableuses ou graveleuses. Le Crétacé calcaréo-marneux peut-être considéré comme limite imperméable ou base du réservoir aquifère.

Il est à noter que la distinction entre les alluvions et le Miocène conglomératique est délicate à faire; la lithologie de ces deux formations étant pratiquement identique.

Au Sud-Est d'Azib, en rive gauche de l'oued Soummam, les forages S8 et RS 10 ont traversé 60 à 70 m de graviers et de galets avant de pénétrer dans une formation plus argileuse. Il est impossible de dire si les formations grossières sont en partie du Miocène.

##### III.2 - ÉTUDE DU REMPLISSAGE MIO-QUATERNAIRE PAR PROSPECTION GÉOPHYSIQUE

La C.G.G. (Compagnie Générale de Géophysique) a effectué une étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Sahel-Soummam entre Chorfa (Ouest de Tazmalt) et Bejaïa par prospection électrique.

Les travaux sur le terrain ont eu lieu du 1er septembre 1969 au 31 mars 1970. En raison de la présence du seuil hydrogéologique de Sidi-Aïch et du verrou de Takrietz (et pour des raisons d'ordre pratique) l'étude est scindée en deux zones:

- zone 1 : De Chorfa à Sidi-Aïch
- zone 2 : De Sidi-Aïch à Béjaïa

III.2.1 - EXPOSE DE LA METHODE

La prospection électrique consiste à mesurer la résistivité des différentes tranches de terrain des formations de surface. Le dispositif SCHLUMBERGER a été utilisé : un quadripole AMNB dans lequel A et B sont les électrodes d'injection de courant et MN les électrodes de mesure.

D'après la loi d'OHM

$$= k \frac{\Delta V}{I} \text{ où } \rho = \text{résistivité apparente des terrains traversés.}$$

$$\Delta V = \text{différence de potentiel mesuré en M et N}$$

$$I = \text{Intensité de courant émise entre A et B}$$

En agrandissant le dispositif, on augmente la profondeur d'investigation, on trace la courbe  $\rho = f \left( \frac{AB}{2} \right)$  sur un diagramme bilogarithmique.

III.2.2 - OBJECTIF DE LA METHODE

Le problème posé à la géophysique était de déterminer l'épaisseur approximative des niveaux grossiers, aussi bien des alluvions anciennes et récentes que du Miocène. Ceci d'une part pour faire un essai de bilan de la nappe et d'autre part pour préciser les zones susceptibles de fournir les meilleurs débits.

III.2.3 - INTERPRETATION DES RESULTATS

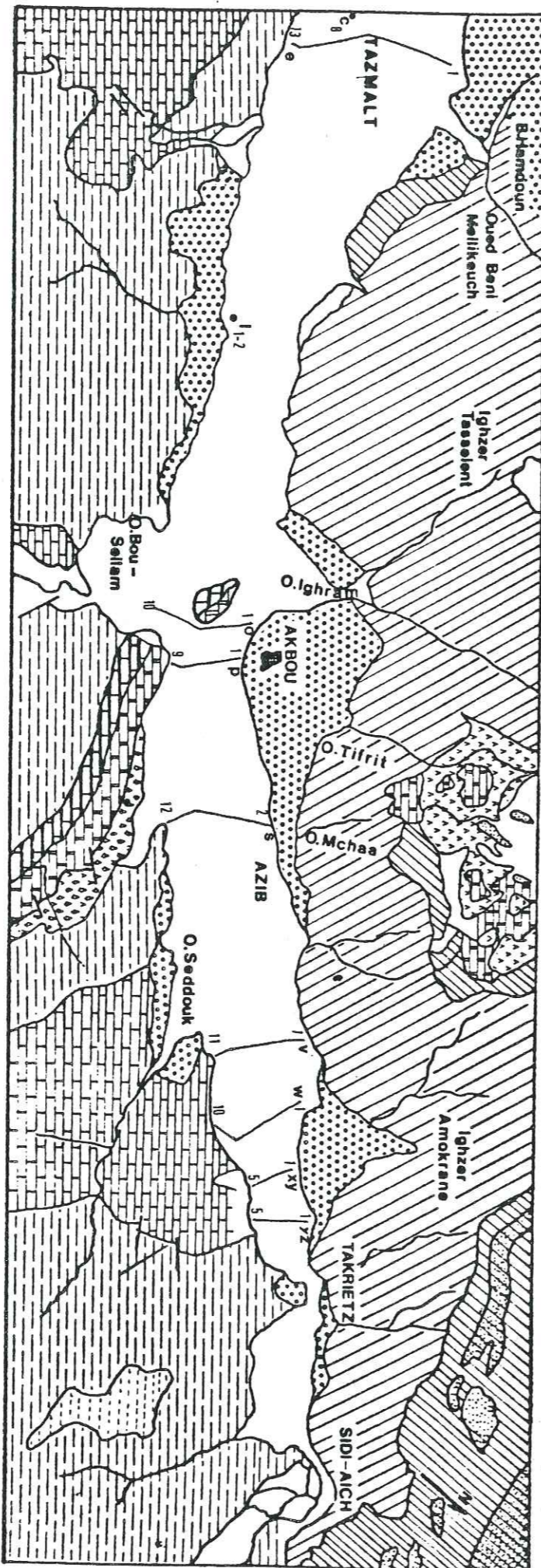
Les données concernant la vallée avant l'étude géophysique sont d'origine diverses donc avec des caractères plus ou moins contestables. Seuls, le forage réalisé par la mission bulgare dans la région de Chorfa et les forages effectués par le service du Génie Rural dans la région d'Ighil Ali présentent une certaine fiabilité.

Des sondages électriques d'étalonnage sur ces ouvrages ont été réalisés. L'examen des diagrammes permet d'apporter les renseignements suivants.

III.2.3.1 - S.E. C8 sur le forage dit "bulgare"

Ce forage atteint des marnes et calcaires (sans doute Cénomaniens à la Côte de - 186 m (fig.13a).

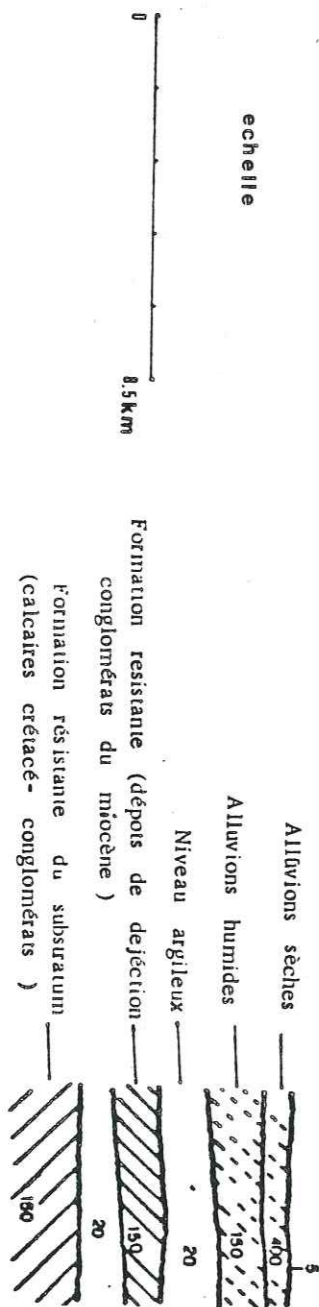
HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE DE LOUED SAHEL-SOUMMAM



PLAN DE POSITION DES COUPES GEOELECTRIQUES ET DES SONDAGES ETALONS

FIGURE 12

DES COUPES GEOELECTRIQUES





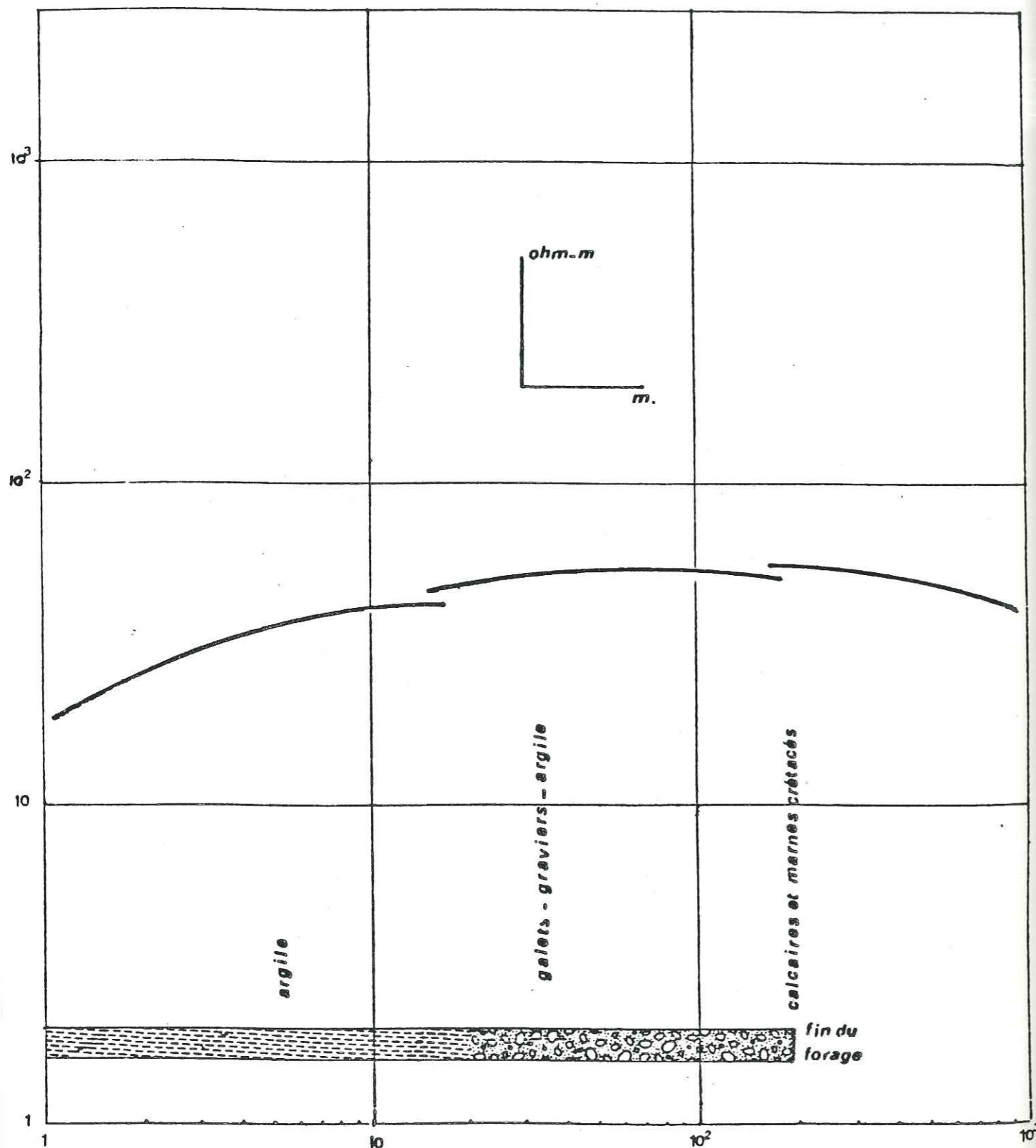


FIGURE 13a S.E. ETALON C8 SUR FORAGE DIT 'BULGARE'

L'examen conjugué de sa coupe et du diagramme S.E permet de montrer:

- L'importance de l'épaisseur des niveaux de galets, graviers et argiles, appartenant à la fois aux cônes de déjections et au Miocène.

Par comparaison avec les autres SE voisins, on peut dégager un horizon de base du Miocène (ici de 70 à 150 m) dont la résistivité serait de 80 à 150  $\Omega$ m. On constate avec ce sondage électrique qu'il est difficile de distinguer les niveaux appartenant aux alluvions de ceux du Miocène du fait de la quasi-équivalence de leur résistivité.

### III.2.3.2 - S.E sur le forage d'Ighil Ali

Ce forage a été exécuté par le C.H.R.A. de Sétif. Le diagramme S.E. permet de distinguer:

- Un niveau résistant englobant sables, graviers et galets secs. Les alluvions grossières sèches se manifestent par une "cloche" très marquée (fig. 13b). Sa résistance transversale ( $R_t = \text{épaisseur de la formation} \times \text{sa résistivité}$ ) peut être évaluée à 3 000  $\Omega$ m<sup>2</sup>, soit une valeur de la résistivité réelle des alluvions sèches égales à  $\frac{3000}{7} \approx 430 \Omega$ m.

- Un niveau de résistivité moindre et de forte épaisseur correspondant aux alluvions humides. Sa résistance transversale peut être évaluée à 2800  $\Omega$ m<sup>2</sup>. Cette résistance s'applique en grande partie à la tranche de matériaux grossiers de 7 m à 33 m (soit 26 m). La résistivité des alluvions grossières humides est donc de  $\frac{2800}{26} \approx 107 \Omega$ m.

- Un niveau conducteur qui peut correspondre à des argiles plus ou moins graveleuses et dont la résistivité peut être évaluée à 20-30  $\Omega$ m.

- Un niveau conducteur final attribué au substratum calcaréo-marneux.

### III.2.3.3 - Echelles des résistivités

En conclusion à l'examen des S.E réalisés, on peut se permettre de fixer l'échelle des résistivités suivantes:

- |                          |   |
|--------------------------|---|
|                          | - calcaires 150 - 200 $\Omega$ m                                    |
| a) Substratum            | - marnes et calcaires 100 $\Omega$ m                                |
|                          | - marnes et schistes 20 à 60 $\Omega$ m                             |
| b) Miocène               | - poudingues, argiles, grès 100 à 150 $\Omega$ m                    |
|                          | - argiles 5-20 $\Omega$ m   |
|                          | - alluvions sèches (terrasses actuelles) 100 à 400 $\Omega$ m       |
|                          | (graviers, galets, sables)  |
| c) Recouvrement alluvial | - alluvions actuelles (graviers, sables galets) 80 à 200 $\Omega$ m |
|                          | - alluvions actuelles (sables argiles) 20 à 40 $\Omega$ m           |

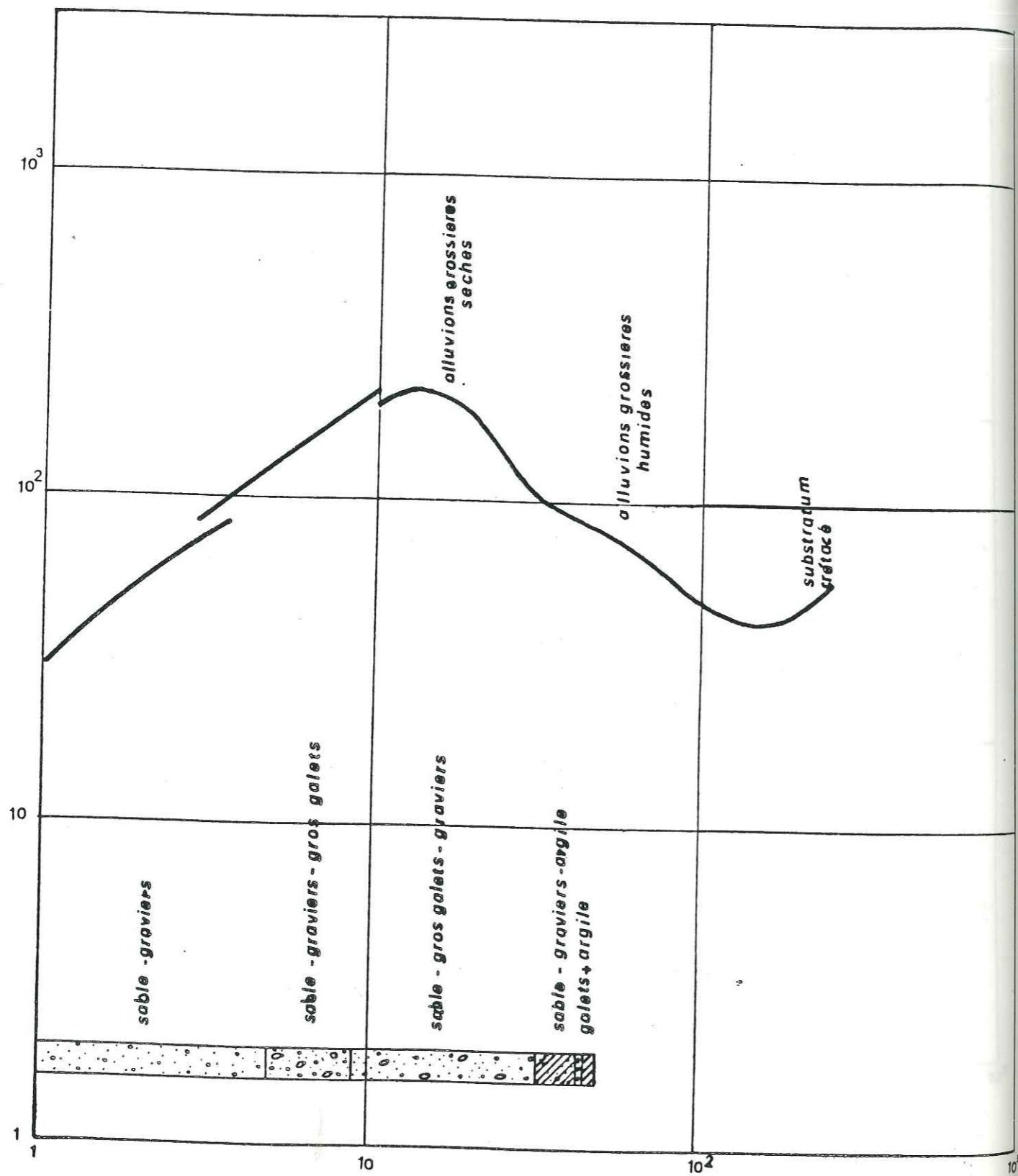


FIGURE 13b SE ETALON SUR FORAGE D'IGHIL ALI

L'examen de cette échelle de résistivités, nous montre que la distinction entre les alluvions, les cônes de déjection et le Miocène formé de poudingues argileux reste difficile à faire avec exactitude, du fait de l'équivalence de leurs résistivités.

Les alluvions se distinguent électriquement d'une façon assez nette lorsqu'on a affaire à des graviers et galets des terrasses actuelles reposant sur un substratum marneux.

Par contre, cette distinction devient délicate lorsque d'une part les alluvions sont sablo-argileuses et reposent sur un substratum marno-calcaire.

#### III.2.3.4 - Examen des coupes géoélectriques à travers la vallée

Ces coupes ont été représentées à l'échelle verticale 1/2000e. Comme il a été constaté précédemment, les faibles différenciations de résistivité permettent difficilement de distinguer les alluvions proprement dites des anciennes terrasses, cônes de déjection, grès et conglomérats du Miocène.

Cependant, certains niveaux conducteurs ont pu servir de repères. Ce sont la base des alluvions et la base du Miocène.

Ces repères sont plus ou moins bien marqués, mais la plupart du temps, ils permettent de retrouver d'une coupe à l'autre, des allures identiques et des épaisseurs du même ordre pour les niveaux de même nature.

a) Coupes C et E (fig. 14a) - On voit sur ces coupes d'épaisses formations résistantes (de résistivité de l'ordre de  $150 \Omega m$  reposant sur un substratum conducteur à  $20 \Omega m$ .

Ces formations étant donné leur nature conglomératique, leur épaisseur et leur allure synclinale, ne peuvent être attribuées qu'aux poudingues du Miocène.

Au Sud, sur la coupe E, apparaît un terrain résistant, qui n'est pas du Miocène, mais se rattache probablement aux affleurements du Crétacé. Sur cette coupe E, on voit bien les couches de conglomérats miocènes plissés, qui se distinguent aussi suffisamment bien du recouvrement récent et les alluvions de l'oued.

b) Coupes P, S, W (fig. 14b et c) - Ces coupes prises plus à l'Est sont encore interprétables géologiquement, bien qu'il soit difficile de dire ce qui appartient aux dépôts de déjection et au Miocène. Mais les alluvions récentes, au moins dans la partie basse de l'oued restent assez bien différenciées.

FIGURE 14b COUPES GEOELECTRIQUES A TRAVERS LA VALLEE

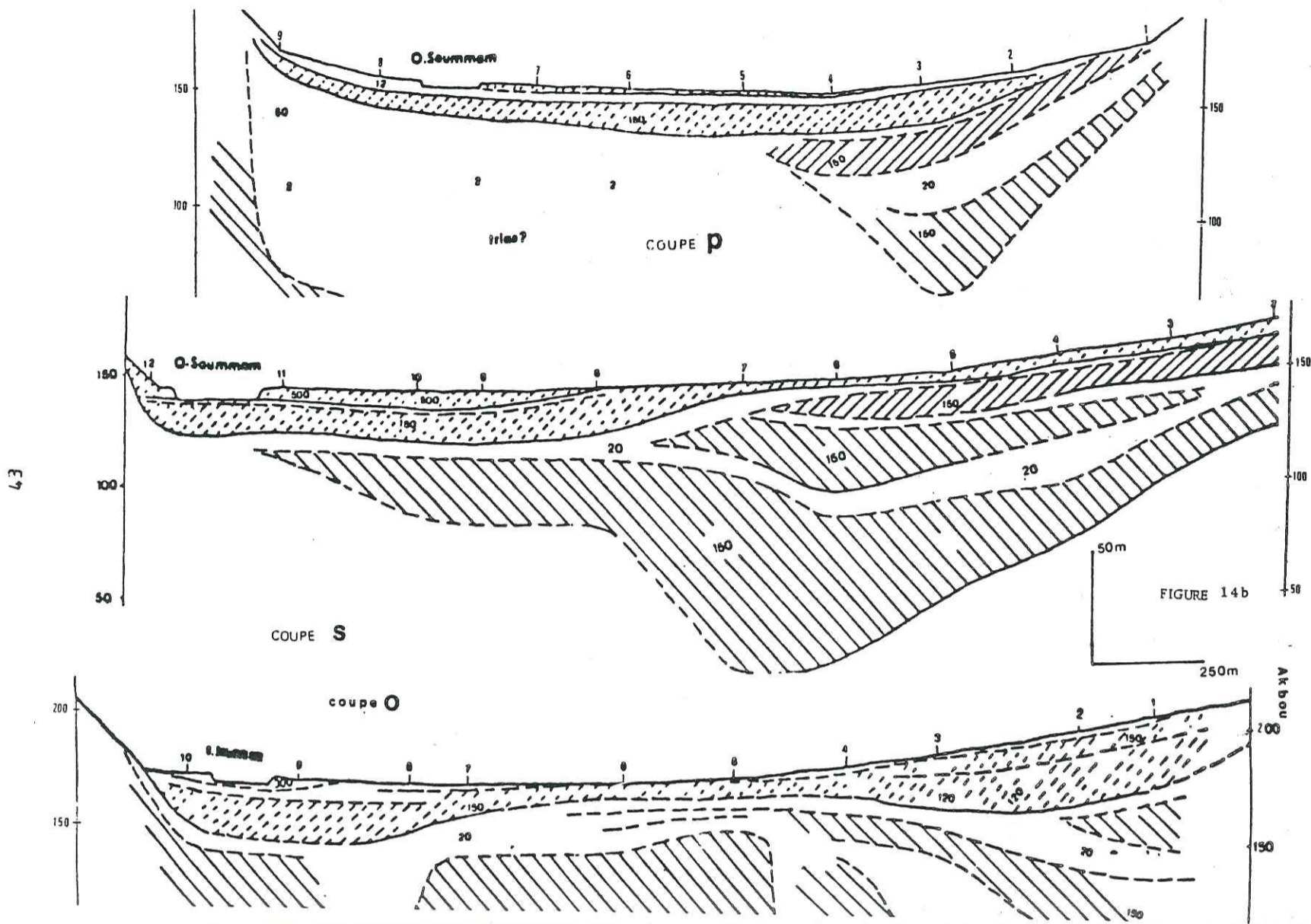
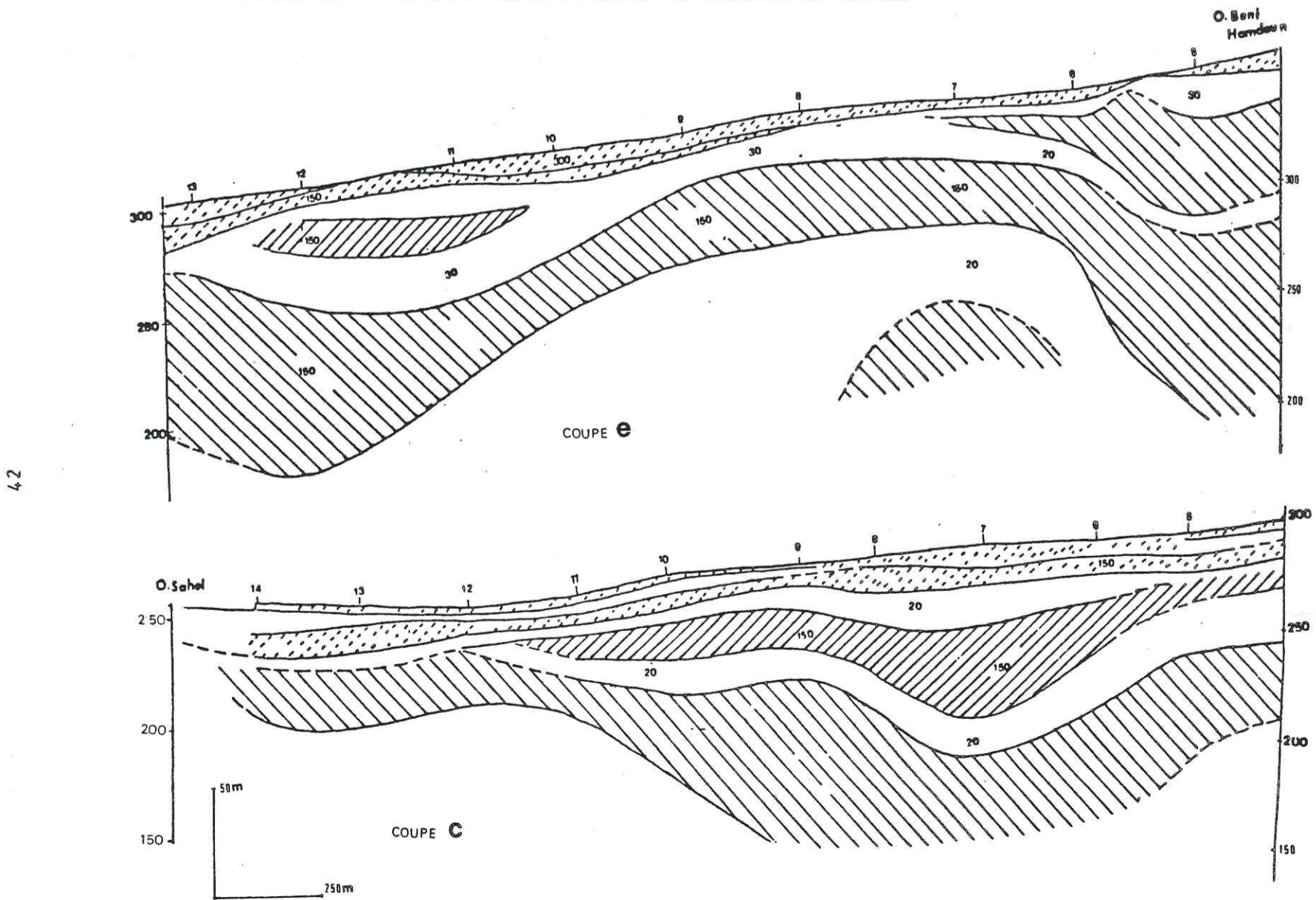


FIGURE 14a COUPES GEOELECTRIQUES A TRAVERS LA VALLEE



En admettant que le mur de chaque niveau ne présente pas de brusques variations ou de surcreusement important, on pourra distinguer les alluvions récentes des autres niveaux résistants sous-jacents. D'autre part l'examen de toutes les autres coupes nous montre que la plupart du temps les différents niveaux grossiers sont séparés par des niveaux plus argileux qui constituent souvent des niveaux repères.

Sur la coupe P, on note une zone très fortement conductrice qui pourrait être l'indice d'un accident à injection triasique. Nous pourrions arriver ainsi, à partir de l'allure générale de ces divers niveaux à distinguer ce qui appartient aux alluvions récentes, aux terrasses anciennes et au Miocène.

### III.2.3.5 - Examen des coupes par zones

#### a) Dans la zone d'Ighzer Illoula et d'Akbou

La tectonique très accusée du substratum et le nouveau développement du Miocène et des dépôts de déjection compliquent l'interprétation. Le profil 0 traduit bien la structure de cette zone. Passant au voisinage du relief jurassique d'Akbou (prolongeant les couches au voisinage du Djebel Gueldamane), il montre la surrection de ces calcaires, au Sud sur le biseau des formations crétacées et au Nord le remplissage miocène.

Le cône de déjection de l'Ighzer Illoula présente un développement important, mais se distingue très mal des niveaux grossiers du Miocène. Les alluvions récentes ont une épaisseur de l'ordre de 20 à 30 m, notamment au resserrement de la vallée au droit du Djebel Gueldamane.

#### b) Dans la zone d'Ighzer Amokrane-Azib (fig.14c)

On assiste de nouveau à un développement du remplissage miocène bien marqué sur les profils V et W. Il est cependant possible que sur le profil V, une partie de la formation appartienne au flysch crétacé. On distingue nettement les divers dépôts successifs, miocènes, alluvions anciennes (ou déjections provenant du Miocène), puis les alluvions récentes avec des épaisseurs de l'ordre de 20 à 25 m et de résistivité de l'ordre de 100 à 150 m. Des points de cette zone sont favorables à l'implantation des forages.

#### c) Dans la zone du verrou de Takrietz (fig.14d)

En observant les profils XY et YZ, on voit un niveau résistant qui se décompose en deux niveaux, dont l'un correspondrait aux alluvions récentes, l'autre aux dépôts de déjection ou même aux conglomérats du Miocène en place. Il serait envisageable d'admettre sur le profil XY que les alluvions s'épaississent jusqu'à 60m. Les points XY4 et YZ3 paraissent favorables à l'emplacement de forages.

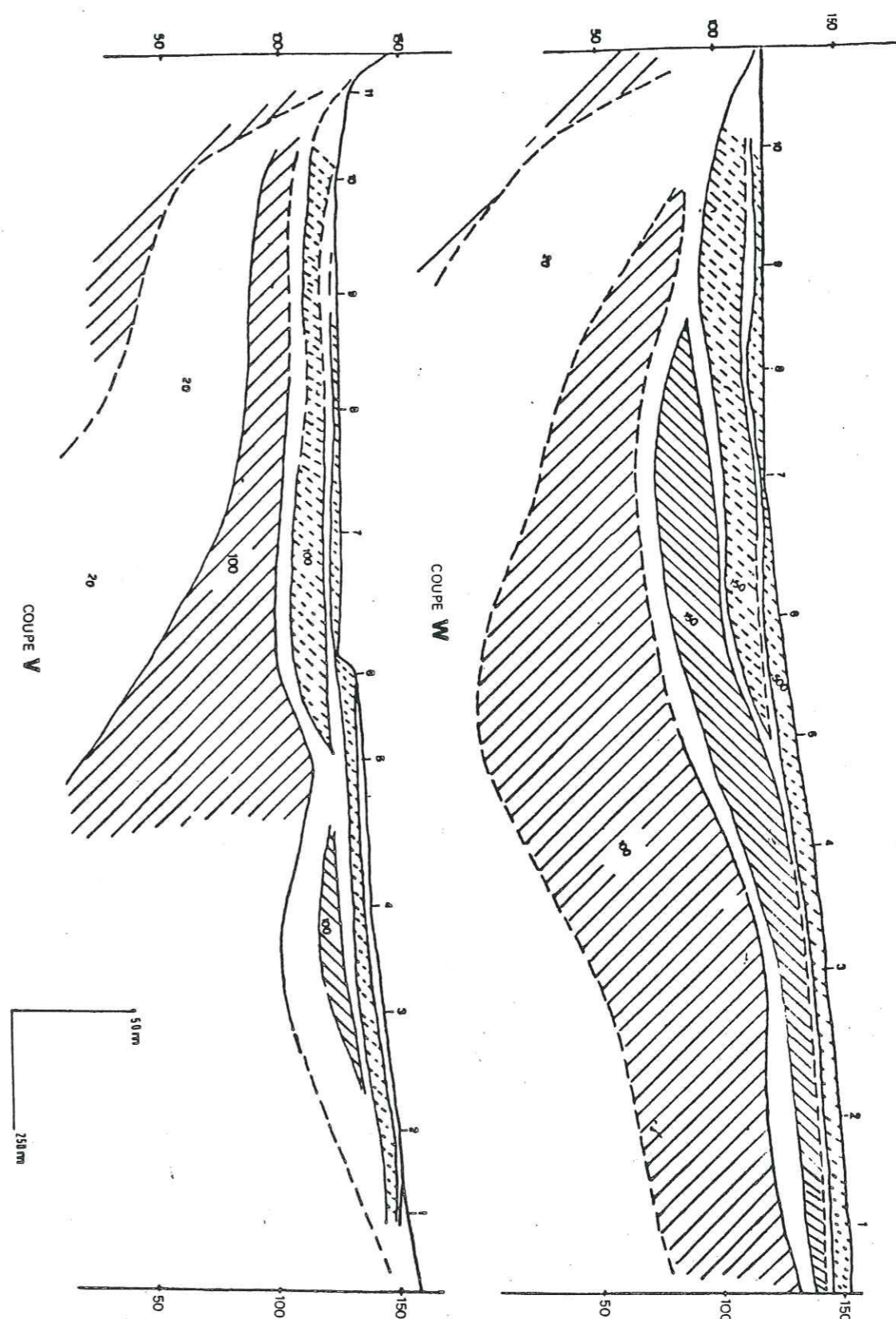
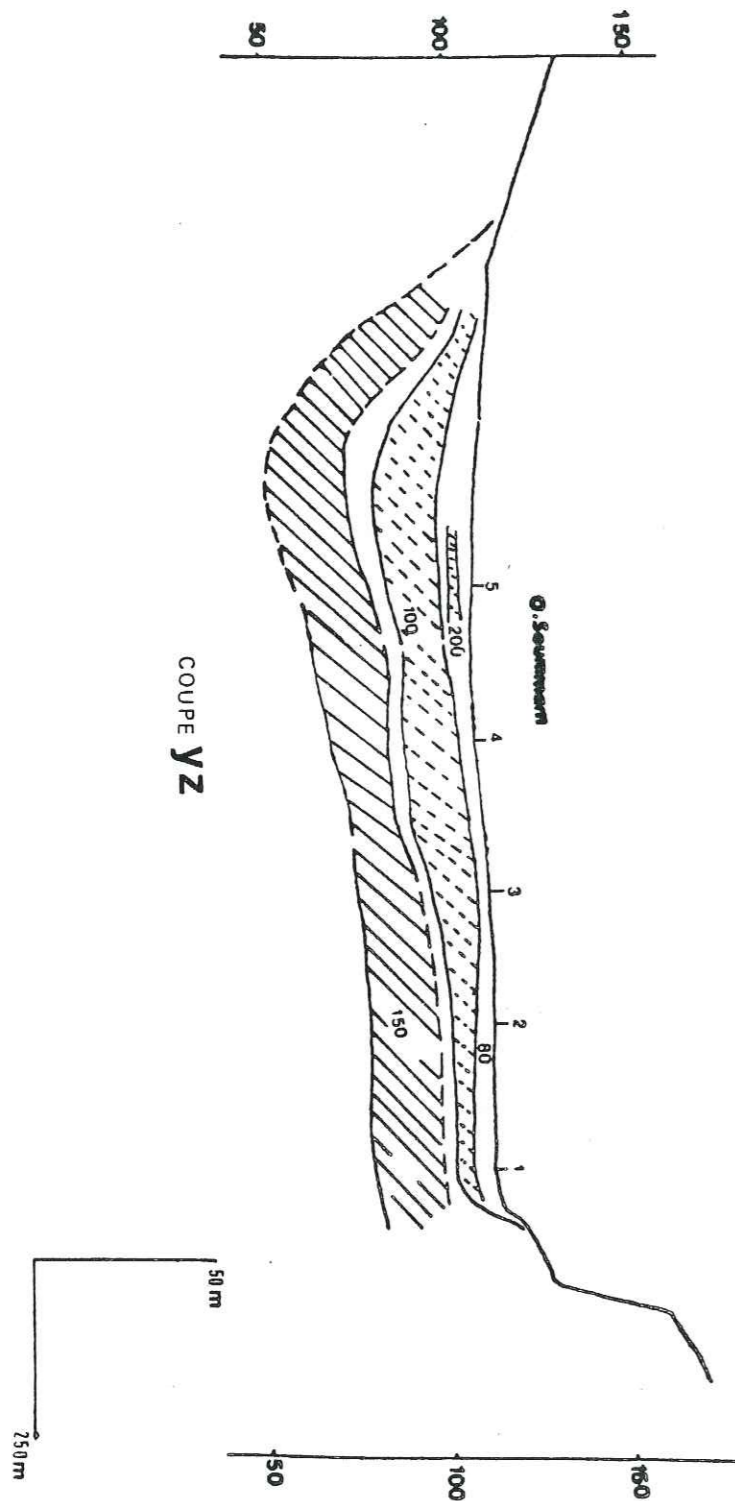
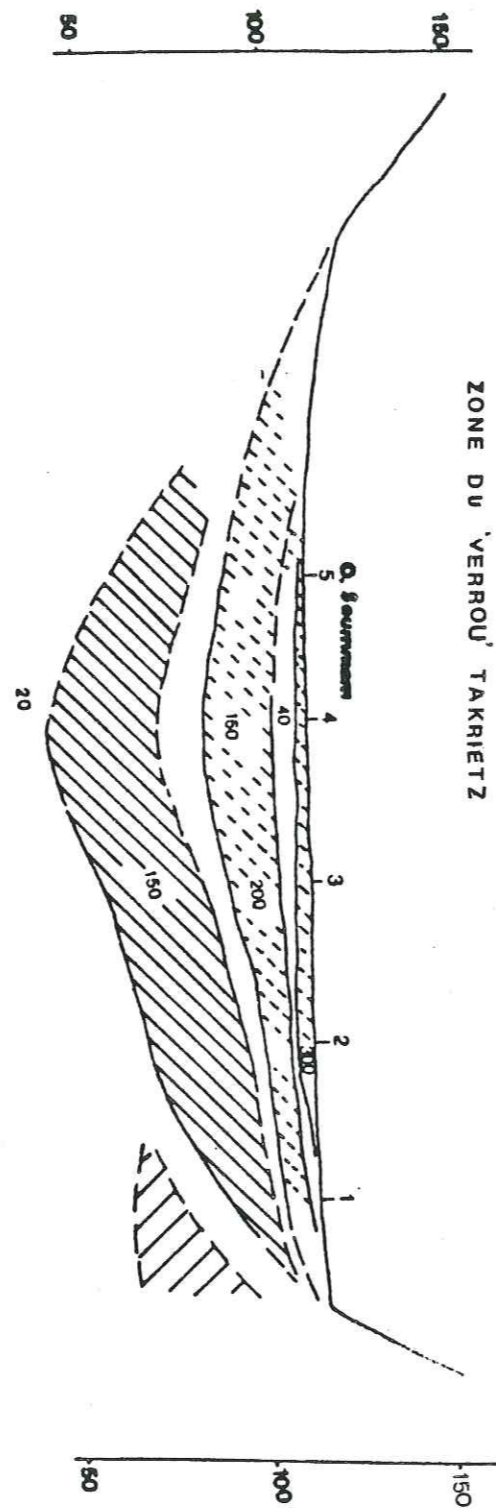


FIGURE 14c  
COUPES GEOELECTRIQUES A TRAVERS LA VALLEE  
ZONE IGHZER AMOKRANE-AZIB



COUPE XY



ZONE DU 'VERROU' TAKRIETZ

FIGURE 14d COUPES GEOELECTRIQUES A TRAVERS LA VALLEE

### III.2.3.6 - Carte des résistivités en ligne AB = 100 m (fig.15)

Cette carte permet de mettre en évidence des zones à dépôts grossiers, plus épais, en particulier dans les terrasses actuelles.

Cette carte est influencée par les niveaux supérieurs (pour les alluvions anciennes où le niveau statique est très bas et les alluvions de surface résistantes) ou par les formations sous-jacentes aux alluvions (niveaux calcaires). Cependant, elle a le gros avantage de définir dans l'espace les différentes unités lithologiques.

#### - Les zones de résistivités élevées ( $< 100 \Omega m$ )

Elles correspondent aux débouchés des principaux oueds en rive gauche, à savoir d'Ouest en Est: oued Beni-Mellikeuch, Ighzer-Iloula (Akbou), Ighzer Mchâa (Azib Ben Ali Cherif), Ighzer Amokrane. Ces plages comprennent des cônes de déjection de matériaux très grossiers provenant du remaniement par les oueds du matériau conglomératique miocène situé plus au Nord.

Ces plages ne sont pas pour autant l'indice de zones à fort intérêt hydraulique, car les niveaux statiques y sont très bas et les résistivités apparentes sont fortement influencées par la tranche sèche s'étendant très largement au Sud.

Mis à part ces cas particuliers, et en faisant une réserve pour le cône de déjection de l'Ighzer Illoula où les courbes d'isoresistivité sont influencées par la proximité du substratum calcaire jurassique du Djebel Gueldamane, il y a en général individualisation d'un axe plus résistant tout au long de la vallée par l'intercalation d'une plage plus conductrice, particulièrement marquée au SW de Tazmalt et d'Azib.

Cet axe adjacent au lit actuel ou décalé vers le Nord, peut être assimilé à des niveaux grossiers plus épais des terrasses actuelles susceptibles d'un intérêt hydraulique majeur.

Cet axe de fortes valeurs de la résistivité est bordé de valeurs plus faibles indiquant en rive droite l'influence des marnes schisteuses du Crétacé. C'est particulièrement le cas en aval d'Akbou où l'oued coule pratiquement sur les affleurements crétacés.

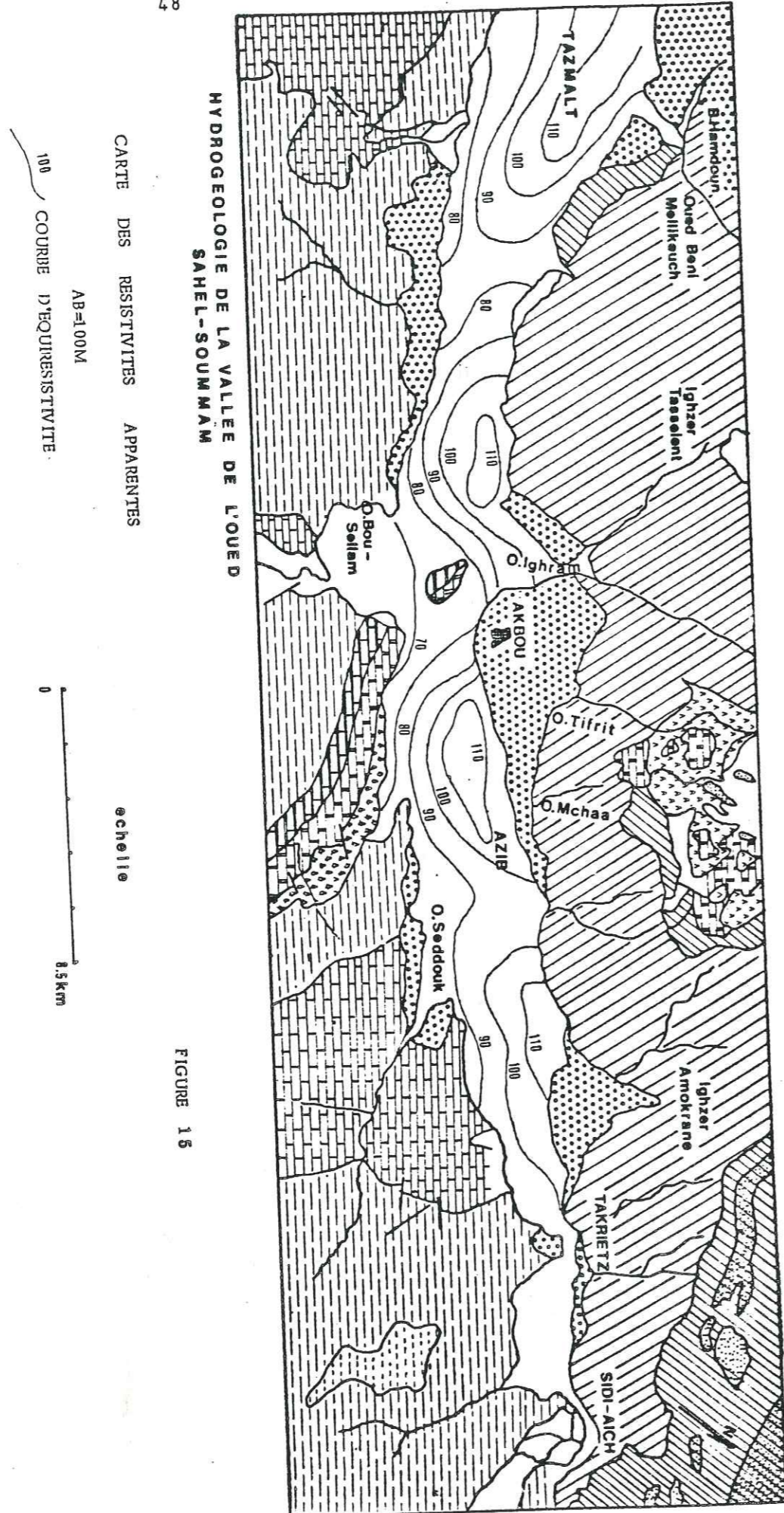


FIGURE 15

### III.3 - ÉTUDE DU REMPLISSAGE MIO-QUATÉNAIRE DE LA VALLÉE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM PAR LES SONDAGES MÉCANIQUES

L'étude géophysique nous a révélé les grandes lignes de la morphologie et la nature du remplissage mio-quaternaire. Cette étude sera de nouveau reprise et complétée par les données provenant de forages de reconnaissance. Ces forages permettent d'une part de contrôler l'interprétation en ce qui concerne l'épaisseur des alluvions et d'autre part de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de ces formations à partir des essais de pompages que nous verrons plus loin (Chapitre VI).

#### III.3.1 - REGION D'AZIB (MOYENNE SOUMMAM)

Forage RS 10	0,1.... 1m : graviers et terre végétale	Alluvions de l'oued Soummam
	1 ....70,0m: graviers, galets et sables	
	70....80,0m: graviers argileux	Miocène
80....84,0m: argiles beiges et graviers		
Forage S8	0,0.... 2m: vase et limons	
	2 ..... 8m: sables et graviers	
	8.....11 m: sables et graviers	
	14.....18 m: sables, graviers et galets	
	18.....60 m: galets, graviers	
	60.....68 m: sables et graviers	
	68.....70 m: sables argileux	

On peut considérer qu'il y a concordance entre la description lithologique de ces forages et les coupes géoélectriques correspondantes.

Le niveau de graviers entre 2 et 70 m est représenté sur la coupe V par une zone de résistivité de l'ordre de  $100\Omega$  m. Le niveau à  $20\Omega$  m pourrait être attribué aux graviers argileux.

Le substratum est représenté par des formations récentes qui sont des calcaires du Crétacé.

#### Forage W<sub>3-4</sub> (Ighzer-Amokrane)

0 - 3 m = terre végétale - limons argileux	
3 - 13m = graviers et galets	
13- 48m = graviers, galets peu argileux	Alluvions quaternaires de l'oued Soummam
48- 50m = argile et galets	
50- 58m = graviers et sables	
58- 60m = argile jaune	Miocène ?

## Forage U6

0 - 35 m gros galets (10 à 40 cm) avec graviers, peu de sable	) Alluvions quaternaires de l'oued Soummam
35- 75 m galets avec graviers mais beaucoup de sables	
75- 77 m passée d'argile	) Miocène conglomératique à la base
77-102 m gros galets (grès et calcaire) avec graviers et peu de sables	

L'observation de ces coupes de forages semble apporter une certaine confirmation quant à l'idée avancée sur la seule observation des coupes géoélectriques; à savoir que les alluvions peuvent effectivement atteindre des épaisseurs de l'ordre de 60 m.

Ces alluvions dans ce cas reposeraient sur le Miocène qui débute par un niveau marneux conducteur de résistivité de l'ordre de  $10\Omega$  m. La nature conglomératique est bien illustrée au niveau du forage U6. Il faut noter également que l'érosion post-miocène et anté-quaternaire, provoquant l'absence du dépôt de tout le Pliocène, donne une paléomorphologie différente de l'actuel. La vallée est beaucoup plus encaissée. L'ancien lit de l'oued passait à l'Ouest du piton d'Akbou.

## III.3.2 - REGION DE TAZMALT-CHORFA (OUED SAHEL)

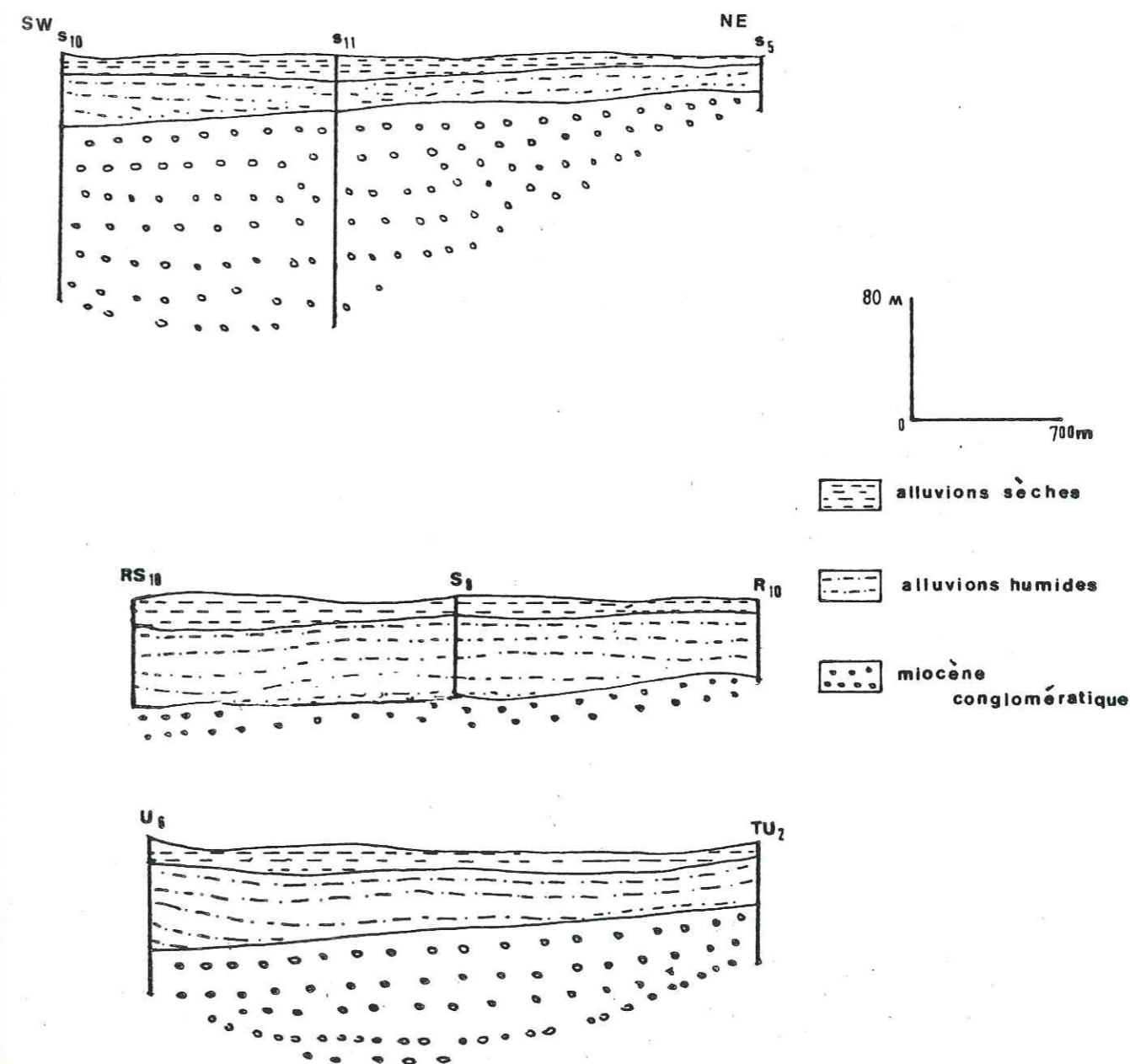
Forage S5	0 - 2m = argiles sableuses	) Alluvions quaternaires de l'oued Sahel
	2 -13,3m= galets, graviers et sables	
	13,3-23,0m= galets et sables très argileux	
	23,0-34,0m= argiles et graviers	) Miocène
	34,0 -	) Crétacé

Le Miocène présente des niveaux grossiers (graviers) avec des alternances d'argiles. Sur la coupe géoélectrique E, ce Miocène pourrait correspondre à la formation de résistivité de 150 m, et la formation de 20 m aux argiles de ce même Miocène.

## Forage S10 (M'Chedellah)

0 - 12,5 m = argile	) Alluvions quaternaires de l'oued Sahel
12,5 - 30,0 m = argile, graviers et galets	
30,0 - 42,0 m = argile	
42,0 - 53,5 m = galets et graviers	) Miocène
53,5 - 94,5 m = argiles, galets et graviers	
94,5 - 105,5 m = argiles	
105,5 - 112,5 m = galets et graviers	
112,5 - 164,0 m = argiles et graviers	

FIGURE 16 COUPES INTERPRETATIVES D'APRES LES  
SONDAGES MECANQUES



## Forage S 11 (M'Chedellah)

0 - 20,3 = argile	} Alluvions quaternaires de l'oued Sahel
20,3 - 33,0 = galets, graviers argileux	
33,0 - 35,0 = argile	} Miocène
35,0 - 44 = galets, graviers, sable argileux	
44 - 45 = argile	
45 - 68,5 = galets, graviers et sable argileux	
68,5 - 70,0 = galets et graviers	
70,0 - 83,2 = galets, graviers sables argileux	
83,2 - 87,0 = galets et graviers	
87 - 90,0 = argile et graviers	
90 - 120,0 = galets, graviers, sables argileux	
120 - 122,0 = argile et graviers	
122 - 146,9 = argile et graviers	
146,9 - 154,1 = galets et graviers argileux	
154,1 - 156,8 = argile	
156,8 - 185,8 = argile, galets et graviers argileux	
185,8 - 195,4 = calcaires et calcaires marneux	

La base du forage S 10 n'est pas atteinte. Le mur du Miocène pourrait être beaucoup plus bas que la profondeur atteinte par le forage.

Le Miocène pour le forage S 5 est atteint à la côte -34,0 m, alors qu'au niveau du forage S 11, situé à 1 400 m plus au Nord, le Miocène est atteint à la côte -185,0 m, ce qui indique des variations latérales de faciès très rapides, et il semblerait que le contact Miocène - Crétacé plonge rapidement en allant vers le Nord.

## III.3.3 - DIMENSIONS DU RESERVOIR

III.3.3.1 - Extension des alluvions de Tazmalt à l'Ouest, jusqu'à Sidi-Aïch, les alluvions forment une bande continue de 38 à 40 km de longueur et de largeur variable; elle est maximum au voisinage de Tazmalt et d'Akbou, avec 3 à 4 km, minimum à Takrietz et à Sidi-Aïch, avec uniquement 150 à 200 m. La superficie couverte par ces alluvions est d'environ 80 km<sup>2</sup>.

## III.3.3.2 - Epaisseur des alluvions et du Miocène

Ces deux formations groupées ont une épaisseur moyenne qui varie de 30 m (Takrietz) à plus de 150 m (Est d' Akbou). L'épaisseur moyenne de l'ensemble est de 80 m dont 80 % seulement (en moyenne) sont aquifères. Le reste étant représenté par des niveaux argileux interstratifiés.

L'épaisseur des alluvions + Miocène au niveau de quelques forages est la suivante:

I 6 ..... 70 m

TU 6 .... 85 m

U 6 .... 101 m

## III.3.3.3 - Volume du réservoir

Les coupes données par l'étude géophysique et précisées par les forages mécaniques permettent d'évaluer le volume du terrain aquifère. Il est de l'ordre de  $80 \cdot 10^6 \times 80 \times 0,8 = 51,2 \cdot 10^8 \text{ m}^3$

Cette valeur énorme indique que la puissance de la nappe permettra une régularisation parfaite des prélèvements, aussi bien à partir de l'oued que de l'ensemble aquifère potentiel.

## III.4 - CONCLUSION

Les principaux résultats de l'étude de la vallée de l'oued Sahel-Soummam par prospection géophysique et par les données de forages, sont les suivants :

- . Importance du remplissage grossier miocène, notamment dans la région de Tazmalt et de l'Ighzer Illoula. Ce remplissage se développe d'ailleurs sur toute la longueur de la vallée et ne correspond donc pas uniquement aux cônes de déjection des affluents principaux de la rive gauche.
- . Existence d'une vallée fossile à sédimentation grossière considérée comme appartenant aux alluvions proprement dites de l'oued. Les épaisseurs de ce niveau sont intéressantes puisqu'elles sont généralement de l'ordre de 20 à 30 m.
- . Mise en évidence de prolongement sous la vallée des calcaires, ceux-ci faisant rapidement place à des marnes crétacées ou miocènes.

-----



## CHAPITRE IV

## HYDROCLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE DE SURFACE

--

- IV.1 - ÉTUDE DES PRÉCIPITATIONS
- IV.2 - TEMPÉRATURES DE L'AIR
- IV.3 - HUMIDITÉ DE L'AIR
- IV.4 - VENTS ET NÉBULOSITÉ
- IV.5 - ORAGES
- IV.6 - GRÈLE, GELÉE BLANCHE ET SIROCCO
- IV.7 - ÉVAPORATION TOTALE OU DÉFICIT D'ÉCOULEMENT
- IV.8 - ÉVAPORATION RÉELLE
- IV.9 - HYDROLOGIE DE SURFACE
- IV.10 - ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE
- IV.11 - CONCLUSION

## CHAPITRE IV

### HYDROCLIMATOLOGIE ET HYDROLOGIE DE SURFACE

#### IV.1 - ÉTUDE DES PRÉCIPITATIONS

##### IV.1.1 - INTRODUCTION

Sur le bassin versant de l'oued Sahel-Soummam, il existe environ 50 stations pluviométriques. Le sous-bassin renfermant notre zone d'étude possède plusieurs postes d'observation pluviométriques ayant fonctionné par intermitence avec plusieurs interruptions pour des saisons diverses. Ces lacunes peuvent atteindre plusieurs années au niveau de certaines stations.

Les données sont disponibles de:

- 1913 à 1965 pour la station de Bejaïa, avec cependant plusieurs interruptions et lacunes
- 1913 à 1978 pour El Kseur
- 1913 à 1978 pour Sidi Aïch
- 1913 à 1978 pour Akbou
- 1913 à 1977 pour M' Chedellah (ex. Maillot)

SELTZER, 1946 "Le climat de l'Algérie", puis CHAUMONT, 1968 "L'influence climatique et l'irrégularité de la pluviométrie en Afrique du Nord -Maroc, Algérie, Tunisie " ont élaboré des cartes des précipitations.

L'examen de la carte de pluie annuelle a montré que la répartition des précipitations en Algérie obéit aux trois lois suivantes:

- . la hauteur de pluie augmente avec l'altitude;
- . les précipitations augmentent d'Ouest en Est;
- . les précipitations diminuent à mesure que l'on s'éloigne du littoral. Les variations de pluviosité sur le littoral évoluent parallèlement aux moyennes annuelles dans le Tell et sont caractéristiques d'un climat méditerranéen.

IV.1.2 - REPARTITION DES MOYENNES MENSUELLES ET ANNUELLES POUR LES STATIONS DE BEJAIA, EL KSEUR, SIDI AICH, AKBOU et M'CHEDELLAH (ex. MAILLOT) POUR LA PERIODE ALLANT DE 1913 A 1938 (tableau 3 et fig. 17)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	1913	1913
Station													1960	1938
Bejaïa	51,3	103,3	136	161,9	152,4	107,1	84,2	73,8	52,6	24,2	4,0	13,4	965,9	972
El Kseur	38	66,1	93,3	128,8	129	93,7	76,1	53,1	41,2	18,9	3,5	9,8	752,9	787
Sidi Aïch	32,7	57,8	79,8	111	120	82,9	73,5	51,3	42,1	17,5	2,3	10,5	683,4	669
Akbou	27,9	38,7	54,6	77,6	76,6	59,6	50,3	39,8	38,1	13,6	4	7,2	488	498
M'Chedellah	32	43	61,5	78,4	86,8	58,6	57,8	43,6	41,6	20,8	6,3	9,0	537,8	571

Tableau 3: Répartition des précipitations mensuelles et annuelles

Les moyennes des précipitations annuelles sont pour la période allant de 1913 à 1938:

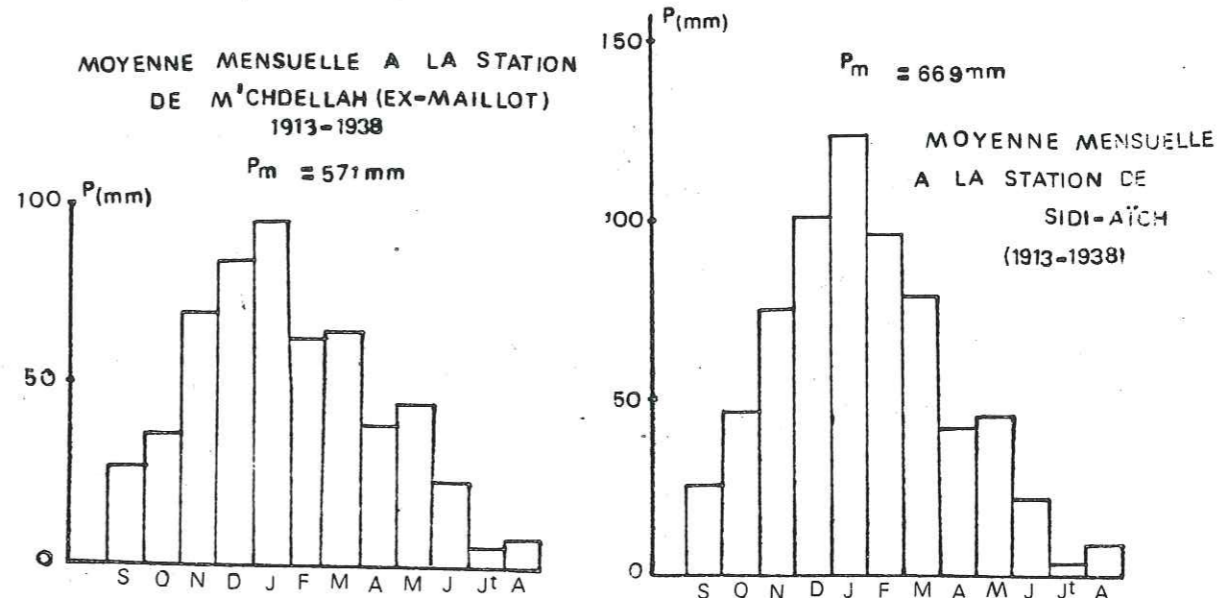
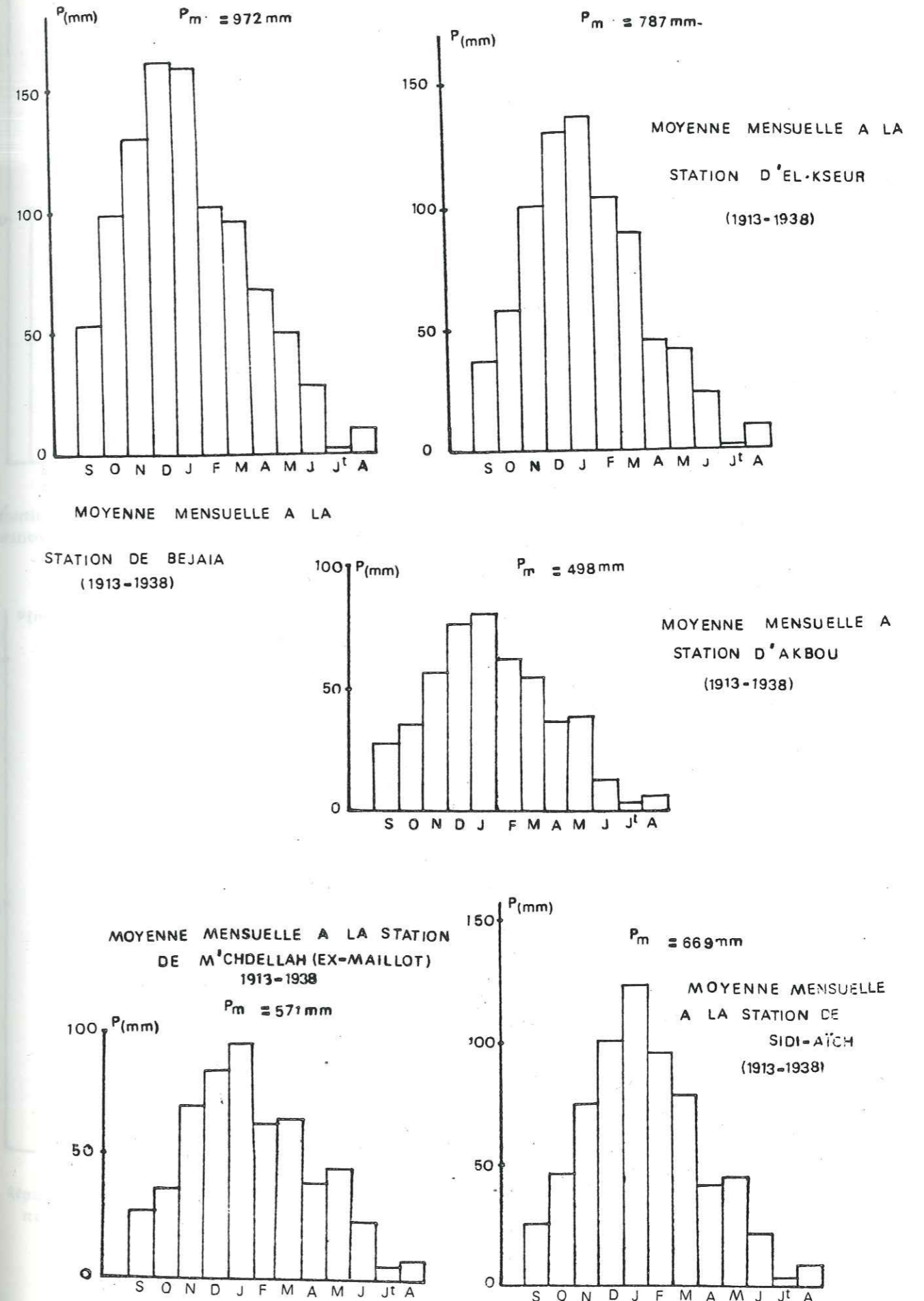
- . de 972 mm à Bejaïa;
- . 787 mm à El Kseur;
- . 699 mm à Sidi-Aïch ;
- . 498 mm à Akbou;
- . et 571 mm pour M'Chedellah (en Maillot).

Le tableau 3 montre une augmentation rapide de Septembre à Janvier, au niveau de toutes les stations, puis une diminution progressive jusqu'au mois de Juillet et Aout où les chutes de pluies sont très faibles. Ce tableau montre, par ailleurs, une nette variation de pluies annuelles d'une station à l'autre. L'influence de la mer est de ce fait très importante. En s'en éloignant, la pluviosité décroît pour passer de 972 mm pour Béjaïa à 571 mm pour M'Chedellah (ex. Maillot). Ces pluies sont moyennes au printemps et en automne, maximum en hiver et minimum l'été.

IV.1.3 - LES PLUIES ORAGEUSES

Les pluies orageuses causent des dégâts importants chaque année dans la région. Le tableau 4 indique le nombre de jours de pluies torrentielles pour la période allant de 1913 à 1938.

FIGURE 17 PRECIPITATIONS



Station	Total	Répartition annuelle												Hauteur maximum
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
Béjaïa	218	9	25	31	37	36	28	21	14	10	6	0	1	185,9 mm
M'Chedellah	77	5	4	13	16	18	7	6	2	3	2	0	2	63,0 mm

Tableau 4: Nombre de jours de pluies torrentielles observées de 1913 à 1938 (SELTZAR, 1946)

A la station de Béjaïa où l'influence maritime est très importante le nombre de jours de pluies torrentielles observées est nettement supérieur à celui observé à la station de M'Chedellah (ex. Maillot).

IV.1.4 - REPARTITIONS ANNUELLES DES PLUIES DE 1966 à 1978 AUX STATIONS DE BEJAIA, EL KSEUR, SIDI AICH, AKBOU ET M'CHEDELLAH

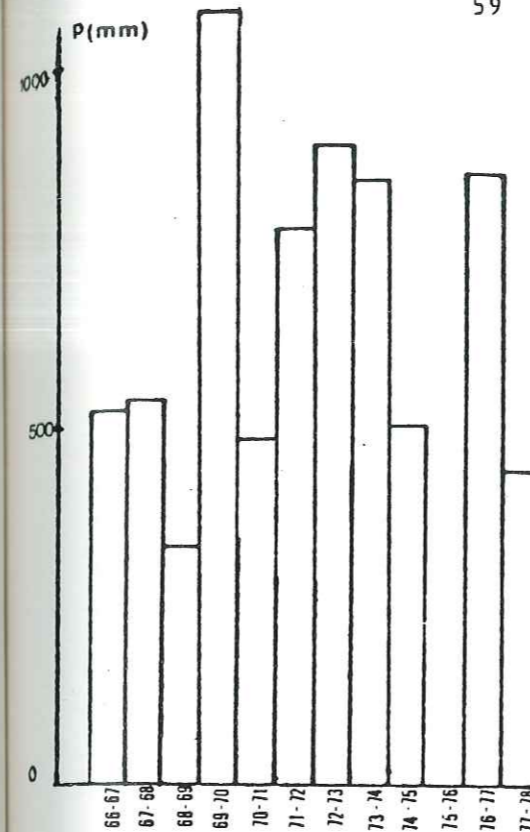
Le tableau 5 regroupe les moyennes annuelles des hauteurs de pluies en mm durant les années 1966-1978 (fig.18).

Année agricole	Stations pluviométriques				
	Bejaïa	El Kseur	Sidi-Aïch	Akbou	M'Chedellah
1968-1967	-	523,4	316,5	849,5	-
1967-1968	-	535,6	469,7	395,8	459,6
1968-1969	-	331,5	334,8	576,3	358,3
1969-1970	-	1097,7	657,9	910,2	484,9
1970-1971	-	481,8	382,7	576,1	420,2
1971-1972	-	776,9	688,4	685,8	619
1972-1973	-	885,1	656,3	583,5	575,2
1973-1974	-	838,2	447,7	592,1	430,5
1974-1975	-	500	315,5	391,0	293,5
1975-1976	-	852,3	683,5	401,1	352,5
1976-1977	-	-	306,5	396,2	-
1977-1978	-	436,8	-	235,8	274,6
Moyenne	-	600	478,1	549,4	426,8

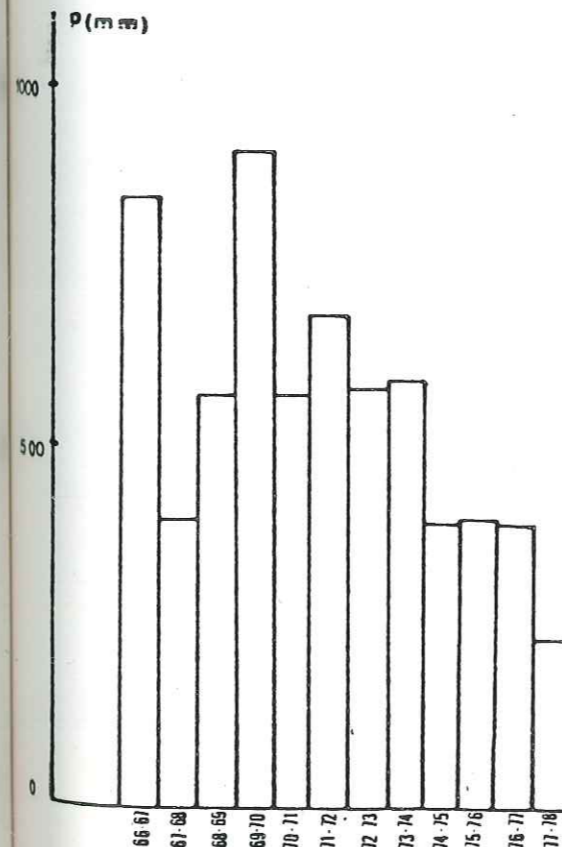
Là, également, il y a diminution des précipitations à mesure que l'on s'éloigne de la mer. La station d'Akbou fait exception avec 549,4mm.

IV.1.5 - MOYENNES MENSUELLES DES HAUTEURS DE PLUIES POUR LES STATIONS D'ELKSEUR, SIDI AICH ET AKBOU POUR LA PERIODE 1968-1978

IV.1.5.1 - Station d'El Kseur

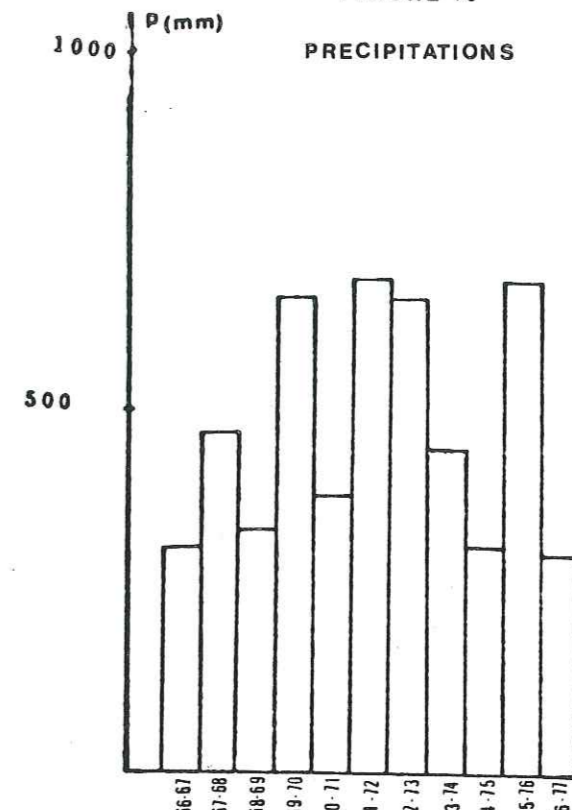


Répartition annuelle des précipitations à la station d'EL-KSEUR (1966-1978)

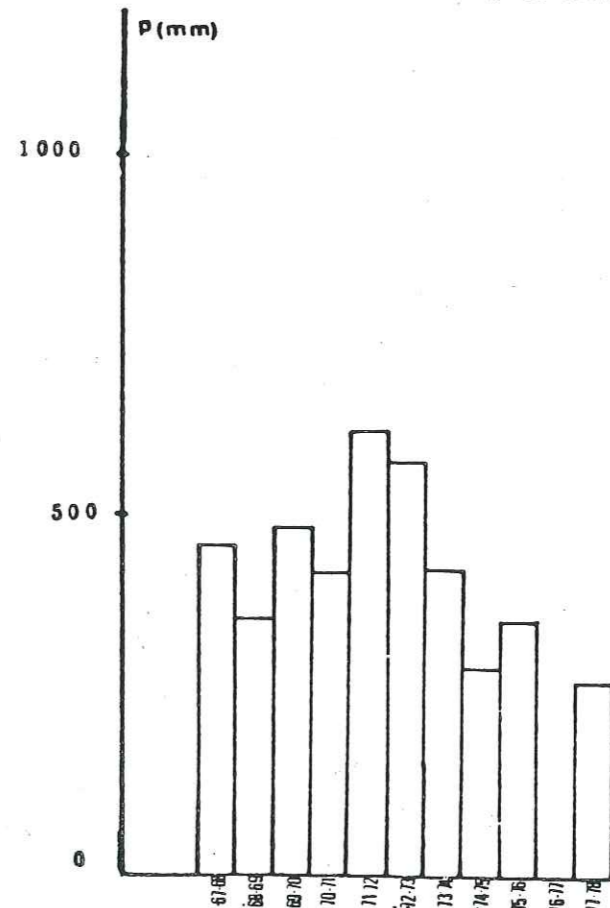


Répartition annuelle des précipitations à la station d'AKBOU (1966-1978)

FIGURE 18  
PRECIPITATIONS



Répartition annuelle des précipitations à la station de SIDI-AICH (1966-1977)



Répartition annuelle des précipitations à la station de M'CHDELLAH (ex MAILLOT) (1967-1977)

Année	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Moyenne mens.
Mois								
Septembre	0,1	121,6	0	58,7	110,5	6,0	9,0	43,7
Octobre	0	140,8	144,1	80,9	41,5	12,8	108,6	75,5
Novembre	20,2	66,7	0	45,6	12,1	43,7	12,3	28,6
Décembre	18,2	304,5	78,2	28,5	222,8	120,3	12,1	112
Janvier	61,1	30,9	30,9	248,8	97,8	9,3	39,3	74
Février	29,6	58,3	45,1	162,9	170,2	186,6	99,0	107,3
Mars	91,5	88,2	85,1	94,1	814,6	331,1	113,3	141,1
Avril	74,4	233,7	21,6	24,2	18,7	103,4	27,9	72
Mai	9,1	47,8	36,8	23,1	0,3	0	61,2	25,4
Juin	27,3	0	0	0	26,3	25,0	15,2	13,4
Juillet	0	5,2	0	0	0	0	0	0,74
Août	0	0	0	57,4	0	0	0	8,2
Total annuel	331,5	1097,7	441,8	824,9	885,1	838,2	498	701,8

Tableau 6a - Station d'El Kseur

## IV.1.5.2 - Station de Sidi Aïch

Année	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Moyenne mens.
Mois								
Septembre	0	53,0	0	8,8	71,4	36,7	2,6	24,6
Octobre	0	127,3	68,6	31,1	52,4	0	43,2	46,1
Novembre	39,7	43,8	0,9	85,7	17,3	18,8	7,4	30,5
Décembre	71,5	186,8	42,4	64,6	145,2	68,0	10,5	84,1
Janvier	33,7	30,4	69,5	176,2	101,2	2,4	1,5	59,3
Février	21,0	21,8	23,6	64,5	118,1	81,2	72,1	57,5
Mars	74,2	51,3	103,3	62,8	79,0	183,3	91,0	92,1
Avril	59,3	108,9	35,7	84,8	27,6	58,2	4,2	54,1
Mai	29,5	20,6	31,1	63,6	6,8	26,3	67,0	35
Juin	0,1	0	0	43,9	25,8	38,3	16,0	17,7
Juillet	5,3	14,0	6,5	2,4	0	0	0	4
Août	0,5	0	1,1	0	11,5	7,5	0	2,9
Total annuel	334,8	657,9	382,7	688,4	656,3	447,7	315,5	497,6

Tableau 6b - Station de Sidi - Aïch

## IV.1.5.3 - Station d'Akbou

Année	68-69	69-70	70-71	71-72	72-73	73-74	74-75	Moyenne Mensuel.
Mois								
Septembre	0	78,6	16,4	26,8	54,4	52	14,4	34,6
Octobre	0	178,9	64,5	44,8	28,7	14,2	31,1	51,7
Novembre	34,1	35,6	0,7	66,8	18,8	20,9	7,4	26,3
Décembre	187,2	195,0	60,7	61,8	118,2	97,7	14,3	104,9
Janvier	137,5	90,6	156,7	204,7	119	3,2	20,8	104,6
Février	28,9	60,2	60,3	46,8	128,9	128,7	77,1	75,8
Mars	104,7	77,8	129,2	60,3	66,7	152,9	111,5	126,5
Avril	46,7	161,9	40,5	64,8	21,4	103,6	17,5	65,2
Mai	13,1	47,4	33,4	60,7	0	7,3	67,1	32,6
Juin	20,7	5,9	0,5	31,1	23,3	8,1	15,0	14,9
Juillet	1,3	18,5	13,2	0,6	0	3,5	2,5	5,6
Août	2,1	0	0	16,6	4,1	0	12,3	5
Total annuel	576,3	910,2	576,1	685,8	583,5	592,1	391,0	645

Tableau 6c - Station d'Akbou

L'analyse des tableaux 6a, 6b et 6c montre que pour une même station on constate une grande irrégularité des moyennes annuelles de pluies pour les années agricoles 1968-1975.

1969-1970 et 1971-1972 sont les années les plus pluvieuses avec des maxima de précipitations en Décembre et Octobre.

La station d'El Kseur présente le maximum de précipitation, ce qui peut s'expliquer par l'influence maritime et par l'influence du versant sud du Djurdjura.

D'une manière générale, il y a augmentation des précipitations en fonction de l'altitude et de la proximité de la mer.

## IV.1.6 - RELATION PLUVIOMETRIE/ELOIGNEMENT DE LA MER

Pour les cinq stations considérées, Béjaïa, El Kseur, Sidi-Aïch, Akbou et M'Chedellah, on constate que les moyennes annuelles (en mm) des précipitations enregistrées durant la période 1913-1938 diminuent à mesure que l'on s'éloigne de la mer (fig.19).

La seule station qui y fait défaut est celle de M'Chedellah (ex. Maillot). Ceci peut s'expliquer par sa position plus élevée que celles des autres stations.

Le tableau 7 et la figure 19 montrent la diminution de la pluviosité en fonction de l'éloignement de la mer.

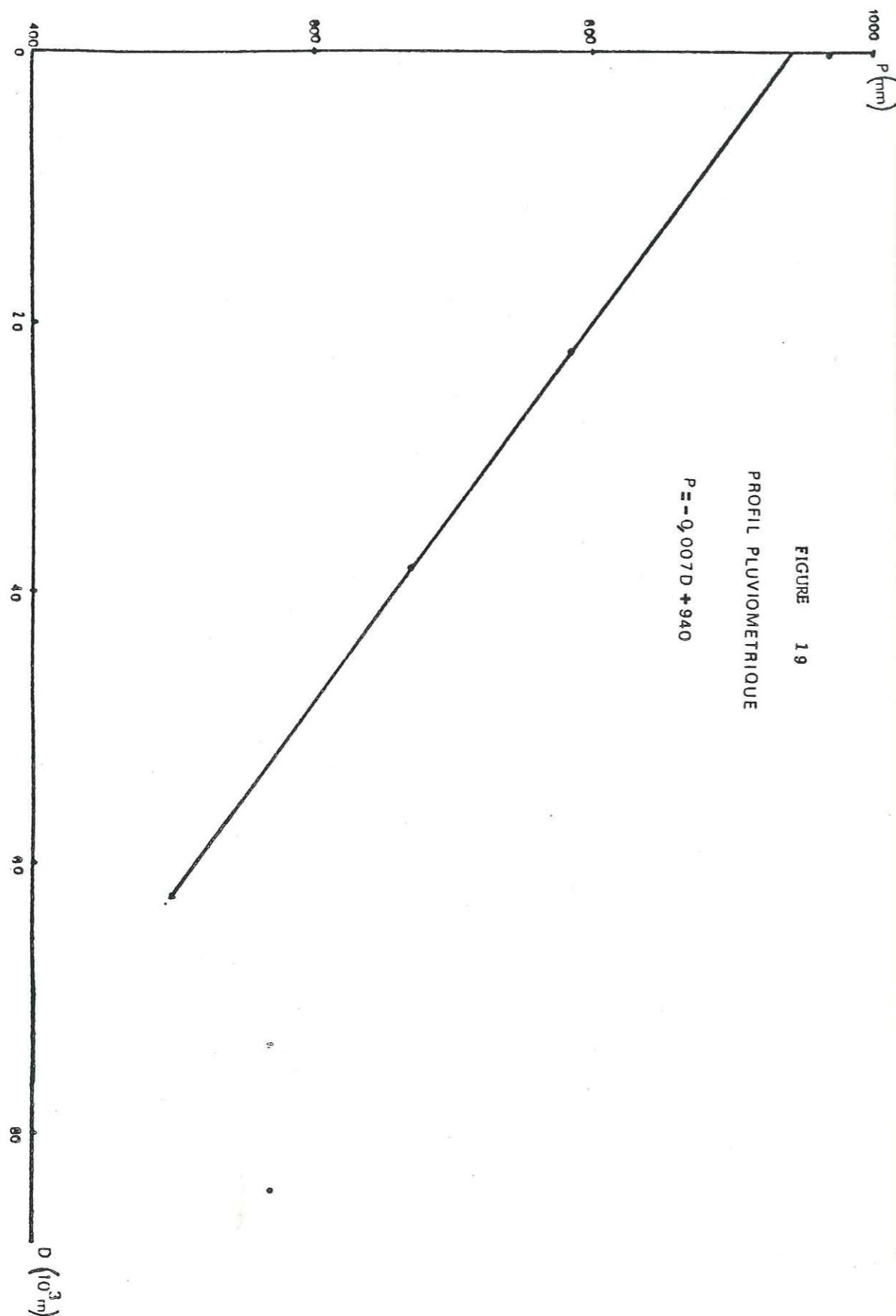


FIGURE 19

Station	Altitude (m)	Eloignement/mer (x 10 <sup>3</sup> m)	Précipitations moyennes annuelles en mm (1913-1938)
Béjaïa	9	0	972
El Kseur	85	22	787
Sidi-Aïch	95	38	669
Akbou	240	62	498
M'Chedellah	465	84	571

Tableau 7 - Précipitations en fonction de l'éloignement par rapport à la mer

Il semble donc que l'influence de la mer sur les précipitations est plus importante que celle jouée par l'altitude.

## IV.1.7 - PRECIPITATIONS ANNUELLES

Nous présentons dans le tableau 8 les précipitations annuelles aux trois stations avec leur moyenne sur 7 ans, et l'écart par rapport à cette moyenne.

On constate dans la répartition annuelle des précipitations que les années agricoles 1968-1969 et 1974-1975 sont des années déficitaires par rapport à la moyenne calculée sur sept ans. Les années 1970, 1972 et 1973 sont les seules années excédentaires.

Station	Moyenne sur 7 ans en mm	Précipitations annuelles (mm)	Ecart/Moyenne (mm)	Année agricole
El Kseur	701	331	- 370	1968-1969
Sidi Aïch	315	335	20	
Akbou	645	576	- 69	
El Kseur	701	1098	397	1969-1970
Sidi Aïch	315	678	363	
Akbou	645	910	265	
El Kseur	701	442	- 259	1970-1971
Sidi Aïch	315	383	68	
Akbou	645	576	- 69	
El-Kseur	701	825	124	1971-1972
Sidi-Aïch	315	688	373	
Akbou	645	686	41	
El Kseur	701	885	184	1972-1973
Sidi-Aïch	315	656	341	
Akbou	645	583	- 62	
El Kseur	701	838	137	1973-1974
Sidi-Aïch	315	448	133	
Akbou	645	592	- 53	
El Kseur	701	500	- 201	1974-1975
Sidi-Aïch	315	315	0	
Akbou	645	391	- 254	

Tableau 10: Valeurs des précipitations annuelles et cumulées (mm)

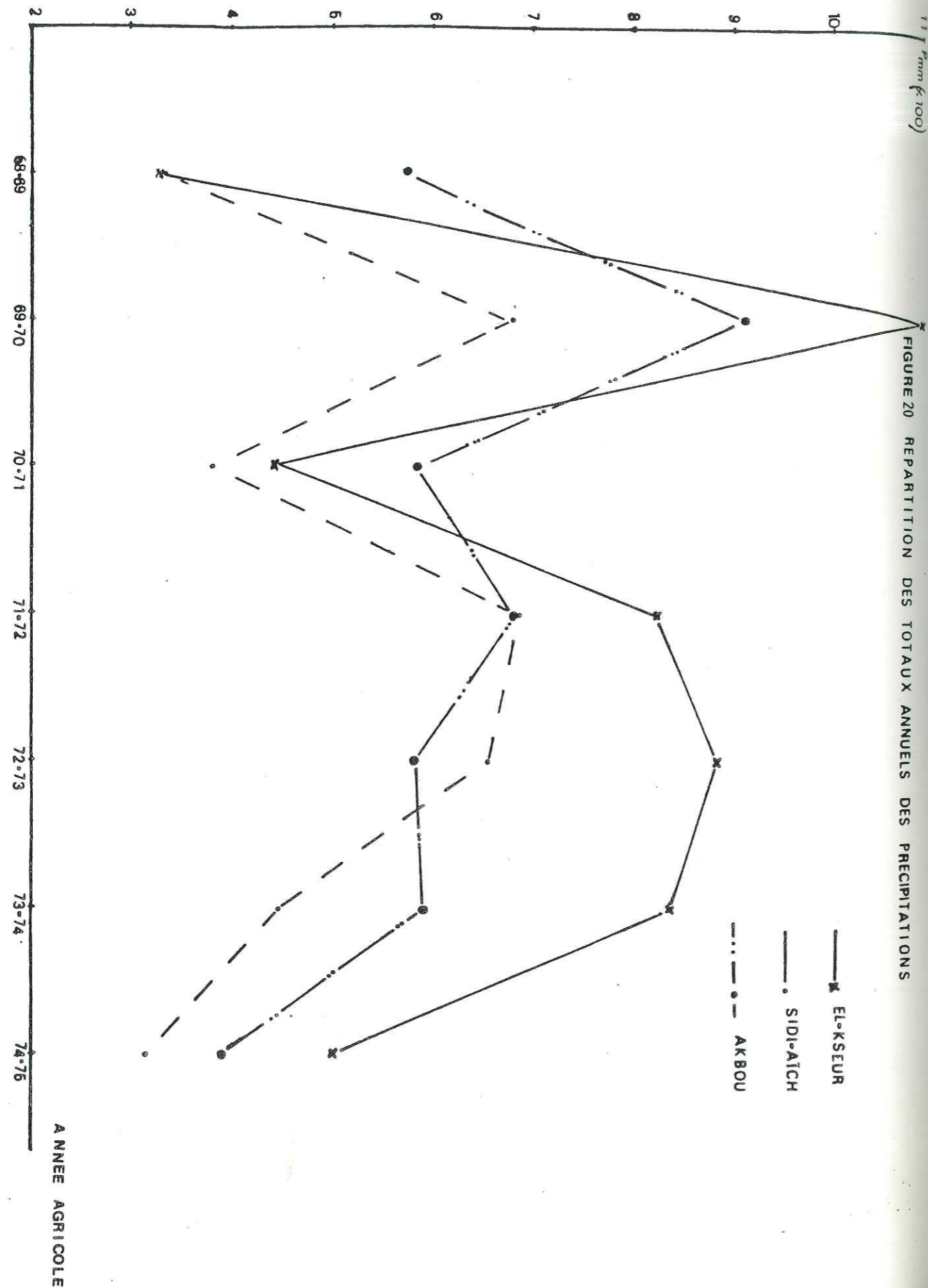


FIGURE 20 REPARTITION DES TOTAUX ANNUELS DES PRÉCIPITATIONS

Année	El-Kseur		Sidi-Aïch		Akbou		M'Chedellah (en.Maillot)	
	P(mm)	P(cum)	P	P(cum)	P	P(cum)	P	P(cum)
67-68	525,6	535,6	469,7	469,7	395,8	395,8	459,6	459,6
68-69	331,5	867,1	334,8	804,5	576,3	972,1	358,3	817,9
69-70	1097,7	1964,8	659,9	1459,4	910,2	1882,3	484,9	1302,8
70-71	441,8	2406,6	382,7	1842,4	576,1	2458,4	420	1722,8
71-72	824,9	3231,5	688,4	2530,5	685,5	3143,9	619	2341,8
72-73	885,1	4116,6	656,3	3186,8	583,5	3727,4	575	2916,8
73-74	838,2	4954,8	447,7	3634,5	592,1	4319,5	430,5	3347,3
74-75	498	5452,8	315,5	3950	391,0	4710,5	352,5	3699,3

Tableau 10: Valeurs des précipitations annuelles et cumulées (mm)

Couple de stations corrélées	Coefficient de corrélation	Equation de la droite de corrélation
El Kseur - Akbou	0,99	Y = 1,16 x -200,5
Sidi Aïch - M'Chedellah	0,99	Y = 1,09 x -26,3
Sidi Aïch - Akbou	0,99	Y = 0,83 x -12,5
El Kseur - M'Chedellah	0,99	Y = 1,52 x -219,5

Tableau 11: Résultats des corrélations par régression linéaire

N°	Station	Longitude	Latitude N	Altitude (m)	Durée des mesures
1	Béjaïa	5°51' E	36°45'	9	1913-1938
2	El-Kseur	4°51' E	36°41'	85	1915-1938
3	Sidi-Aïch	4°42' E	36°37'	95	1915-1938
4	Seddouk	4°41' E	36°32'	484	1924-1929
5	Akbou	4°32' E	36°28'	240	1914-1938
6	M'Chedellah	4°16' E	36°22'	465	1913-1938

Tableau 12: Stations météorologiques

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
m	8,1	8,5	10,1	11,5	14,5	18,0	20,8	21,7	20,1	16,1	12,3	9,2	14,3
$\frac{m + M}{2}$	11,9	12,8	14,6	16,3	19	22,25	25,2	26,3	24,75	20,7	16,25	13,0	18,6
M	15,7	17,1	19,1	21,1	23,5	26,5	29,2	30,9	29,4	25,3	20,2	16,8	22,90

Tableau 13a: Valeurs mensuelles et annuelles des températures (minima:m et maxima:M et leur demi-somme à la station de Béjaïa

Pour la suite de nos calculs, nous retiendrons une valeur moyenne annuelle de la tranche d'eau qui est tombée durant la période 1913-1938 au niveau des quatre stations, El-Kseur, Sidi-Aïch, Akbou et M'Chedellah. Elle équivaut à 631 mm. Cette valeur est relativement supérieure à la moyenne correspondant à la période 1966-1978 pour ces mêmes stations.

IV.1.8 - CALCUL DES VALEURS CARACTERISTIQUES

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

Le tableau 9 indique les résultats obtenus pour les différentes stations

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

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

Stations	Ecart-type (mm)	Médiane (mm)	Moyenne (mm)	Période
El Kseur	246,9	481,8	663,3	1966-1975
Sidi-Aïch	154,9	382,7	474,3	1966-1975
Akbou	176,8	576,1	617,8	1966-1975
M'Chedellah (ex.Maillot)	95,6	519,5	462,4	1966-1975

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

IV.1.9 - TEST D'HOMOGENEITE OU CORRELATION DOUBLE-MASSE

Il consiste à effectuer le calcul de pluies cumulées pendant un certain nombre d'années successives à toutes les stations de la région, puis comparer les résultats par groupe de deux stations. Le tableau 10 résume les valeurs des précipitations moyennes annuelles et les précipitations cumulées correspondantes.

IV.1.10 - REGRESSION LINEAIRE

Nous appliquons cette méthode aux mêmes séries précédentes. Les résultats obtenus sont portés sur le tableau 11. Ils nous permettent de tracer les courbes corrélant les stations El-Kseur-Akbou, Sidi Aïch-M'Chedellah, Sidi Aïch-Akbou et El Kseur-M'Chedellah.

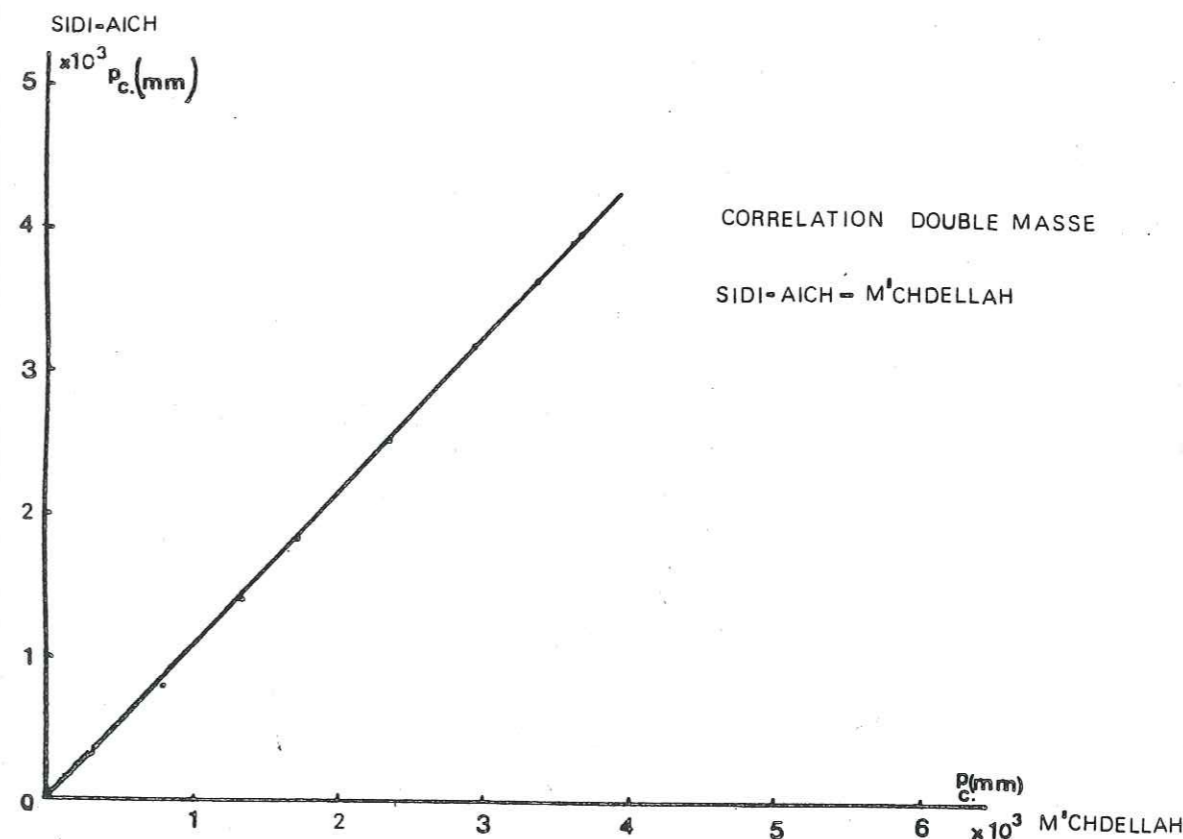
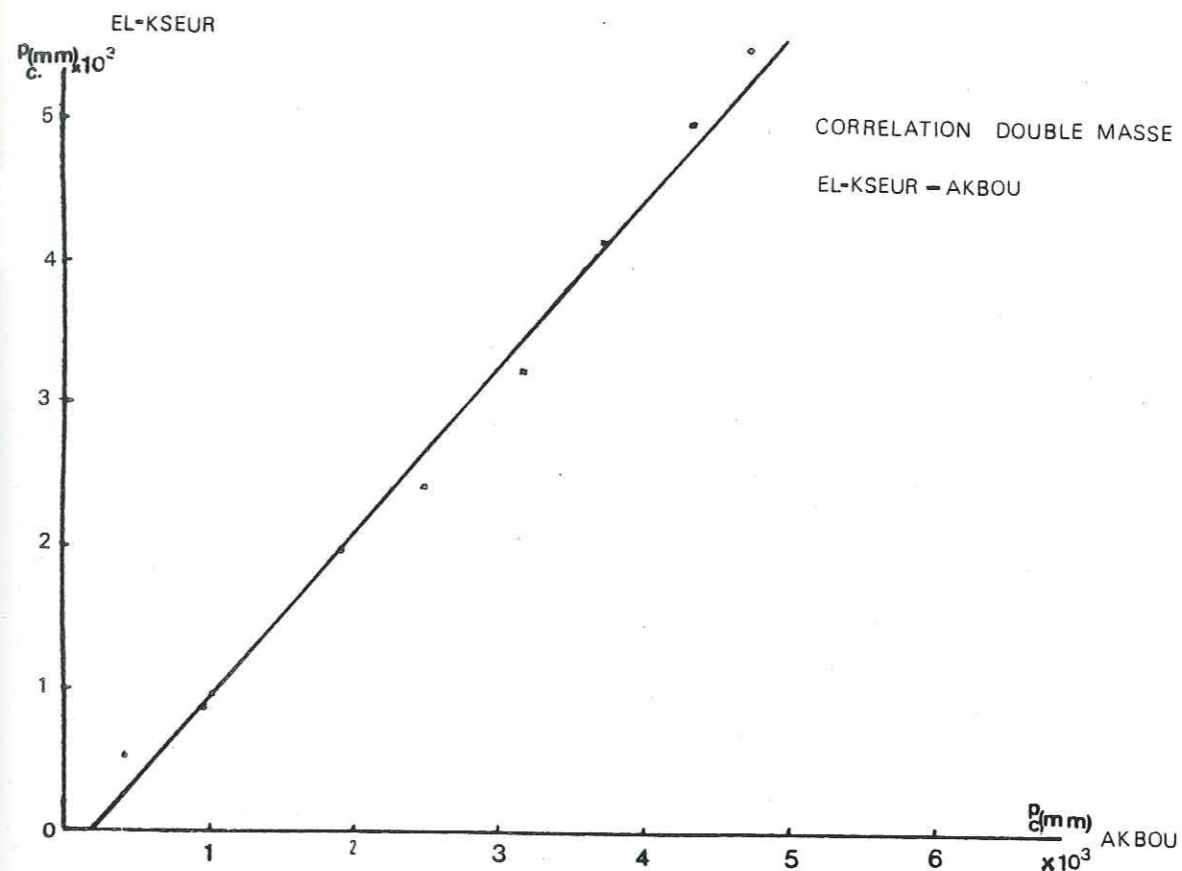


FIGURE N° 21a



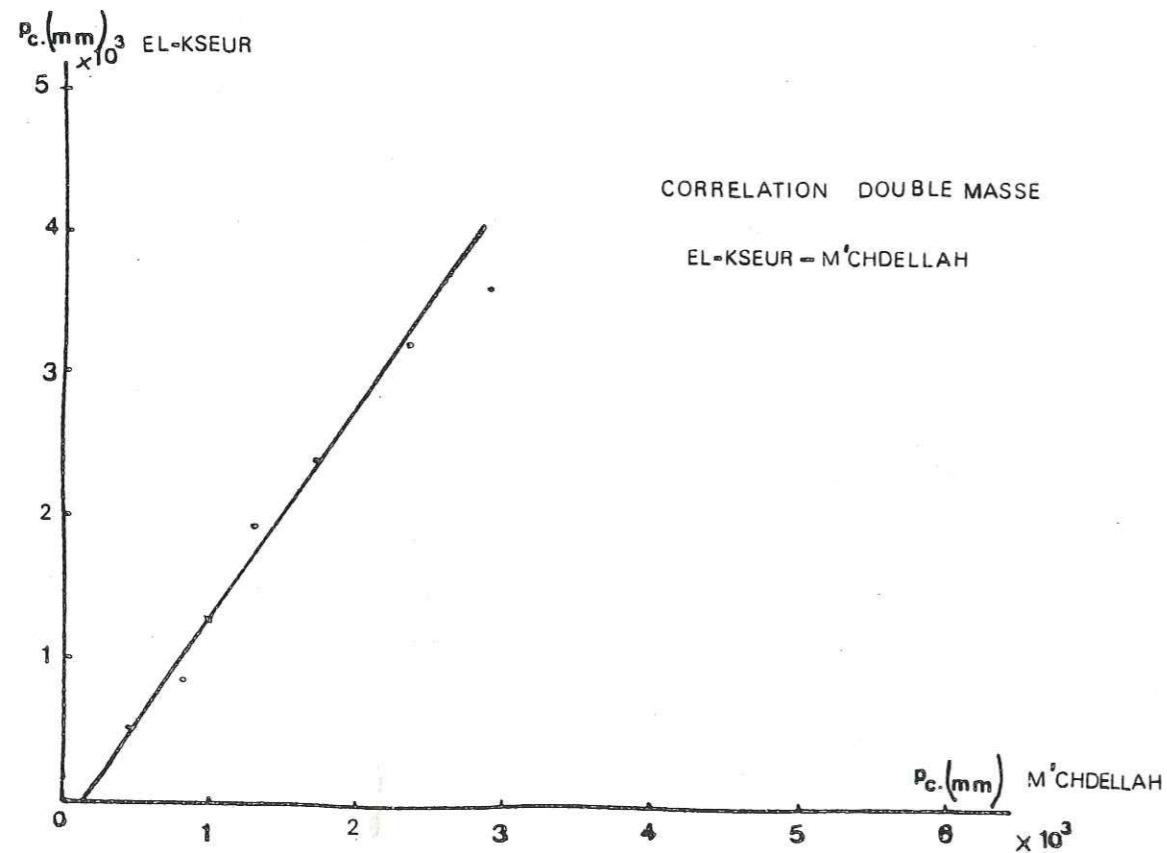
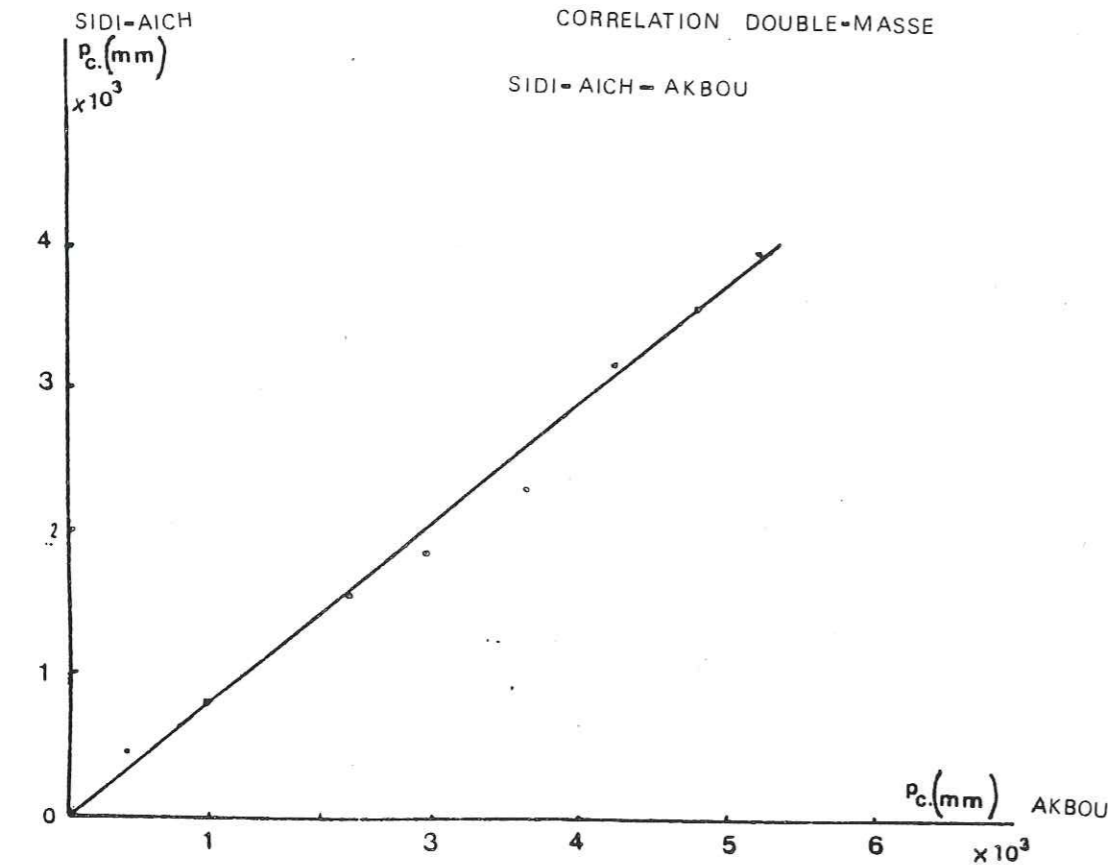


FIGURE N° 21b

D'après les résultats du tableau 11, on constate qu'on a un coefficient de corrélation égal à 0,99, ce qui montre qu'il y a une très bonne corrélation entre ces diverses stations.

#### IV.2 - TEMPÉRATURES DE L'AIR

Ces températures ne sont connues de manière précise que s'il existe des stations locales de mesure. Nous disposons pour notre étude de cinq stations météorologiques réparties le long de la vallée pour établir un ordre de grandeur des conditions climatiques de la zone d'étude. Les mesures enregistrées au niveau de ces stations portent sur des périodes allant de 1913 à 1938 suivant la station considérée.

Ce paramètre trouve son importance dans l'évaluation du déficit d'écoulement pour la détermination du bilan hydrologique.

(Voir tableau 12: Stations météorologiques, page )

##### IV.2.1 - STATION DE BEJAIA

Les mesures enregistrées portent sur une période de 25 ans allant de 1913 à 1938.

Les valeurs mensuelles et annuelles des températures minima ( $m$ ) maxima ( $M$ ) et de leur demi-somme ( $\frac{m+M}{2}$ ) sont portées dans le tableau 13, page .

Les courbes de la figure 14a reproduisent les variations mensuelles moyennes, montrent une croissance des températures de l'air de Janvier à Août, puis on note une décroissance régulière.

Le minimum absolu observé se situe au mois de Janvier, alors que le maximum absolu est observé au mois d'Août.

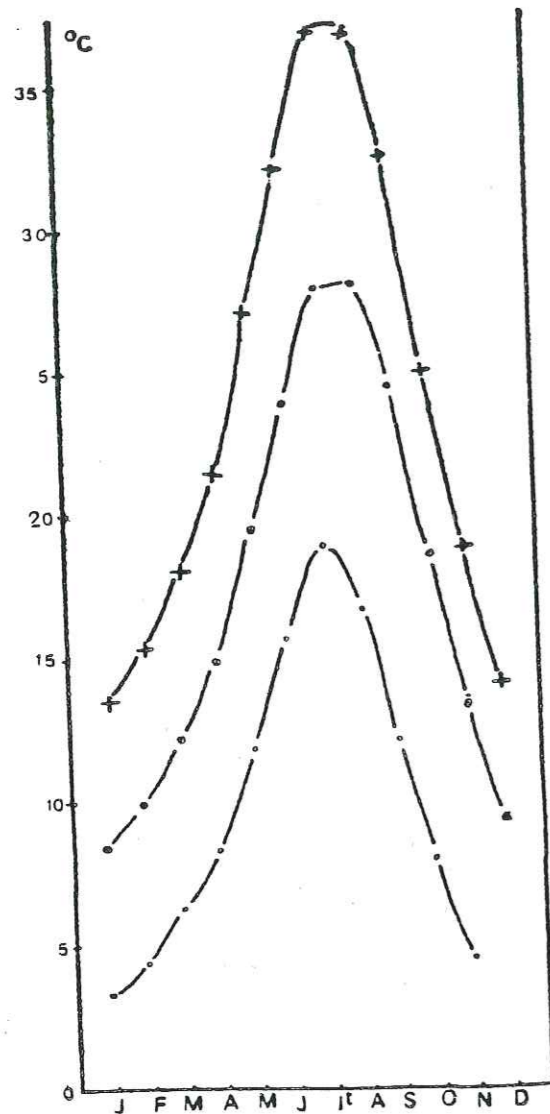
Minimum absolu: $-1^{\circ}C$	} 22/1/1917
Maximum absolu: $46^{\circ}C$	

##### IV.2.2 - STATION DE SIDI AICH

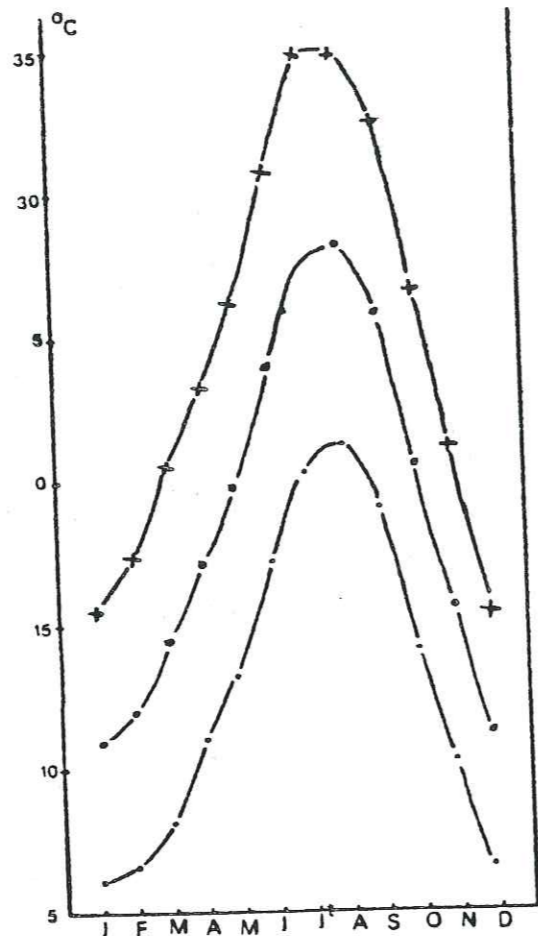
Pour cette station, la période d'observation est de 23 ans (1915-1938).

Sur le tableau 13b sont portées les valeurs mensuelles et annuelles des températures  $m$ ,  $M$  et  $\frac{M+m}{2}$

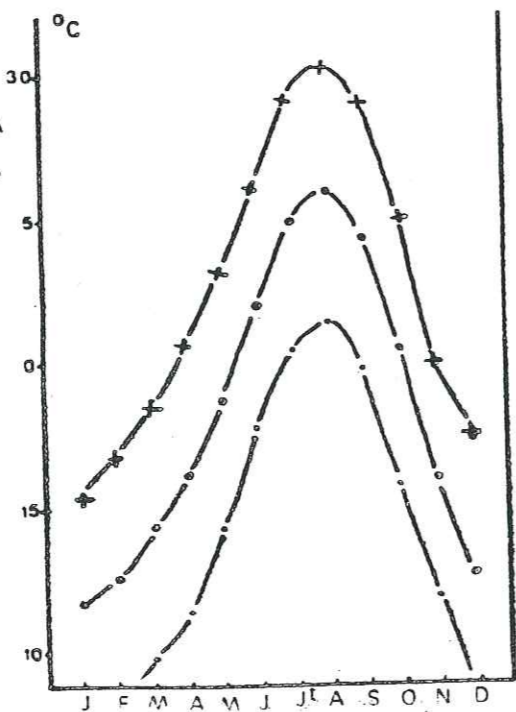
FIGURE 22 TEMPERATURES DE L'AIR



STATION DE M'CHEDELLAH  
(EX- MAILLOT)



STATION DE SIDI-AÏCH



STATION DE  
BEJAÏA

VARIATION ANNUELLE DES MINIMA  
DES MAXIMA ET DE LEUR DEMI-  
SOMME AUX STATIONS DE  
BEJAÏA - SIDI-AÏCH ET M'CHEDELLAH

—•— m  
—○—  $\frac{m+M}{2}$   
—+— M

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
m	6,2	6,7	8,3	11,2	13,4	17,3	20,4	21,4	19,1	14,3	10,2	6,8	12,9
$\frac{m+M}{2}$	11,0	12,0	14,5	17,2	19,9	24,1	27,7	28,2	25,9	20,6	15,6	11,2	19,0
M	15,8	17,4	20,7	23,3	26,4	30,9	35,0	35,0	32,7	26,8	21,1	15,6	25,1

Tableau 13b: Valeurs mensuelles et annuelles des températures m, M et  $\frac{m+M}{2}$  à la station de Sidi-Aïch

Les variations mensuelles moyennes sont identiques à celles de la station de Béjaïa. mini absolu -1°C (Janvier); maxi. absolu 45°C (Août).

IV.2.3 - STATION DE M'CHEDELLAH (ex. Maillot)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
m	3,3	4,4	6,3	8,3	11,9	15,8	19,0	19,3	16,7	12,3	8,1	4,2	10,9
$\frac{m+M}{2}$	8,5	10	12,3	14,95	19,5	23,95	28	28,15	24,5	18,75	13,4	9,2	17,6
M	13,7	15,6	18,3	21,6	27,1	32,1	37	37	32,3	25,2	18,7	14,2	24,4

Tableau 13c: Valeurs mensuelles et annuelles des températures m, M,  $\frac{m+M}{2}$  à la station de M'chedellah

La période d'observation pour cette station est de 25 ans (1913-1938).

Pour cette station on a également une croissance des températures de l'air de Janvier à Août, puis une décroissance régulière comme au niveau de toute la zone littorale. La fig. 23c reproduit les variations de ces températures.

L'étude comparative des données de température de l'air de ces trois stations, montre une diminution de celles-ci à mesure que l'on s'éloigne de la mer. Le climat méditerranéen avec des hivers tempérés et étés chauds à la station de Béjaïa, prend des caractères d'un climat continental à la station de M'chedellah. Cependant, ces variations sont de faibles amplitudes compte-tenu des distances qui séparent ces stations. Ceci nous conduit à considérer que les moyennes annuelles des températures pour la zone d'étude (Tazmalt - Sidi Aïch) sont de 12°7 pour les minima, de 18°4 pour leur  $\frac{1}{2}$  somme et de 24°9 pour les maxima, et ce pour la période de 25 ans (1913-1938).

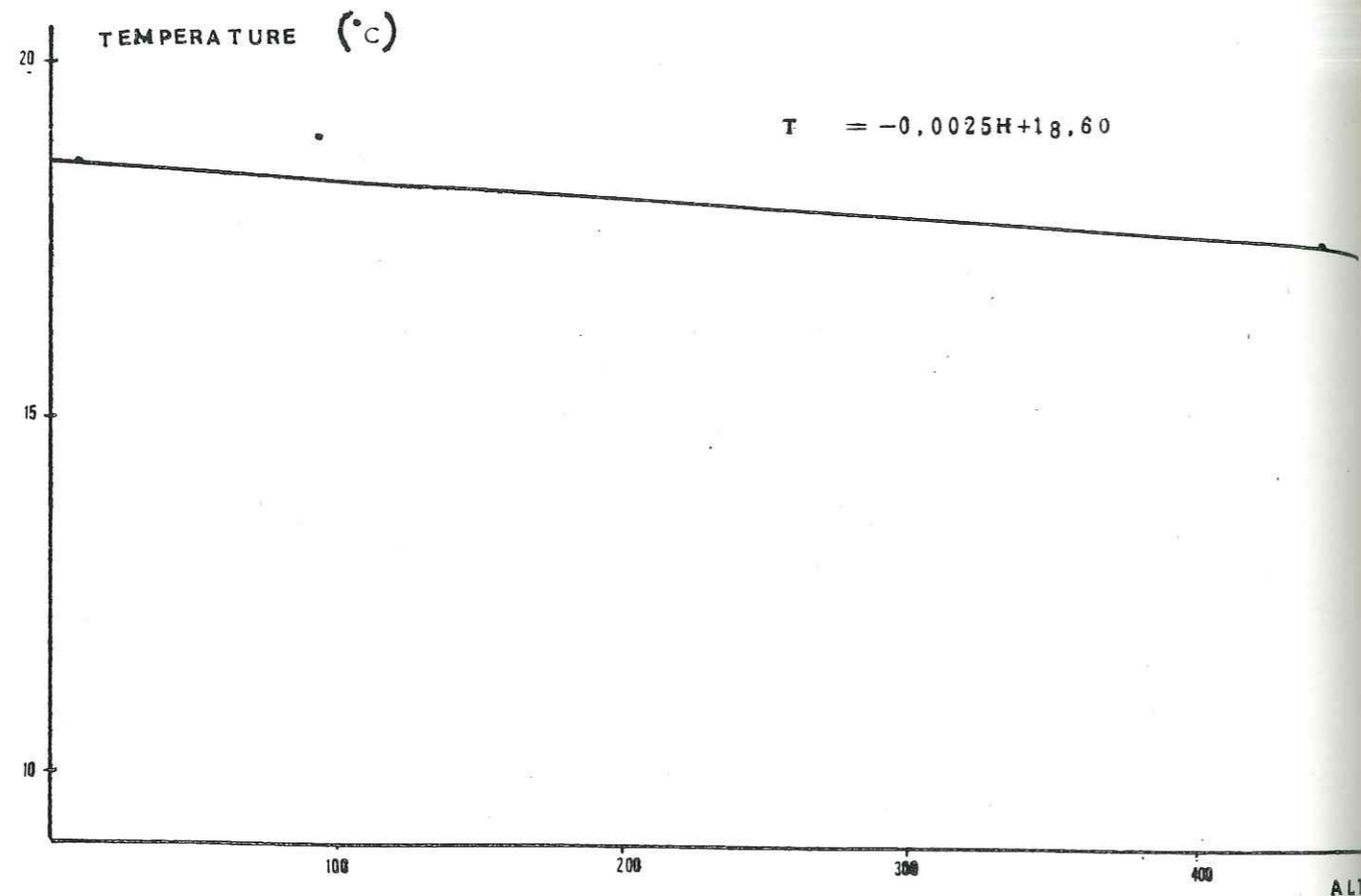


FIGURE 23 PROFIL THERMIQUE

## IV.2.4 - LE GRADIENT THERMIQUE

Les températures moyennes annuelles pour la période allant de 1913-1938 à Bejaïa et M'Chedellah traduisent une diminution avec l'altitude.

A l'échelle du mois, pour ces deux mêmes stations, la température diminue avec l'altitude pour les mois les plus froids (Janvier, Février, Mars).

Stations	Altitude (m)	Température moyenne (°c) 1913-1938
Bejaïa	9	18,60
Sidi-Aïch	95	19
M'Chedellah (ex.Maillot)	465	17,60

Tableau 14: Altitudes et températures des stations

On définit un faible gradient thermique de l'ordre de 0,25°C pour 100 m. Ce paramètre doit cependant être considéré avec réserve, car à la station de Sidi-Aïch qui est à une altitude de 95 m, correspond une température moyenne de 19°C.

## IV.3 - L'HUMIDITÉ DE L'AIR

## IV.3.1 - LA TENSION DE VAPEUR D'EAU (f)

Exprimée en mm de Hg, elle est déduite de la formule de Regnault

$$f = F' - 0,00079 h (t-t')$$

avec

$F'$  = tension maximum de la vapeur d'eau à la température  $t'$ ;

$t'$  = moyenne des températures lues au thermomètre mouillé;

$t$  = moyenne des températures lues au thermomètre sec;

$t - t'$  = différence psychrométrique;

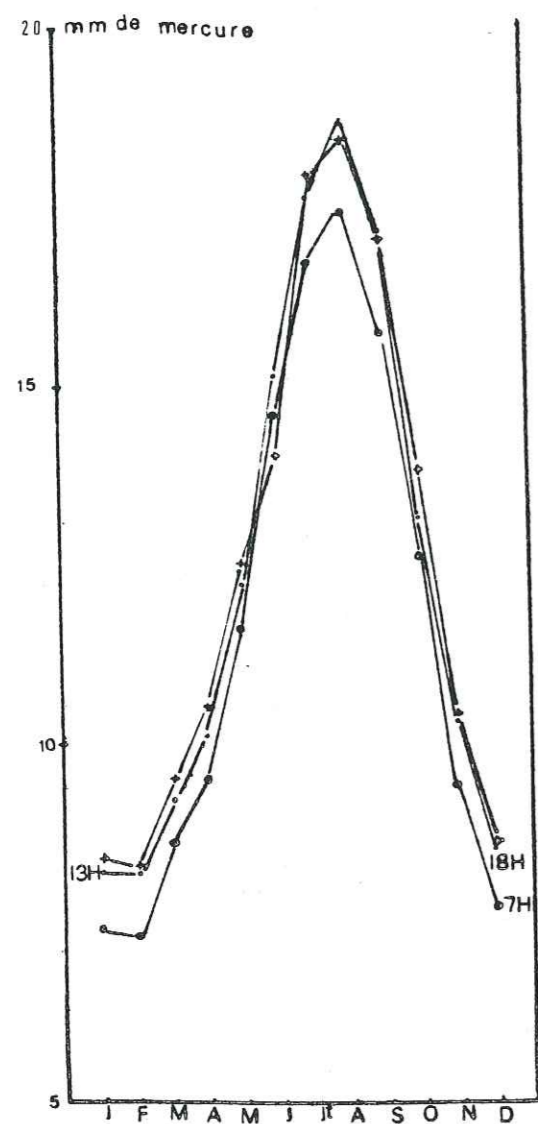
$h$  = durée réelle de l'insolation.

## IV.3.2 - L'HUMIDITÉ RELATIVE OU ETAT HYDROMETRIQUE (H)

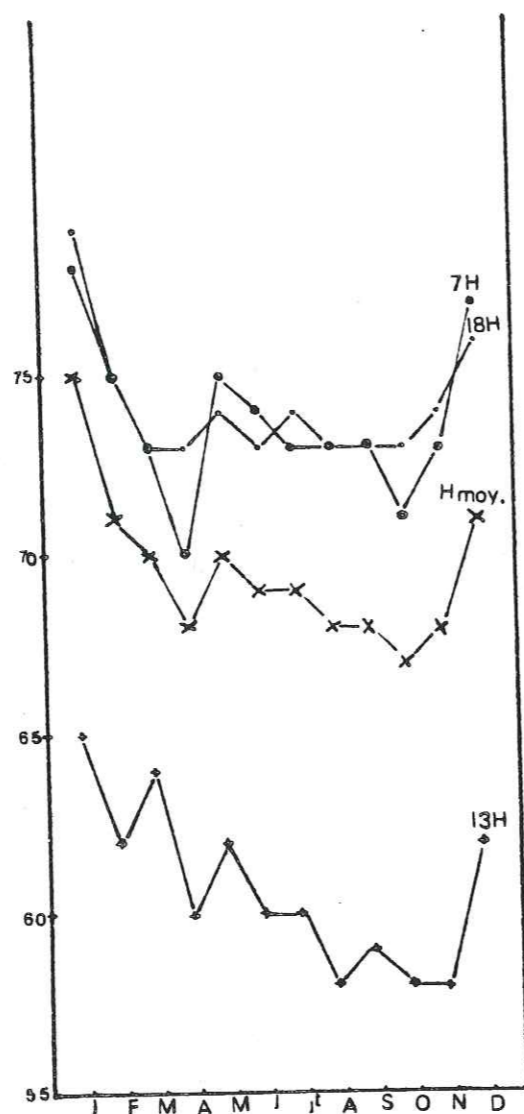
C'est le rapport exprimé en % de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la température  $t$ . Nous avons retenu les mesures d'humidité recueillies à la station de Béjaïa (SELTZER, 1946).

Les paramètres hydrométriques ont été mesurés en même temps que les températures.

Le tableau 15 regroupe les valeurs mensuelles et annuelles de la tension de vapeur ( $f$ ) et de l'humidité relative ( $H$ ) à 7H, 13H et 18H.



variation annuelle de la tension de  
vapeur à la station de BEJAIA



variation annuelle de l'humidité  
relative à la station de BEJAIA

FIGURE 24 TENSION DE VAPEUR ET HUMIDITE  
RELATIVE A LA STATION DE BEJAIA

Mois		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
7H	f	7,4	7,3	8,6	9,5	11,6	14,6	16,7	17,4	15,7	12,6	9,4	7,7	11,6
	H	78	75	73	70	75	74	73	73	73	71	73	77	74
13H	f	8,4	8,3	9,5	10,5	12,2	14,0	17,9	18,4	17,0	13,8	10,4	8,6	12,4
	H	65	62	64	60	62	60	60	58	59	58	58	62	61
18H	f	8,2	8,2	9,2	10,1	12,2	15,1	17,6	18,7	17,1	13,1	10,3	8,5	12,4
	H	79	75	73	73	74	73	74	73	73	73	74	76	74
H.moy.		75	71	70	68	70	69	69	68	68	67	68	72	

Tableau 15: Valeurs mensuelles et annuelles de la tension de vapeur (f) et de l'humidité relative (H), à 7h, 13h et 18h à la station de Béjaïa

Les courbes relatives aux variations annuelles de la tension de vapeur d'eau montrent:

- . des variations plus faibles à 7h qu'à 13h et 18h;
  - . un minimum annuel de l'ordre de 7,3 au mois de février;
  - . un maximum en été aux mois de Juillet/Août (13h).
- avec des valeurs élevées de l'ordre de 17,9 - 18,4.

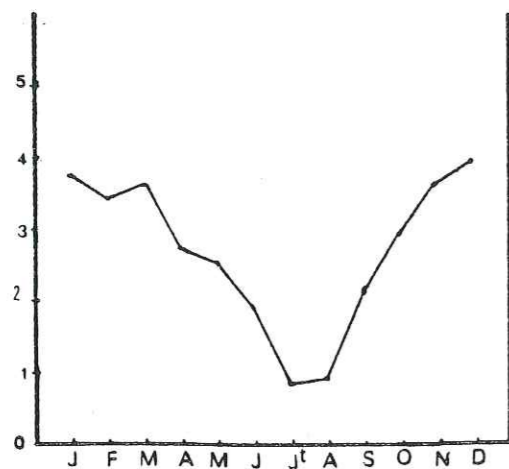
La tension de vapeur est maximum lorsque l'évaporation est maximum, donc l'eau superficielle de la mer est la plus chaude. L'apport d'humidité dû à la proximité de la mer fait que la tension de vapeur atteint en été des valeurs élevées.

Les courbes de variations de l'humidité relative montrent quant à elles:

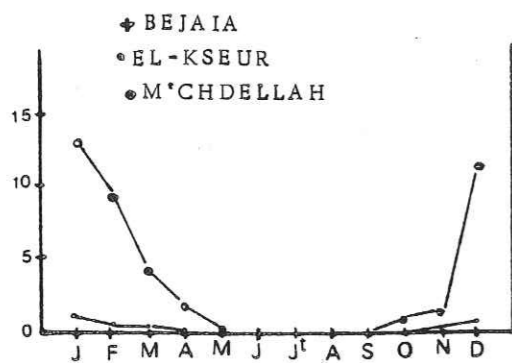
- des valeurs plus faibles à la mi-journée (13 h);
- des valeurs minimales aux mois d'Août à Novembre;
- des valeurs maximales aux mois de janvier (79 % à 18 h).

#### IV .4 - VENTS ET NÉBULOSITÉ

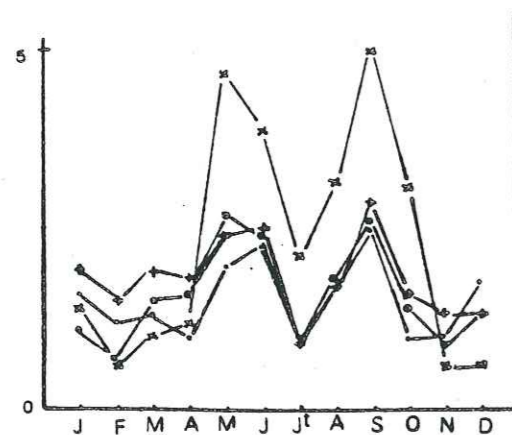
La fréquence et la force des vents ainsi que la nébulosité sont exprimées à la station de Béjaïa. Les enregistrements utilisés sont notés dans les travaux de SELTZER (1946-Climat de l'Algérie).



variation annuelle de la nébulosité à la station de BEJAIA



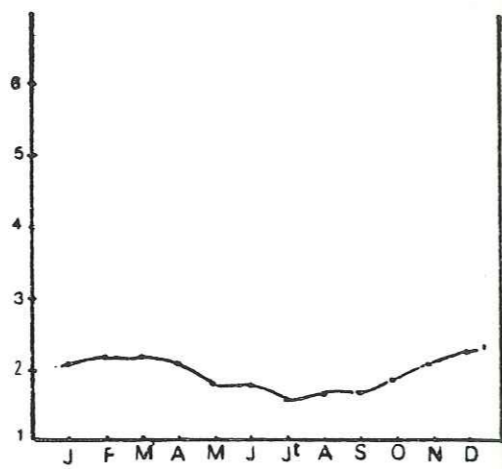
variation annuelle du nombre de jours de gelée blanche aux stations de BEJAIA EL-KSEUR ET MAILLOT



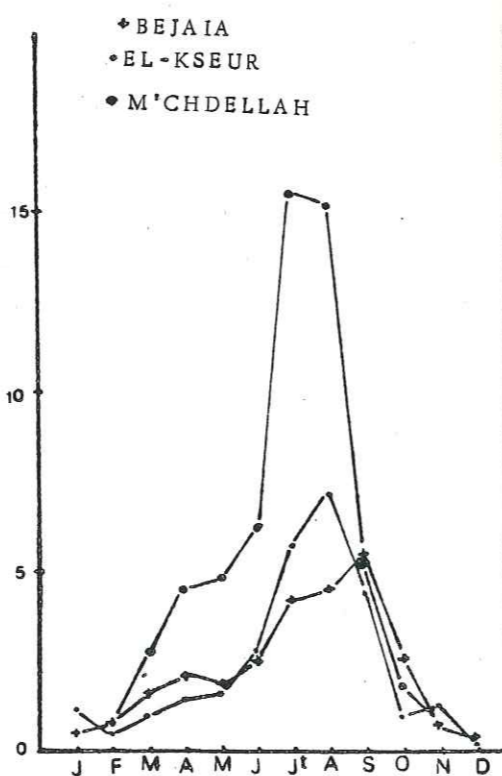
variation annuelle du nombre de jours d'orage aux stations de BEJAIA - SIDI-AICH EL-KSEUR ET MAILLOT

◆ BEJAIA  
● EL-KSEUR  
■ SIDI-AICH  
\* M'CHDELLAH

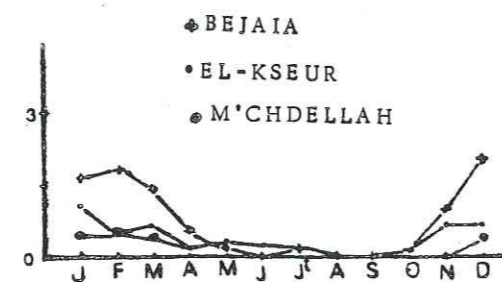
FIGURE 25



variation de la Force du vent à la station de BEJAIA



variation du nombre de jours de sirocco aux stations de BEJAIA - EL-KSEUR - MAILLOT



variation du nombre de jours de grêle aux stations de BEJAIA - EL-KSEUR - MAILLOT

#### IV.4.1 - LA FREQUENCE DES VENTS

Les moyennes mensuelles et annuelles de la force du vent exprimés en degrés Beaufort sont illustrées dans le tableau 16 à la station de Bejaïa

Tableau 16: Force du vent à Bejaïa

Stations/Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Béjaïa	2,1	2,2	2,2	2,1	1,8	1,8	1,6	1,7	1,7	1,9	2,1	2,3	2,0

En été les vents dominants sont de direction NE (il est à noter que la vallée suit grossièrement la direction NE-SW).

La force est estimée d'après une "échelle télégraphique" (SELTZER, 1946) dont les degrés sont les suivants:

- |       |               |       |                   |
|-------|---------------|-------|-------------------|
| 0     | = calme       | 5 - 6 | = vent assez fort |
| 1 - 2 | = vent faible | 7 - 8 | = vent fort       |
| 3 - 4 | = vent modéré | 9     | = ouragan         |

#### IV.4.2 - LA NEBULOSITE

C'est la fraction de ciel couverte par les nuages exprimée en dixième (de 0 à 10): 0 pour un ciel clair et 10 pour un ciel couvert. La nature de la formation moyenne n'influe pas (SELTZER, 1946).

Le tableau 16 regroupe les moyennes mensuelles et annuelles de la nébulosité enregistrées à la station de Béjaïa.

Station /Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Bejaïa	4,7	4,4	4,6	3,7	3,5	2,9	1,8	1,9	3,1	3,9	4,6	4,9	3,7

Tableau 17: Valeurs mensuelles et annuelles de la nébulosité à Bejaïa

Le minimum observé se situe en juillet avec 1,8 et le maximum en décembre avec 4,9.

#### IV.5 - LES ORAGES

Deux paramètres rendent compte de la situation.

##### IV.5.1 - LE NOMBRE MOYEN DE JOURS D'ORAGE

Sur le tableau 18 sont portées les moyennes mensuelles et annuelles de 1913 à 1938 pour les stations de Bejaïa, El-Kseur, Sidi-Aïch et M' Chedellah.

Mois Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	F/C
Bejaïa	1,9	1,5	1,9	1,8	2,4	2,5	0,9	1,7	2,9	1,6	1,3	1,3	21,7	1,3
El Kseur	1,6	1,2	1,3	1,0	2,0	2,3	1,0	1,7	2,5	1,0	1,0	1,7	18,3	1,4
Sidi-Aïch	1,1	0,7	1,5	1,6	2,7	2,4	1,0	2,3	2,6	1,4	0,9	1,3	19,5	1,8
M'Chedellah	1,4	0,6	1,0	1,2	4,7	3,9	2,1	3,2	5,0	2,1	0,6	0,6	26,4	4,0

Tableau 18: Nombre moyen de jours d'orage pour la station de Bejaïa, El Kseur, Sidi-Aïch et M'Chedellah

La fréquence mensuelle pour ces différentes stations est maximale pour les mois de mai, juin et septembre. Elle est minimale en juillet:

#### IV.5.2 - LE RAPPORT $\frac{C}{F}$

C représente le nombre de jours d'orage pendant le semestre chaud (mai-octobre)

F représente le nombre de jours d'orage pendant le semestre froid (novembre-avril)

Ce rapport  $\frac{C}{F}$  est toujours supérieur à 1 (C/F=4 pour M'Chedellah).

Ceci montre une prédominance de nombre de jours d'orage pendant les semestres froids sur les semestres chauds.

### IV.6 - GRÈLE, GELÉE BLANCHE ET SIROCCO

#### IV.6.1 - GRELE

Sur le tableau 19 sont portées les moyennes mensuelles et annuelles du nombre de jours de grêle de 1915 à 1937, pour les stations de Béjaïa, El Kseur, Sidi-Aïchi, M'Chedellah et Akbou.

Mois Stations	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Béjaïa	1,2	1,3	1,0	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,7	1,4	6,3
El Kseur	0,8	0,4	0,5	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,5	0,5	3,7
Sidi-Aïch	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	2,0
Akbou	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	2,2
M'Chedellah	0,4	0,2	0,5	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	0,3	2,3

Tableau 19: Nombre de jours de grêle aux stations Béjaïa, Sidi-Aïch, Akbou et M'Chedellah

La grêle tombe presque exclusivement en hiver. Le nombre de jours de grêle est maximum de Décembre à Mars et pratiquement nul le reste de l'année.

Entre deux stations voisines telles que Béjaïa et Sidi-Aïch, les moyennes mensuelles et annuelles de jours de grêle varient considérablement en raison des conditions climatiques locales différentes et du rôle joué par le relief.

#### IV.6.2 - LA GELEE BLANCHE

Stations / Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Béjaïa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
El-Kseur	2,1	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,5	5,0
M'Chedellah	13,0	9,3	4,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,5	11,6	41,3

Tableau 20: Nombre de jours de gelée blanche aux stations de Béjaïa, El Kseur et M'Chedellah

D'après le tableau 20, la gelée blanche est inconnue à Béjaïa; phénomène qu'il faut attribuer à la présence de la mer. A El-Kseur où l'influence maritime se fait encore sentir, il n'y a que cinq jours de gelée blanche par an.

A M'Chedellah, ce nombre augmente rapidement à cause de l'altitude de la station (465 m) et de son éloignement de la mer (41,3 jours de gelée blanche par an). Le maximum étant atteint en Janvier et Décembre avec respectivement 13,0 et 11,6.

#### IV.6.3 - LE SIROCCO

Les résultats portés dans le tableau 21, concernant le nombre de jours de sirocco (d'après SELTZER, 1946) aux stations de Béjaïa, El Kseur, Akbou et M'Chedellah, montrent une fréquence maximum en Juillet et Août, en particulier à la station de M'Chedellah (15,6 jours en Juillet).

Stations/Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Béjaïa	0,5	0,8	1,6	2,1	1,9	2,7	4,2	4,5	5,5	2,6	0,7	0,3	27,4
El-Kseur	1,1	0,5	1,0	1,5	1,7	2,8	5,8	7,2	4,4	1,0	1,2	0,2	27,4
Akbou	0,2	0,0	1,3	1,6	3,8	5,5	8,8	9,7	6,3	1,4	0,6	0,0	39,2
M'Chedellah	0,5	0,7	2,8	4,7	4,8	6,2	15,6	15,3	5,3	1,9	0,8	0,2	58,2

Tableau 21: Nombre de jours de sirocco aux stations de Béjaïa, El Kseur, Akbou et M'Chedellah

## IV.7 - ÉTUDE DE L'ÉVAPORATION TOTALE OU DEFICIT D'ÉCOULEMENT

## IV.7.1 - INTRODUCTION

L'évaporation représente la quantité d'eau perdue pendant une période déterminée par évaporation directe et par consommation due aux végétaux.

L'évaporation est cependant un phénomène difficile à mesurer. Il dépend de plusieurs facteurs qui varient dans le temps et dans l'espace. Les principaux facteurs de cette évaporation sont:

La température, l'état du sol et la végétation.

On distingue l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) qui est la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée, de l'évapotranspiration potentielle (E.T.P.), qui représente la quantité d'eau qui pourrait être évapotranspirée si le sol contenait en permanence une quantité d'eau suffisante. Malgré l'absence d'appareils de mesure, plusieurs formules d'ordre statistique permettent de calculer ces paramètres.

## IV.7.2 - L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (E.T.P.)

L'évapotranspiration potentielle a été estimée par les formules d'origine statistique de SERRA et de THORNTHWAITE.

Le calcul de l'ETP se fait à partir d'un abaque déduit de la formule de SERRA

$$ETP = 16 \left( \frac{10 T}{I} \right)^a \text{ avec } I = \sum_{i=1}^{12} i \text{ où } i = 0,09 T \frac{3}{Z}$$

T = Température moyenne mensuelle

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

le tableau donne les valeurs de l'ETP (mm) et de l'ETP (mm) corrigée, pour la station de Béjaïa (  $a = 1,6 \frac{88,8}{100} + 0,5 = 1,92$  )

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T (°c)	24,75	20,7	16,25	13	11,9	12,8	14,6	16,3	19	22,25	25,2	26,3	
i	11,08	8,47	5,89	4,21	3,69	4,12	5,02	5,92	7,45	9,44	11,38	12,13	88,8
ETP (mm)	114,5	81,25	51,05	33,26	28,06	33,26	28,06	32,28	41,56	51,35	68,92	93,33	842,76
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm) corrigée	117,93	78,81	43,90	27,90	27,93	24,41	27,43	42,8	56,48	83,39	113,86	149,25	913mm

Tableau 22a: Evapotranspirationspotentiellesmoyennes mensuelles et annuelles

calculées pour la station de Béjaïa

Formule de THORNTHWAITE

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

avec T= Température moyenne mensuelle ;  $I = \sum_{i=1}^{12} i$  où  $i = \left(\frac{I}{5}\right)^{151,4}$

$$a = 0,49239 = (1792 \cdot 10^{-5} I) - (771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2) + 675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3$$

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T (°c)	24,75	20,7	16,25	13	11,9	12,8	14,6	16,3	9	22,25	25,2	26,3	
i	11,26	8,59	5,95	4,24	3,71	4,15	5,06	5,98	7,54	9,58	11,57	12,34	89,97
ETP (mm)	116,27	81,92	50,97	32,91	27,67	31,93	41,32	51,28	69,25	94,37	120,45	130,97	849,24
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm) corrigée	119,75	79,46	43,83	27,64	24,08	27,14	42,56	56,41	83,79	115,13	149,36	151,93	921

Tableau 22b: Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles

calculées par la formule de THORNTHWAITE pour la station de Béjaïa

L'ETP moyenne mensuelle calculée par la formule de SERRA et de THORNTHWAITE est égale à  $\frac{842,76 + 849,24}{24} = 70,5$  mm

L'ETP moyenne mensuelle corrigée est égale à 76,41 mm.

Dans les tableaux 23a et 23b, nous avons calculé de la même manière les valeurs de l'ETP (mm) et de l'ETP corrigée (mm) pour la station de M'Chedellah (ex.Maillot).

Formule de SERRA

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T (°c)	24,5	18,75	13,4	9,2	8,50	10	12,3	14,95	19,5	23,95	28	28,15	
i	10,91	7,3	4,41	2,51	2,23	2,84	3,88	5,2	7,74	10,54	13,33	13,44	84,33
ETP (mm)	115,08	70,16	37,68	18,79	16,23	21,93	32,16	46,14	75,44	110,34	147,33	148,78	840
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm) corrigée	118,53	68,05	32,4	15,78	14,12	18,64	33,12	50,75	91,28	134,62	182,69	172,59	932,5

Tableau 23a: Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées

par la méthode de SERRA pour la station de M'Chedellah (ex.Maillot)

## Formule de THORNTHWAITE

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
T(°c)	24,5	18,75	13,4	9,2	8,5	10	12,3	14,95	19,5	23,95	28	28,15	
i	11,09	7,39	4,44	2,51	2,23	2,85	3,90	5,25	7,85	10,71	13,57	13,68	85,47
ETP (mm)	115,86	70,07	37,26	18,37	15,83	21,49	31,71	45,77	75,43	111,02	148,92	150,42	842,76
K	1,03	0,97	0,86	0,84	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP (mm) corrigée	119,33	67,96	32,04	15,43	13,77	18,26	32,67	50,35	91,27	135,44	184,66	174,49	935,64

Tableau 23b: Evapotranspirations potentielles moyennes mensuelles et annuelles calculées par la méthode de Thornthwaite pour la station de M'Chedellah (ex. Maillot)

L'ETP moyenne mensuelles calculée est de 70,11 mm, l'ETP corrigée est égale à 77,84 mm.

L'ETP calculée pour la station de Béjaïa est pratiquement identique à celle trouvée pour la station de M'Chedellah (ex. Maillot).

On constate par ailleurs que les valeurs de l'ETP sont maximales en été (maximum observé en Août) et relativement faibles en hiver (Décembre à Janvier).

On dispose également des valeurs d'évapotranspiration déterminées par les méthodes de Blaney-criddle, de radiation et de Penman aussi bien pour la station de Béjaïa, que celle de M'Chedellah, pour la même période d'observation.

Les résultats sont portés sur le tableau 24a et 24b.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Blaney - Criddle	130	97	66	50	47	56	76	98	122	147	167	164	1220 mm/an
Radiation	126	87	55	53	50	67	103	127	146	165	180	168	1307 mm/an
Penman	126	98	62	52	42	56	87	115	139	160	173	172	1282 mm/an

Tableau 24a: Evapotranspirations potentielles annuelles et mensuelles pour la station de Béjaïa

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Blaney-Criddle	147	93	53	29	32	42	74	96	141	178	223	209	1316 mm/an
Radiation	122	78	49	31	35	53	93	115	143	161	205	187	1272 mm
Penman	154	107	67	49	49	65	106	130	168	198	223	210	1526

Tableau 24b: Evapotranspirations potentielles annuelles et mensuelles pour la station de M'Chedellah (ex. Maillot)

Tableau résumant les valeurs de l'évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle et annuelle déterminées par les différentes méthodes de calcul.

## IV.7.3 - TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTES METHODES

Méthodes	Station de Béjaïa (mm/an)	M'Chedellah (mm/an)
Blaney-Criddle	1220	1316
Radiation	1307	1272
Penman	1282	1526
Serra	913	932
Thornthwaite	921	935

Tableau 25: Valeurs de l'ETP en mm/an pour les stations de Béjaïa et de M'Chedellah (ex. Maillot)

Le tableau montre une assez grande dispersion des valeurs d'ETP déterminées par les diverses méthodes. Pour la suite de l'étude hydro-climatologique, on utilisera une valeur de l'ETP égale à la moyenne arithmétique des valeurs trouvées par la méthode de SERRA et de THORNTHWAITE. On obtient une valeur de 925,2 mm.

## IV. 8 - ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE

## IV.8.1 - INTRODUCTION

On appelle évapotranspiration réelle dans un intervalle donné, l'évaporation qui se produit pendant cette durée dans les conditions réelles de teneur en eau du sol.

Parmi les méthodes utilisées, nous avons choisi les formules de TURC, de COUTAGNE, le diagramme de WUNDT et la méthode du bilan de THORNTHWAITE.

## IV.8.2 - FORMULE DE TURC

La formule de TURC est déduite d'observations faites sur de nombreux bassins et applicables à tous les climats. Elle fait intervenir la hauteur des précipitations et la température moyenne annuelle.

$$ETR (mm) = \frac{P (mm)}{\sqrt{0,9 + \frac{p^2}{L^2}}} \quad \text{avec } L^2 = (300 + 25T + 0,05T^3)^2$$



P = Précipitation moyenne annuelle en mm;

T = Température moyenne annuelle en °C;

ETR = Evapotranspiration réelle annuelle en mm;

La température moyenne annuelle dans notre cas précis, correspond à la moyenne arithmétique des températures des stations de Béjaïa, Sidi-Aïch et M'Chedellah (ex. Maillot)  $T = 18^{\circ}4c$ .

La valeur des précipitations moyennes annuelles utilisées dans le calcul est égale à la moyenne arithmétique des valeurs enregistrées aux stations d'El Kseur, Sidi-Aïch, Akbou et M'Chedellah (ex. Maillot).

$$P = 631 \text{ mm}$$

d'où  $ETR = 565 \text{ mm}$ , soit 89% des précipitations. Ce résultat est valable essentiellement pour les parties basses du sous-bassin, c'est-à-dire pour la vallée.

#### IV.8.3 - FORMULE DE COUTAGNE

D'après COUTAGNE, l'évapotranspiration réelle est calculée selon la formule suivante:

$$ETR = P - \lambda P^2 \text{ avec } \lambda = \frac{1}{0,8 + 0,14 T}$$

elle fait intervenir comme la précédente formule, la pluviométrie et la température.

P = Précipitations moyennes annuelles en mètres

T = Température moyenne annuelle en degrés

La relation est applicable pour des précipitations telles que  $\frac{1}{8}\lambda < P < \frac{1}{2}\lambda$ , ce qui convient à notre région car les précipitations sont comprises entre 410 mm et 1640 mm.

L'application numérique de la formule de COUTAGNE, pour la même période d'observation que précédemment donne:

$$P = 0,631 \text{ m} - T = 18^{\circ}4 \text{ c} - \lambda = 0,296 - ETR = 0,513 \text{ mm}$$

$ETR = 513 \text{ mm}$ , soit 81 % des précipitations.

#### IV.8.4 - METHODE DE WUNDT (fig.26)

L'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement déduit du diagramme de WUNDT, est fonction de la température et des précipitations.

On obtient (fig.26):  $ETR = 545 \text{ mm}$  soit 86 % des précipitations.

#### IV.8.5 - CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE SELON LA METHODE DU BILAN DE THORNTHWAITE

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 mois de 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 correspond à chaque mois, et la décharge due à l'évapotranspiration potentielle (ETP).

Nous pouvons distinguer plusieurs cas:

-  $ETP = P$ : dans ce cas, toute la pluie est reprise par l'ETP  
 $ETR = ETP$

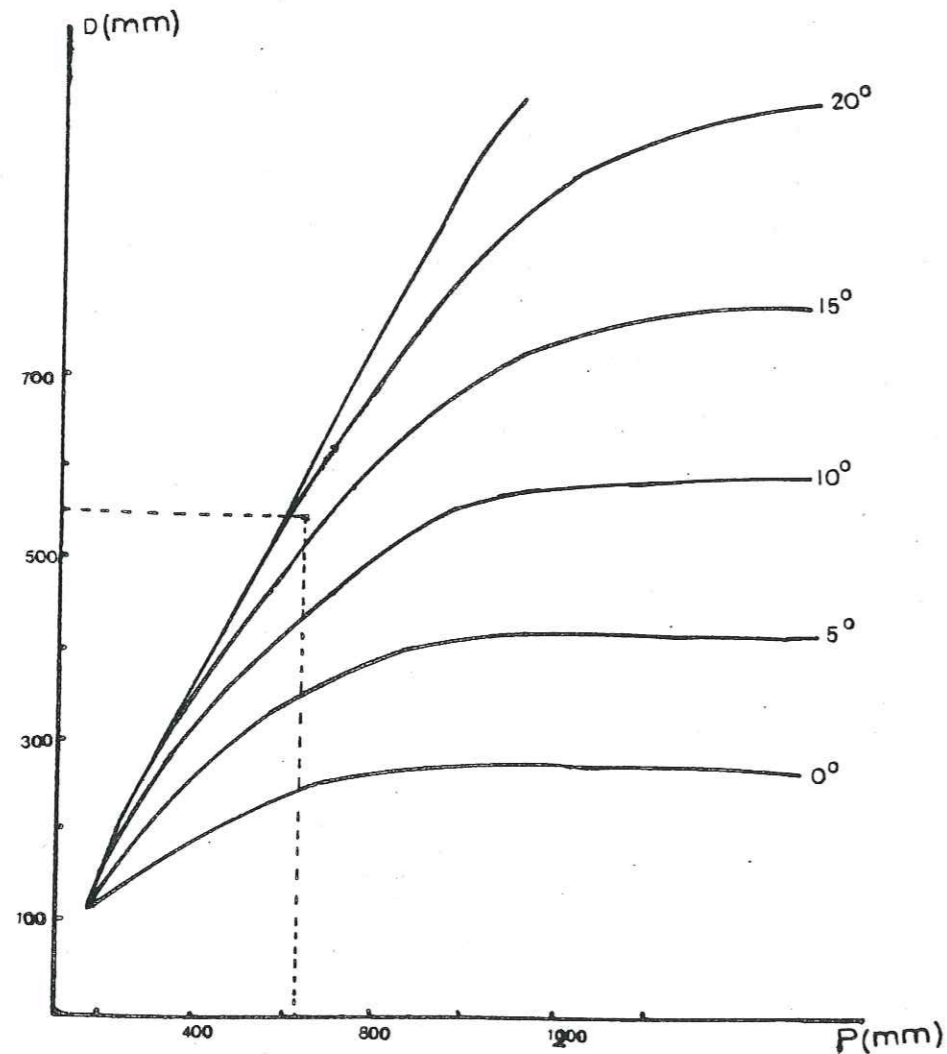
-  $P > ETP$ : L'ETP est égale à l'ETR. L'évapotranspiration va se dérouler normalement, mais il reste une certaine quantité d'eau disponible (excédent) qui sera emmagasinée dans le sol jusqu'à saturation (100mm) permettant ainsi de reconstituer la réserve du sol.

-  $P \gg ETP$ : Le phénomène d'évapotranspiration se déroule comme précédemment et l'ETP=ETR, 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'évaporation va se faire, non seulement sur la totalité des précipitations, mais également sur les réserves emmagasinées par le sol.  $ETP = ETR$  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 a alors déficit du bilan.

FIGURE 26 DEFICIT D'ÉCOULEMENT D'APRES LE DIAGRAMME DE WUNDT



Mois	ETP(mm)	P (mm)	Stock (mm)	ETR (mm)	Déficit	Excédent
Sept.	119	42	0	42	77	0
Oct.	73	73	0	73	0	0
Nov.	38	99	61	38		0
Déc.	22	120	100	22		18
Jan.	19	119	100	19		100
Fév.	23	82	100	23		59
Mars	37	71	100	37		34
Avril	53	58	100	53		5
Mai	87	47	60	87		0
Juin	125	22	0	82	23	0
Juil.	167	5	0	5	162	0
Août	163	11	0	11	152	0
Total						
Annuel	926	749		492	414	216

Le tableau 26 (ci-dessus) donne la valeur de l'ETR par la méthode du bilan de THORNTHWAITE, ETR=492 mm, soit 78% des précipitations.

#### IV.8.6 - DISCUSSION DES RESULTATS

Le tableau 27 récapitule les résultats de l'évapotranspiration obtenus par les différentes méthodes pour les stations de Béjaïa et M'Chedellah (ex.Maillot) pour la période 1913-1938.

	Méthodes	Valeurs (mm)	
ETR (mm)	TURC	565	
	COUTAGNE	513	
	WUNDT	545	
	THORNTHWAITE	492	
ETP (mm)		Bejaïa	M'Chedellah
	SERRA	913	932
	THORNTHWAITE	921	935
	BLANEY-CRIDDLE	1220	1316
	Radiation	1307	1272
	PENMAN	1282	1526

Tableau 27: Tableau récapitulatif de l'évapotranspiration obtenue par les différentes méthodes

Il apparaît que la valeur de l'ETR déterminée d'après la méthode du bilan de THORNTHWAITE est relativement faible, par rapport à celles déterminées par les autres méthodes. Pour la suite de nos calculs, nous choisissons une valeur de l'ETR, égale à 520 mm.

Il faut signaler que ces résultats sont valables uniquement pour la vallée et qu'en fait la nappe peut alimenter l'ETR dans certains secteurs même sans pluie. On note aussi une grande différence entre les valeurs de l'ETP calculées et mesurées.

#### IV.9 - HYDROLOGIE DE SURFACE

##### IV.9.1 - GENERALITES

Dans la région étudiée, les principaux affluents de l'oued Sahel-Soummam sont d'Ouest en Est:

- En rive gauche

Oued Beni Mellikeuch, Oued Allaghane, Oued Amokrane

- En rive droite

Oued Mahrir, Oued Bou-Sellam, Oued Seddouk

La longueur totale du lit mineur non régularisé de l'Oued Sahel-Soummam entre Tazmalt à l'Ouest et Sidi-Aïch à l'Est est d'environ 45 km. La pente du lit naturel varie de 4,7 % à l'Est de la partie amont (jusqu'à l'Oued Illoula), à 2 % dans la région de Sidi-Aïch.

Sur le bassin versant de l'Oued Sahel-Soummam jusqu'à Sidi-Aïch, d'une superficie totale de 8416 km<sup>2</sup>, il existe 12 stations de jaugeages. Deux stations nous intéressent particulièrement: il s'agit de celle de Sidi-Aïch et de Sidi-Yahia.

##### IV.9.2 - STATION DE SIDI AICH

Cette station contrôle l'ensemble des débits sortant de la zone étudiée. Les observations des débits de l'Oued Sahel-Soummam à la station de Sidi-Aïch sont suivies depuis 1953 jusqu'en 1974. Les crues de 1975 ont détruit cette station qui n'a plus fonctionné depuis. Nous disposons d'une série de 21 années de mesure (tableau 28).

Année	Q min. (m <sup>3</sup> /s)	Q max. (m <sup>3</sup> /s)	Q moy. (m <sup>3</sup> /s)	Apport (H m <sup>3</sup> )
1953-1954	1,400	334,0	13,31	419,8
1954-1955	1,250	192,0	6,181	197,9
1955-1956	1,120	354,0	15,62	493,9
1956-1957	0,960	126,0	5,807	183,1
1957-1958	0,960	609	7,046	222,2
1958-1959	0,710	413	15,55	490,3
1959-1960	0,54	233	67,09	212,1
1960-1961	0,75	524	6,965	219,7
1961-1962	1,15	130	7,990	252,0
1962-1963	1,12	320	9,715	306,4
1963-1964	1,08	655	11,15	352,7
1964-1965	1,5	350	14,46	487,5
1965-1966	1,68	620	12,47	399,3
1966-1967	1,32	350	6,002	189,3
1967-1968	1,29	2700	33,16	1049,0
1968-1969	2,26	518	14,69	463,4
1970-1971	2,0	374	13,60	429,0
1971-1972	1,70	1430	42,72	1351,0
1972-1973	2,29	734	44,33	1398
1973-1974	1,85	1820	29,93	943,9
Moyennes			17,545	559,59

Tableau 28: Valeurs des débits à la station de Sidi-Aïch (1953-1974)

##### IV.9.3 - STATION DE SIDI YAHIA

Cette station contrôle les débits provenant du sous-bassin de l'Oued Bou-Sellam, d'une superficie à lui seul de 4050 km<sup>2</sup>. Les mesures de débits y sont relevées pendant la période allant de 1964 à 1976, mais avec deux interruptions.

Année	Q min. (m <sup>3</sup> /s)	Q max. (m <sup>3</sup> /s)	Q moy. (m <sup>3</sup> /s)	Apport (x 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
1964-1965	0,2800	106	11,59	365,6
1965-1966	0,64	239	8,034	253,4
1966-1967	0,700	119	3,445	108,6
1971-1972	0,800	318,5	9,387	269,8
1972-1973	0,808	902	14,5	457,2
1973-1974	0,85	862,0	8,772	276,6
1974-1975	0,3800	140,0	3,021	95,28
1975-1976	0,2040	370,6	7,818	247,2
Moyennes			8,32	259,21

Tableau 29: Valeurs des débits à la station de Sidi-Yahia (1964-1976)

Le débit moyen de l'Oued Sahel-Soummam sur la période d'observation de 21 ans à l'amont du bassin versant est de 17,545 m<sup>3</sup>/s (station de Sidi-Aïch). Soit un apport moyen annuel de 555,59.10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, ce qui correspond à une lame d'eau de 66 m sur l'ensemble du bassin de superficie de 8416 km<sup>2</sup>.

Nous avons également calculé les principales caractéristiques de l'écoulement de l'Oued Sahel-Soummam à la station de Sidi-Aïch, à partir des 21 années d'observations;

- Débit spécifique annuel moyen: 2,08/l/s/km<sup>2</sup>
- Débit moyen annuel: 17,54 m<sup>3</sup>/s
- Débit minimum d'étiage: 0,96 m<sup>3</sup>/s (septembre 1956)
- Débit maximum absolu: 2700 m<sup>3</sup>/s (décembre 1967).

#### IV.10 - ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE

L'équation classique du bilan hydrologique s'écrit:

$$P = E + R + I \pm W \text{ avec:}$$

P = Précipitations annuelles en mm;

E = Evapotranspiration réelle moyenne en mm;

R = Ruissellement moyen annuel en mm;

I = Infiltration moyenne annuelle en mm;

W = Variations de réserves en mm.

##### IV.10.1 - PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE

La valeur des précipitations moyennes annuelles utilisée, est celle obtenue par la moyenne arithmétique, des données relatives à la période 1913-1938 (25 ans), soit une lame d'eau moyenne de 631 mm.

##### IV.10.2 - EVAPOTRANSPIRATION REELLE

Nous avons fixé à 520 mm la valeur de l'ETR moyenne annuelle pour le calcul du bilan hydrologique. Cette valeur est une moyenne de celles déterminées par les méthodes de TURC, WUNDT, COUTAGNE et du bilan de THORNTON. Elle concerne la plaine de la vallée de la Soummam et pourrait être augmentée pour tenir compte des apports des divers affluents qui augmentent la quantité d'eau revenant à l'ETR. Mais nous ne pouvons pas en tenir compte, la nappe étant relativement profonde.

##### IV.10.3 - RUISSELLEMENT

Le ruissellement peut être estimé par les deux méthodes suivantes.

###### 1/ Formule de TIXERONT-BERKALOFF

Cette formule tient compte des précipitations et de l'évapotranspiration potentielle moyennes annuelles:

Elle s'écrit:

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

P et ETP sont exprimés en mètre.

P = 0,631 m

E = 0,925 m

La valeur de l'écoulement superficiel obtenu par cette formule est de 97 mm.

###### 2/ Deuxième méthode

La lame d'eau ruisselée sera estimée sur la base des écoulements recueillis à la station de Sidi-Aïch. Le débit moyen annuel au niveau de cette station est de 17,54 m<sup>3</sup>/s. Il représente l'écoulement moyen qui s'effectue sur l'ensemble du bassin versant d'une superficie de 8 416 km<sup>2</sup>.

Pour avoir le débit ruisselé relatif au sous-bassin versant étudié, il faut donc connaître les débits des affluents majeurs et secondaires qui drainent les autres sous-bassins.

- La station de Sidi-Yahia qui contrôle les débits provenant du sous-bassin de l'oued Bou-Sellam, donne un débit moyen annuel de 8,32m<sup>3</sup>/s.

- La station de M'Chedallah (ex. Maillot), jaugeant les débits provenant de l'oued Sahel, donne un débit moyen annuel de 6,5 m<sup>3</sup>/s.

Par différence entre la somme de ces deux débits et le débit total écoulé à Sidi-Aïch, nous obtenons un débit moyen annuel de 2,72 m<sup>3</sup>/s qui ruisselle dans le sous-bassin versant étudié, soit une lame d'eau de 85 mm représentant 12,6 % des précipitations.

La formule de TIXERONT-BERKALOFF donne une valeur de ruissellement supérieure à (R+I), donc, n'est pas valable pour être appliquée à la vallée de la Soummam. En effet, la formule est applicable essentiellement aux régions arides, ce qui n'est pas le cas de la vallée étudiée qui est une région suffisamment arrosée, et pour laquelle l'influence du massif du Djurdjura n'est pas négligeable.

## IV.10.4 - INFILTRATION

En remplaçant tous les termes de l'équation du bilan, nous déterminons ainsi la partie des précipitations qui arrive effectivement à s'infiltrer

$$P = E+R+I \text{ d'où } I=P-(E+R)$$

P = 631 mm  
E = 520 mm    I = 26 mm, soit 4,1% des précipitations  
R = 85 mm

## IV.11 - CONCLUSION

Au cours de cette étude, nous avons essayé de dégager les principales caractéristiques hydroclimatologiques de la région étudiée.

Les résultats obtenus concernent essentiellement la plaine alluviale étant donné que les données des stations utilisées concernent la partie centrale du bassin.

Les données pluviométriques présentent des lacunes assez importantes, et se sont interrompues depuis les années agricoles 1977-1978. Nous avons toutefois déterminé une pluviométrie moyenne pouvant régner sur le bassin versant qui est évaluée à 631 mm dont 520 mm sont évapotranspirés.

Les écoulements superficiels sont contrôlés par la station de Sidi-Aïch qui a fonctionné de 1953 à 1974.

La lame d'eau écoulee est estimée à 85 mm au niveau du sous-bassin étudié, alors qu'elle est de 66 mm pour l'ensemble du bassin versant.

Quant à l'infiltration moyenne, elle a été évaluée par différence avec les autres paramètres hydrologiques, à 26 mm, soit 4,1% des précipitations.

-----

## CHAPITRE V

## ETUDE HYDRODYNAMIQUE - PIEZOMETRIE

---

## V.1 - INTRODUCTION

## V.2 - INTERPRÉTATION DES CARTES PIÉZOMÉTRIQUES

## CHAPITRE V

## ETUDE HYDRODYNAMIQUE - PIEZOMETRIE

## V.1 - INTRODUCTION

L'inventaire des points d'eau a été réalisé par le service des études scientifiques (S.E.S) de 1966 à 1969, et un certain nombre d'ouvrages ont été retenus comme puits témoins (environ 150).

Ces puits forment les mailles d'un réseau de points de mesure piézométrique (fig.27).

En fait, les crues successives de l'oued Sahel-Soummam ont détruit certains de ces puits, leur nombre se trouve par conséquent fortement diminué. De plus, certains n'exploitent avec certitude que la nappe alluviale.

Pour notre étude, nous avons pris en considération environ 80 puits répartis essentiellement dans la vallée.

Ainsi deux levés piézométriques ont été effectués, l'un en période de "hautes-eaux" (Avril, 1983) et l'autre en période de "basses eaux" (septembre 1983).

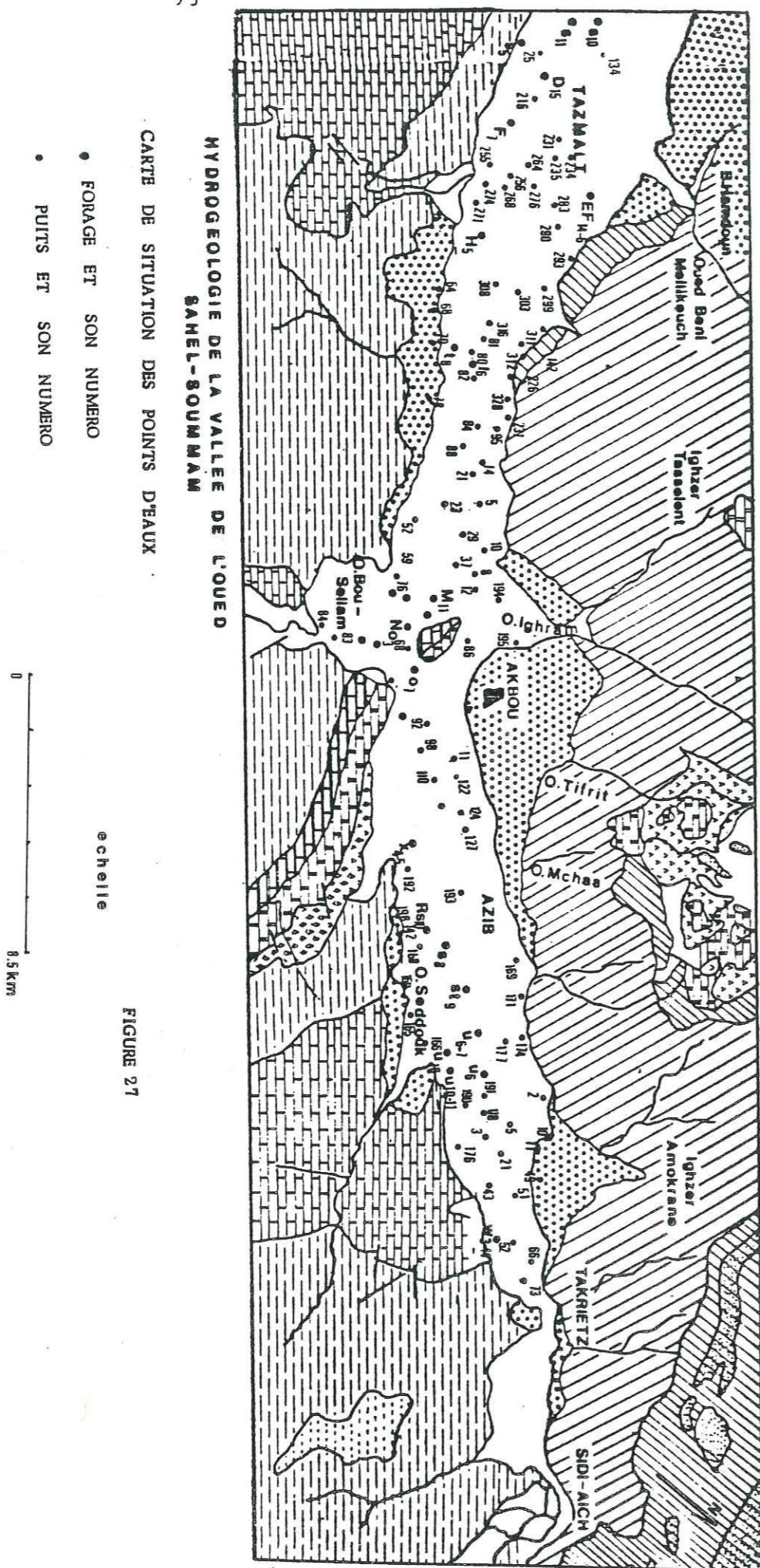
Nous disposons également d'une vingtaine de forages atteignant pour la plupart le substratum, dans lesquels nous n'avons pas mesuré les niveaux piézométriques, en raison de la soudure de ces forages.

La région a fait déjà l'objet de levés piézométriques durant l'année 1969 pour le S.E.S (rapport B. PLUS, 1969) et en 1971 par le service hydrogéologique de l'I.N.R.H. (ex. D.E.M.R.H.).

## V.1.1 - CARACTERISTIQUES DES PUIITS ET LEUR UTILISATION

## V.1.1.1 - Utilisation des puits

Pour les puits utilisés, nous pouvons distinguer ceux appartenant aux particuliers et ceux des domaines agricoles autogérés. Ces puits suivant leur appartenance servent essentiellement à:



- l'alimentation des propriétés industrielles;
- l'alimentation du bétail;
- l'irrigation des terres cultivées, aussi bien des domaines autogérés que celles des propriétés industrielles et privées.

#### IV.1.1.2 - Caractéristiques des puits

Les puits témoins utilisés sont répertoriés sur des fiches avec les caractéristiques suivantes:

- repère de mesure;
- hauteur de la margelle lorsqu'elle existe;
- niveau statique;
- profondeur.

#### V.2 - INTERPRÉTATION DES CARTES PIÉZOMÉTRIQUES (fig.27a & 27b)

Les cartes 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.

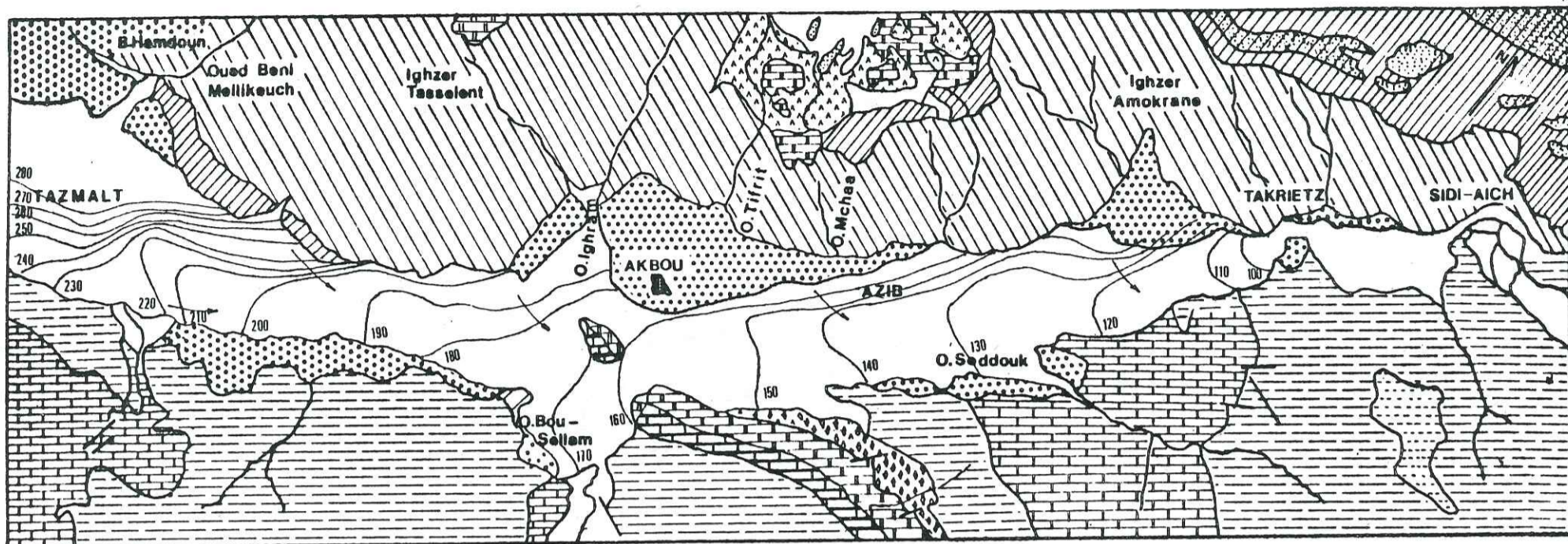
##### V.2.1 - PROFONDEUR DE L'EAU DANS LE SOL

Les fluctuations des niveaux piézométriques de la nappe alluviale ont été suivies sur des puits qui se répartissent sur l'ensemble de la plaine entre Tazmalt à l'Ouest et Takrietz à l'Est, en formant un réseau de points de mesure.

En général, en période de "hautes-eaux", la profondeur de l'eau sous le sol des terrasses actuelles de l'oued est comprise entre 5 et 10 mètres. Cette profondeur augmente rapidement, vers le Nord au niveau des terrasses anciennes et des cônes de déjection. Elle est maximum en rive gauche au voisinage de la limite d'extension des alluvions (35,2 m au puits 194/68).

En période de "basses-eaux" le plan d'eau baisse de 0,5 m à 2 m dans les terrasses actuelles et de 5 à 10 mètres en bordure nord de la plaine.

Au point de vue agricole, on peut dire que le plan d'eau est rarement situé à moins de 1,5 m par rapport à la surface du sol.



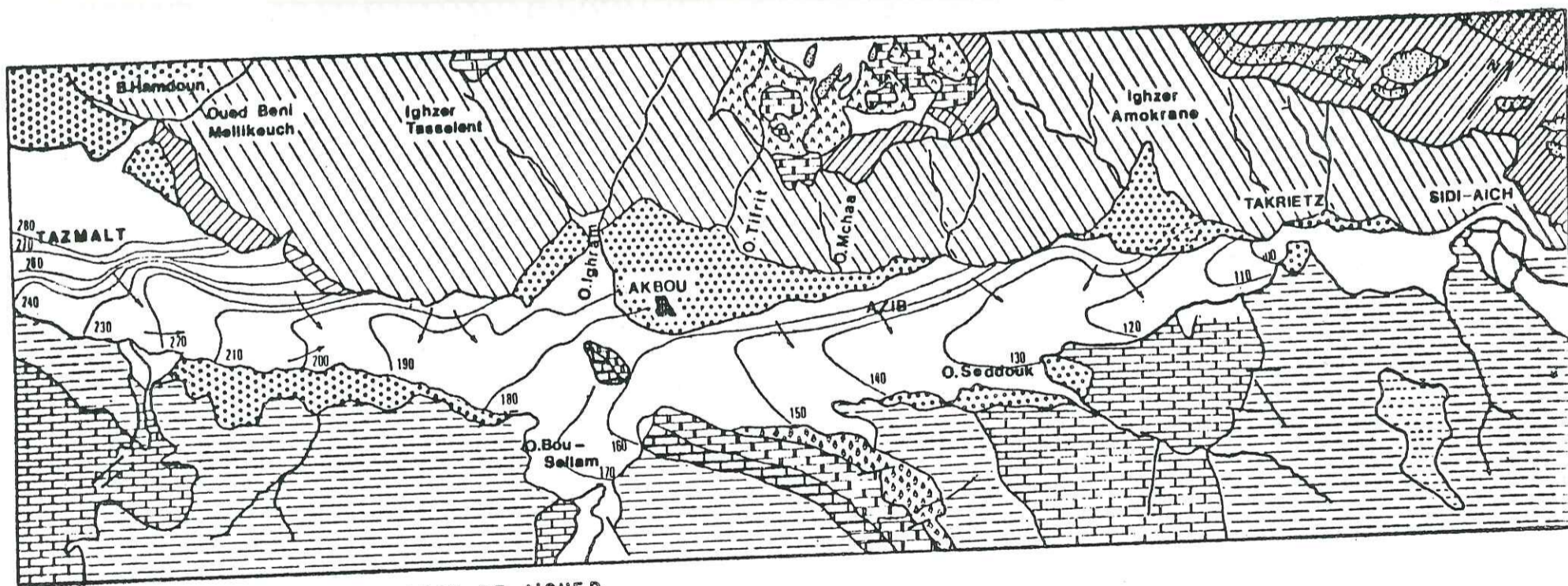
HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM

CARTE PIEZOMETRIQUE SEPTEMBRE 1983 BASSES EAUX

FIGURE 28b

190 — COURBE ISOPIEZE ET SA COTE  
 → SENS D'ECOULEMENT

echelle



HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM

CARTE PIEZOMETRIQUE AVRIL 83 HAUTES EAUX

FIGURE 28a

180 — COURBE PIEZOMETRIQUE ET SA COTE  
 → SENS D'ECOULEMENT

echelle





### V.2.2 - CONDITIONS D'ÉCOULEMENT

Les cartes piézométriques (fig. 28a et 28b) correspondent aux "hautes-eaux" et "basses-eaux", et sont respectivement prises en avril 1983 et septembre 1983. Elles montrent que l'allure générale des courbes ne varie qu'assez peu d'une époque à l'autre de l'année. L'axe de drainage principal, mis en évidence est décalé vers le Nord par rapport au lit mineur actuel de l'oued.

L'oued semble alimenter la nappe de sa confluence avec l'oued Béni-Mellikeuch, jusqu'à l'oued Illoula. De même l'oued Soummam alimente la nappe dans la zone située au SW d'Azib.

### V.2.3 - ZONE D'ALIMENTATION DE LA NAPPE

L'alimentation de la nappe par les affluents de la rive gauche de l'oued est bien marquée: oued Beni-Mellikeuch, oued Illoula, oued Amokrane. En rive droite, seuls les oueds Seddouk et Bou Sellam semblent avoir une influence au point de vue alimentation, ce que d'ailleurs laisse présager la lithologie.

En rive gauche, par contre l'alimentation par les cônes de déjection et le Miocène est nette.

### V.2.4 - DETERMINATION DES GRADIENTS HYDRAULIQUES

Nous avons calculé pour les différentes zones considérées, un gradient hydraulique. Les gradients sont élevés en rive gauche, sur les bordures de la plaine, ce qui semblerait indiquer une mauvaise perméabilité des terrains bordant la rive gauche ( $i > 30 ‰$ ).

Les fortes valeurs du gradient correspondent aux "cônes de déjection" des affluents rive gauche.

Au niveau du lit majeur de l'oued et dans l'axe de la plaine alluviale les gradients sont de l'ordre de 5 à 10 ‰, vers l'aval et dans l'axe de la vallée, ils passent de 1 à 5 ‰.

Au niveau des "buttes témoins" de Miocène de la région de Tazmalt, on constate un resserrement des isopièzes. Le miocène semble présenter une mauvaise perméabilité à ce niveau.

Au seuil de Takrietz, les isopièzes se resserrent normalement, car une grande proportion de l'écoulement souterrain passe dans l'oued, en raison de la faible épaisseur des alluvions à ce niveau. En période de "basses-eaux", il y a diminution générale des gradients hydrauliques par suite d'une réduction du débit de la nappe. Le tableau 30 indique les valeurs pour les différentes zones considérées.

Zone	Rive gauche bordure de la plaine	Cônes de déjection	Verrou de Takrietz	Axe de la plaine alluviale
Gradient hydraulique (i)	30 à 40 ‰ (0,03 à 0,04)	20 à 30 ‰ (0,02 à 0,03)	i 20 % i 0,02	5 à 10 ‰ (0,005 à 0,01)

Tableau 30 Valeurs des gradients hydrauliques

Les zones de faibles gradients ( $1 ‰ < i < 10 ‰$ ) correspondent au chenal de drainage mis en évidence par la géophysique et présentent des sites favorables à l'implantation de nouveaux captages.

### V.2.5 - ALLURE GÉNÉRALE DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE

Les variations de l'allure générale de l'écoulement sont faibles d'une campagne de mesure à l'autre.

Il apparaît que l'alimentation de la nappe s'effectue en plus des précipitations, par les affluents de la rive gauche, alors que ceux de la rive droite semblent avoir peu d'effet.

On distingue deux directions principales de l'écoulement.

En rive gauche, de l'oued Beni Mellikeuch jusqu'à la station d'Alleghane; la direction de l'écoulement est sensiblement perpendiculaire au lit de l'oued. Vers le Sud, cette direction devient plutôt parallèle au cours actuel de l'oued.

La morphologie actuelle de l'oued, la quasi-absence de terrasses en rive droite, et le fait que l'oued entaille fréquemment le Crétacé de cette rive, montre que sa tendance est de déporter son cours vers le Sud.

### V.2.6 - ÉTUDE DES CONDITIONS AUX LIMITES - RELATION AVEC LES VERSANTS

Nous avons vu que les affluents de la rive gauche de l'oued, ainsi que les affleurements miocènes participent à l'alimentation de la nappe bien que leur perméabilité soit mauvaise.

Le volume d'eau fourni reste cependant difficile à évaluer et à séparer de l'ensemble des apports.

La recharge de la nappe intègre l'alimentation:

- par les précipitations directes sur les alluvions;
- par les bordures (miocènes)

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
 MAISON DES GEOSCIENCES  
 DOCUMENTATION  
 B.P. 53  
 F. 38041 GRENOBLE CEDEX  
 Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58  
 Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr

- par les infero-flux des affluents, mais l'alimentation par les versants crétacé de la rive droite paraît très faible, sauf peut-être localement.

#### V.2.7 - CONCLUSION

L'alimentation de la nappe se fait par infiltration des eaux météoriques dans les alluvions, et par les apports des affluents essentiellement de la rive gauche.

Dans la zone aval du "verrou" de Takrietz, le resserrement des isopièzes est dû à la faible épaisseur des alluvions et à une assez forte pente de l'oued.

Les axes de drainage à faibles valeurs des gradients hydrauliques correspondent probablement à un "lit fossile" et les méandres actuels ne seraient que des divagations récentes.

Nous pouvons également conclure qu'il y a alimentation de la nappe par l'oued à l'amont et drainage par celui-ci à l'aval.

-----

## CHAPITRE VI

### ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES DES FORMATIONS AQUIFERES

---

VI.1 - INTRODUCTION

VI.2 - DÉFINITION

VI.3 - MÉTHODE GRAPHIQUE DE LA COURBE CARACTÉRISTIQUE DE  
THEIS

VI.4 - MÉTHODE DE JACOB

VI.5 - MÉTHODE DE LA DROITE DE REMONTÉE DE THEIS

VI.6 - MÉTHODE DE SHOW

VI.7 - DÉTERMINATION DE LA POROSITÉ UTILE PAR LA MÉTHODE  
D'ARCHIE

VI.8 - TABLEAU RÉCAPITULATIF - DISCUSSION DES RÉSULTATS

CHAPITRE VI  
ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES  
DES FORMATIONS AQUIFERES

**VI.1 - INTRODUCTION**

Afin de connaître les caractéristiques hydrodynamiques des formations aquifères de la vallée, une étude a été réalisée grâce à des essais de pompage sur les ouvrages de captage implantés par la D.H.W. (Direction de l'hydraulique de la Wilape) de Béjaïa.

Les principales caractéristiques se limitent à la transmissivité ("T") et au coefficient d'emménagement ("S").

Ce sont des paramètres importants qui interviennent dans l'estimation du bilan hydrogéologique et des réserves en eaux souterraines.

**VI.2 - DÉFINITIONS**

**VI.2.1 - COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT**

Il exprime le volume d'eau libéré à travers une section unitaire, pour une variation unitaire de la charge hydraulique normale à cette section.

Dans les nappes captives, il reste lié aux taux de compression; dans les nappes libres, il équivaut en pratique à la porosité utile de l'aquifère où les effets de compression sont négligeables. C'est un nombre sans dimension désigné par le symbole "S".

**VI.2.2 - TRANSMISSIVITE**

C'est le produit du coefficient de perméabilité (K) pour la puissance de l'horizon aquifère dans la section transversale considérée :

$$T \text{ (m}^2\text{/s)} = K \text{ (m/s)} \times H \text{ (m)}$$

Elle s'exprime en m<sup>2</sup>/s.

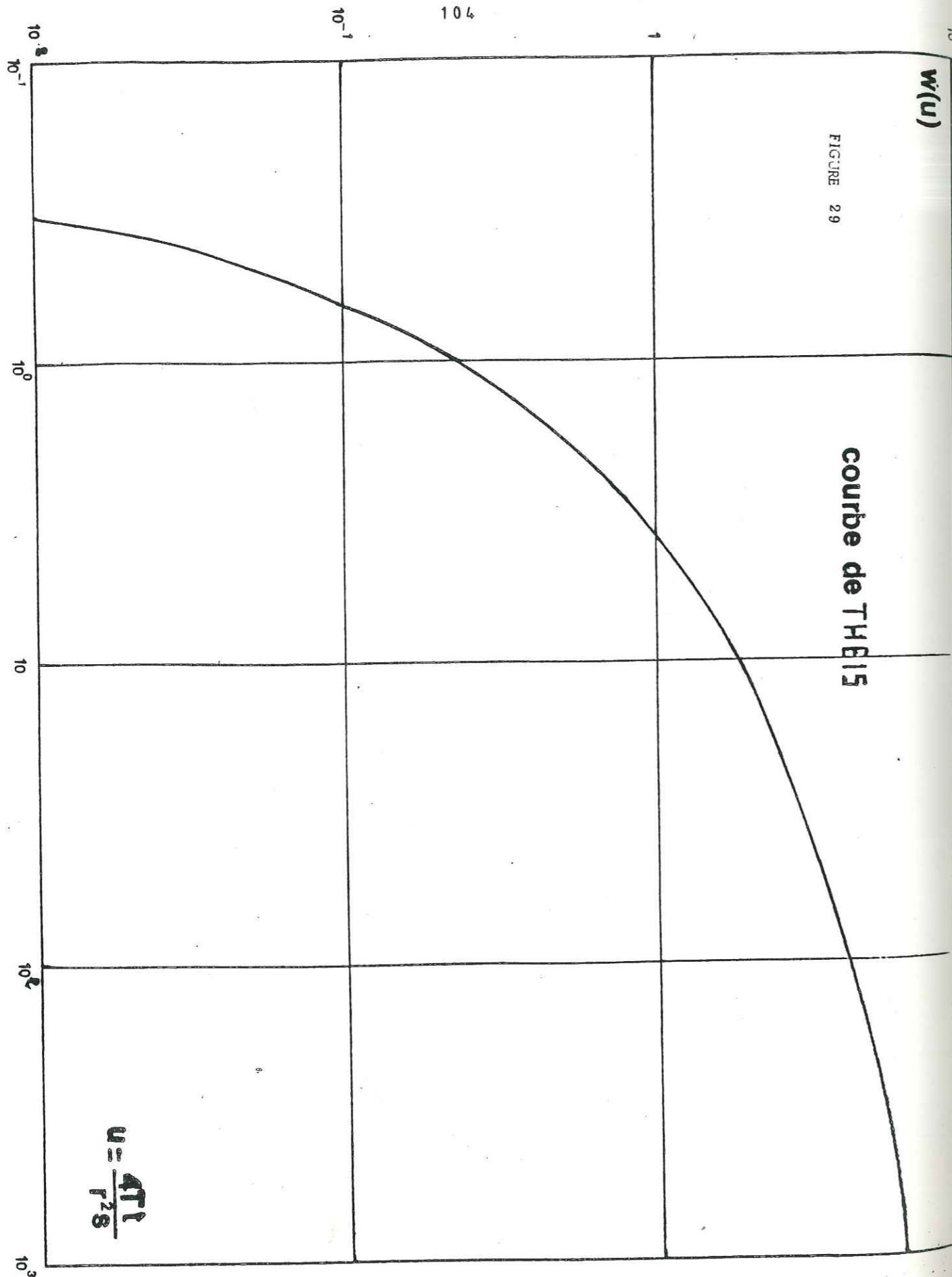


FIGURE 29

courbe de THEIS

$$u = \frac{4Tt}{r^2 S}$$

VI.2.3 - MODE OPERATOIRE DES ESSAIS DE POMPAGE

La D.H.W de Béjaïa a lancé deux programmes d'implantation de forages dans toute la vallée de l'oued Sahel-Soummam. Le premier des 21 forages destiné à l'alimentation en eau potable des habitants de la vallée, et le second composé de 25 forages est destiné à l'irrigation des terres cultivables. La SONAGHTER (Société des Travaux de forages) a effectué pour le compte de la D.H.W. des essais de pompage sur les forages déjà exécutés. Pour chaque forage, l'essai se déroule de façon suivante.

Après un développement à l'air lift, on y effectue un essai à blanc de 3 ou 4 paliers de débits enchaînés. On change de palier après avoir observé la stabilisation du niveau au bout de 4 heures environ; une fois le pompage arrêté, on laisse le plan d'eau reprendre son niveau initial.

L'essai à blanc nous permet par la suite, de déterminer le débit d'exploitation ou le débit de l'essai de longue durée (24 à 48 h.). Enfin, on observe la remontée jusqu'à atteindre le niveau statique de la nappe. Les mesures sont relevées dans les forages en cours de pompage. Il n'a pas été possible d'effectuer des mesures dans des points d'eau autres que les forages, vu l'inexistence des piézomètres.

VI.2.4 - METHODOLOGIE ET RAPPELS DES EQUATIONS

Les équations utilisées pour le traitement analytique des essais de pompage sont des relations donnant le rabattement en fonction du débit et des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère.

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour la détermination de T et de S. L'équation d'approximation logarithmique de THEIS-JACOB est utilisée dans le cas d'un régime d'écoulement transitoire.

VI.3 - MÉTHODE GRAPHIQUE DE LA COURBE DE LA FONCTION CARACTÉRISTIQUE DE THEIS

C.V. THEIS a proposé en 1935 de comparer l'écoulement des eaux souterraines à la propagation de la chaleur en milieu isotrope: c'est la méthode d'analogie thermique. Cette solution tient compte du temps de pompage qui est assez court.

La formule exponentielle intégrale utilisée dans ce cas, s'écrit:

$$\Delta = W(u) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^a \frac{e^{-y}}{y} dy$$

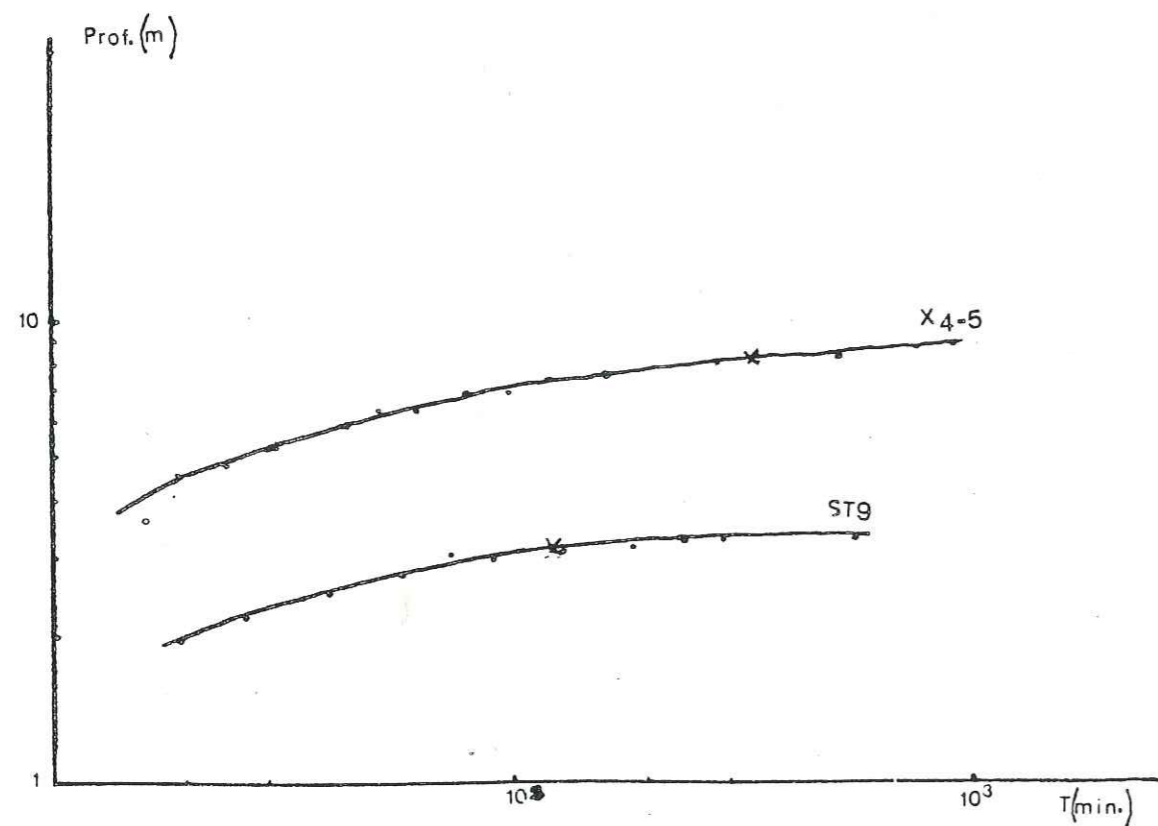
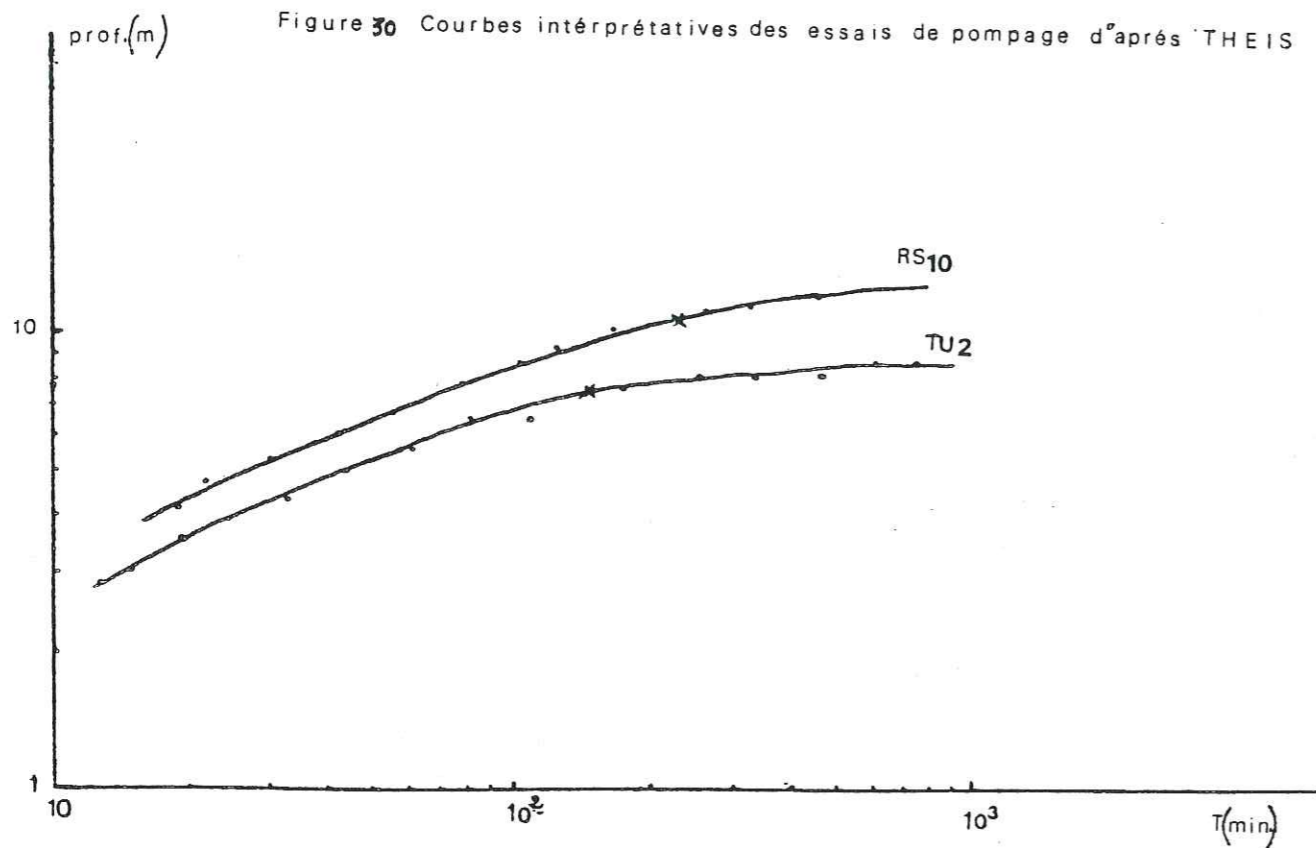


FIGURE 30

Après résolution l'équation s'écrit:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \text{ avec } u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (1)$$

avec

- $\Delta$  = rabattement en m
- Q = débit constant de pompage dans le puits en m<sup>3</sup>/s
- t = temps de pompage en s.
- x = distance du puits d'observation à l'axe du puits de pompage
- T = transmissivité en m<sup>2</sup>/s
- S = coefficient d'emmagasinement.

VI.3.1 MODE OPERATOIRE

La résolution graphique nécessite l'établissement de deux courbes sur diagramme bilogarithmique. La courbe standard est obtenue en portant sur papier bilogarithmique les valeurs W(u) en ordonnées et celles de U ou (1/u) en abscisses (fig.29). 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 de rabattement en ordonnées et celles du temps t ou  $\frac{1}{t}$  en abscisses.

Par translation, on tente de superposer en maintenant les axes respectivement parallèles aussi parfaitement que possible la courbe standard. On choisit un point A ayant pour coordonnées dans les deux graphes W(u), u ou  $\frac{1}{u}$ , t ou  $\frac{1}{t}$ .

En introduisant ses valeurs dans les équations:

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad t = \frac{r^2 S}{4T} \cdot \frac{1}{u} \quad \log t = \log \frac{r^2 S}{4T} + \log \left(\frac{1}{u}\right)$$

$$t_A = \frac{r^2 S}{4T} \left(\frac{1}{u}\right)_A$$

On aboutit à:

$$\Delta_A = \frac{Q}{4\pi T} \cdot W_A \quad T = \frac{Q}{4\pi} \cdot \frac{W_A}{\Delta_A} \quad \text{et } S = \frac{4T}{r^2} \frac{t_A}{(1/u)_A}$$

VI.3.2 - APPLICATION

On dispose de quatre 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 égal à l'unité. Le tableau 31 et la figure 30 indiquent les forages sur lesquels on a appliqué cette méthode et les résultats obtenus.

N° forage	Q ( $\times 10^{-3}$ m <sup>3</sup> /s)	(m)	1/u	W(u)	t(s)	T ( $10^{-2}$ m <sup>2</sup> /s)	S (%)
RS 10	30	10,5	300	4,8	12 000	1,1	17,4
Xu-5	25	8,6	530	6,2	12 000	1,4	11,7
STg	20	3,4	480	5,9	5 500	2,8	12,8
TU <sub>2</sub>	30	6,5	500	5,8	9 000	2,1	15,1

Tableau 31: Valeurs de transmissivité et du coefficient d'emmagasinement d'après la méthode de THEIS

#### VI.4 - MÉTHODE 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 et devient assez grand ( $u \ll 0,01$ ).

L'équation de JACOB s'écrit:

$$\Delta = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2,25 T \cdot t}{r^2 S}$$

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.

##### VI.4.1. MODE OPERATOIRE

On porte sur un diagramme semi-logarithmique les temps de pompage, et en ordonnées les rabattements correspondants. La droite passant par les points obtenus a pour équation:

$$\Delta = \frac{0,183 Q}{T} (\log \frac{2,25 T}{r^2 S} + \log t)$$

c'est une fonction de la forme  $y = a + b x$

Dans ce cas précis  $y = a (\log b + \log x)$

La constante "a" est déterminée par le coefficient angulaire de la droite, d'où

$$a = \frac{0,183 Q}{T} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{S(\Delta)}{S(\log t)}$$

Les valeurs  $S(\Delta)$  et  $S(\log t)$  sont données par l'accroissement du rabattement dans un cycle logarithmique; dans ce cas, on a donc:

$$S(\Delta) = c = \frac{0,183 Q}{T} \quad \text{d'où} \quad T = \frac{0,183 Q}{c}$$

Si cette droite coupe l'axe des temps (cas des mesures effectuées dans un piézomètre) en un point  $t_0$  pour un rabattement nul, le deuxième terme de l'équation s'écrit:

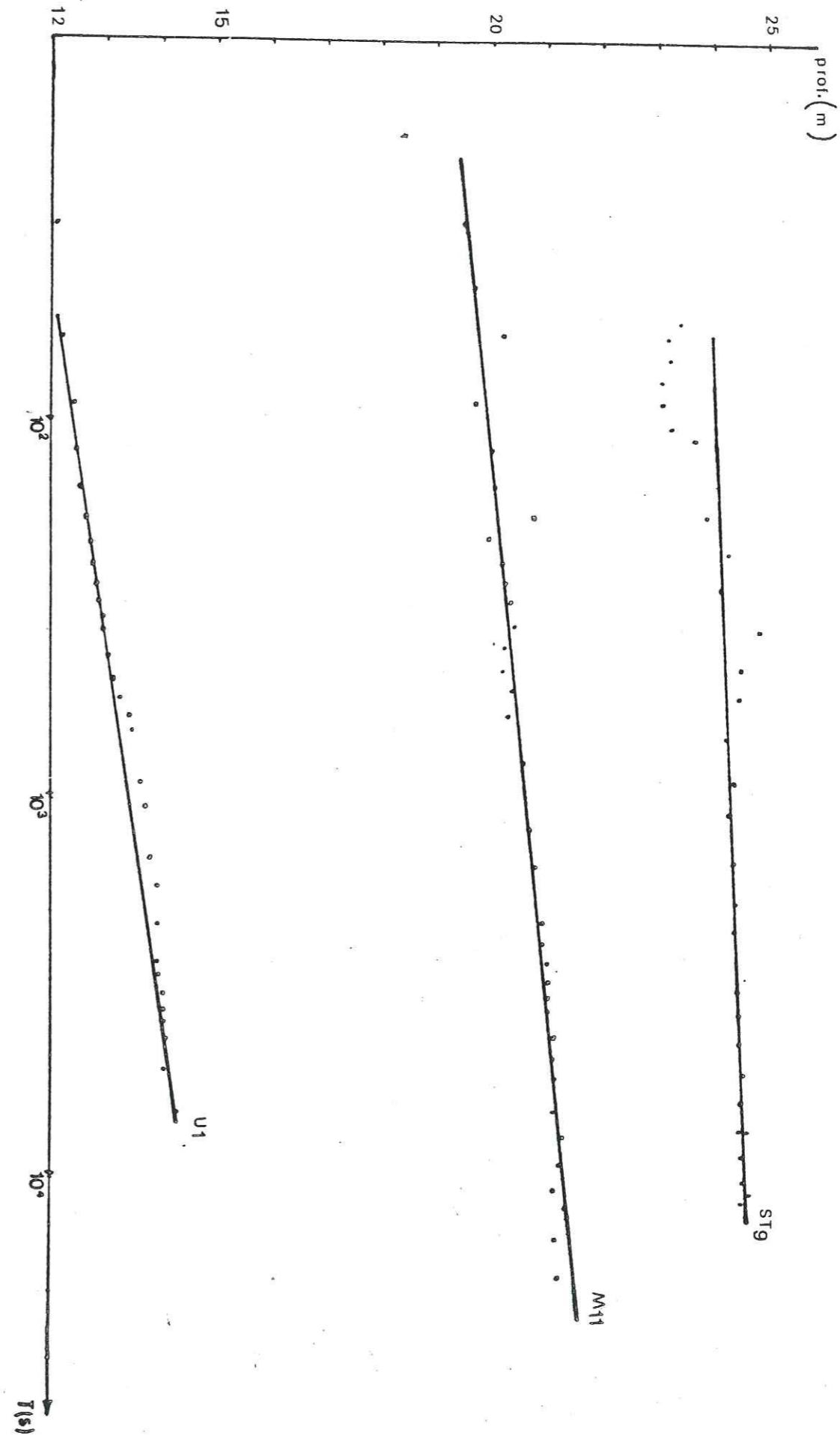


FIGURE 31a Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de JACOB

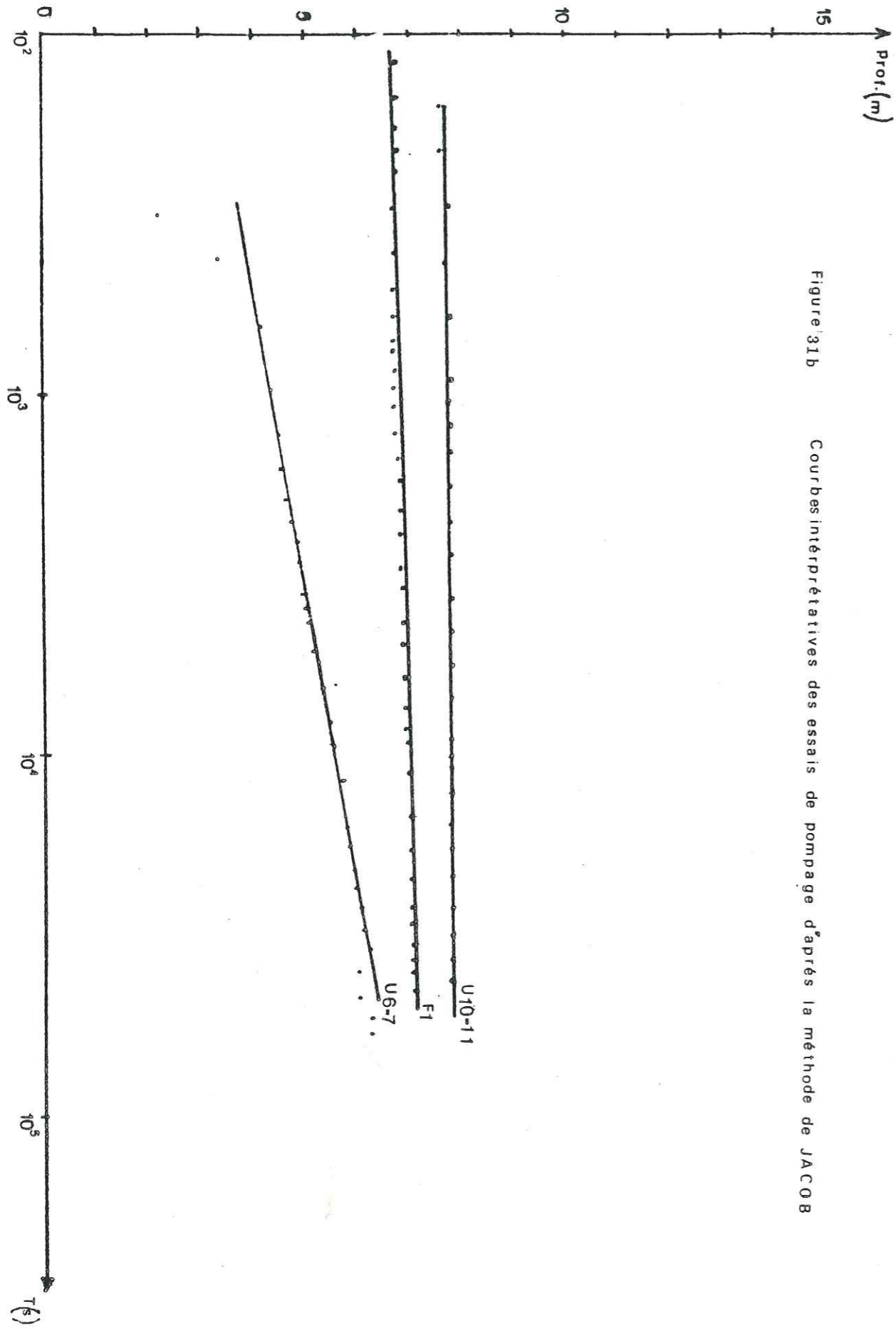
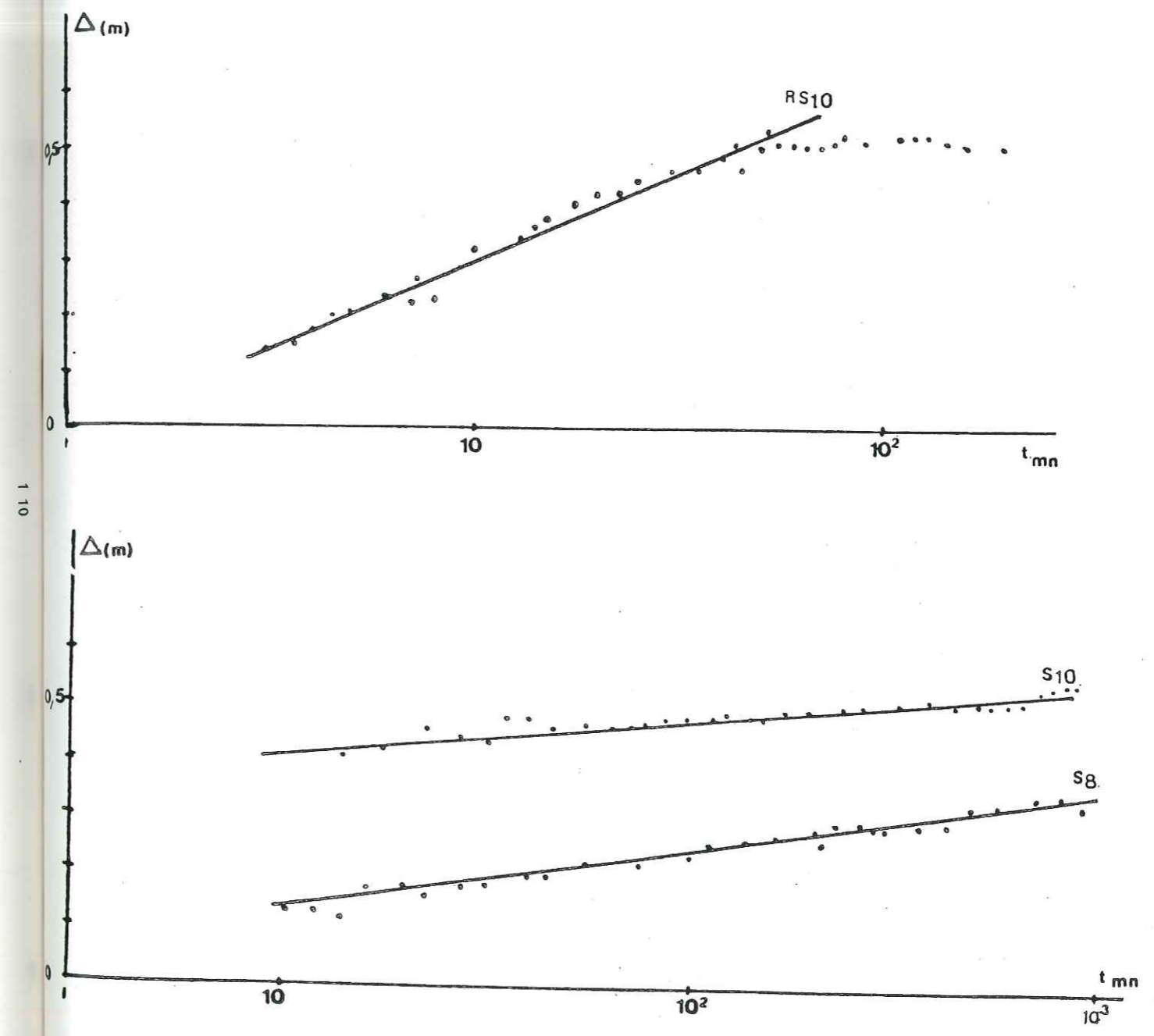


Figure 31b

Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de JACOB



1 10

Figure 31c Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de JACOB

$$\log \frac{2,25 T t_0}{x^2 S} = 0 \quad \text{d'où} \quad \frac{2,25 T t_0}{x^2 S} = 1$$

On détermine ainsi T et S de la façon suivante:

$$T = \frac{0,183 Q}{C} \quad \text{et} \quad S = \frac{2,25 T t_0}{x^2}$$

VI.4.2. APPLICATION

On a interprété par cette méthode une dizaine d'essais de pompage. Les conditions d'application de cette méthode ne sont pas parfaitement respectées, car le temps de pompage n'est pas suffisamment élevé (entre 24 et 48 h).

Cette méthode nous a permis de déterminer que la transmissivité T, car les mesures ont été effectuées dans les forages en cours de pompage et non au niveau de piézomètres (fig.31a, 31b et 31c).

Les résultats obtenus sont portés sur le tableau 32.

Forages	T (x10 <sup>-2</sup> m2/s)	Forages	T (x10 <sup>-2</sup> m2/s)
RS 10	1,1	S 5	3,3
S 10	5,2	M 11	6,5
S 8	2,7	U 10	2,7
U 10-11	4	D 15	3,9
U 6	1	U 6-7	1,6
O 7	7	F 7	1,8

Tableau 32: Transmissivités d'après la méthode de JACOB

VI.5 - MÉTHODE DE LA DROITE DE REMONTEE DE THEIS

La détermination de la transmissivité d'après la courbe de remontée de THEIS est plus faible parce que la remontée exprime mieux le régime des eaux souterraines.

A la fin du pompage, le niveau d'eau remonte à son niveau initial, ceci peut être considéré comme une injection d'eau fictive dans le forage correspondant à un débit négatif constant.

on mesure le rabattement résiduel qui représente la différence entre le niveau statique et le niveau mesuré à l'instant t' (temps écoulé depuis l'arrêt de pompage).

Le rabattement résiduel s'exprime comme suit:

$$\Delta' = \Delta - \Delta_1 = \frac{0,183 Q}{T} \left( \log \frac{2,25 T t}{x^2 S} - \log \frac{2,25 T t'}{x^2 S} \right)$$

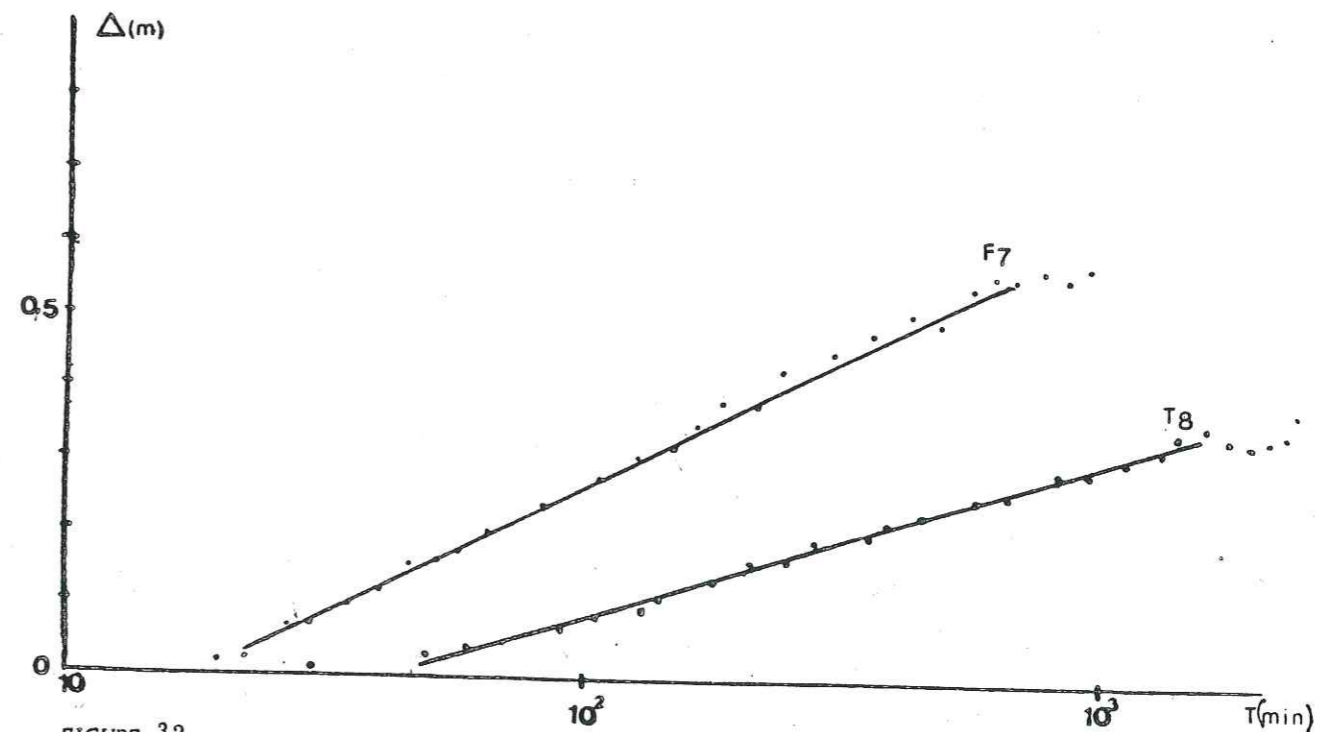
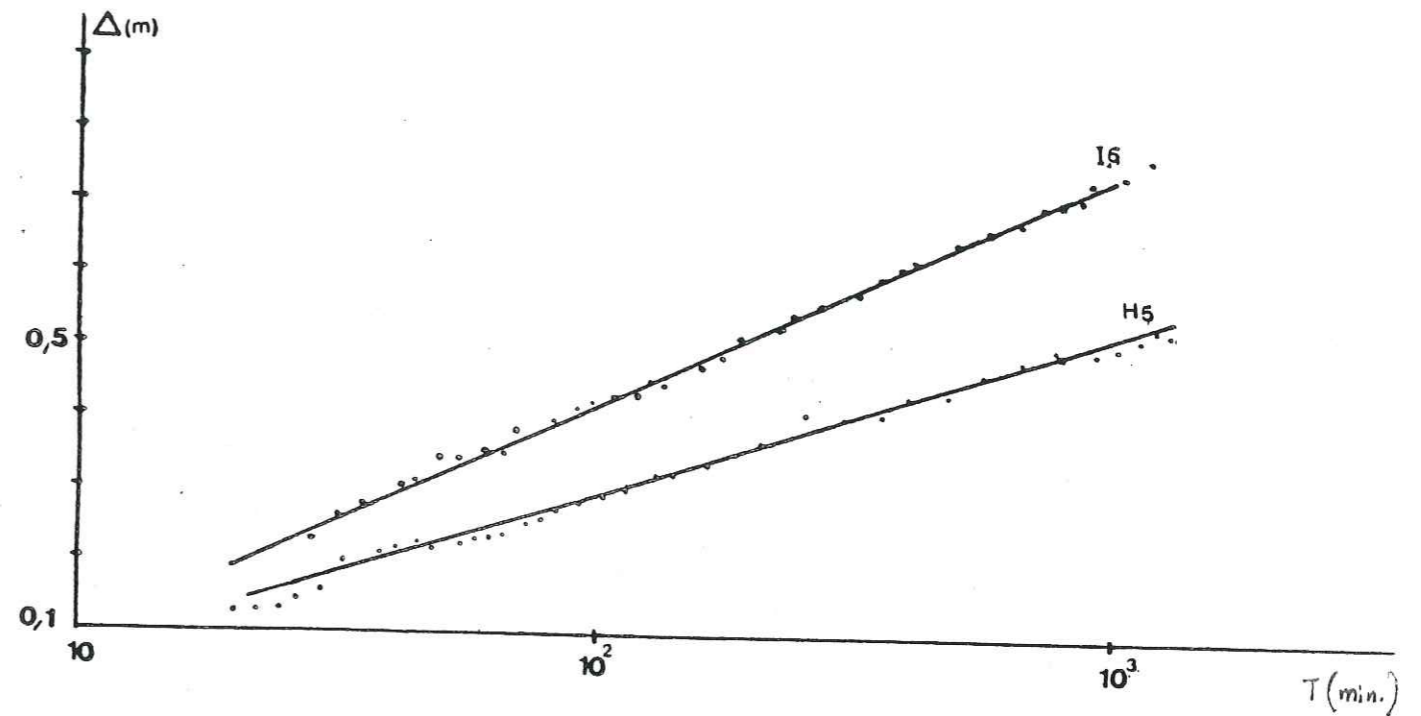


FIGURE 32

courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de la droite de remontée de THEIS



On aboutit à l'équation de THEIS-JACOB qui est de la forme:

$$\Delta' = \frac{0,183 Q}{T} \log t'/t$$

avec  $\Delta$  = rabattement à la fin du pompage

$\Delta_i$  = rabattement durant la remontée

t = temps écoulé depuis le début du pompage

t' = temps écoulé depuis l'arrêt du pompage

Il faut préciser que cette relation n'est valable que pour des valeurs de t et t' assez grandes. Cette formule indépendante du coefficient d'emmagasinement permet de calculer uniquement la transmissivité (T).

#### VI.5.1 - MODE OPERATOIRE

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:

$$a = 0,183 \frac{Q}{T} \quad \text{d'où} \quad T = \frac{0,183 Q}{a}$$

#### VI.5.2 - APPLICATION

Un certain nombre de forages réalisés ont vu leur essai de pompage interprété par la méthode de la courbe de remontée de THEIS-JACOB.

Les résultats obtenus sont portés sur le tableau 33 (fig.32).

Forage	T (x10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s)	Forage	T (x10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s)
H 5	2	D 15	2,8
I 6	1,6	MN 11-9	6,2
T 8	1,7	MN 9-18	8,3
F 7	1,2	N 24	4,5

Tableau 33: Valeurs des transmissivités d'après la méthode de la courbe de remontée de THEIS

#### VI.5.1- METHODE DE SHOW

SHOW (1952) développa une méthode dont l'intérêt est qu'on a pas besoin de tracer la courbe de THEIS, sans pour autant être limité aux faibles valeurs de x et aux grandes valeurs de t, comme dans la méthode de JACOB.

La méthode s'appuie sur l'équation de THEIS.

$\Delta = \frac{Q}{4\pi r T} W(u)$ . Afin de calculer les valeurs de W(u) et de u correspondant au rabattement mesuré au temps t, SHOW introduisit la fonction.

$$F(u) = \frac{W(u) \cdot e^u}{2,30}$$

La relation entre F(u), W(u) et u est donnée par l'abaque de SHOW.

#### VI.5.2 - MODE OPERATOIRE

. Pour l'un des forages, porter sur papier semi-logarithmique les rabattements en fonction du temps t.

. Sélectionner un point A quelconque de la courbe passant par l'ensemble des points, et tracer la tangente en A à la courbe.

. Lire sur l'axe des rabattements au point A, soit  $\Delta_A$  et calculer la pente de la tangente, c'est à dire la différence de rabattement pour un cycle logarithmique du temps, soit  $\Delta_{SA}$

. Calculer les valeurs de F(u) au point A, à partir de la relation

$$F(u) = \frac{C_A}{\Delta_{SA}}$$

Connaissant F(u), trouver la valeur correspondante de W(u) et de u à partir de l'abaque.

. Noter la valeur  $t_A$  sur l'axe des temps de la courbe d'essai et porter les valeurs numériques appropriées dans les équations pour T et S à partir des relations suivantes:

$$T_A = \frac{Q}{4\pi r \Delta_A} \cdot W(u)_A \quad \text{et} \quad S = \frac{4 \cdot V_A \cdot T}{r^2} \cdot t_A$$

#### VI.5.3 - APPLICATION

Nous avons appliqué cette méthode de SHOW pour quatre forages, dont les résultats sont portés sur le tableau 34. (Fig.23a et 23b).

N° forage	Q (10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /s)	$\Delta$ A(m)	C <sub>A</sub>	F(u) <sub>A</sub>	W(u) <sub>A</sub>	t <sub>A</sub> (s)	T (10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s)
U <sub>6</sub>	20	0,37	0,72	0,51	0,84	100	0,36
F <sub>7</sub>	25	0,30	0,83	0,36	0,46	120	0,3
I <sub>6</sub>	20	0,26	0,51	0,50	0,81	1250	0,5
MN 7-5	25	0,16	0,47	0,34	0,40	1100	0,49

Tableau 34: Valeurs des transmissivités d'après la méthode de SHOW

Figure 33a Courbes interprétatives des essais de pompage d'après SHOW

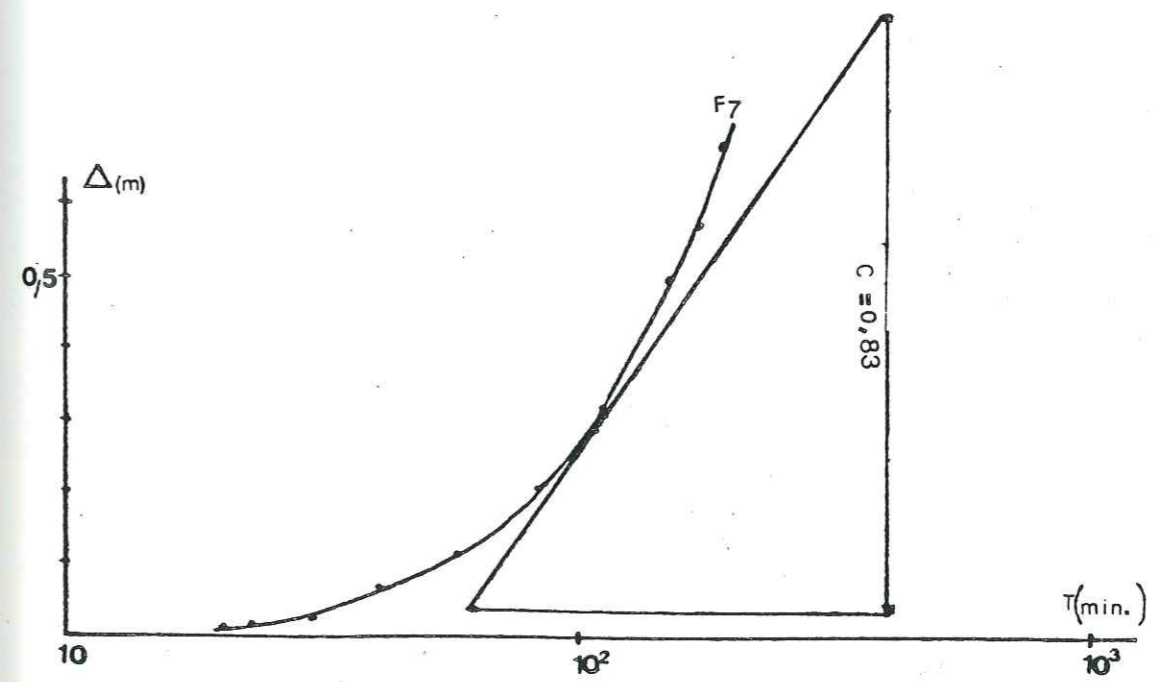
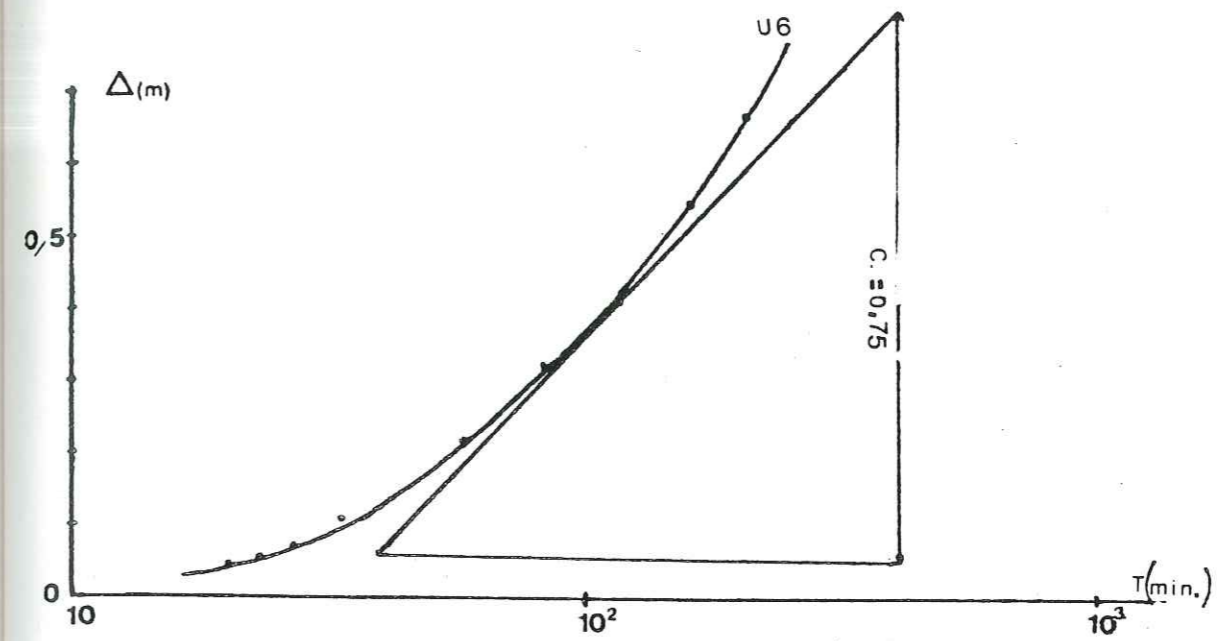
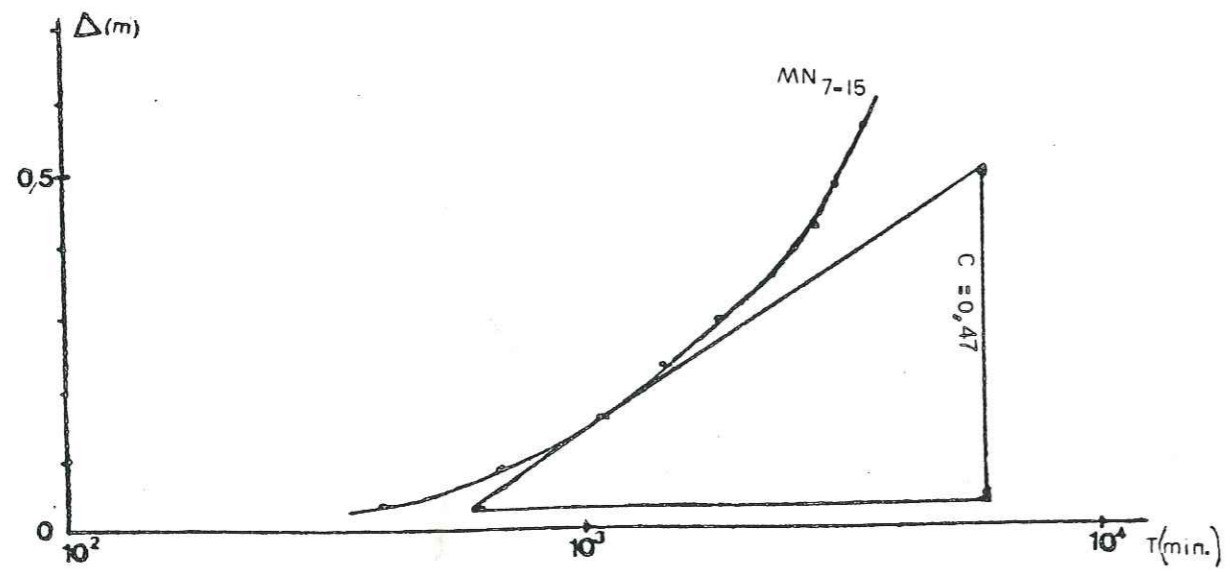
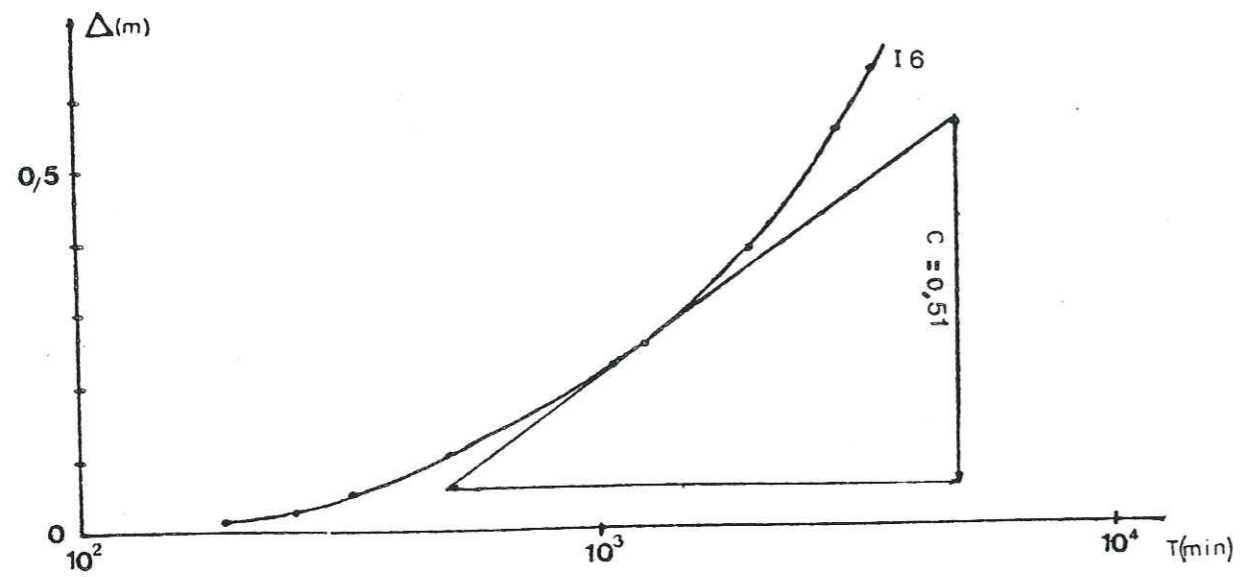


Figure 33b Courbes interprétatives des essais de pompage d'après la méthode de SHOW

VI.6 - DÉTERMINATION DE LA POROSITÉ UTILE POUR LA MÉTHODE D' ARCHIE

La porosité utile est le rapport du volume d'eau gravifique au volume total de la roche. Dans le cas des nappes libres, elle est pratiquement équivalente au coefficient d'emménagement.

ARCHIE a établi une formule liant la résistivité d'un terrain de porosité utile  $\Phi$ , à la résistivité de l'eau dont il est imprégné. La relation s'exprime par:  $F = \frac{Rt}{Rw}$

avec:

F = Facteur de formation

Rt= Résistivité de l'aquifère

Rw= Résistivité de l'eau contenue dans le terrain

La relation établie par ARCHIE entre la porosité utile brute et le facteur de formation s'écrit:

$$F = a \cdot \Phi^{-m}$$

a= paramètre  $0,8 \leq a \leq 1$  (0,8 pour les sables et 1 dans le cas des formations compactes)

m= coefficient variant de 1,3 (pour les formations compactes) à 2.

La valeur du coefficient a et celle de l'exposant m, étant différentes selon les auteurs, nous avons simplifié l'équation en posant:

a=1 et m=2

$$F = \frac{Rt}{Rw} = \frac{1}{\Phi^2} \Rightarrow \Phi = \sqrt{\frac{Rw}{Rt}}$$

$\Phi$  étant la porosité utile ou coefficient d'emménagement.

La porosité utile brute calculée, doit être corrigée par un coefficient de correction, correspondant au rapport entre la hauteur de l'aquifère saturé d'eau et l'épaisseur de l'aquifère non argileux.

Point d'eau	Rw (ohm.m)	Rt (ohm.m)	Porosité utile brute $\Phi = \sqrt{\frac{Rw}{Rt}}$	Coefficient de correction	Porosité utile vraie ou coef. d'emménagement
66/46	5,5	150	0,19	0,6	0,11
52/46	5,2	200	0,16	0,56	0,09
127/68	7,7	140	0,23	0,45	0,1
174/68	19,3	150	0,35	0,35	0,11
68/69	10,5	140	0,27	0,51	0,14

Tableau 35: Valeurs de la porosité utile d'après la méthode d'ARCHIE

VI.7 - TABLEAU RÉCAPITULATIF - DISCUSSION DES RÉSULTATS  
VI.7.1 TABLEAU RECAPITULATIF

Point d'eau	THEIS		JACOB	Remontée THEIS	SHOW	ARCHIE
	T (10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s)	S (%)	T (10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s)	T (10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s)	T (10 <sup>-2</sup> m <sup>2</sup> /s)	S (%)
RS 10	1,09	17,4	1,1			
TU 2	2,1	11,7				
X 4-5	1,4	12,8				
ST 9	2,8	15,1				
S 10			5,2			
S 8			2,7			
U 6			1		0,36	
O 7			7			
S 5			3,3			
M 11			6,5			
U 10			2,7			
D 15			3,2	2,8		
F 1			1,8			
U 4-7			1,6			
H 5				2		
I 6				1,6	0,5	
T 8				1,7		
F 7				1,2	0,3	
MN 9-18				6,2		
MN 11-9				8,3		
N 24				4,5		
MN 7-15					0,49	
66/46						11
52/46						9
127						10
174						11
68/68						14

Tableau 36: Valeurs de T et S selon les différentes méthodes

### VI.7.2 - DISCUSSION DES RESULTATS

Le tableau 36 permet de comparer les résultats obtenus par les diverses méthodes utilisées de détermination des caractéristiques hydrodynamiques. Les valeurs diffèrent suivant la méthode employée pour un même ouvrage de captage, cependant l'ordre de grandeur de la valeur est conservé.

On note par ailleurs que les valeurs de la transmissivité déterminées par la méthode de SHOW sont plus faibles que celles obtenues par les autres méthodes. Quant au coefficient d'emmagasinement, les valeurs déterminées par la méthode THEIS sont légèrement plus élevées que celles trouvées par la méthode d'ARCHIE.

### VI.7.3 - CONCLUSION A L'ETUDE HYDRODYNAMIQUE

A partir des différentes méthodes, nous avons calculé les caractéristiques hydrodynamiques de l'ensemble aquifère, qui sont la transmissivité (T) et le coefficient d'emmagasinement (S). Ces paramètres sont très importants dans le calcul du bilan hydrogéologique, d'une région donnée.

La répartition spatiale des transmissivités montre des valeurs assez élevées au niveau de l'axe de la vallée, c'est-à-dire dans les zones où l'épaisseur des alluvions est importante. Ces zones sont propices pour l'implantation de nouveaux forages d'exploitation, car le débit des ouvrages de captages est directement proportionnel à ce paramètre. Le coefficient d'emmagasinement quant à lui intervient dans l'estimation des réserves en eau souterraines. On retiendra pour le calcul des réserves régulatrices une valeur moyenne de 10% (0,10) bien que les valeurs déterminées par essais de pompage soient légèrement supérieures.

-----

## CHAPITRE VII ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX

---

### VII.1 - INTRODUCTION

### VII.2 - CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

### VII.3 - CLASSIFICATION CHIMIQUES ET REPRÉSENTATION GRAPHIQUES DES ANALYSES

### VII.4 - ÉTUDE DE L'ORIGINE DES IONS

### VII.5 - INTERPRÉTATION DES CARTES D'ÉQUIRAPPORTS

### VII.6 - APTITUDE DES EAUX DE LA PLAINE À L'IRRIGATION

### VII.7 - CONCLUSION À L'ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE

## CHAPITRE VII

## ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX

## VII.1 - INTRODUCTION

Pendant notre étude de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam, une campagne de prélèvements d'échantillons d'eau a été effectuée durant la période de hautes eaux (avril-mai).

Des analyses chimiques ont ensuite porté sur ces échantillons (environ 80) prélevés au niveau des différents points d'eau : puits domestiques et forages. Les analyses ont été pratiquées par le laboratoire de chimie des eaux de l'INRH (ex. DEMRH). Elles ont porté sur les mesures de pH, de conductivité et sur la détermination des teneurs en principaux ions des eaux.

La connaissance de ces données nous permet d'une part d'apprécier les qualités chimiques de ces eaux, et d'autre part, de dresser des cartes qui nous donneront des indications supplémentaires sur l'écoulement.

## VII.2.1 - INTERPRETATION DE LA CARTE DES CONDUCTIVITES (fig. 34)

La conductivité est une donnée qui permet d'évaluer de façon globale la teneur en sels dissous dans l'eau. Elle exprime la minéralisation totale de l'eau. La conductivité d'une eau est d'autant plus élevée que la quantité de matières minérales dissoutes est grande.

Dans le cas de la région étudiée, les variations de la conductivité sont relativement élevées passant de 700 micro mhos/cm pour la valeur la plus faible mesurée à 2900 pour la plus grande ; ceci exprime des différences assez nettes dans la minéralisation des eaux.

L'allure générale des courbes d'isoconductivité montre une augmentation de la minéralisation des bordures de la rive gauche vers celles de la rive droite.

Ainsi, les eaux les plus douces se situent généralement aux débouchés des affluents de la rive gauche. Cette faible minéralisation des eaux de la rive gauche peut s'expliquer par une origine de l'eau provenant de la fonte des neiges du massif du Djurdjura.

De plus, cette minéralisation croît d'amont en aval, dans le sens de l'écoulement ; les eaux se chargent en sels dissous pendant leur trajet dans les roches encaissantes.

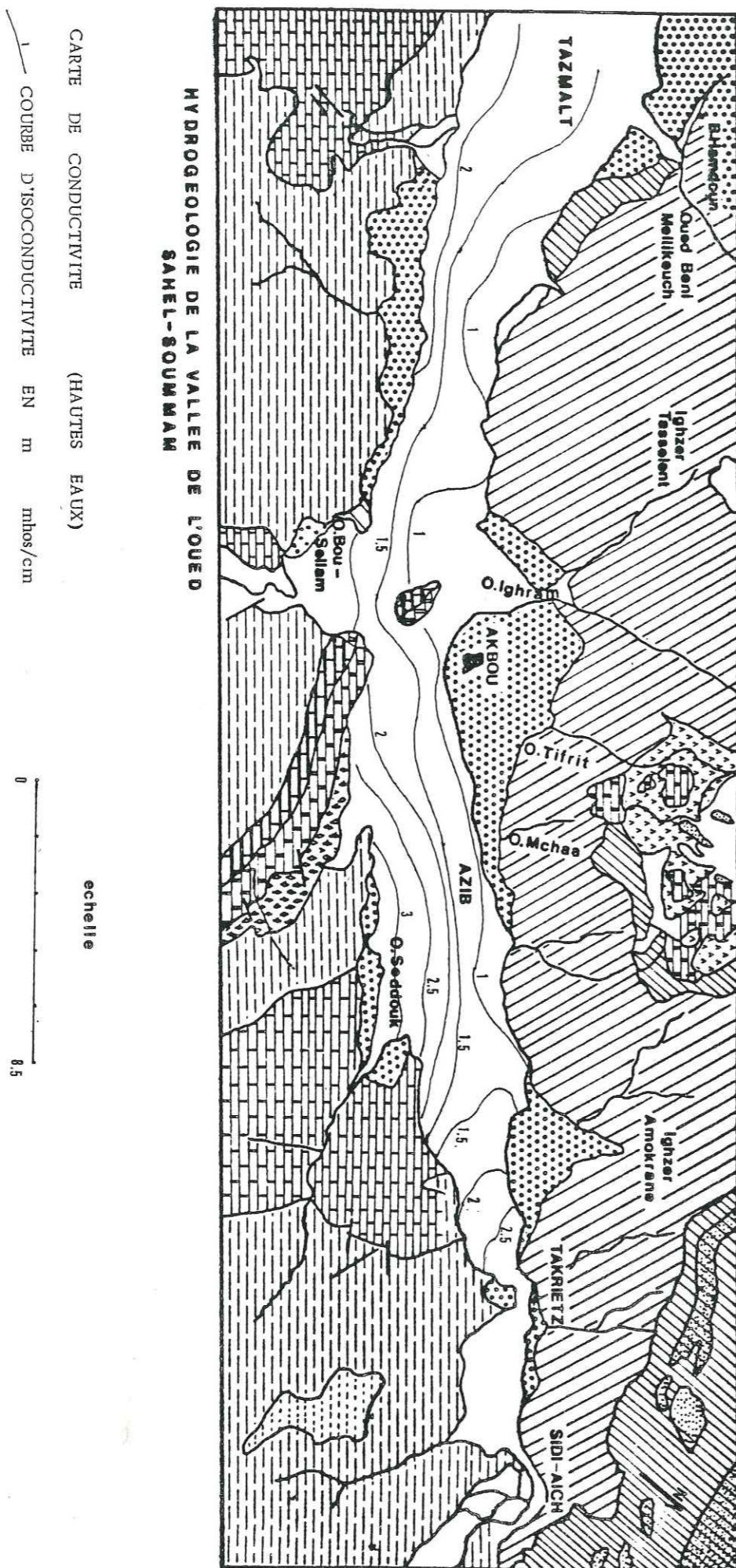


FIGURE 34

Dans la région de Takrietz, les valeurs de la conductivité sont plus élevées, ce qui est dû probablement à une évaporation plus intense à ce niveau en raison de la faible épaisseur des alluvions. De la même manière la conductivité des eaux de surface augmente de l'amont vers l'aval.

Nous avons effectué des prélèvements à différents endroits de l'Oued Sahel-Soummam. La conductivité à Tazmalt est de 1300  $\mu$ mhos/cm, passe à 1400  $\mu$ mhos/cm à la station d'Allaghane et croît ensuite légèrement jusqu'à Sidi-Aïch où elle atteint 1800  $\mu$ mhos/cm.

#### VII.2.2 - pH DES EAUX

Les eaux de la région ont un pH qui varie de 7,1 à 8. Elles présentent donc un pH légèrement basique. Les facteurs qui influent sur le pH sont la température, la vitesse de circulation des eaux et le phénomène d'oxydation. Ces eaux, à caractères basiques, sont moins corrosives que les eaux à pH inférieur à 7.

#### VII.3 - CHIMIE DES EAUX SOUTERRAINES

Les principaux ions faisant l'objet d'une analyse chimique sont:

Cations :  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$

Anions :  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$

Les teneurs des ions contenues dans ces eaux nous permettent de dresser des cartes chimiques qui peuvent nous donner des indications quant à l'origine de ces ions.

#### VII.3.1 - INDICE D'ECHANGE DE BASES (i.e.b)

L'indice d'échange de base (i.e.b) de Schoeller définit l'échange qui existe entre les eaux et les terrains encaissants. Cet indice précise également dans quel sens se font ces échanges.

$$i.e.b = \frac{r Cl^- - r (Na^+ + K^+)}{r Cl^-}$$

• Si l'i.e.b est positif, les eaux échangent des ions  $Na^+$  contre des ions  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ .

• Si l'i.e.b est négatif, les eaux échangent des ions  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$  contre des ions  $Na^+$ . Dans ce cas, il est préférable de calculer l'i.e.b par la formule suivante :

$$i.e.b = \frac{r Cl^- - r (Na^+ + K^+)}{r SO_4^{2-} + r HCO_3^- + r NO_3^-}$$

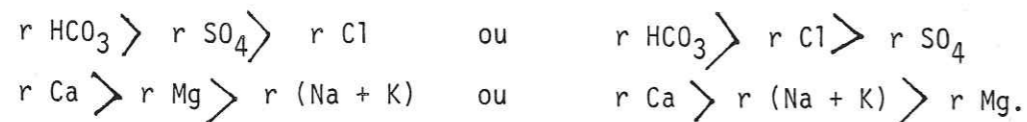
Les eaux des différents échantillons analysés indiquent un indice d'échange de base généralement positif. On peut donc déduire que les eaux échangent des ions  $Na^+$  contre des ions  $Ca^{++}$  et  $Mg^{++}$ .

VII.4 - CLASSIFICATIONS CHIMIQUES ET REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES DES ANALYSES

Pour la représentation graphique des analyses d'eau, nous avons utilisé le diagramme semi-logarithmique Schoeller-Berkaloff. Dans la classification, on tient compte de l'importance des principaux anions et cations et on détermine ainsi le faciès chimique des eaux. Nous avons ainsi des zones de même faciès chimique (fig. 35 a à 35 b).

VII.4.1 - FAMILLE DES EAUX BICARBONATEES-CALCIQUES

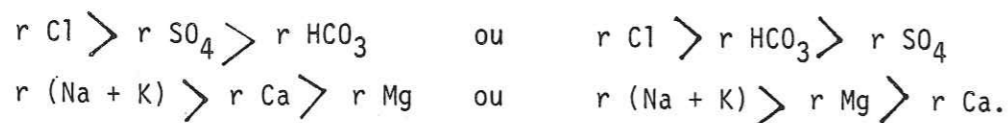
Les eaux de cette famille sont les plus répandues. Les formules caractéristiques de cette classe sont les suivantes :



Ce faciès est le plus représenté en rive gauche et particulièrement dans la zone située entre Azib et Takrietz. Cette catégorie se rencontre également dans toute la région de Tazmalt (fig. 35 a à 35 c).

VII.4.2 - FAMILLE DES EAUX CHLORUREES SODIQUES

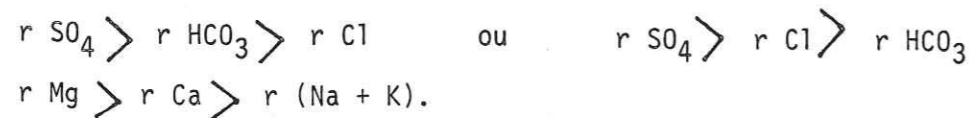
Ce faciès est moins représenté que le précédent et se rencontre surtout en rive droite. Les formules caractéristiques sont :



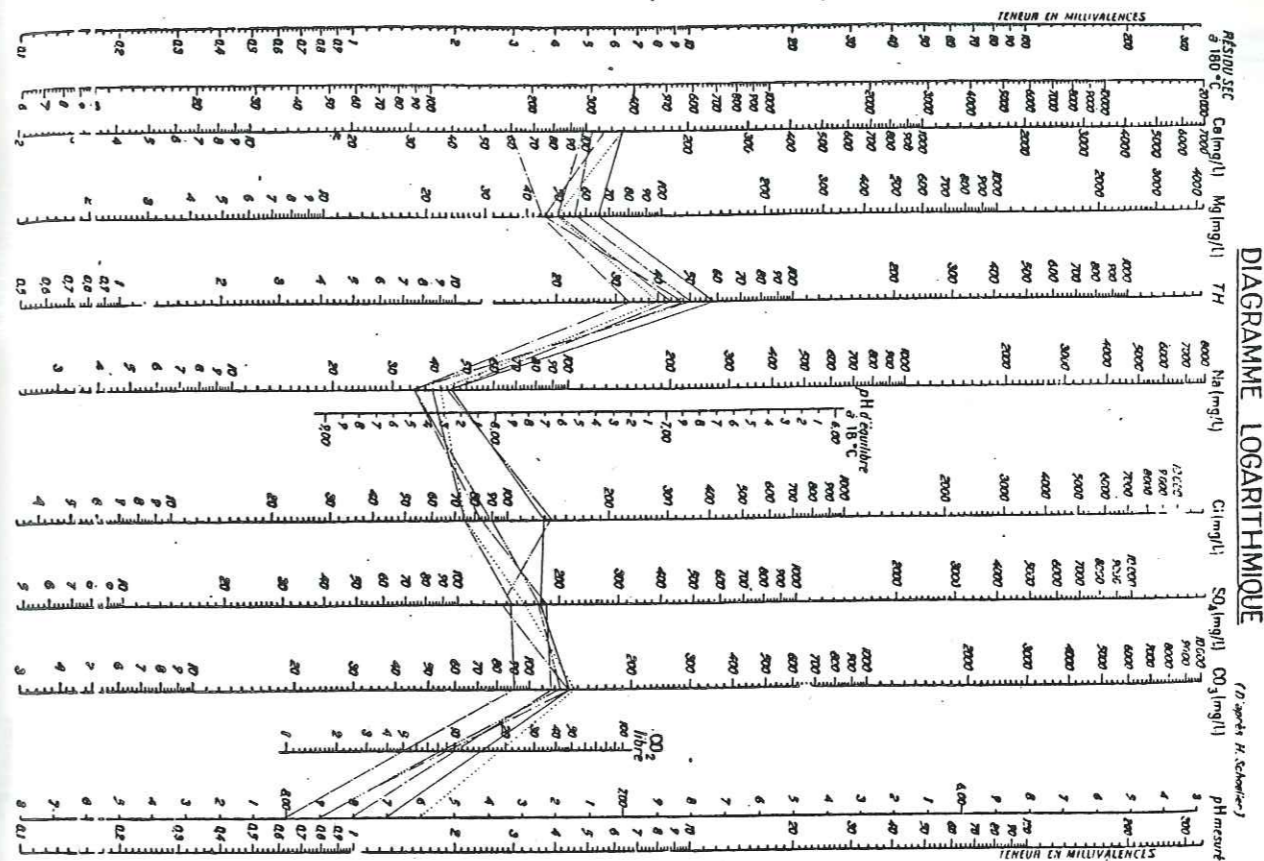
Ce faciès se rencontre particulièrement au Sud d'Akbou, où les eaux l'acquièrent probablement par lessivage des semelles de Trias situées à la base des flyschs.

VII.4.3 - LES EAUX SULFATEES CALCIQUES ET MAGNESIENNES

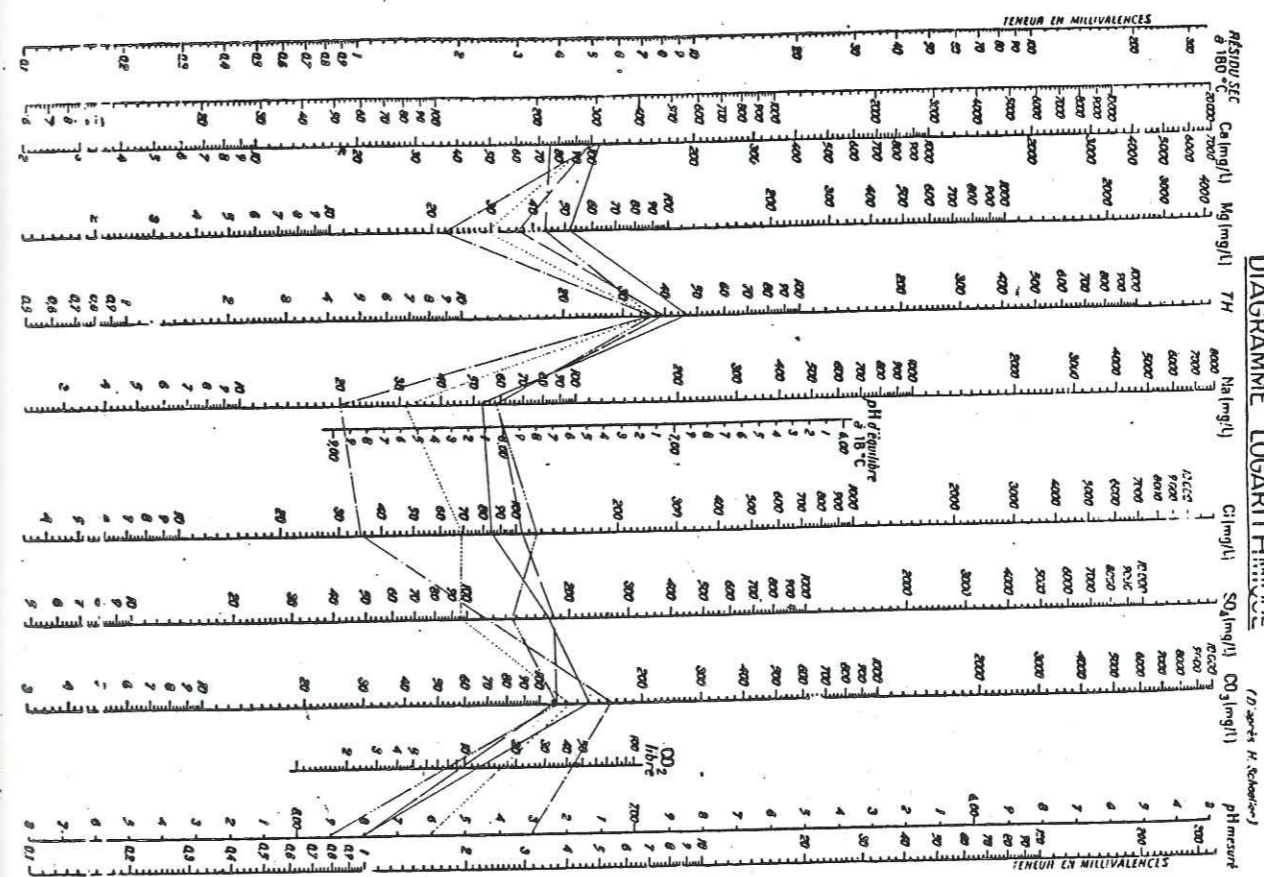
Les formules caractéristiques sont :



Ce faciès, assez peu important, se retrouve "dispersé" dans toute la vallée.



Représentation graphique des analyses d'eaux  
type bicarbonate calcique



Représentation graphique des analyses d'eaux  
type bicarbonate calcique

Représentation graphique des analyses d'eaux  
type chloruré sodique

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schöeller)

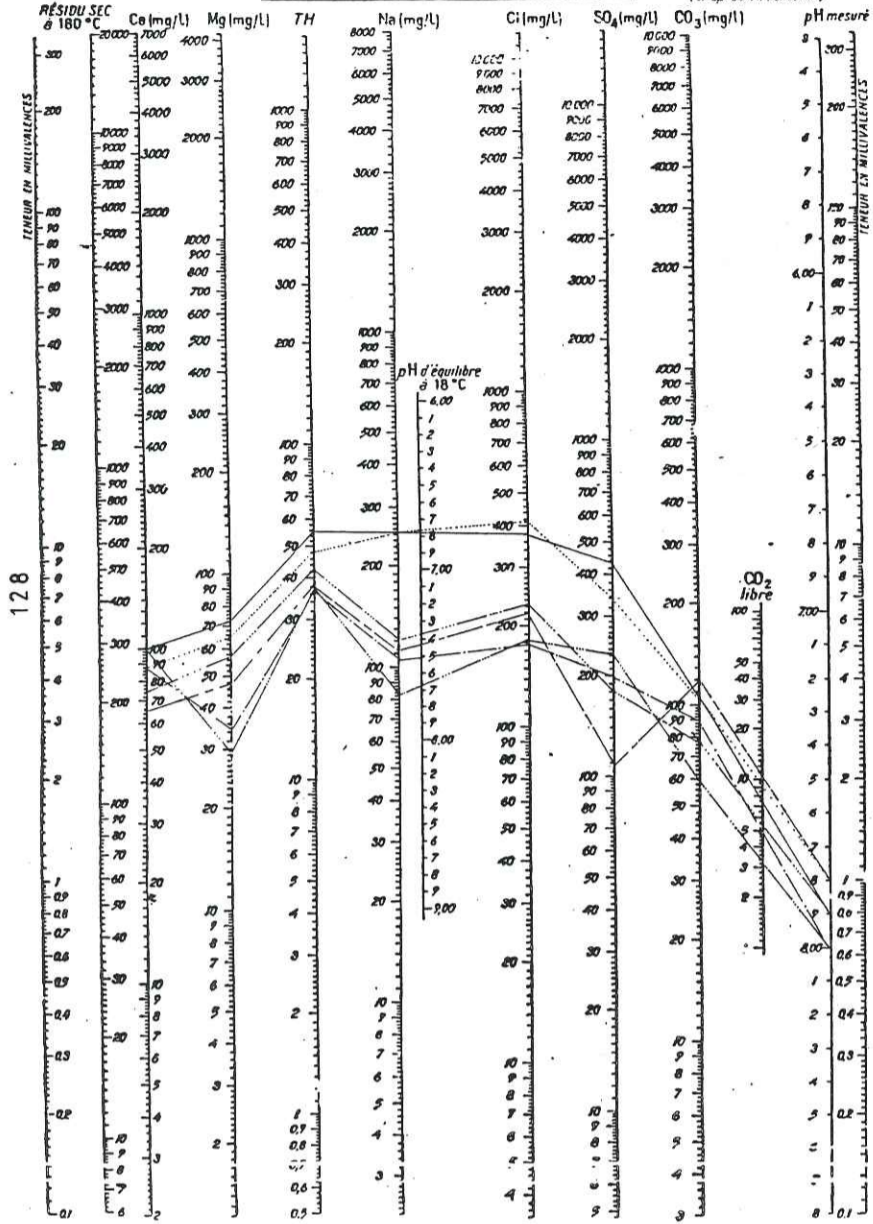


FIGURE 35c

Représentation graphique des analyses d'eaux  
type chloruré sodique

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schöeller)

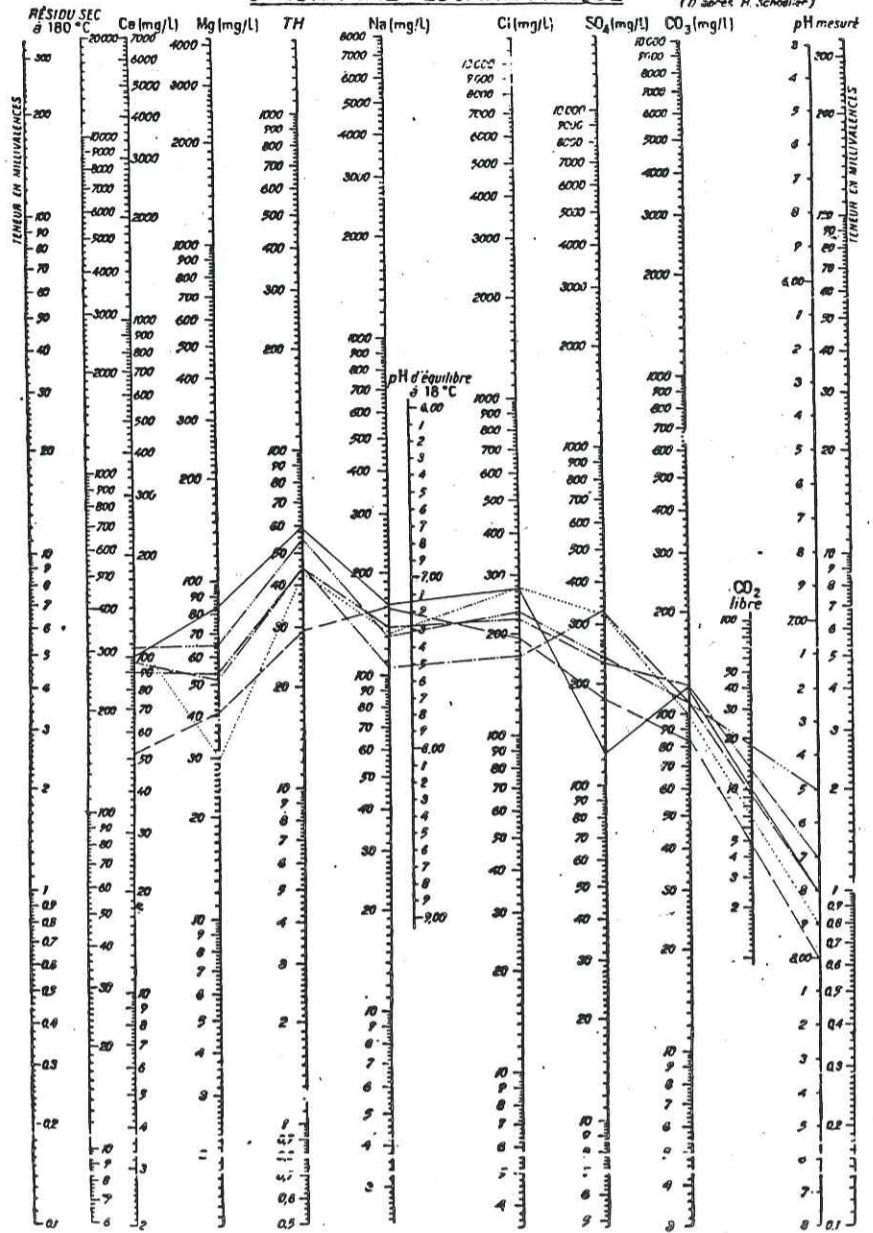


FIGURE 35c

Représentation graphique des analyses d'eaux  
type bicarbonate calcique

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schöeller)

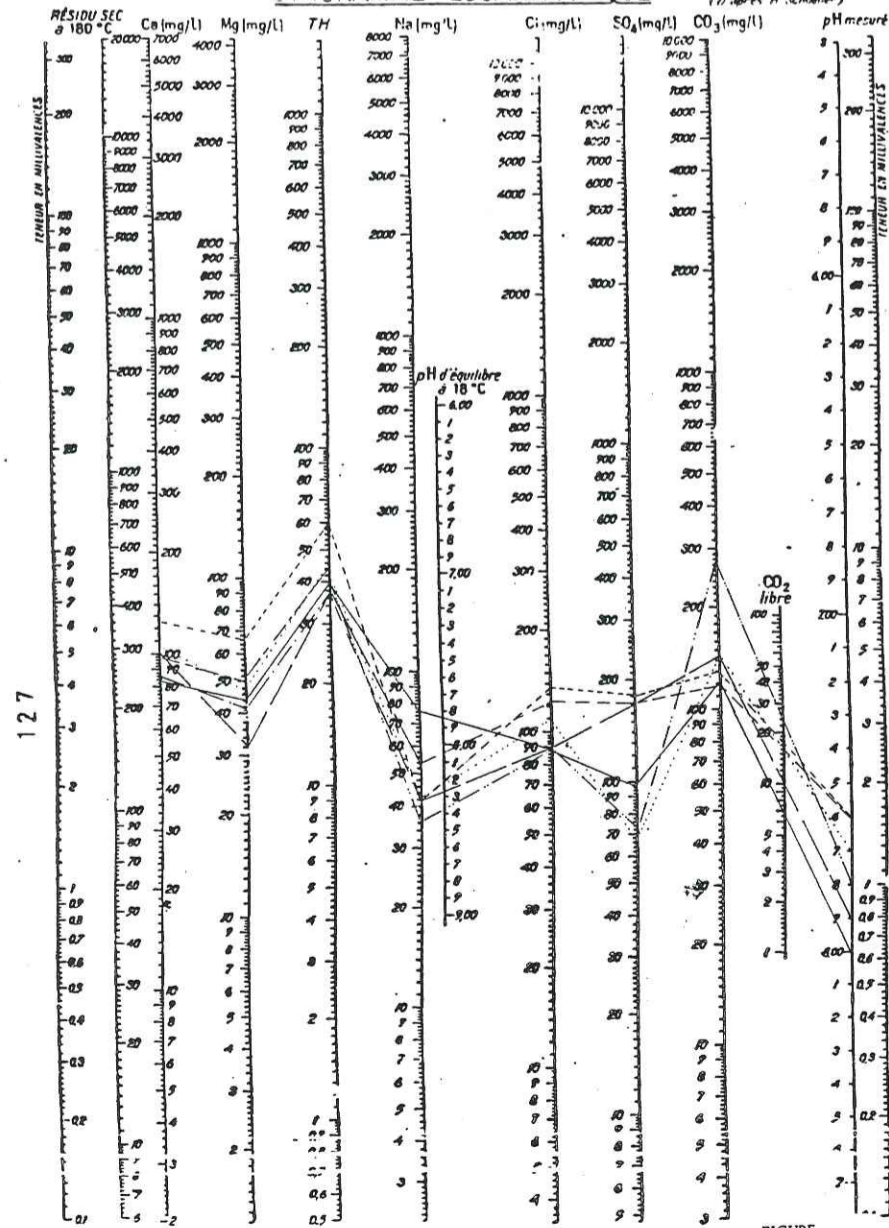
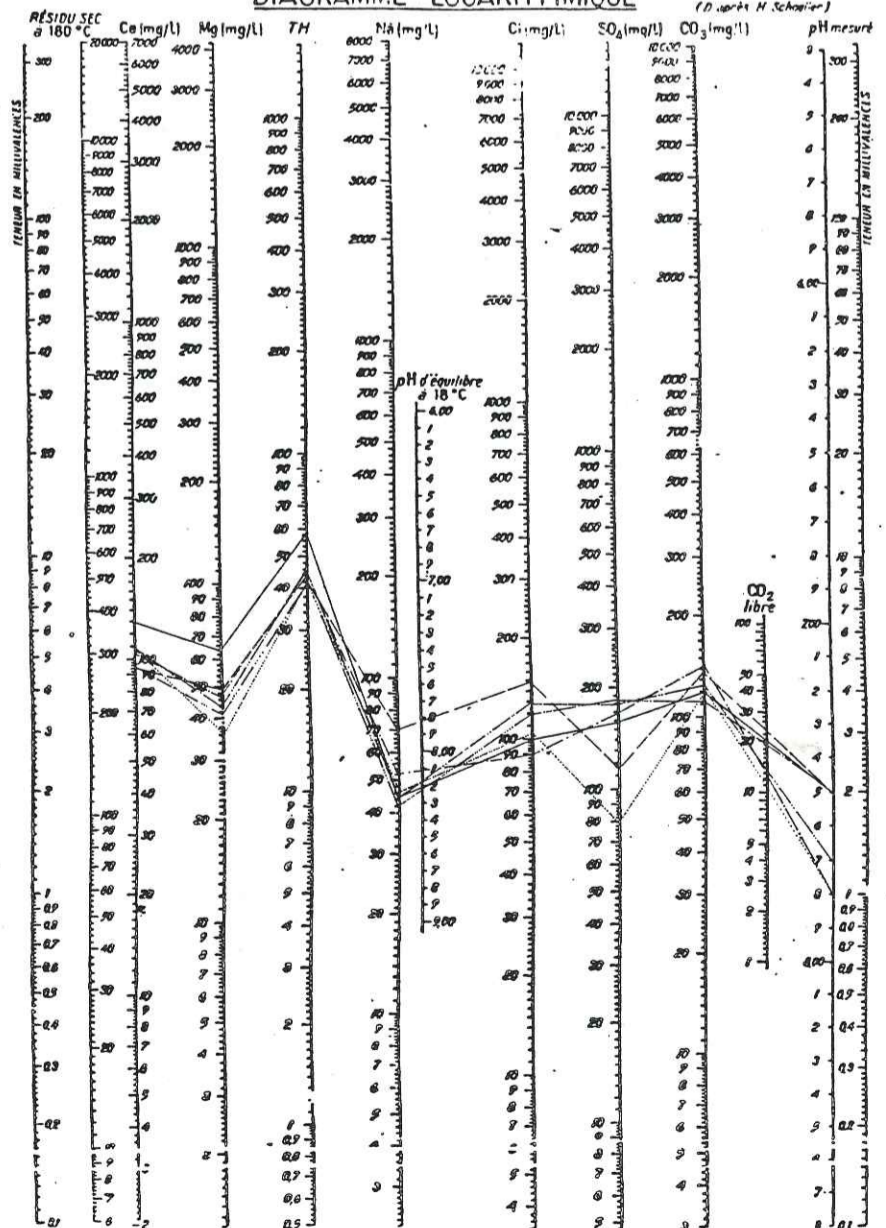


FIGURE 35b

Représentation graphique des analyses d'eaux  
type bicarbonate calcique

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schöeller)





### VII.5 - ÉTUDE DE L'ORIGINE DES IONS

Afin de tenter d'expliquer l'origine des ions et de formuler des hypothèses, on va établir des cartes des teneurs en ions pour quelques éléments chimiques.

#### VII.5.1 - CARTE DES TENEURS EN CHLORURES

Cette carte établie sur la base des teneurs en chlorures en période de hautes eaux, montre les zones où les concentrations sont les plus élevées.

- La première zone se situe à Takrietz, où elle indique des teneurs supérieures à 300 mg/l. Ceci peut s'expliquer d'une part par une évaporation plus intense à ce niveau due à une surface piézométrique relativement peu profonde et d'autre part par un enrichissement progressif des eaux dans le sens de leur écoulement.

- La seconde, située au Sud-Ouest d'Akbou, avec des teneurs également de l'ordre de 300 mg/l. L'origine de cette forte concentration est probablement due à la présence d'un Trias présentant un faciès gypseux et dolomitique situé à la base des nappes de flyschs (fig. 36).

#### VII.5.2 - CARTE DES TENEURS EN BICARBONATES

Les teneurs des eaux en bicarbonates de la nappe alluviale présentent des concentrations qui varient de 116 mg/l pour le forage V10 à 414 mg/l au puits 73/46 situé à l'aval, où les minéralisations sont les plus élevées (fig. 38).

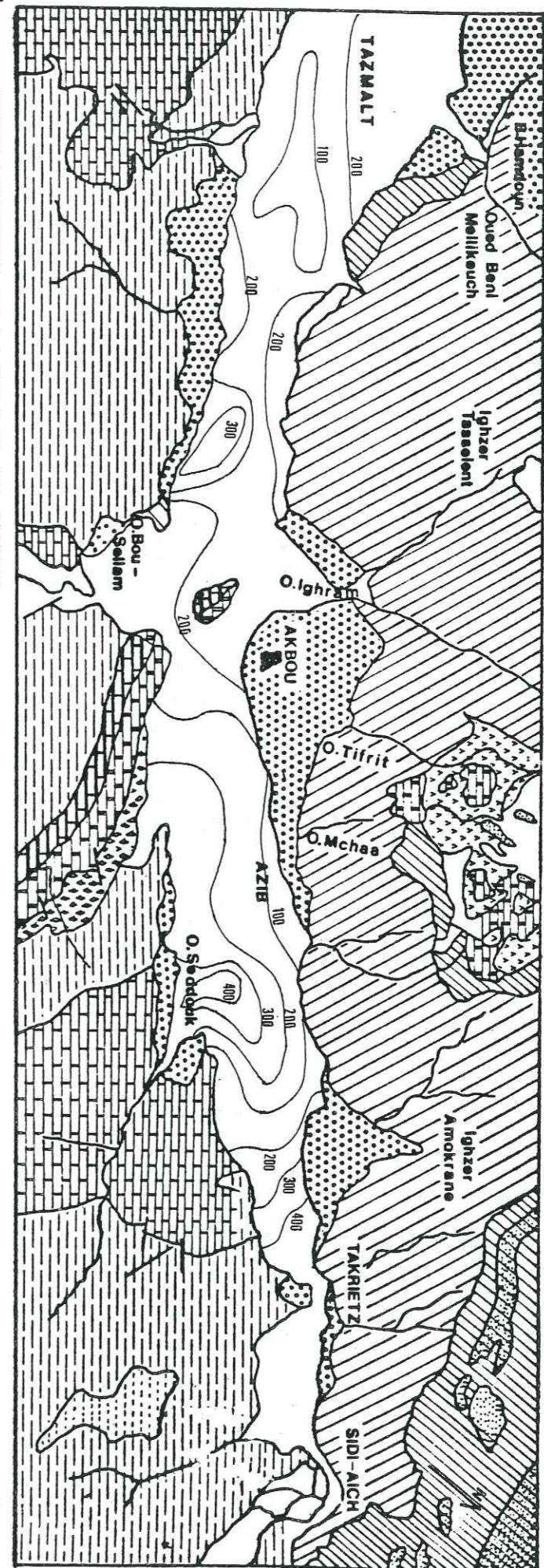
Ces bicarbonates peuvent provenir de l'attaque chimique par le CO<sub>2</sub> atmosphérique dissous par les eaux d'infiltration des formations carbonatées formant les terrains de bordure (formations marne-calcaires).

#### VII.5.3 - CARTE DES TENEURS EN SULFATES

Cette carte, établie par les hautes eaux, indique une zone de forte concentration située au Sud d'Azib dans la région de l'Oued Seddouk, avec des teneurs de l'ordre de 400 mg/l. (fig. 37).

Dans la partie centrale de la vallée, les teneurs sont de l'ordre de 200 mg/l. Ces sulfates peuvent avoir des origines diverses et dans le cas de la région, on peut admettre les 2 origines suivantes :

### HYDROGÉOLOGIE DE LA VALLÉE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM



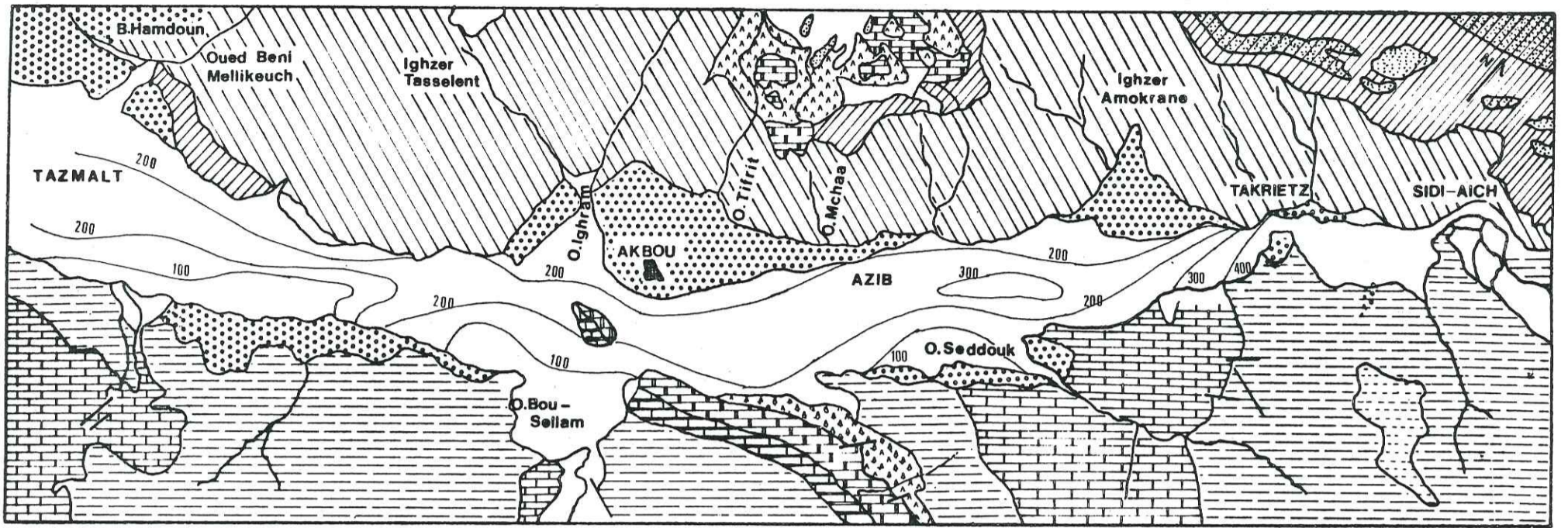
Carte des teneurs en chlorures des eaux de la vallée de l'oued SAHEL-SOUMMAM (hautes eaux)

— courbe isochlorure (mg/l)

échelle

0 8,5 KM

FIGURE 36



HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM

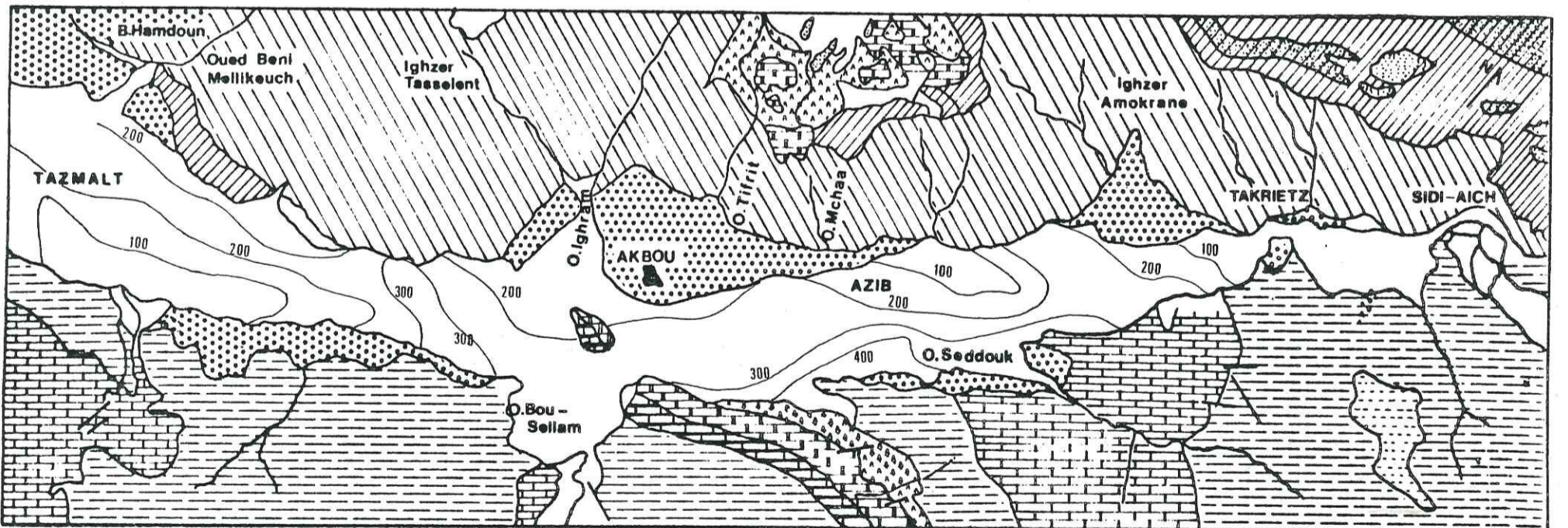
FIGURE 38

132

Carte des teneurs en bicarbonates des eaux de la vallee de l'oued SAHEL-SOUMMAM (hautes eaux)

echelle

— courbe isobicarbonate (mg/l)



HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM

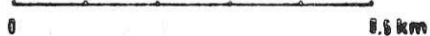
FIGURE 37

131

Carte des teneurs en sulfates des eaux de la vallee de l'oued SAHEL-SOUMMAM (Hautes eaux)

echelle

— courbe isosulfate (mg/l)



- pollution artificielle par les produits sulfatés utilisés en agriculture par les habitants de la vallée ;
- oxydation des terrains cristallophyliens du socle ou dissolution des niveaux de Trias gypseux.

Selon les points, l'origine des sulfates peut être différente et seule une étude des teneurs en  $SO_4$  des eaux permettrait de la déterminer exactement.

## VII.6 - INTERPRÉTATION DES CARTES D'ÉQUIRAPPORTS

### VII.6.1 - CARTE D'EQUIRAPPORT $\frac{rMg}{rCa}$ (fig. 39)

Cette carte, établie pour les hautes eaux, donne des rapports pouvant varier de 0,17 pour le plus faible au niveau du puits 29/68, à 2,35 au niveau du puits 86/68. La partie centrale de la vallée avec une courbe d'égal rapport 1, indique une égalité des concentrations en Magnésium et Calcium.

### VII.6.2 - CARTE D'EQUIRAPPORT $\frac{rSO_4}{rCl}$ (fig. 40)

La carte d'égal rapport  $\frac{rSO_4}{rCl}$ , dressée pour les hautes eaux,

permet de distinguer deux zones particulières :

- La première située au Sud de Tazmalt indique un rapport supérieur à 1 qui traduit le caractère dominant des sulfates.
- La seconde zone, située au Sud d'Azib, entre le pont de Seddouk et le Djebel Gueldamane, indique par contre un rapport inférieur à 1 montrant le caractère dominant des chlorures. Ce qui est vérifié précédemment avec le faciès chloruré sodique des eaux de la rive droite.

## VII.7 - APTITUDE DES EAUX DE LA PLAINE À L'IRRIGATION

Pour définir les qualités chimiques des eaux de la nappe alluviale au point de vue irrigation, on utilise un diagramme qui fait intervenir la conductivité de l'eau à 25°C et le taux d'absorption du Sodium (S.A.R).

Le S.A.R. est donné par la formule suivante :

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

CARTE D'EQUIRAPPORT  $\frac{rMg}{rCa}$   
COURBE D'ÉGAL RAPPORT

échelle  
0 8 km

## HYDROGÉOLOGIE DE LA VALLÉE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM

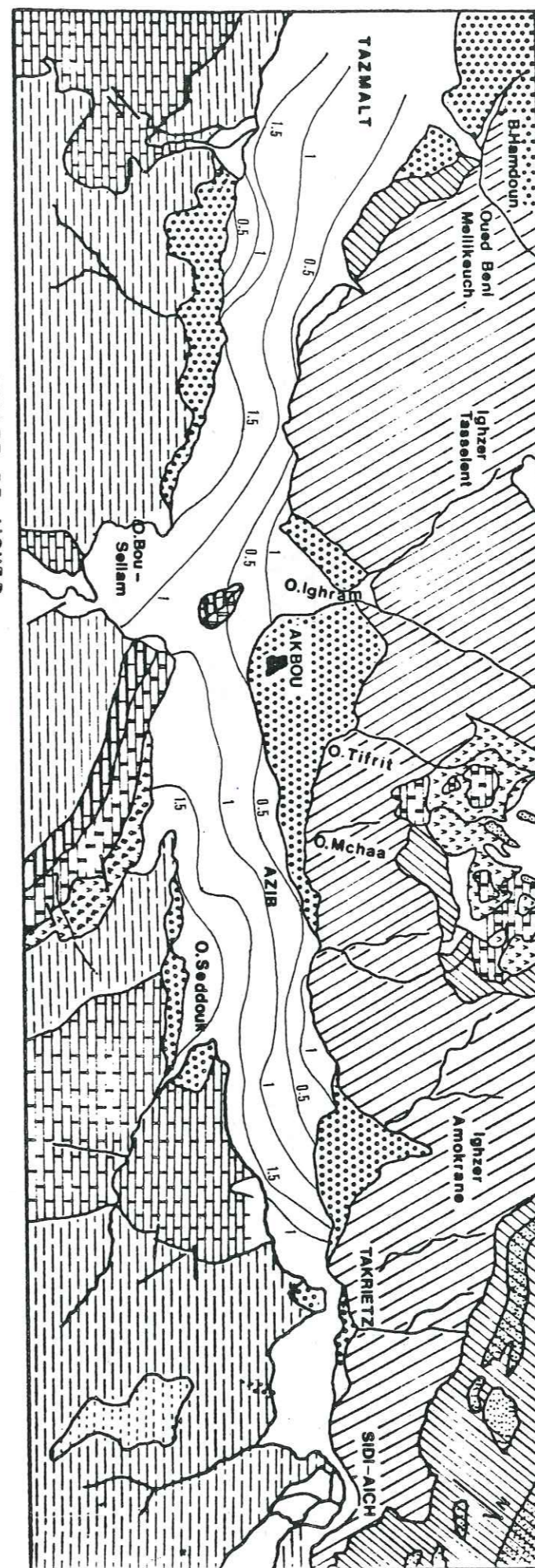


FIGURE 39

HYDROGEOLOGIE DE LA VALLEE DE L'OUED SAHEL-SOUMMAM  
 CARTE D'EQUILIBRE ISO4/CI  
 COURBE D'EGAL RAPPORT

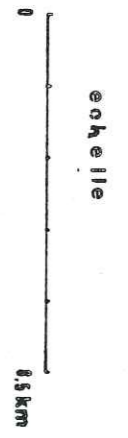
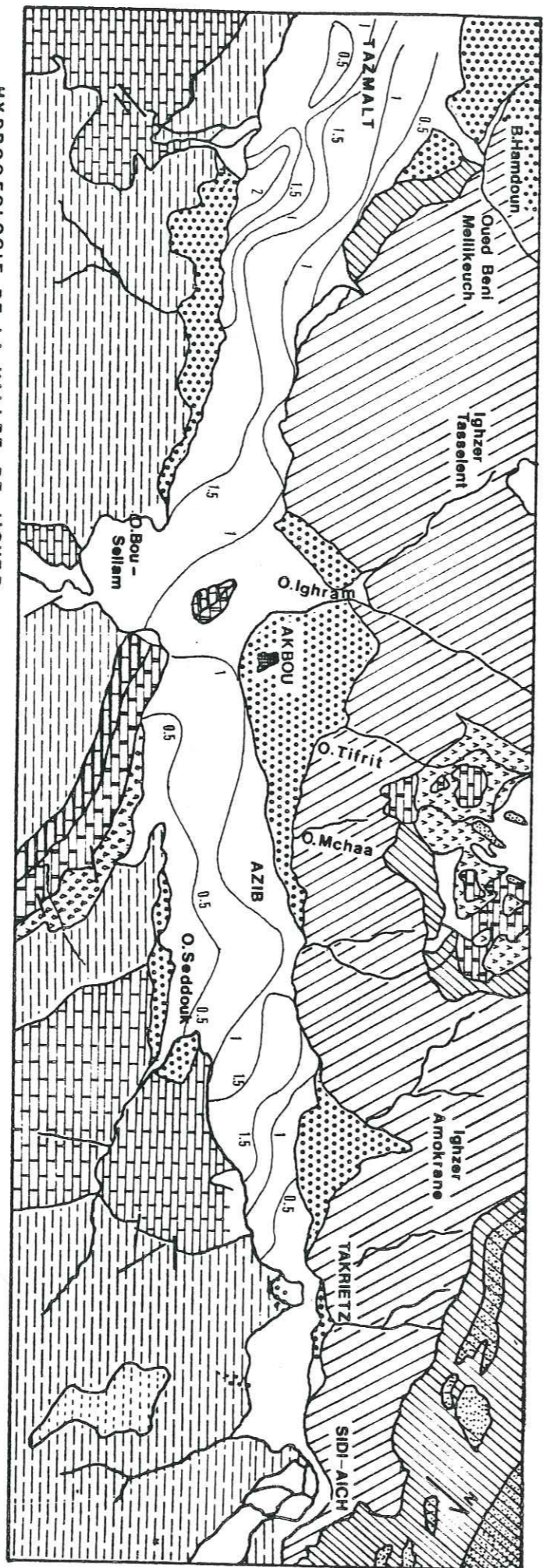


FIGURE 40

CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION

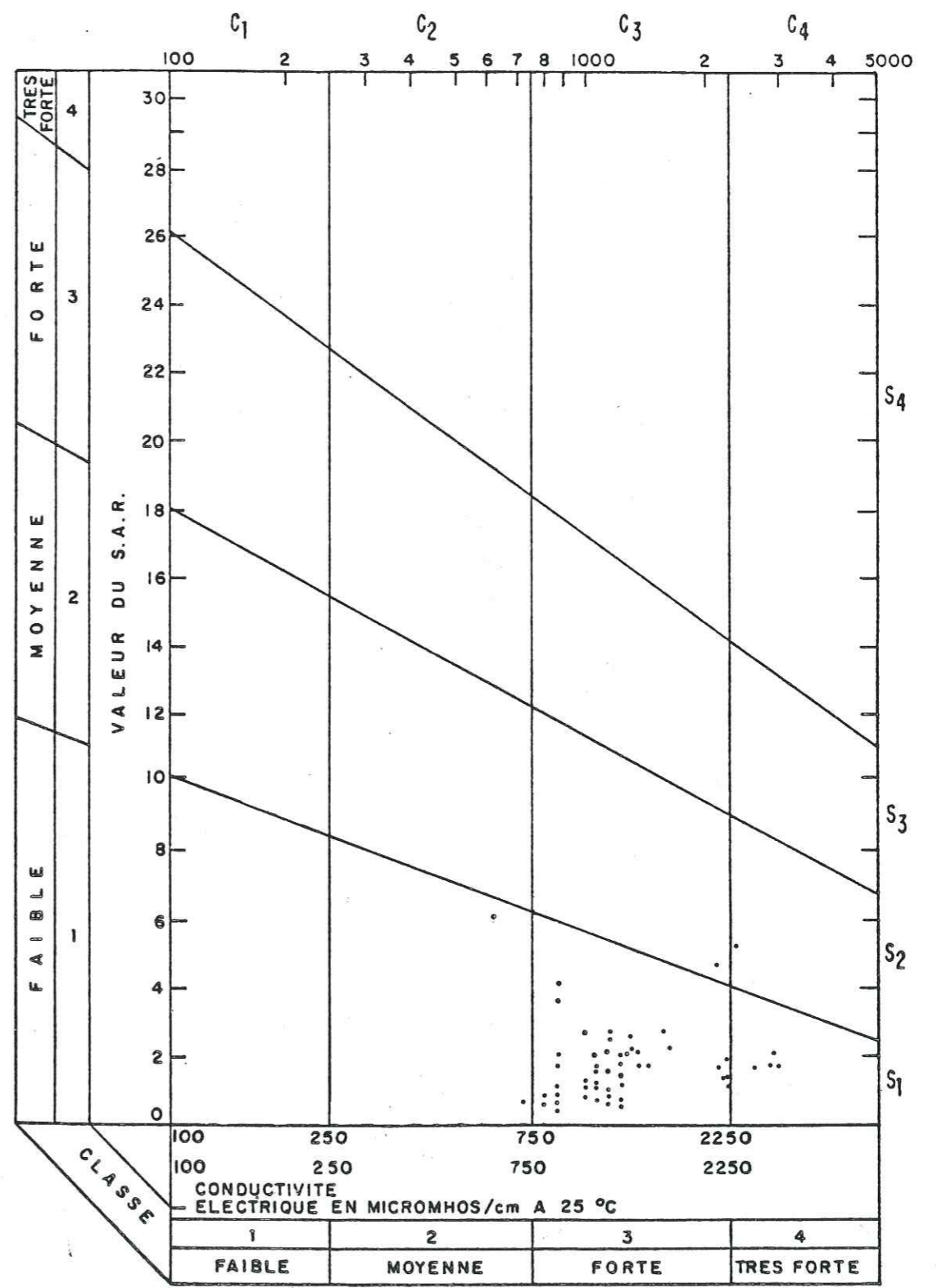


FIGURE 41

Les concentrations de chaque ion sont exprimées en milliéquivalents. On reporte ensuite, pour chaque point analysé, sur un diagramme semi-logarithmique le S.A.R. en fonction de la conductivité ; on en déduit ensuite la classe à laquelle appartient l'eau analysée.

Selon leur conductivité, les eaux se classent de la façon suivante:

- C1 : conductivité à 25°C inférieure à 250 mhos/cm, eau de faible salinité;  
 C2 : 250 750 $\mu$ mhos/cm, eau de salinité moyenne ;  
 C3 : 750 2250 $\mu$ mhos/cm, eau à forte salinité ;  
 C4 : 2250 5000 $\mu$ mhos/cm, eau à très forte salinité.

Selon le taux d'absorption de Sodium (S.A.R.), on a la classification suivante :

- S1 : eau à faible danger d'alcalinisation des sols (SAR  $\leq$  10) ;  
 S2 : danger d'alcalinisation assez appréciable  $10 < \text{SAR} < 18$  ;  
 S3 : danger d'alcalinisation important  $18 < \text{SAR} < 26$ .

Sur la figure n° 41, on constate que la majorité des eaux de la plaine alluviale appartient à la classe C3 S1 correspondant à un danger d'alcalinisation faible et à un danger de salinisation moyen à fort. Cette classe est utilisable pour un sol à bon drainage et des plantes à bonne tolérance aux sels. Le sol doit être également bien lessivé.

#### VII.8 - CONCLUSION À L'ÉTUDE PHYSICO-CHIMIQUE

Il existe donc un contraste assez net entre les eaux généralement peu minéralisées et à faciès bicarbonaté calcique de la rive gauche et les eaux plus minéralisées et à faciès chloruré sodique de la rive droite de l'Oued Sahel-Soummam.

On constate par ailleurs que la minéralisation des eaux de la nappe va en augmentant d'amont vers l'aval (concentration des eaux dans leur sens d'écoulement).

Les eaux douces sont situées au niveau des cônes de déjection des affluents de la rive gauche ; ceci étant dû **probablement** aux

eaux provenant de la fonte des neiges du massif du Djurdjura. Les résultats obtenus confirment ceux fournis par l'étude piézométrique et l'importance des apports latéraux à la nappe ainsi que la liaison avec la nature du substratum.

## CHAPITRE VIII EVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

--

VIII.1 - RESSOURCES

VIII.2 - ÉTUDE DES RÉSERVES DE LA ZONE ÉTUDIÉE

VIII.3 - ÉVALUATION DES SORTIES OU PERTES DE SYSTÈME

VIII.4 - ESSAI DE BILAN DE LA NAPPE (PENDANT UNE ANNÉE)

VIII.5 - CONCLUSION

## CHAPITRE VIII

## EVALUATION DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

La plaine alluviale de l'Oued Sahel-Soummam est une région à vocation essentiellement agricole. La mise en valeur des terres irrigables est conditionnée par le facteur "eau".

Nous tenterons d'estimer les ressources en eau et d'en évaluer les besoins revenant à l'agriculture, l'AEP (alimentation en eau potable) et à l'AEI (alimentation en eau pour l'industrie). Les réserves en eaux souterraines peuvent être classées en 4 catégories.

## VIII.1 - RÉSERVES RÉGULATRICES

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 (fluctuations moyennes annuelles).

## VIII.2 - RÉSERVES PERMANENTES

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 nappes captives, réserves permanentes et réserves totales sont pratiquement identiques.

## VIII.3 - RÉSERVES TOTALES

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.

## VIII.4 - RÉSERVES EXPLOITABLES

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 égal à la réserve régulatrice ; il peut être supérieur si l'on peut envisager une meilleure infiltration des précipitations, lors des recharges ultérieures.

### VIII.5 - ÉTUDE DES RÉSERVES DE LA ZONE ÉTUDIÉE

#### VIII.5.1 - 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;  
 $\Delta h$  = variation moyenne du niveau piézométrique de la nappe dans la zone considérée;  
 S = coefficient d'emmagasinement ou porosité efficace de l'aquifère.

Dans le cas précis de la zone étudiée, nous considérons une valeur de  $\Delta h = 1,50$  m ; ce qui représente une valeur moyenne entre les fluctuations les plus élevées au niveau des cônes de déjection et des bordures, des fluctuations les plus faibles dans l'axe de la vallée. Ces fluctuations s'effectuent sur une superficie d'environ 80 km<sup>2</sup>. Le coefficient d'emmagasinement S, déterminé au chapitre hydrodynamique des eaux souterraines, est estimé égal à une valeur moyenne de 10 %. Les réserves régulatrices sont ainsi évaluées à 12 Hm<sup>3</sup> (soit  $12 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>).

#### VIII.5.2 - RESERVES PERMANENTES

C'est le volume d'eau inclus dans toute la masse de l'aquifère au-dessous de la côte minimale atteinte par la nappe en fin d'étiage.

Ce volume d'eau stocké n'est en général jamais entamé dans des conditions naturelles d'écoulement.

Les exploitations intenses -surtout lors d'une exploitation agricole intensive qui va de mai à octobre- peuvent prélever sur ce capital, on a alors une surexploitation temporaire de la nappe. Ce qui peut dans ce cas perturber le régime naturel de la nappe.

Dans le cas de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam, ce phénomène est peu envisageable étant donné le volume important des réserves régulatrices et une alimentation de la nappe alluviale suffisamment importante, compte tenu de sa position qui est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie. Ainsi, on peut exploiter le débit voulu sans entamer les réserves permanentes (ou statiques), du moins lors d'une succession d'années moyennes du point de vue pluviométrique.

Ces réserves permanentes sont données par la relation :

$$V_p = A \cdot H_p \cdot S$$

A = surface de la zone considérée ;  
 $H_p = H - h$  = puissance de l'horizon aquifère non affecté par les fluctuations ;  
 H = épaisseur moyenne de cet horizon aquifère.

Le volume d'aquifère mouillé déterminé par prospection géophysique au chapitre IV est de l'ordre de  $51 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup>. Le coefficient d'emmagasinement étant estimé à 10 %, on obtient ainsi un volume d'eau des réserves permanentes égal à  $5,10 \cdot 10^8$  m<sup>3</sup>. Ce chiffre ne peut être qu'une approche de la réalité, vues les erreurs qui peuvent être faites sur la détermination du volume "utile" du réservoir et sur le coefficient d'emmagasinement. Cependant, il permet de donner une approximation sur les réserves énormes accumulées dans les formations alluviales et le Miocène. Le pouvoir régulateur de la nappe est donc relativement grand et permet de faire face à une succession d'années sèches.

### VIII.6 - ÉVALUATION DES SORTIES OU PERTES DU SYSTÈME

Les débits extraits, tant pour l'agriculture que pour l'eau potable et industrielle, ont fait l'objet d'une enquête sur le terrain par le BIRH pendant l'été 1973. Un total de 338 points ont été recensés pour réaliser cette enquête. Ces puits se répartissent de la façon suivante :

- Tazmalt : 176 points d'eau,
- Akbou : 122 points d'eau,
- Sidi-Aïch : 40 points d'eau.

Par ailleurs, des prises directes ont été notées le long de l'Oued Soummam, entre Akbou et Sidi-Aïch. On relève un total de 6 stations de pompage qui fonctionnent 120 à 150 jours/an avec un débit pour l'ensemble de 36,5 l/s. pendant une durée de 8 heures environ par jour, soit un débit journalier de  $1094$  m<sup>3</sup>. Le volume total annuel prélevé dans l'Oued s'élève donc à  $0,17 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> environ.

#### VIII.6.1 - DEBITS EXTRAITS DE LA NAPPE POUR L'AGRICULTURE

Les irrigations ont lieu en général entre mai-juin jusqu'à octobre, soit 153 à 184 jours. La durée moyenne de fonctionnement des pompes est de 3H30 mn par jour. Ce qui donne le tableau suivant :

Secteur	Q (l/s)	Q annuel(m <sup>3</sup> /s)	Volume annuel (m <sup>3</sup> /153à184 j)
Tuzmalt	962,5	11 487,5	1,9.10 <sup>6</sup>
Akbou	706,6	9 680,5	1,51.10 <sup>6</sup>
Sidi-Aïch	191	2 055,6	0,3.10 <sup>6</sup>
Total de la zone	1860	23 223,6	3,71.10 <sup>6</sup>

Tableau 37 - Débits extraits de la nappe pour les besoins agricoles.

## VIII.6.2 - DEBITS EXTRAITS DE LA NAPPE POUR LES BESOINS EN EAU POTABLE ET INDUSTRIELLE

Une partie des consommations en eau potable est comptabilisée dans les volumes extraits pour l'agriculture, car certains puits servent simultanément pour ces 2 types d'eau. La durée moyenne de fonctionnement des pompes est de 16 heures par jour. Le tableau 38 donne la répartition des débits extraits suivant les localités :

Secteur	Q (l/s)	Q annuel(m <sup>3</sup> /s)	Volume annuel (x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> ) 365 j
Tuzmalt	14	576	0,21
Akbou	25,5	1 906,1	0,7
Sidi-Aïch	6	172,8	0,06
Total de la zone	45,5	2 655	0,97

Tableau 38 - Débits extraits de la nappe pour les besoins en eau potable et industrielle.

Le volume total prélevé annuellement dans la nappe alluviale pour l'AEA (alimentation en eau pour l'agriculture), l'AEP et l'AEI s'élève à  $4,85.10^6 \text{ m}^3$ . Ce chiffre pourrait être nettement dépassé compte tenu des forages en cours de réalisation, destinés à faire face aux besoins aussi bien de l'agriculture que de l'alimentation en eau potable et industrielle.

## VIII.7 - ESSAI DE BILAN DE LA NAPPE (PENDANT UNE ANNÉE)

Le bilan de la nappe alluviale sera établi pour la zone comprise entre Tazmalt à l'Ouest et Sidi-Aïch à l'Est, pour une période ramenée à une année.

Ce bilan reste cependant discutable car la détermination des différents termes y intervenant ne se rapporte pas à la même période d'observation. Il permet néanmoins de donner une estimation du volume d'eau qui transite annuellement par la portion du système aquifère considérée.

## VIII.7.1 - DIFFERENTS TERMES DU BILAN

Par suite de la présence à Sidi-Aïch d'un seuil hydrogéologique, on admet que la totalité de l'écoulement souterrain en provenance de l'amont passe dans l'Oued Soummam au niveau de la station de Sidi-Aïch. Elle contrôle de ce fait l'ensemble des débits sortant à l'extérieur du bassin considéré.

## VIII.7.1.1 - Entrées

- Recharge par les précipitations (réserves régulatrices);
- volume d'eau souterrain arrivant à Tazmalt ;
- apports de l'Oued Bou-Sellam à Akbou ;
- apports de l'Oued Sahel à Tazmalt.

## VIII.7.1.2 - Sorties

- Volume d'eau qui transite à Sidi-Aïch ;
- volume d'eau prélevé directement dans l'Oued Sahel-Soummam ;
- volume prélevé par pompage dans la nappe ;
- volume d'eau évapotranspiré. Ce volume, difficilement mesurable, sera négligé compte tenu du fait que la nappe est située à une profondeur supérieure à 1 m sauf au voisinage immédiat de l'Oued.

## VIII.7.2 - EVALUATION DES APPORTS ET DES PERTES

## VIII.7.2.1 - Apports

- Estimation du débit souterrain à Tazmalt. Pour évaluer les apports de la nappe alluviale à l'amont du secteur étudié, nous utilisons la loi de Darcy en milieu poreux :

$$Q = T.l.i \quad \text{avec} \quad Q = \text{débit en m}^3/\text{s} ;$$

$$T = \text{transmissivité de l'aquifère en m}^3/\text{s} ;$$

$$i = \text{gradient hydraulique} ;$$

$$l = \text{front de la nappe.}$$

$$\text{Nous prendrons : } T = 1,5.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \quad l = 2000 \text{ m et } i = 30\text{‰}$$

$$Q = 900 \text{ l/s, soit, un volume annuel de } 28,3.10^6 \text{ m}^3.$$



- Apports de l'Oued Sahel au niveau de Tazmalt. Ces apports, relativement bien connus à l'aide de jaugeages différentiels, sont estimés à un débit de  $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$  correspondant à un volume moyen annuel de  $203,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

- Apports moyens de l'Oued Bou-Sellam au niveau d'Akbou. L'apport moyen annuel de l'Oued Bou-Sellam sur une période de 8 années est de  $259,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

#### VIII.7.2.2 - Evaluation des pertes

- Volume d'eau qui transite à Sidi-Aïch. Le volume moyen annuel écoulé à Sidi-Aïch, sur une période de 21 années de mesure, est de  $559,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

- Volume prélevé par pompage dans la nappe :  $4,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

- Volume prélevé dans l'Oued Sahel-Soummam. Il a été évalué précédemment à  $0,17 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

### VIII.8 - CONCLUSION

Nous avons donc :

Somme des entrées :  $491,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Somme des sorties :  $564,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Différence :  $73,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ .

Le volume V, égal à la différence entre les sorties et les entrées, représente le volume d'eau permettant la recharge de la nappe par les précipitations et par une partie des versants.

Le volume total annuel prélevé dans l'Oued et dans la nappe est de l'ordre de  $5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Ce volume étant nettement inférieur au volume des réserves régulatrices, on peut donc envisager une augmentation future du débit de pompage sans risque d'entamer les réserves statiques. La mise en service des forages réalisés par la D.H.W. de Béjaïa prévoit un débit minimum supplémentaire de  $500 \text{ l/s}$  pour une durée de pompage quotidienne de 6 heures.

### CONCLUSIONS GENERALES

Au cours de cette étude, nous avons essayé de dégager un certain nombre de paramètres géologiques, hydroclimatologiques, piézométriques, hydrodynamiques et physico-chimiques de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam.

En ce qui concerne l'hydroclimatologie, les données exploitées portent sur une période de 25 ans, allant de 1913 à 1938.

Pour la pluviométrie, nous avons également utilisé les données portant sur 12 années de mesures consécutives de 1966 à 1978.

Les informations recueillies concernent le bassin versant principal de l'Oued Sahel-Soummam.

Les résultats obtenus montrent des caractères d'un climat méditerranéen dans la partie aval du bassin et passant à un climat continental dans la zone amont.

La pluviométrie annuelle moyenne retenue est de  $631 \text{ mm}$  dont une grosse proportion s'évapore, soit  $520 \text{ mm}$  (80 %). Le ruissellement estimé sur la base des écoulements à la station de Sidi-Aïch donne une lame d'eau de  $85 \text{ mm}$ . Avec la formule de Tixeront-Berkaloff, on aboutit à une lame de  $97 \text{ mm}$ . Les 2 résultats n'étant pas calculés pour une même période d'observation.

Quant à l'infiltration sur la plaine, elle est estimée à  $26 \text{ mm}$ , soit 4,1 % environ des précipitations.

L'étude géologique a montré qu'il s'agit d'une zone très complexe avec essentiellement une superposition de nappes de charriage. La vallée de l'Oued Sahel-Soummam forme la jonction entre les 2 parties du tell septentrional au Nord et méridional au Sud.

Les données géologiques, géophysiques et l'interprétation des essais de pompage au niveau des forages d'exploitation réalisés nous ont permis de préciser la géométrie, la nature de l'horizon aquifère et d'en dégager les caractéristiques hydrodynamiques (T et S).

L'étude piézométrique a permis de définir deux directions principales d'écoulement, dont l'une sensiblement perpendiculaire au lit de l'Oued de Tazmalt jusqu'à la station d'Allaghane. Vers le Sud, cette direction devient parallèle au cours actuel de l'Oued.

Le tracé des isopièzes montre une participation à l'alimentation de la nappe du versant gauche alors que le versant droit n'a que peu d'influence. Les fluctuations du niveau piézométrique sont faibles d'une époque à l'autre, mais peuvent cependant atteindre quelques mètres au niveau des cônes de déjection vers les bordures.

Les valeurs de la transmissivité déduites de l'interprétation des essais de pompage sont de l'ordre de  $10^{-2} \text{ m}^2 / \text{s}$ . Les valeurs les plus fortes sont localisées dans l'axe de la vallée.

L'étude des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines des différentes zones de la vallée montre :

- une augmentation de la concentration en sels dissous dans le sens de l'écoulement des eaux souterraines ;
- le rôle important joué par l'évaporation dans la zone du verrou de Takrietz où l'épaisseur des alluvions est faible par rapport au reste de la vallée. Les résultats des analyses chimiques montrent 2 types de faciès chimiques : chloruré sodique en rive droite et de minéralisation totale plus élevée, et bicarbonaté calcique en rive gauche.

Les réserves régulatrices de cette nappe sont suffisamment importantes pour envisager une exploitation intensive à condition d'utiliser au maximum le pouvoir régulateur des alluvions dans le cas d'une exploitation agricole saisonnière.

## ANNEXES

- RELEVÉS PIÉZOMÉTRIQUES

- RÉSULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES

---

## RELEVES PIEZOMETRIQUES

N° Point d'eau	Altitude (m)	Avril 1983		Septembre 1983		Fluctuations (m)
		Prof. (m)	Niveau piez. (m)	Prof. (m)	Niveau piez. (m)	
73/46	110,96	9,2	101,76	16,8	94,96	7,6
66/46	113,29	5,1	108,19	12,2	101,09	7,1
52/46	118,12	10,7	107,42	12,5	105,62	1,8
43/46	129,63	11,8	117,83	12,1	117,53	0,3
51/46	134,22	14,9	119,32	15,1	119,12	0,2
21/46	131,51	9,2	122,31	2,3	119,21	3,1
11/46	146,12	3,8	142,32	5,7	140,42	1,9
5/46	137,97	1,9	136,07	2,3	135,67	0,4
3/46	129,03	8,8	120,23	8,9	120,13	0,1
178/46	124,39	3,1	121,29	3,6	120,79	0,5
10/46	151,95	9,9	142,05	10,8	141,15	0,9
49/46	157,20	16,1	141,1	19,6	137,6	3,5
177/68	141,82	11,8	130,02	13,1	128,72	1,3
165/68	135,49	3,3	132,19	5,2	130,29	1,9
166/68	153,03	26,8	126,23	27,2	125,83	0,4
160/68	144,08	6,2	137,88	8,1	135,98	1,9
142/68	144,83	5,9	138,93	6,1	138,73	0,2
168/68	145,48	2,8	143,01	8,2	137,28	5,4
193/68	154,81	15,1	139,71	17,2	137,81	2,1
196/68	149,56	9,9	139,66	10,6	138,96	0,7
192/68	155,07	7,9	147,17	8,1	146,97	0,2
127/68	160,24	9,7	150,54	10,4	149,84	0,7
122/68	158,73	5,7	153,03	6,9	151,83	1,2
124/68	166,37	16,1	150,27	18,6	147,77	2,5
110/68	161,47	13,1	148,37	13,6	147,87	0,5
98/68	161,7	6,1	155,60	6,3	155,4	0,2
86/68	179,34	21,7	157,54	22,2	157,14	0,5
92/68	174,30	16,1	158,2	18,9	155,4	2,8
68/68	178,21	16,7	161,51	17,2	161,01	0,5
83/68	175,14	8,1	167,04	9,6	165,54	1,5
195/68	208,69	19,3	189,39	20,1	188,59	0,8
12/68	211,03	22,6	188,43	22,9	188,13	0,3
8/68	201,41	12,9	192,51	13,2	188,21	0,3
194/68	234,32	37,3	197,02	38,6	195,72	1,3
21/68	195,76	6,9	188,86	9,8	185,96	2,9
29/68	194,91	5,9	189,01	6,1	188,81	0,2
23/68	195,50	8,9	186,6	9,5	186	0,6
37/68	186,99	4,6	182,39	5,8	181,19	1,2
52/68	183,97	1,6	182,37	6,9	177,07	5,3
76/68	181,66	3,4	178,26	5,6	176,06	2,2
88/67	204,80	16,1	188,7	17,9	186,9	1,8
82/67	212,58	14,2	198,38	16,6	196,18	2,4
10/67	217,93	19,4	198,58	20,6	197,38	1,2
14/67	203,43	11,8	191,62	12,6	190,82	0,8
5/67	208,38	18,3	190,08	18,6	189,78	10,3
95/67	208,58	8,6	199,68	8,9	199,48	0,2
84/67	210,24	20,8	189,44	21,6	188,64	0,8
78/67	211,03	18,3	192,73	18,9	192,13	0,6
81/67	225,98	25,1	200,88	27,6	198,38	2,5
80/67	213,50	14,1	199,4	18,2	195,30	4,1
70/67	220,34	14,8	205,54	23,9	196,44	9,1
68/67	225,00	17,1	207,9	24,4	200,6	7,3
316/67	225,01	16,1	208,91	24,2	200,81	8,1
337/67	231,56	18,1	203,46	19,2	202,36	1,1

## RESULTATS D'ANALYSES CHIMIQUES

No point d'eau	Date	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na+K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HC03 (mg/l)	Cond. mhos/cm	R.S. (mg/l)	pH	r Ca	SO4/Cl	i.e.b
F.V. 10-11	21/10/83	100	73	254	415	338	122	2,1	1226	8	1,21	0,60	0,05
F.V. 10	03/12/83	88	65	267	390	438	116	2,3	1300	7,9	1,22	0,82	-0,05
F.M. 11	15/03/83	75	48	94	185	235	122	1,1	7758	8,0	1,06	0,94	0,21
F.N. 03	14/1/83	88	35	108	180	200	183	1	701	8	0,65	0,80	0,07
F.D. 15	24/01/83	50	45	72	135	128	140	2,1	546	8	1,5	0,7	0,17
F.U. 6-7	21/01/83	75	58	122	235	185	159	1,4	800	7,9	1,29	0,58	0,2
F.H. 5	21/03/83	75	29	34	445	145	183	0,7	513	7,9	0,64	1,04	-0,16
F.H. 1-3	2/03/83	100	50	82	175	245	201	1,3	806	7,9	0,83	1,04	0,27
P. 3/46	2/05/83	100	28	61	115	138	232	1,0	616	7,8	0,46	0,88	0,18
P. 5/46	2/05/83	94	43	55	100	155	232	1,1	657	7,5	0,76	1,15	0,14
P. 2/46	3/05/83	104	24	32	70	95	250	0,9	542	7,6	0,38	1	0,29
P. 10/46	3/05/83	76	44	20	35	165	214	0,9	575	7,3	0,96	3,5	0,12
P. 11/46	2/05/83	94	54	53	95	220	232	1,2	804	7,8	0,95	1,71	0,14
P. 21/46	2/05/83	94	56	32	98	185	234	1,2	678	7,5	0,99	1,4	0,29
P. 43/46	2/05/83	108	52	53	85	175	287	1,2	804	7,8	0,80	1,52	0,03
P. 51/46	2/05/83	134	34	85	165	165	262	1,3	882	7,8	0,42	1,74	0,2
P. 49/46	2/05/83	108	36	70	150	115	281	1,3	856	7,5	0,55	0,56	0,28
P. 52/46	2/05/83	108	44	62	120	183	232	2,2	764	7,5	0,67	1,12	0,20
P. 73/46	3/05/83	210	92	122	410	195	414	2,5	1524	7,1	0,72	0,35	0,54
P. 61/46	3/05/83	184	93	120	130	190	332	2,7	958	7,8	0,83	1,07	-0,42
P. 66/46	3/05/83	60	64	65	145	195	134	2,1	722	7,7	1,77	1	0,30
P. 176/46	3/05/83	44	39	62	140	95	153	0,9	522	7,2	1,1	0,5	0,20
P. 5/68	16/04/83	94	82	116	180	368	159	1,2	992	7,8	1,45	1,51	0,01
P. 12/68	16/04/83	98	54	86	150	243	232	1,1	755	7,9	0,91	1,2	0,11
P. 14/68	16/04/83	98	71	91	160	275	244	0,9	863	7,9	1,2	1,27	0,12
P. 8/68	16/04/83	98	29	69	120	175	195	1,1	762	7,9	0,49	0,29	0,11
P. 29/68	13/04/83	144	15	100	170	218	177	1,4	834	7,8	0,17	0,94	0,09
P. 52/68	13/04/83	94	82	116	180	368	159	1,6	992	7,8	1,45	1,51	0,01
P. 83/68	13/04/83	52	41	160	195	180	171	0,9	825	8,0	1,44	0,68	-0,26
P. 23/68	13/04/83	186	87	220	390	205	262	1,8	1320	7,9	0,78	0,39	0,13
P. 98/68	12/04/83	127	72	106	200	283	262	1,7	1023	7,9	0,94	1,05	0,18
P. 86/68	11/04/83	46	65	52	55	165	281	0,9	607	7,9	2,35	2,23	-0,46
P. 192/68	12/04/83	76	31	292	140	135	250	2,9	924	8,0	0,67	0,71	0,06
P. 110/68	12/04/83	100	29	112	220	110	244	1,3	849	7,8	0,48	0,36	0,21
P. 68/68	12/04/83	63	29	137	259	148	293	1,9	910	7,7	0,76	0,42	0,18
P. 168/68	11/04/83	100	84	162	275	325	201	1,8	1059	7,9	1,4	0,87	0,09
P. 169/68	11/04/83	85	41	54	110	68	281	1,0	639	7,9	0,8	0,45	0,25
P. 171/68	12/04/83	116	30	135	75	125	250	1,7	823	7,9	0,43	0,81	-1,77

212,76	25,7	214,16	24,3
208,95	19,3	210,35	17,9
231,69	19,8	236,59	14,9
203,17	28,1	207,67	24,6
222,56	19,9	225,66	16,8
223,12	25,6	224,72	24,8
222,94	20,1	223,74	19,3
227,51	24,8	230,11	22,2
227,62	17,1	228,02	16,7
238,07	23,8	241,47	20,4
269,21	26,1	270,01	25,3
279,05	28,6	280,55	27,1
280,92	13,6	284,12	10,8
272,64	8,2	279,04	1,8
277,80	10,6	282,30	6,1
1,3			
1,4			
4,9			
4,5			
3,1			
1,6			
0,8			
2,6			
0,4			
3,4			
0,8			
1,5			
3,2			
6,4			
4,5			
238,46			
228,25			
251,49			
232,27			
242,46			
249,52			
243,04			
252,31			
244,72			
261,87			
295,31			
307,65			
294,67			
280,84			
231/67			

Oued Sahe Oued Sahel Station Tazmalt	14/4/83	61	89	152	172	187	283	1,7	932	7,7	2,32	0,80	-0,36
Oued Sahel Station Allaghane	13/4/83	93	81	83	288	210	295	2,1	1058	7,8	1,45	0,53	0,55
Oued Soumman Station Sidi Aïch	13/4/83	182	76	77	82	195	305	1,9	1024	7,8	0,69	1,76	-0,45

P 174/68	2/05/83	100	37	59	105	183	238	1,1	705	7,9	0,69	1,29	0,13
P 142/68	3/05/83	50	18	221	195	185	232	0,6	900	7,5	0,6	0,71	-0,77
P 160/68	3/05/83	118	19	160	210	60	317	1,1	894	7,6	0,26	0,21	-0,17
P 86/68	13/04/83	97	34	64	105	170	107	1,1	648	7,8	0,58	1,2	0,05
P 21/68	13/04/83	100	77	121	275	300	146	1,8	1083	8,0	1,28	0,8	0,32
P 37/68	13/04/83	90	72	97	205	250	165	1,5	900	7,9	1,33	0,9	0,27
P 122/68	14/04/83	98	51	101	180	235	214	1,4	783	8,2	0,86	0,96	0,13
P 124/68	14/04/83	108	65	131	235	240	238	1,7	957	7,9	1	0,75	0,14
P 127/68	14/04/83	100	52	119	220	180	226	1,5	802	7,9	1,2	0,60	0,16
P 68/68	16/04/83	94	32	86	155	135	195	1,1	762	7,9	0,56	0,64	0,14
P 177/68	11/04/83	100	32	76	90	75	360	3,0	721	7,8	0,53	0,61	-0,30
P 59/68	16/04/83	144	25	70	130	243	195	1,3	818	7,9	0,28	1,38	0,17
P 190/68	02/05/83	98	55	61	100	235	250	2,2	701	8,0	0,93	1,74	0,05
P 191/68	02/05/83	174	78	125	340	245	275	2,1	1325	7,6	0,74	0,53	0,43
P 193/68	11/04/83	94	52	137	225	235	238	1,6	910	7,8	0,91	0,77	0,06
P 21/67	16/4/83	88	58	77	130	220	207	1,2	791	7,8	1,09	1,25	0,08
P 70/67	16/04/83	84	58	102	165	250	171	1,4	907	7,8	1,15	1,12	0,04
P 78/67	16/04/83	90	60	85	200	193	232	1,3	864	7,9	1,1	0,71	0,34
P 80/67	15/04/83	104	47	42	90	168	293	1,2	783	7,7	0,75	1,38	0,28
P 88/67	13/4/83	88	51	77	130	190	214	1,2	807	7,8	0,94	1,07	0,08
P 84/67	13/4/83	88	50	57	125	175	244	1,1	689	8,0	0,94	1,47	0,3
P 81/67	13/4/83	70	50	42	135	95	195	0,9	542	7,9	1,18	1,2	0,52
P 95/67	16/4/83	84	56	62	160	150	195	1,1	697	8,0	1,10	0,69	0,40
P 216/67	14/4/83	94	49	47	105	80	244	1,1	698	7,8	0,87	0,56	0,30
P 235/67	15/4/83	128	66	42	135	183	268	1,4	871	7,6	0,86	0,26	0,52
P 255/67	15/04/83	84	44	37	90	98	256	1,0	639	7,6	0,87	0,80	0,36
P 274/67	15/4/83	88	50	42	75	160	262	1,1	653	7,6	0,94	1,58	0,14
P 276/67	15/4/83	120	49	47	135	148	256	1,2	740	7,6	0,68	0,81	0,46
P 231/67	15/4/83	94	54	40	110	165	207	1,2	760	7,6	0,95	1,11	0,44
P 256/67	15/4/83	114	46	35	85	185	238	1,1	685	7,8	0,67	1,61	0,36
P 264/67	15/4/83	128	64	45	130	178	256	1,3	835	7,8	0,83	1,38	0,46
P 271/67	15/4/83	60	45	40	75	145	189	0,8	513	8,0	1,25	1,43	0,18
P 312/67	15/4/83	108	56	35	90	175	256	0,8	724	7,7	0,86	1,44	0,4
P 316/67	13/4/83	84	46	45	75	198	220	1,6	671	7,8	0,91	1,96	0,07

## BIBLIOGRAPHIE

- ABUSSADA S.M. (1980). - Quelques problèmes du gisement et de l'exploitation des eaux souterraines en zone aride: KOWEIT (Arabie Nord-Est) - Thèse 3e cycle - Grenoble.
- BENSAID A. (1970). - Etude agro-pédologique de la plaine alluviale de l'Oued Sahel-Soummam. DEMRH, 1970, rapport inédit.
- BONNET M. (1969). - Manuel hydraulique des systèmes de captage et drainage. BRGM.
- CASTANY G. (1963). - Traité pratique des eaux souterraines. Ed. Dunod, Paris.
- C.G.G. (1970). - Etude hydrogéologique par prospection électrique dans la vallée de la Soummam (Tazmalt-Bejeña).
- C.G.G. (1961). - Etude hydrogéologique par prospection électrique dans la vallée de la Soummam (Sidi-Aïch - Il - Maten).
- CLINCKX C., GRENET B. (1974). - Etude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel-Soummam. Rapport DEMRH inédit.
- CLINCKX C. (1975). - Etude hydrogéologique de la plaine alluviale de la basse Soummam (Sidi-Aïch - Bejeña) Algérie, Montpellier U.S.T.L.A., C.E.R.C.H., 1975. 62 p. Thèse 3ème cycle.
- CAIRE A., COUTELLE A., OBERT D. (1968). - Tectonique des extrémités de la chaîne des babors B.S.G.F. 7ème série T.5.
- CHAUMONT M. (1971). - Carte pluviométrique d'Algérie au 1/50 000ème moyennes, 1913-1963, Université d'Alger.
- COUTELLE A. (1968). - La terminaison occidentale de la Kabylie des babors (région d'Akbou), 7ème série, T.5.
- COUTELLE A. (1971). - Existence d'une nappe à matériel tellien dans les flyschs du versant sud du Djurdjura. Bulletin Société d'Hist. Nat. d'Afrique du Nord, tome 62.
- COUTELLE A. (1971). - Les flyschs du flanc sud du Djurdjura. Service Géologique de l'Algérie. Bull. n° 41.
- CHEM LAL N. (1983). - Etude paléomorphologique et hydrogéologique de la vallée du Bas Isser (Algérie). thèse de 3 cycle Grenoble
- COUTELLE A. (1970). - Carte géologique de la région de Bougie au 1/200 000ème.
- COUTELLE A. (1977). - Géologie du Sud-Est de la Grande Kabylie et des Babors d'Akbou. Thèse d'Etat, Paris.
- CRUCHET M. (1983). - Relation entre l'hydrogéologie, le thermalisme et les circulations d'eaux uranifères dans les roches fissurées. Les massifs cristallins externes de la Basse Maurienne (Savoie) - Thèse 3e cycle - Grenoble
- CHAUMONT M., PAQUIN C. (1971). - Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000ème. Pub. Soc. Hist. Nat. AFN Alger, 24 p.
- CORDEAU F., CORDEAU J.Y., FOURNEAUX J.C. et SARROT-REYNAULD J. (1972). - Modification de la composition chimique des eaux des nappes aux abords des piézomètres en liaison avec leur mise en place. 11è colloque sur la pollution et la protection des eaux de la région Rhône-Alpes. Lyon 1972.

- DELAQUAISE B. (1979). - Etude géologique, hydrogéologique et limnologique dans une région de moyenne montagne. Le bassin versant des lacs de Laffrey et Petichet. (Isère). Thèse 3ème cycle, Université de Grenoble.
- DEGALLIER R. (1976). - Effets de la pénétration des piézomètres sur l'interprétation de pompages en nappe libre. Abbaques de STALLMANN - Orléans Cédex.
- D.E.M.R.H. (1973). - Annuaire pluviométrique de l'Algérie. Année 1971-1972. Rapport interne.
- D.E.M.R.H. (juin 1973). - Annuaire hydrologique de l'Algérie. Année 1969-1970. 269 p. Rapport interne.
- D.E.M.R.H. (1972). - Annuaire hydrologique de l'Algérie. Année 1968-1969. Rapport interne.
- DAZY J. (1974). - Bibliographie hydrogéologique de l'Algérie (1839-1973).
- FOURNEAUX J.C. (1968). - Hydrogéologie du Grésivaudan. Thèse de 3e cycle. Grenoble.
- FORKASIEWICZ J. (1977). - Interprétation des données de pompages d'essai pour l'évolution des paramètres des aquifères. Aide-mémoire. Orléans Cédex.
- ISSADI A. (1981). - Etude hydrogéologique des massifs du Gueriou et de Fortass (dans le Sud Constantinois). Thèse 3e cycle. Université d'Alger.
- GHERTASSI M. (1979). - Transfert des eaux dans les zones de piémont. Hydrogéologie du versant de l'Alborz et de la plaine de Gonbad dans le bassin versant de Gorgan Rud (Iran). Thèse 3e cycle - Grenoble.
- HILLY J. et MOREL J. (1953). - Notes préliminaires sur les formations quaternaires littorales du Cap de Fer et de l'Edough. In : Actes du IVè Congrès International du Quaternaire, Rome-Pise, 1953, T.II, p. 611.
- HANNACHI A. (1981). - Relation entre aquifères superficiels et aquifères profonds. Etude hydrogéologique de la vallée de l'Oued M'Zi. Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- KHAMMAR C. (1981). - Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Kebir Ouest Wilaya de Skikda (Algérie). Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- KIEKEN M. (1962). - Esquisse tectonique de l'Algérie. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, nouv. série n° 31.
- KIEKEN - Esquisse tectonique de l'Algérie au 1/100 000ème.
- Service de la carte géologique de l'Algérie (1923). - Document sur l'hydrologie souterraine des différentes régions de l'Algérie. 1er fasc., 170 p.
- NE MEROUD J.P., ROGNON Ph., S.E.S. (1960). - Etude des nappes phréatiques de la Soummam.
- HYDROTECHNIC CORPORATION (1969). - Surface Water Ressources and possibilities for development Soummam Basin, New-York.
- MABILLOT - Les forages d'eau.
- SOGREAH - SOGETHA (1969). - Etude générale des aires d'irrigation et d'assainissement agricole en Algérie (Dossier 6).
- SCET (1968). - Etude fréquentielle des déficits d'approvisionnement en eau des sols cultivés en Algérie.

- LASFARGUES P. (1979). - Cours de géophysique appliquée. Université d'Alger. Fac.Sciences.
- MEDINGER G. (1946). - Note sur les oueds algériens, G.G.A., Pub. Serv. Col. Hydraul., Alger, 45 p.
- MAGNE J., RAOULT J.P., SIGAL J. (1967). - Le Crétacé et l'Eocène à faciès telliens dans la zone du Kef Sidi-Driss (petite Kabylie). Bull. Soc. Géol. Fr. 7è série, pp.273-283.
- LEIKINE M., MAGNE J. (1968). - Présence de l'Eocène dans les babor occidentaux (région de Bougie) Algérie. C.R.Soc.Géol., fasc. 9, 2 décembre 1968, p. 304.
- LAREZ-GONZALEZ H. (1982). - Hydrogéologie des formations fissurées et karstifiées de la région orientale du Vénézuéla (Puerto La Cruz-Cumana). Thèse 3ème cycle, Grenoble.
- MESBAH M. (1981). - Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse vallée de l'Oued Nador (région de Tipaza). Thèse 3ème cycle, Université Sciences d'Alger.
- ROCHE M. (1963). - Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars, Paris.
- RODIER J. (1966). - L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Ed. Dunod, Paris.
- PLUS B. S.E.S. (1969). - Etude hydrogéologique de la plaine alluviale de l'Oued Sahel-Soummam (résultats de la Campagne 1968-1969).
- TECHNO EXPORSTORY Sofia (1971). - Etude hydrogéologique de la vallée de l'Oued Sahel (El Adjiba-Tazmalt).
- TESTEO-VIZITERV, Ing. Conseils Budapest (Fev.1983). - Etude de la mise en valeur dans la vallée de la Soummam sur 2280 ha. Schéma d'aménagement, note de synthèse.
- SOGREAH (1963). - Développement de la Grande Kabylie. Suggestions pour un programme de développement.
- KROOK J. (1973). - Estimation des réserves régulatrices dans le bassin de l'Oued Soummam en amont de Sidi-Aïch. D.E.M.R.H., rapport inédit, n° 73/151 001.
- ENERGO PROJEKT-BEOGRAD (1965). - Etude de la mise en valeur du bassin de la Soummam (13 tomes, en particulier t. IV Données naturelles).
- TEMPO - U.S.A. (1971). - Développement de la région de la Soummam (5 tomes, en particulier t. IV Inventaire des ressources).
- SCET-COOP (1964). - Défense contre les eaux nuisibles de l'Oued Soummam.
- SELTZER P. (1946). - Le climat de l'Algérie. Etude publiée avec le concours de LASSERRE A., Melle GRANDJEAN A., AUBERTY R. et FOUREY A., I.M.P.G.A., Alger.
- SCHOELLER H. (1962). - Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources. Ed. Masson, Paris.
- YVES J.C. BELLION (1977).- Etude géologique et hydrogéologique de la terminaison occidentale des monts de Bellezma (Algérie). Thèse 3e cycle - Paris VI.
- VILLA J.M. (1966). - Aperçu sur la stratigraphie de la terminaison orientale de la chaîne calcaire en Algérie (région de Gastu). C.R.Acad.Sci. Fr., fasc. 5, pp. 181-182.
- MONIER Th. (1983).- Simulation des écoulements souterrains dans un aquifère alluvial. Contribution à l'étude de la nappe de l'Isère dans la Combe de Savoie (France). Thèse 3e cycle - Grenoble.

- MONITON L. (1969).- Données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique. Orléans-La-Source.
- STOURNARAS G. (1984).- Evolution et comportement d'un système aquifère hétérogène. Géologie et hydrogéologie du delta du Nestos (Grèce) et ses bordures. Thèse 3e cycle - Grenoble.
- SAVADOGO A.N. (1984).- Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse Docteur ès-Sciences Naturelles. Grenoble.
- SADEGH - SHADJARI M. (1978).- Etude statistique de l'hydrodynamique du cycle de l'eau au Sud de la Caspienne: Bassins de Tadjan et Neka (Iran). Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Grenoble.
- RAYMOND D. (1976). - Evolution sédimentaire et tectonique du Nord-Ouest de la Grande-Kabylie. Thèse d'Etat (Paris)
- ZAMANKHAN M. (1975).- Hydrogéologie du bassin versant de Moharlu. Hydrodynamique des massifs calcaires de la région de Chiraz (Iran). Thèse de Docteur-Sciences-Université de Grenoble.
- ZAMOLO G. (1980).- Régime des eaux souterraines dans les massifs calcaires. Hydrogéologie du secteur sud-est du massif des Bauges (Savoie). Bassins versants du Ternèze et du Nant d'Aillon - Thèse de 3° cycle - Grenoble.

DERNIERE PAGE D'UNE THESE

3È CYCLE, DOCTEUR INGÉNIEUR OU UNIVERSITÉ

Vu les dispositions de l'arrêté du 16 avril 1974,

Vu les rapports de M. Jean... SARRAT... RIGNAUD

M. ....

M. BEN NABI... Mohamed... Saïd... est autorisé

à présenter une thèse en vue de l'obtention du grade de DOCTEUR ... de ...

Cycle de ... Biologie Appliquée...

Grenoble, le 18 Nov. 1985

Le Président de l'Université Scientifique  
et Médicale

M. TANCHE



*Tanche*