



HAL
open science

Hydrologie du bassin versant du haut Sébaou : hydrogéologie des formations alluviales (Algérie)

Mohammed Djemai

► **To cite this version:**

Mohammed Djemai. Hydrologie du bassin versant du haut Sébaou : hydrogéologie des formations alluviales (Algérie). Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1985. Français. NNT : . tel-00760498

HAL Id: tel-00760498

<https://theses.hal.science/tel-00760498>

Submitted on 4 Dec 2012

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

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



DJEMAI (M.)
Ex. n° 1

N° d'ordre :

THESE
PRÉSENTÉE À
L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR INGENIEUR

GEOLOGIE APPLIQUEE (HYDROGEOLOGIE)

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

1 JUL. 1985

2

par

Mohammed DJEMAI

Ingénieur d'Etat de l'Institut des Sciences de la Terre
Université d'ALGER

HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU HAUT SEBAOU
HYDROGEOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES (ALGERIE)

Soutenu le 26 juin 1985 devant la Commission d'examen :

R. BARBIER	Professeur Emérite à l'USMG	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG	Rapporteur
Ph. BOIS	Professeur à l'INPG	Examineur
J.C. FOURNEAUX	Maître Assistant à l'USMG	Examineur
J. DAZY	Assistant à l'USMG	Examineur

THESE de DOCTEUR INGÉNIEUR
Géologie appliquée (Hydrogéologie)

Titre de l'ouvrage :

**HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU HAUT SÉBAOU
HYDROGÉOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES**

Nom de l'auteur : Mohammed DJEMAI

Établissement : Université Scientifique et Médicale de Grenoble

UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
B 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (79) 87.46.43

1 JUL. 1985

RÉSUMÉ

La plaine alluviale du Haut Sébaou, dépression synclinale à cœur miocène, d'orientation est-ouest est bordée au nord par les chaînons côtiers d'Alger et au sud par la chaîne calcaire du Djurdjura.

Elle fait partie intégrante du Tell septentrional. Les faciès géologiques portent l'empreinte de l'orogénèse alpine.

Les reconstitutions paléogéographiques révèlent l'antécédence au Pliocène du réseau hydrographique.

Le remplissage alluvial est formé de six terrasses emboîtées et étagées d'extension et d'épaisseur réduite réparties symétriquement sur les deux rives de l'oued.

L'étude géophysique, complétée par les sondages mécaniques, définit un aquifère homogène de résistivités moyennes.

L'étude hydroclimatologique confirme le type de climat méditerranéen du bassin versant.

L'évaluation des paramètres : Pluviométrie/Évapotranspiration/Ruissellement, a permis de proposer un essai de bilan hydrologique.

L'étude piézométrique met en évidence la superposition des écoulements souterrains et superficiels : l'Oued Sébaou draine les eaux de la nappe alluviale.

L'estimation des paramètres hydrodynamiques (T,S,K) au moyen d'essais de pompage a permis de sélectionner les zones propices à l'exploitation.

L'utilisation conjointe des variations naturelles du niveau de la nappe, des paramètres hydrodynamiques et des débits de sortie au seuil du Belloua, nous a permis d'estimer les réserves régulatrices et de fixer un ordre de grandeur du débit d'exploitation rationnelle de l'aquifère.

L'étude physico-chimique a mis en évidence deux types de faciès hydro-chimiques : bicarbonaté calcique-sulfaté et magnésien et bicarbonaté calcique-chloruré et magnésien.

Les eaux ont une minéralisation moyenne homogène quoiqu'elles soient le siège d'échange de bases sous l'influence d'apports des versants. Elles présentent une bonne potabilité chimique, malgré leurs caractères d'eaux dures et incrustantes.

MOTS-CLÉS

Vallée de l'Oued Sébaou ; W. Tizi-Ouzou ; Grande Kabylie (Algérie) ; Quaternaire ; Paléogéographie ; Réseau hydrographique ; Géomorphologie ; Terrasses alluviales ; Réservoir aquifère ; Prospection électrique ; Bilan hydrologique ; Caractéristiques hydrodynamiques ; Bilan hydrogéologique ; Ressources en eau souterraine ; Physico-chimie des eaux ; Faciès hydro-chimiques.

N° d'ordre :

THESE
PRÉSENTÉE À
L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE ET MEDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le grade de
DOCTEUR INGENIEUR
GEOLOGIE APPLIQUEE (HYDROGEOLOGIE)

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

1 JUIL. 1985

par

Mohammed DJEMAI

Ingénieur d'Etat de l'Institut des Sciences de la Terre
Université d'ALGER

HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU HAUT SEBAOU
HYDROGEOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES (ALGERIE)

Soutenue le 26 juin 1985 devant la Commission d'examen :

R. BARBIER	Professeur Emérite à l'USMG	Président
J. SARROT-REYNAULD	Professeur à l'USMG	Rapporteur
Ph. BOIS	Professeur à l'INPG	Examineur
J.C. FOURNEAUX	Maître Assistant à l'USMG	Examineur
J. DAZY	Assistant à l'USMG	Examineur

10087967

UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (0477) 87 46 43

1 JUL 1987

*"Si celà n'est pas vrai,
c'est, du moins, bien trouvé"
(proverbe italien)*

*Je dédie ce modeste travail
à la mémoire de mon Père
à ma Mère,
à mes Frères Ahcène et Hamdane
à mes Enfants et ma Femme*

AVANT PROPOS

Au moment de terminer ce modeste travail, il m'est sincèrement agréable de remercier tous ceux, de loin ou de près, qui m'ont aidé et soutenu dans sa réalisation.

Monsieur le Professeur R. BARBIER, de l'Académie des Sciences, qui me fait l'honneur de présider le Jury.

Monsieur J. SARROT-REYNAULD, qui m'a accueilli dans son Laboratoire, a dirigé et encouragé mon travail, et est venu sur le terrain à TIZI-OUZOU, pour discuter des problèmes géomorphologiques, hydrologiques et hydrogéologiques.

Monsieur Ph. BOIS, Professeur, qui me fait l'honneur de participer à ce Jury.

Monsieur J.C. FOURNEAUX, Maître-Assistant, pour les discussions et conseils qu'il m'a prodigués.

Monsieur J. DAZY, Assistant pour les nombreuses discussions et conseils tout au long de ma rédaction de Thèse.

Le M.E.R.S. de l'Algérie et le Gouvernement Français pour la bourse d'étude qui m'a été attribuée.

Messieurs B. BENMOUFOUK, ex Directeur de la D.H.W.T.O., Y. MEZAOUR, Directeur du Parc de la D.H.W.T.O., Monsieur M. NESNAS, Directeur Technique de la D.H.W.T.O., et l'actuel Directeur (Hocine) pour m'avoir accueilli dans la Direction de l'Hydraulique et m'avoir offert tous les moyens pour réaliser le travail de terrain.

Le personnel de la D.H.W.T.O., en particulier l'équipe du Service forage qui a mis tous les documents traitant de la région à ma disposition.

Monsieur L. AJT MAAMAR, Chef du Service de l'I.N.R.H. de TIZI-OUZOU, ainsi que ses Techniciens, pour m'avoir accueilli dans sa Direction et mis à ma disposition toute la documentation nécessaire.

Monsieur DENMAK, Directeur du Service hydrologique de l'I.N.R.H. d'Alger, pour ses conseils et la mise à ma disposition des données hydroclimatologiques.

Le personnel du Laboratoire de chimie des eaux de l'I.N.R.H. d'Alger, en particulier Monsieur M. OUAZIB qui s'est chargé des analyses hydrochimiques.

Mes remerciements vont aussi aux membres du personnel technique et scientifique de l'Institut Dolomieu pour le séjour qu'ils m'ont rendu agréable, en particulier à Madame N. REVOL et Mademoiselle A. MERLIN qui se sont chargées de la dactylographie de ma Thèse.

A mes amis et anciens enseignants de l'Université d'Alger, qui m'ont aidé directement ou indirectement dans ce travail, en particulier, à ceux du 3ème cycle... qu'ils sachent que je ne les oublierai pas.

INTRODUCTION

1 - CADRE GÉOGRAPHIQUE (fig.1)

La plaine alluviale du haut Sébaou se situe à une centaine de kilomètres à l'Est-Sud-Est d'Alger. Elle occupe le synclinal miocène de Tizi-Ouzou, limité au Sud et à l'Est par la chaîne calcaire (Djurdjura), au Nord et en partie à l'Ouest par la chaîne côtière. La fertilité des sols et la disponibilité de la ressource en eau de la région, font des plaines de l'oued Sébaou le grenier de la Grande Kabylie.

De Tizi-Ouzou à Azazga, Ain-el-Hammam et Larba-Nath-Irathen, le visiteur non averti ne cessera de découvrir des paysages verdoyants qu'offrent les vergers d'oliviers, les forêts de chêne liège et de sapins témoignant d'une pluviosité importante; comme il pourra admirer de très belles pièces de l'artisanat traditionnel, comme par exemple la poterie et les bijoux en argent, faits en particulier à Béni-Yenni.

Ethymologiquement Tizi-ouzou veut dire Col des Genêts (Tizi=col, Ouzou=genêts). C'est la Wilaya (ou chef-lieu du Département) de la Grande Kabylie.

Le développement des industries, comme par exemple le textile à Dra-Ben-Khedda, la construction automobile dans la zone industrielle de l'oued Aissi, l'électroménager à Fréha, ainsi que la construction de la nouvelle ville de Tizi-Ouzou et de l'Université à Hasnaoua reflètent les efforts consentis pour un niveau de vie meilleur du citoyen.

Mais les besoins en eau croissants dû à l'essor industriel et à la démographie galopante (taux d'accroissement démographique = 3,2%) ne peuvent plus être satisfaits à cause de l'irrégularité et de la diminution de la pluviométrie surtout depuis l'année 1976.

Dans le souci de remédier à ce problème vital, il est impératif à notre avis si l'on veut instaurer une gestion rationnelle de l'aquifère alluvionnaire, de réaliser d'une part les retenues collinaires en projet pour récupérer une partie du ruissellement de surface, d'autre part d'envisager d'exploiter l'aquifère karstique du Djurdjura.

2 - BUTS DE L'ÉTUDE

La direction de l'hydraulique de la Wilaya de Tizi-Ouzou (D.H.W.T.O.) chargée de satisfaire les besoins en eau, exploite l'aquifère, du haut Sébaou sur la base des travaux et études effectués antérieurement.

D'après l'étude hydrogéologique de Y.CHADRINE (1974), le débit exploitable est de l'ordre de 800 l/s, or, il s'avère actuellement que ce débit est surestimé.

Cette étude hydrogéologique a pour but de contribuer en partie, à la recherche d'une solution efficace de ce problème crucial.

Pour ce faire, nous nous proposons:

- de quantifier les paramètres hydroclimatiques;
- d'étudier la nature du remplissage alluvial, sa géométrie, ainsi que ses relations avec le bassin versant;
- de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère;
- d'analyser les paramètres physico-chimiques de l'eau;
- enfin d'estimer les ressources exploitables.

3 - MÉTHODES D'ÉTUDES

3.1 - ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

L'exploitation des données (pluviométrie, température..) par de là les lacunes qui subsistent dans les séries, nous permet grâce aux méthodes empiriques et statistiques de caractériser le climat de la région étudiée et d'évaluer l'impluvium régulateur de l'aquifère.

L'aboutissement de cette étude est l'établissement d'un bilan hydrologique.

3.2 - ETUDE GEOLOGIQUE

Le bassin versant est constitué par des formations d'âge paléozoïque à quaternaire affectées d'une tectonique souple et cassante. L'orogénèse alpine est la plus caractéristique de la région.

Du point de vue intérêt hydrogéologique, seules les formations alluvionnaires du quaternaire et les formations jurassiques et crétacées du Djurdjura (chaîne calcaire) jouent le rôle de réservoir, quand au Miocène marneux son rôle de substratum imperméable pour la nappe du quaternaire n'est pas négligeable.

3.3 - ETUDE PIEZOMETRIQUE

A partir d'un inventaire de points d'eau nivelés (puits) régulièrement distribués sur l'étendue de l'aquifère, nous avons effectué deux relevés piézométriques en hautes et basses eaux, afin d'une part de visualiser l'hydrodynamique souterraine, d'autre part de comprendre l'évolution dans le temps de cette piézométrie.

3.4 - ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

La possibilité de chiffrer ces caractéristiques hydrodynamiques à savoir T, S et K nous est offerte par la disponibilité des données d'essais de débit effectués par la D.H.W.T.O. Quoique la réalisation de ces essais n'était pas dans le but de tester ni l'aquifère, ni l'ouvrage de captage, l'emploi de diverses méthodes d'interprétation permet d'atteindre des ordres de grandeur cohérents de T, S et K.

3.5 - ETUDE HYDROCHIMIQUE

La composition chimique d'une eau peut être très souvent à l'origine des méfaits divers dans différents domaines de son utilisation; En particulier de certaines maladies dans celui de la consommation. C'est pourquoi, il est utile de connaître avant l'exploitation pour telle ou telle utilisation, la nature de l'évolution du chimisme des eaux, faute de quoi il faudrait les traiter.

Pour notre part, nous essayerons, malgré le nombre restreint d'analyses dont nous disposons (deux campagnes d'échantillonnage seulement: hautes et basses eaux) de mettre en évidence tous les critères chimiques, pouvant ou non rapprocher les eaux de l'aquifère du haut Sébaou des eaux affichant les normes de bonne qualité.

3.6 - ESTIMATION DES RESSOURCES EXPLOITABLES

Au terme de ce chapitre, le calcul de la variation des réserves par les méthodes du bilan hydrologique et hydrogéologique, permettra de nous rendre compte de la cohérence de nos résultats.

De l'ordre de grandeur obtenu pour ces réserves dans les deux cas dépendra d'une part l'estimation des ressources exploitables et d'autre part la gestion future de la nappe.

CHAPITRE 1

ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

A - CLIMATOLOGIE

INTRODUCTION

1 - ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES ET MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT

- 1.1. Les paramètres physiques
- 1.2. Les paramètres morphologiques

2 - LES PARAMETRES CLIMATIQUES

- 2.1. La pluviométrie
- 2.2. La température
- 2.3. Le vent
- 2.4. L'humidité relative
- 2.5. Les diagrammes pluviothermiques
- 2.6. Le climatogramme du bassin versant
- 2.7. Le régime thermique
- 2.8. Méthode ombrothermique

3 - DETERMINATIONS DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE

- 3.1. Méthode arithmétique
- 3.2. Méthode des polygones de Thiessen
- 3.3. Méthode des isohyètes

4 - ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION

- 4.1. L'évapotranspiration réelle (E.T.R.)
- 4.2. L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.)
- 4.3. Critique des résultats
- 4.4. Estimation de la lame d'eau ruisselée (TIXERON-BERKALOFF)

B - HYDROLOGIE DE SURFACE

INTRODUCTION

- 1. Généralités
- 2. Direction et profil en long de l'oued Sébar
- 3. Equipement du bassin versant

1 - APPORTS ET SORTIES

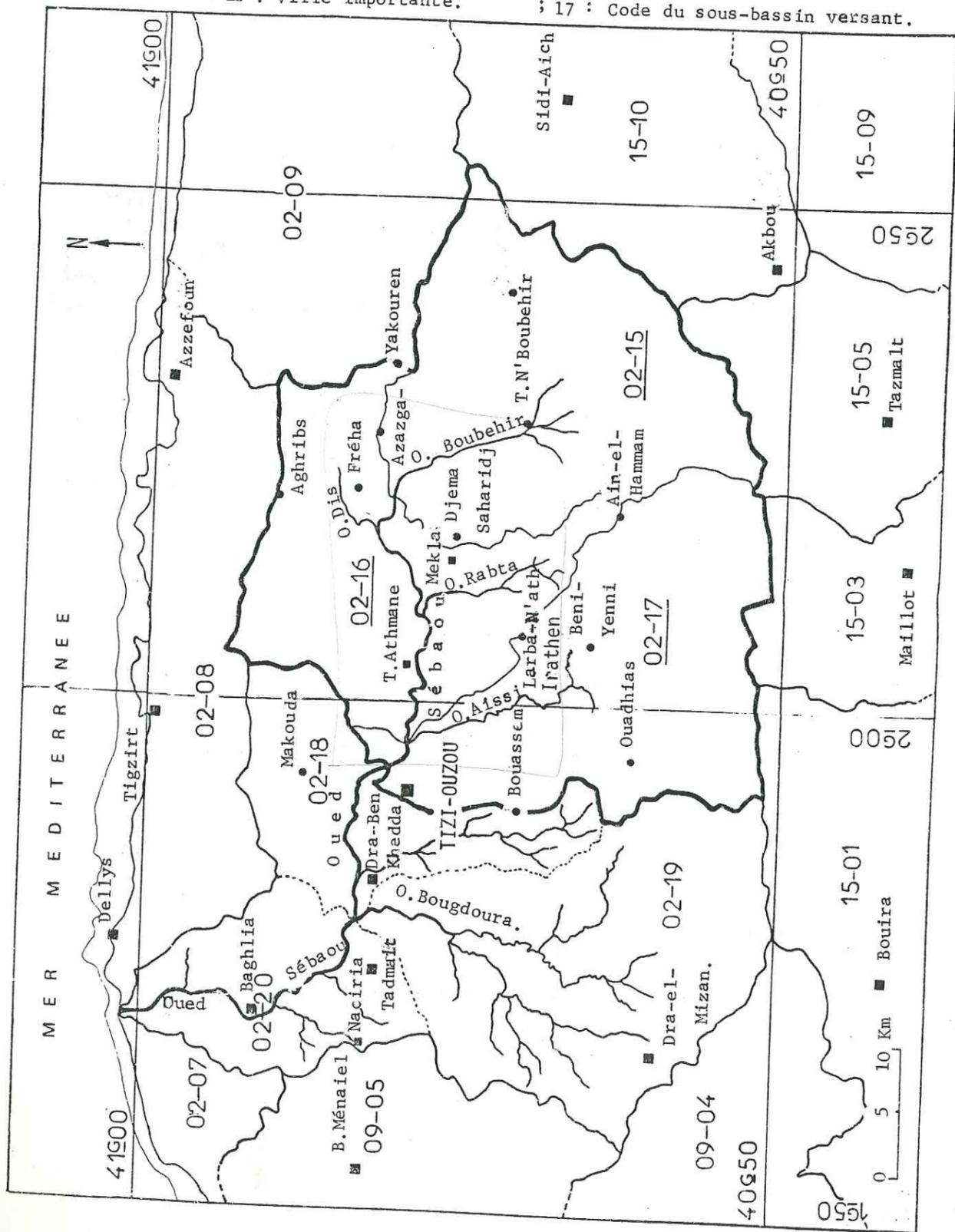
2 - ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE

CONCLUSION

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

Fig. 2 : Bassin versant hydrologique de l'oued Sébaou.

Légende.  : Limite du bassin versant du Haut-Sébaou.
 • : Station pluviométrique ; 02 : Code du bassin versant
 • ■ : Ville importante. ; 17 : Code du sous-bassin versant.



A - CLIMATOLOGIE

INTRODUCTION

Le climat dans son contexte le plus général résulte de la confrontation de deux types de facteurs:

- 1/ les facteurs météorologiques
- 2/ les facteurs géographiques.

1 - LES FACTEURS MÉTÉOROLOGIQUES EN ALGÉRIE

L'Algérie est envahie soit par une masse d'air polaire (Atlantique nord) froide et humide, soit par des masses d'air tropical chaud et humide (Atlantique sud). Ces dernières sont liées à l'anticyclone des Açores.

L'irrégularité saisonnière est liée comme pour l'interannuelle à l'origine et au déplacement des fronts de vents dominants.

2 - LES FACTEURS GÉOGRAPHIQUES

La répartition des tendances climatiques en Algérie, en fonction des facteurs géographiques intéresse l'Algérie du Nord, c'est-à-dire, de la Méditerranée à l'Atlas Saharien.

La grande diversité des tendances climatiques va de pair avec: le relief, l'altitude, l'orientation des vents et la distance par rapport à la mer. La pluviométrie en Algérie est en moyenne annuelle:

$$2000 \text{ m} \leq P \leq 200 \text{ mm}$$

Les vents du Nord-Ouest, en rencontrant l'écran des chaînes ibériques (Espagne), et celui de l'Atlas marocain, arrivent à sec sur le Nord-Ouest algérien (Oranie); ensuite se rechargeant en Méditerranée, ils se déchargent sur le Tell septentrional (chaînes du Djurdjura et des Babors).

Du fait de ces écrans, on peut distinguer:

- 1- zone de climat méditerranéen;
- 2- zone de l'Atlas tellien;
- 3- zone des Hautes plaines;
- 4- zone du sud de l'Atlas saharien et du Sahara.

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

3) SITUATION DE LA VALLEE DE L'OUED SEBAOU (fig. 1, p.2)

La vallée de l'oued Sébaou, zone déprimée du versant nord du Djurdjura qui culmine à 2308 m (Lala Khedidja) est à une centaine (100) de kilomètres à l'E - SE. d'Alger et à une vingtaine (20) de kilomètres de la Méditerranée.

Cette vallée "grenier" de la Grande Kabylie est l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie du Nord. Le bassin versant à une superficie de 2 500 km².

4) LE BASSIN VERSANT DE LA REGION ETUDIEE (fig. 2)

L'étude porte sur la haute vallée de l'oued Sébaou située à l'Est du chef lieu de la Wilaya de Grande Kabylie (Tizi-Ouzou). La surface du bassin versant est de 1 432 km².

1 - ETUDE DES PARAMÈTRES PHYSIQUES ET MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT

1.1 - LES PARAMETRES PHYSIQUES

1.1.a - La lithologie

Le bassin versant du Haut Sébaou est constitué du socle kabyle et de la chaîne calcaire qui le délimitent au Sud, du socle kabyle, flysch et olistostrome qui le délimitent au Nord et à l'Est. A l'Ouest, le Miocène post-nappe qui tapisse toute la vallée, butte contre le Djébel Belloua (constitué du socle Kabyle) fermant ainsi la haute vallée du Sébaou.

1.1.b - La végétation

La végétation est très dense en Kabylie. En basse altitude, l'arbre dominant est l'olivier. Sur les flancs du Djurdjura le chêne et le cèdre dominant.

1.2 - LES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES

1.2.a - Les paramètres de forme

1.2.a.1 - Indice de compacité de Gravelius

La surface du bassin versant est de 1432 km², pour un périmètre de 190 kms.

Définition: L'indice de compacité de Gravelius est établi en comparant le périmètre du bassin versant à celui d'un cercle occupant une superficie équivalente. Dans notre cas, nous avons:

$$\text{Périmètre} = P = 190 \text{ kms}$$

$$\text{Superficie: } S = 1432 \text{ km}^2$$

d'où

$$K_G = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}} = 0.28 \times \frac{190}{\sqrt{1432}} = 1,40$$

Conclusion: l'indice de compacité de Gravelius étant supérieur à l'unité ($K_G = 1,40$), nous avons un bassin versant de forme allongée.

1.2.a.2 - Dimensions du rectangle équivalent

Soit:

L , la longueur et l , la largeur, les dimensions d'un rectangle équivalent à notre bassin versant étudié. Posons:

$$(L + l) = \frac{P}{2} = 95 \text{ kms}$$

$$(L \times l) = S = 1432 \text{ km}^2$$

La connaissance de ces dimensions passe par la résolution de l'équation du second degré de type:

$$x^2 - Ax + S = 0 \text{ soit } x^2 - 95x + 1432 = 0$$

qui nous donne $L = 76 \text{ kms}$

$$l = 19 \text{ kms}$$

1.2.b - Les paramètres de relief

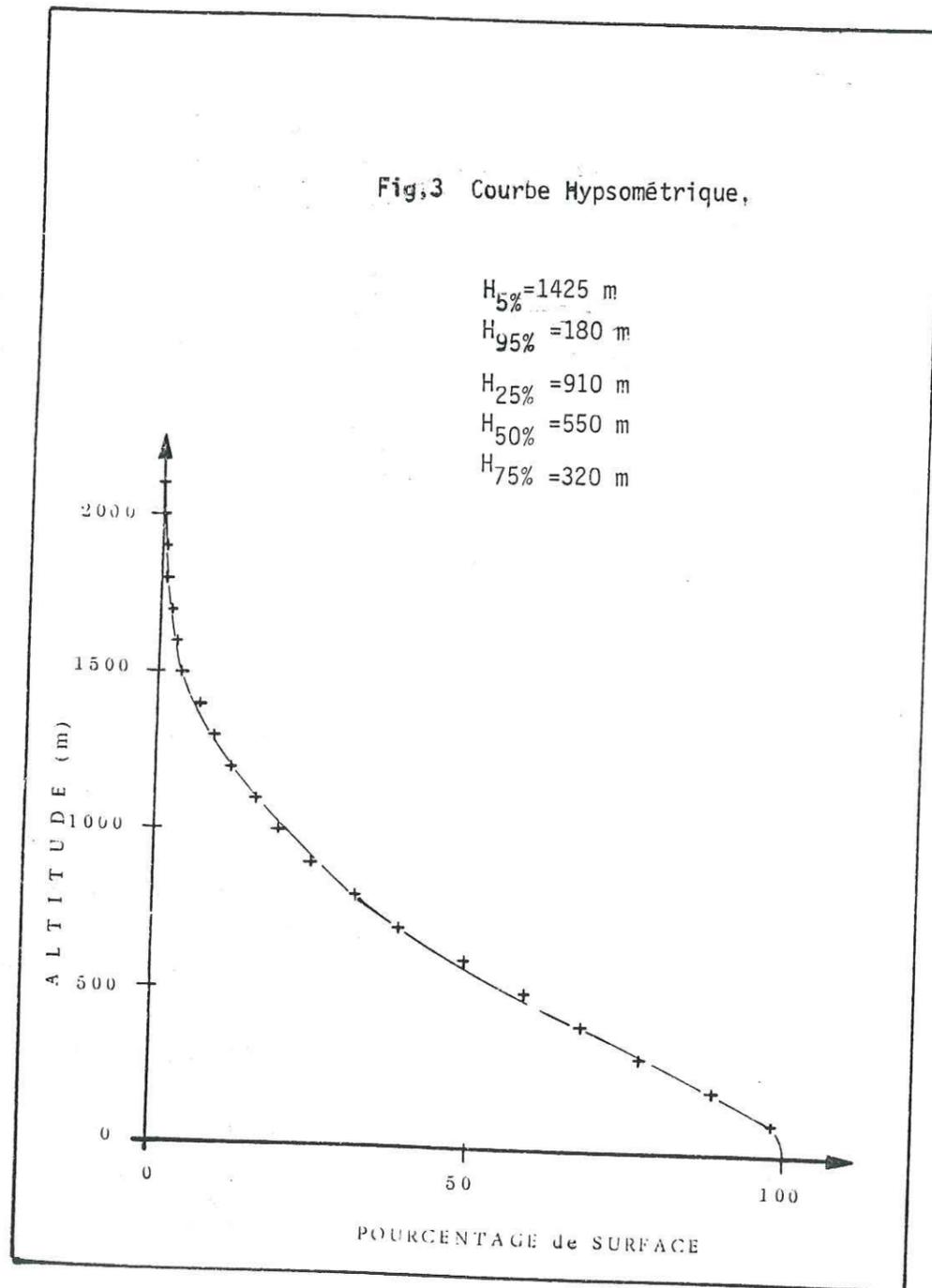
1.2.b.1 - La répartition des altitudes

Avec un assemblage de huit (08) cartes topographiques au 1/50.000e:

- 1- Azzazga (1935) (Service géographique de l'armée)
- 2- Tizi-Ouzou (1935) (Service géographique de l'armée)
- 3- Djebba - Cap Sigli (1961) (Service Géographique de l'armée)
- 4- Sidi Aïch (1959) (Service Géographique de l'armée)
- 5- Larba-N'Ath-Irathem (1961) (Service Géographique de l'armée)
- 6- Tazmalt (1959-1960) (Service Géographique de l'armée)
- 7- BOUIRA (1961) (Service Géographique de l'armée)
- 8- Dra-el-Mizan (1952) (Service Géographique de l'armée).

Nous avons délimité le bassin versant hydrologique. Par la méthode du carroyage Lambert, nous avons pu reconstituer le maximum des altitudes. Ceci nous a permis de calculer l'altitude moyenne du bassin versant grâce à la formule

$$H_{\text{moyen}} = \frac{\sum a_i h_i}{\sum a_i} = 656 \text{ m}$$



Le tableau suivant regroupe les éléments de calcul.

Classes d'altitude	a_i	h_i	$a_i h_i$	a_i cummuls	% de surface supérieur à
0-100	30	50	1500	1539	100 %
101-200	151	150	22650	1509	98 %
201-300	175	250	43750	1358	88.24 %
301-400	142	350	49700	1183	76.97 %
401-500	143	450	64350	1041	67.64 %
501-600	142	550	78100	898	58.35 %
601-700	158	650	102700	756	49.12 %
701-800	110	750	82500	598	38.85 %
801-900	107	850	90950	488	31.73 %
901-1000	82	950	77900	381	24.75 %
1001-1100	58	1050	60900	299	19.43 %
1101-1200	59	1150	67850	241	15.66 %
1201-1300	47	1250	58750	182	11.82 %
1301-1400	36	1350	48600	135	1.73 %
1401-1500	33	1450	47850	99	6.43 %
1501-1600	24	1550	37200	66	4.30 %
1601-1700	17	1650	28050	42	2.73 %
1701-1800	14	1750	24500	75	1.62 %
1801-1900	5	1850	9250	11	0.71 %
1901-2000	3	1950	5850	6	0.39 %
2001-2100	1	2050	2050	3	0.20 %
2101-2200	2	2150	4300	2	0.13 %
	$\Sigma a_i = 1539$	$\Sigma a_i h_i = 1009250$			

Tableau 1: Calcul de l'altitude moyenne du bassin versant

1.2.b.2 - Etablissement de la courbe hypsométrique (Fig.3),

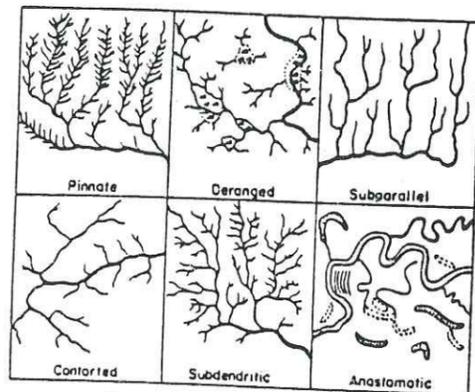
Cette courbe se construit en portant en ordonnée les altitudes, et en abscisse les fréquences cummulées des surfaces

De cette courbe nous pourrions déduire des données caractéristiques, telles que:

- Altitude de fréquence: 1/4 correspondant à une surface de même fréquence.
- Altitude de fréquence: 1/2 correspondant à une surface de même fréquence
- Altitude de fréquence 3/4 correspondant à une surface de même fréquence

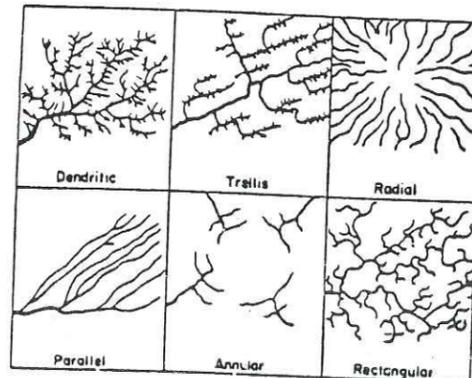
Ces données sont d'autant plus intéressantes qu'elles permettent de mieux visualiser la répartition de la superficie en fonction de l'altitude.

Fig.4. Le chevelu Hydrographique.



Some commonly occurring stream patterns. (By permission from R. H. L. Howe, The Application of Aerial Photographic Interpretation to the Investigation of Hydrologic Problems, Photogrammetric Eng., vol. 26, no. 1, 1960.)

DYNAMIC HYDROLOGY



1.2.b.3 - Calcul de l'indice de pente globale

A partir de la courbe hypsométrique, nous déduisons les altitudes de fréquence 5% et 95%, donc h 5% et h 95%.

La formule donnant cet indice est:

$$I_G = \frac{h_{5\%} - h_{95\%}}{L} \quad L = \text{longueur du rectangle équivalent}$$

avec: $h_{5\%} = 1510 \text{ m}$

$h_{95\%} = 176 \text{ m}$

$L = 76,00 \text{ km}$

nous obtenons $I_G = 175 \cdot 10^{-4}$

1.2.c - Les paramètres morphométriques

1.2.c.1 - Le chevelu hydrographique (fig. 4)

a/ Structure du réseau en plan - Nous avons essayé de restituer le réseau hydrographique comme pour l'estimation de l'altitude moyenne, nous avons utilisé 8 cartes topographiques (citées précédemment). D'après le tracé obtenu, nous remarquons que le réseau est très variable, en effet, nous avons des réseaux parallèles et subparallèles, dendritiques et subdendritiques, et enfin de l'anastomatique dans la vallée.

b/ Classification des thalwegs (WISHER et BROTHER) - Dans cette classification l'ordre un (01) est affecté au cours d'eau ne recevant aucun affluent, l'ordre deux (02) à ceux qui ne reçoivent que les affluents d'ordre un, etc..

Nous avons appliqué cette méthode sur notre terrain, et nous obtenons les résultats suivants. Le thalweg principal est d'ordre huit (08).(fig.5).

Application de la loi de HORTON

1ère loi: Pour un bassin versant donné, le nombre N_x de thalwegs s'ordonne suivant une loi géométrique inverse:

$$U_n = \frac{U_1}{q^{n-1}} \quad (1) \quad \text{avec}$$

U_1 = 1er terme
 q = raison
 U_n = terme général

HORTON démontre que:

Si le nombre de thalweg d'ordre 1 est N_1
 " " " " " " 2 est N_2
 " " " " " " 3 est N_3
 " " " " " " x est N_x

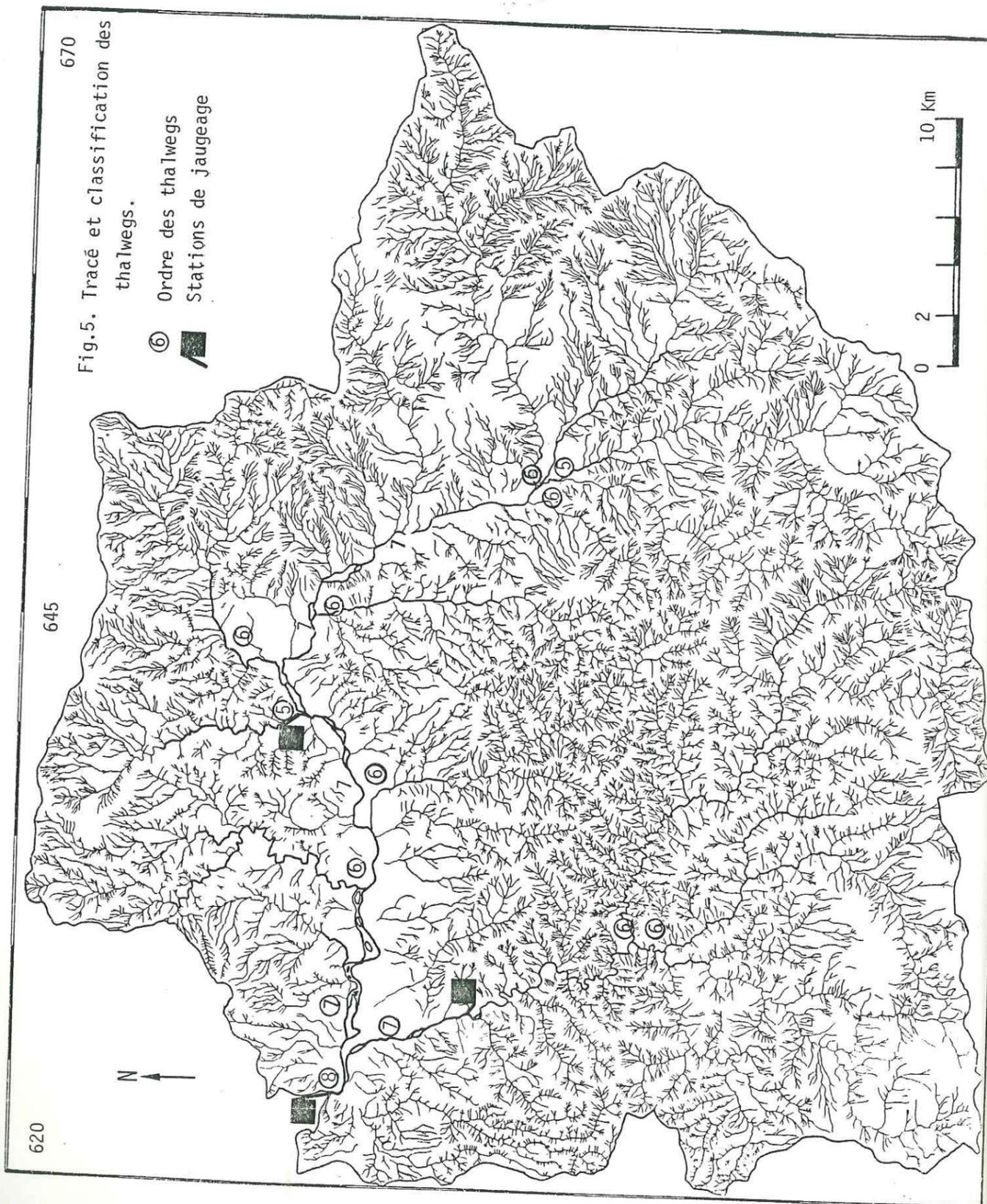


Fig.5. Tracé et classification des thalwegs.

⑥ Ordre des thalwegs
 ■ Stations de jaugeage

on aura:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{N_2}{N_3} = \frac{N_3}{N_4} = \dots = \frac{N_{x-1}}{N_x} = R_c = \text{constante (2)} \quad (R_c = \text{rapport de confluence})$$

La combinaison de (1) et (2) donne:

$$\begin{aligned} N_2 &= \frac{N_1}{R_c} \\ N_3 &= \frac{N_2}{R_c} = \frac{N_1}{R_c^2} \\ \vdots \\ N_x &= \frac{N_{x-1}}{R_c} = \frac{N_1}{R_c^{x-1}} \end{aligned}$$

En passant aux logarithmes, nous obtenons:

$$\log N_x = \log N_1 - (x-1) \log R_c = \frac{\log N_1 + \log R_c}{B} - \frac{x \log R_c}{A}$$

$$\log N_x = -Ax + B$$

La représentation graphique sur papier semi-logarithmique (fig. 6) de cette loi permet de déduire le nombre de chaque ordre de thalweg. Dans le cas présent, nous avons:

- nombre de thalwegs d'ordre 5 est 29
- " " " " 6 est 7
- " " " " 7 est 2
- " " " " 8 est 1

Remarque: L'ordre 8 ne sera pas pris en compte dans le raisonnement qui va suivre, car il n'est pas entier sur notre terrain. En remplaçant chaque ordre par sa valeur, dans les égalités précédentes, on détermine le rapport de confluence. En effet:

$$\frac{N_5}{N_6} = \frac{29}{7} = 4.14 = R_{c1} \quad \frac{N_6}{N_7} = \frac{7}{2} = 3.50 = R_{c2}$$

Nous remarquons que R_{c1} et R_{c2} sont à peu près de même ordre de grandeur. Connaissant le nombre de thalwegs d'ordre 5, 6 et 7 et en prenant pour $R_c = 4$; nous avons représenté la droite

$$\log N_x = -Ax + B \quad (\text{fig. 6}).$$

A partir de laquelle nous déduisons le nombre de thalwegs des ordres: 4, 3, 2 et 1 qui sont les suivants:

Ordre des thalwegs	Nombre de thalwegs
4	116
3	356
2	1424
1	5696

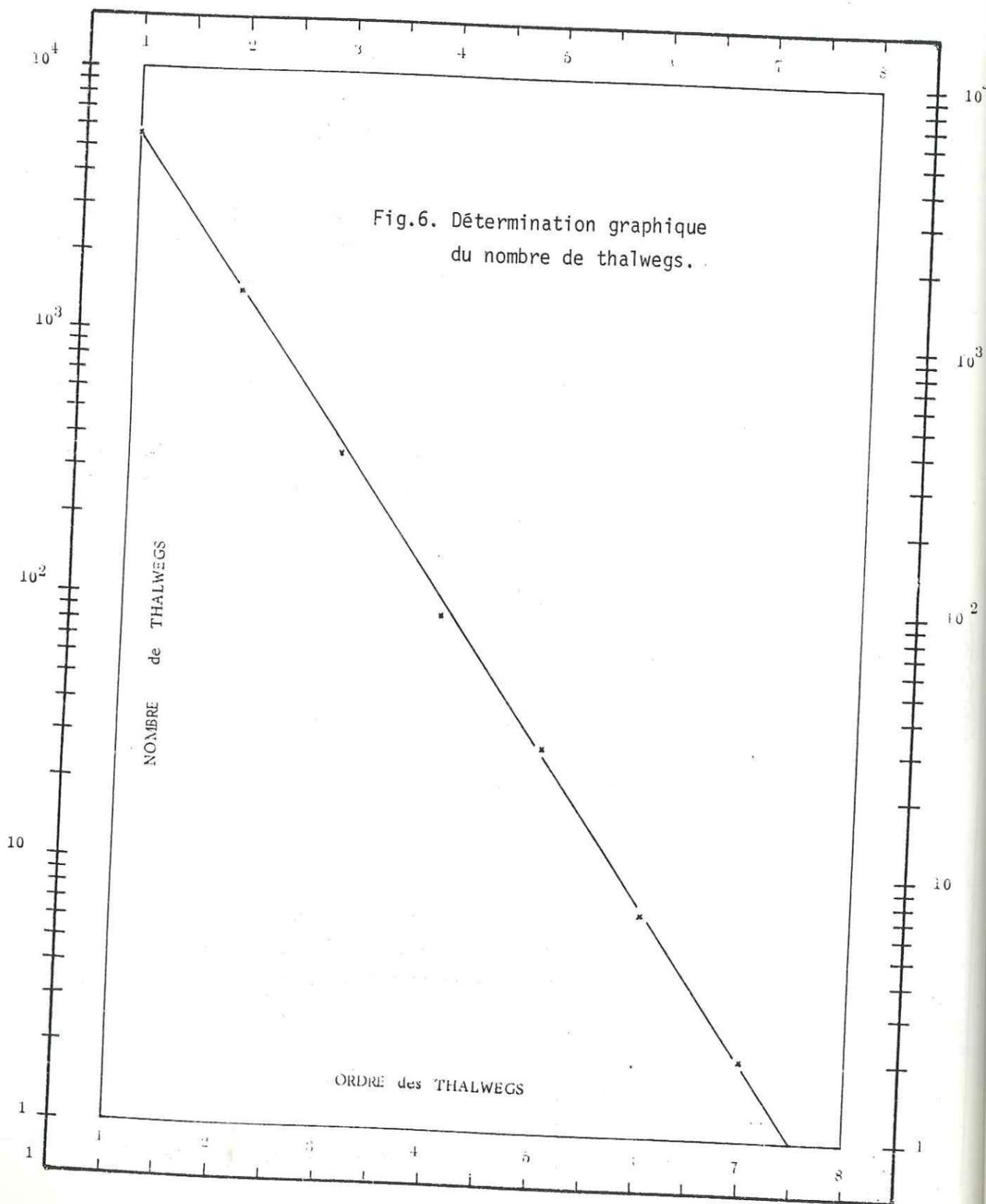


Tableau recapitulatif

Ordre des thalwegs	Nombre de thalwegs
8	1
7	2
6	7
5	29
4	116
3	356
2	1424
1	5696

Tableau 2: Ordre et nombre de thalwegs

Cette première loi, nous a permis de connaître le nombre total des thalwegs, et nous allons appliquer la 2e loi de SCHLUM et HORTON qui dit que: "Les longueurs moyennes des thalwegs suivent une loi géométrique directe, soit:

$$l_x = \frac{L_x}{N_x}$$

Connaissant les longueurs des thalwegs d'ordre 5 et 6, nous traçons la droite $l(x) = f(N_x)$ sur papier semi-log. (fig. 7).

A partir de ce graphique, nous déduisons la longueur moyenne de chaque ordre de thalweg, d'où la connaissance de la longueur totale de tous les thalwegs. Les longueurs obtenues sont:

- L1 = 5696 x 0.77 m = 4 385.92 km
- L2 = 1424 x 1.14 m = 1 623.36 km
- L3 = 356 x 2.30 m = 818.80 km
- L4 = 116 x 3.26 m = 378.16 km
- L5 = 29 x 5.50 m = 160.00 km
- L6 = 7 x 9.00 m = 63.00 km
- L7 = 2 x 11.40m = 28.80 km
- L8 = 1 x 24.00m = 24.00 km

la longueur totale $L_x = 7482$ kms

1.2.c.2- Calcul de la densité de drainage

La formule permettant de chiffrer ce paramètre est:

$$D_d = \frac{L_x}{A} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Longueur totale des thalwegs en kms} \\ \text{Superficie du bassin versant en km}^2 \end{array} \right\}$$

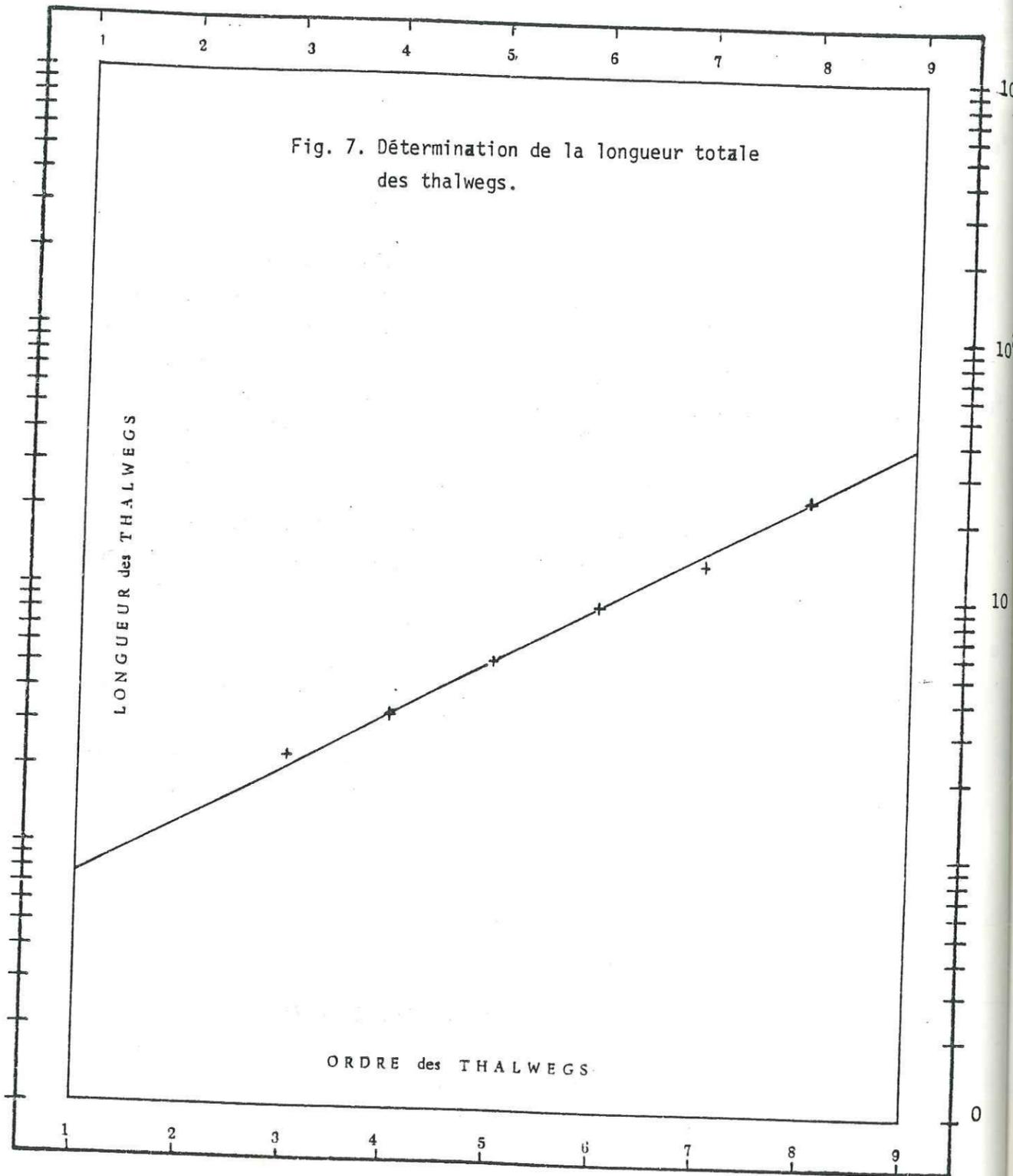
avec $\left. \begin{array}{l} L_x = 7\,482 \text{ kms} \\ A = 1\,432 \text{ kms} \end{array} \right\} \Rightarrow D_d = 5,23 \text{ km}^{-1}$

1.2.c.3- Le coefficient de torrentialité

Il se calcule à partir de la formule

$$C_T = D_d \times F_1 \quad \text{avec} \quad F_1 = \frac{N_1}{A} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Nombre thalwegs d'ordre 1} \\ \text{Surf. B.V.} \end{array} \right\}$$

F_1 : Fréquence des thalwegs d'ordre 1



$$F_1 = \frac{5696}{1432} = 3,98 \approx 4$$

$$C_T = 5,23 \times 3,98 = 20,84 \approx 21 \text{ km}^{-2}$$

1.3 - CONCLUSION

Dans ce paragraphe, traitant des paramètres physiques et morphologiques du bassin versant. Nous avons tenté de chiffrer le maximum de paramètres afin de visualiser concrètement les caractéristiques de la région étudiée. De même que nous avons réussi à caractériser la forme allongée du bassin versant, nous avons aussi pu estimer son altitude moyenne par la méthode du carroyage Lambert. Cette méthode est d'ailleurs à notre avis la plus adaptée au relief accidenté, contrairement à la méthode des courbes de niveau maitresses.

Le tracé de la courbe hypsométrique est l'aboutissement de la répartition de la superficie du bassin versant par tranches d'altitudes. Toutes ces déterminations sont d'une très grande importance pour des travaux ultérieurs, dans le cas par exemple de l'équipement d'un bassin versant expérimental.

L'approche tentée quant à la détermination de l'ordre, du nombre et des longueurs des thalwegs n'est pas aussi dénuée d'intérêts. Elle nous a permis de quantifier la densité de drainage, d'ailleurs non négligeable, et de ce fait confirme le caractère très peu perméable des formations géologiques constituant le bassin versant.

2 - LES PARAMÈTRES CLIMATIQUES

2.1 - LA PLUVIOMETRIE

2.1.a - Equipement du bassin versant (fig. 2, p.7)

Nous avons sur le bassin versant du Haut Sébaou dix (10) postes pluviométriques répartis à des altitudes allant de 155 m jusqu'à 1020m (tableau 3).

Le relevé pluviométrique est assuré quotidiennement à titre bénévole pour le compte de l'I.N.R.H. (ex. DEMRH), de sorte qu'à la fin de chaque mois, nous disposons d'un total pluviométrique mensuel pour chaque poste.

S T A T I O N S		Codes	Altitudes	Latitudes	Longitudes
Nouvelle typonymie	Ancienne typonymie				
Tighzert N'boubehir		02.15.01	220 m	36°38'	4°23' E
Djemaa Saharidj		02.15.03	370 m	36°42'	4°17' E
Azazga Ecole		02.15.04	430 m	36°45'	4°22' E
Ait Aïcha		02.15.09	1000 m	36°39'	4°30' E
Aghribs		02.16.01	730 m	36°49'	4°19' E
Fréha		02.16.03	155 m	36°46'	4°19' E
Ouadhias		02.07.01	450 m	38°33'	4°06' E
Ain-el- Hammam	Michelet	02.17.03	1020 m	36°35'	4°18' E
Larba-Nath Irathen	Fort National	02.17.05	942 m	36°36'	4°12' E
Beni Yenni		02.17.12	760 m	36°36'	4°11' E

Tableau 3: Stations pluviométriques du bassin versant du haut Sébaou.

Postes pluviométriques	Périodes de fonctionnement	Pluviosités annuelles moyennes	Ecart-types (mm)	Médianes (mm)
Tighzert N'boubehir	1969 - Actuel	917	196	944
Djemaa Saharidj	1949 - 1961	932	199	869
	1969 - Actuel	795	199	724
Azazga école	1921 - 1957	968	216	908
	1968 - Actuel	979	243	894
Ait Aïcha	1973 - Actuel	952	262	1006
Aghribs	1923 - 1954	1055	245	996
	1968 - Actuel	981	293	915
Fréha	1972 - Actuel	817	160	718
Ouadhias	1973 - Actuel	879	167	820
	1916 - 1943	1079	296	1026
Ain-el- Hammam	1968 - Actuel	1010	320	1017
	1910 - 1962	1001	262	1017
Larba-Nath- Irathen	1973 - Actuel	967	188	857
	1973 - Actuel	880	171	857

Tableau 4 : Périodes de fonctionnement et valeurs caractéristiques correspondantes

2.1.b - Périodes de fonctionnement des postes pluviométriques - Les données existantes

D'après le tableau.4, nous remarquons que les pluviosités moyennes varient entre 817 mm et 1079 mm et les écarts-types entre 171 mm et 320 mm.

Les pluviosités annuelles moyennes et les médianes correspondantes sont à peu près du même ordre de grandeur.

2.1.c - Traitement des données anciennes (Tableau. 5 .)

2.1.c.1 - Variations interannuelles de la pluviosité (fig. 8)

A partir des données relatives aux stations: Azazga-école, Ain-el-Hammam, Aghribs, nous avons construit le graphique des variations interannuelles sur lequel nous remarquons que trois cycles pluviométriques sont mis en évidence:

a/ antérieurement à 1916 et jusqu'en 1938, nous avons une augmentation de la pluviosité;

b/ entre 1938 et 1942, chute de la pluviosité et un deuxième cycle commence à partir de 1942 et durera jusqu'en 1968 (sous réserve des données manquantes).

c/ après 1968, à nouveau un cycle de baisse de la pluviosité reprend, ce dernier est plus important car il dure jusqu'à présent; nous remarquons entre autres qu'il coïncide avec la sécheresse du sahel.

2.1.c.2 - Variations mensuelles de la pluviosité (fig.9,p.25)

D'après les données du S.E.S. (Service d'études scientifique - section hydrologie et climatologie, G. MEDINGER, 1956 - Birmandreis) nous remarquons que le maximum des pluies est atteint au mois de Décembre à l'exception de la station de Larba-Nath-Irathen pour laquelle le maximum est atteint en Novembre.

Le minimum pluviométrique est par contre enregistré en Juillet.

2.1.d - Homogénéisation des données pluviométriques

2.1.d.1 - Ajustement des séries pluviométriques à loi normale ou loi de GAUSS (fig.18 à 27).

Le but de cet ajustement des séries pluviométriques à la loi normale est de définir le régime des précipitations dans l'espace et le temps; afin d'aboutir à des séries homogènes.

L'obtention d'un ajustement adéquat nous permettra de connaître la probabilité de la réalisation d'une pluie particulière, ainsi que sa période de retour.

Mois Pluviométrie Stations	Année												
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	
Azazga	37	77	122	211	170	122	98	83	50	10	4	7	991
L.Nr-irathen	48	85	183	166	167	113	115	160	69	26	3	9	1034
Aghribs	51	97	132	215	195	130	112	92	55	11	4	8	1102
Yizi-Ouzou	38	79	114	171	155	95	90	68	50	20	4	6	890
A. el. Hammam	53	96	150	164	147	133	139	106	76	30	7	10	1111
Moyenne	45	87	146	185	167	119	111	102	60	19	5	8	1050

Tableau 5 DONNEES PLUVIOMETRIQUES (P. SELTZER: 1913-1938)

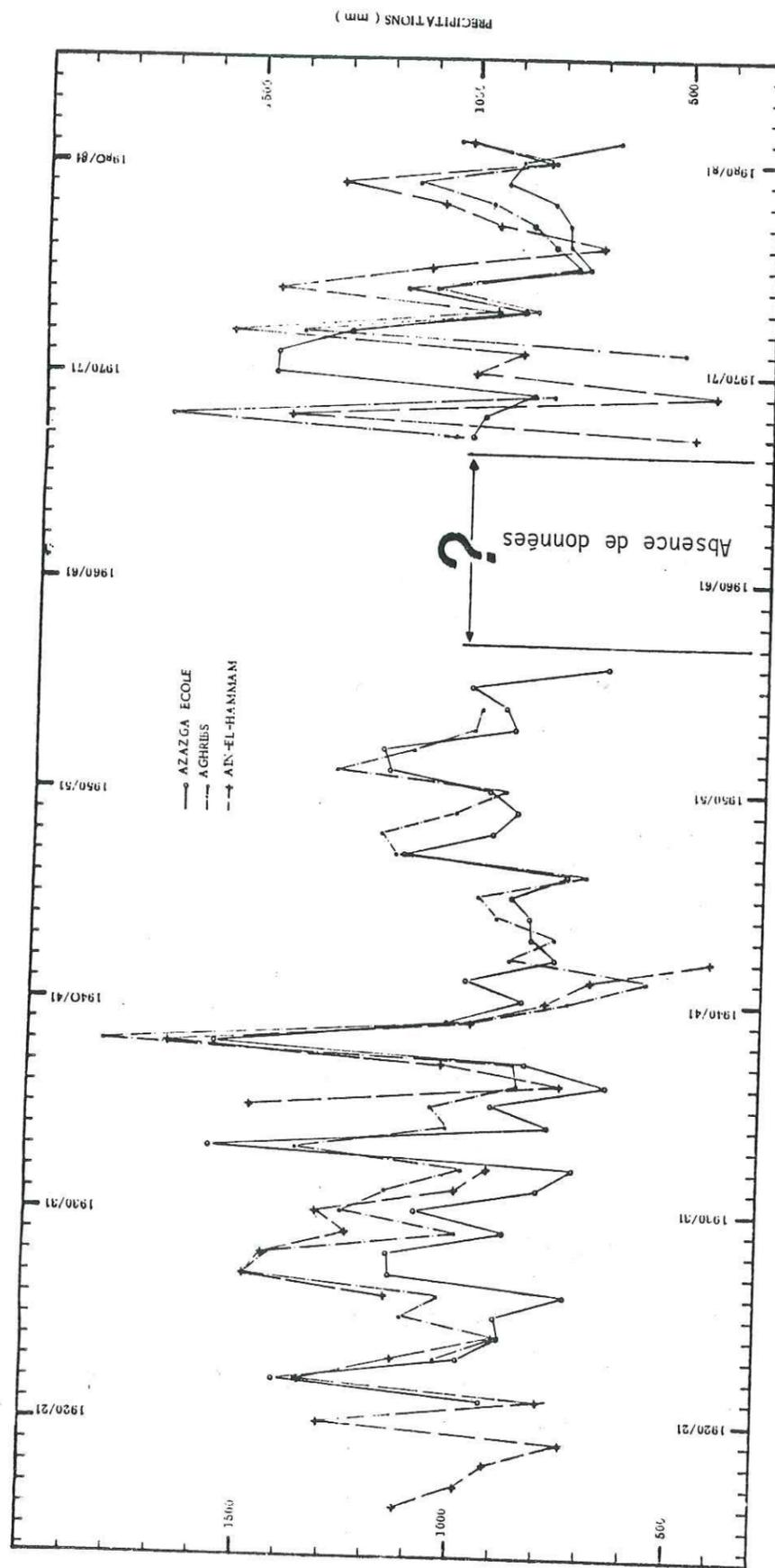


Fig. 8.: Variations interannuelles des précipitations.

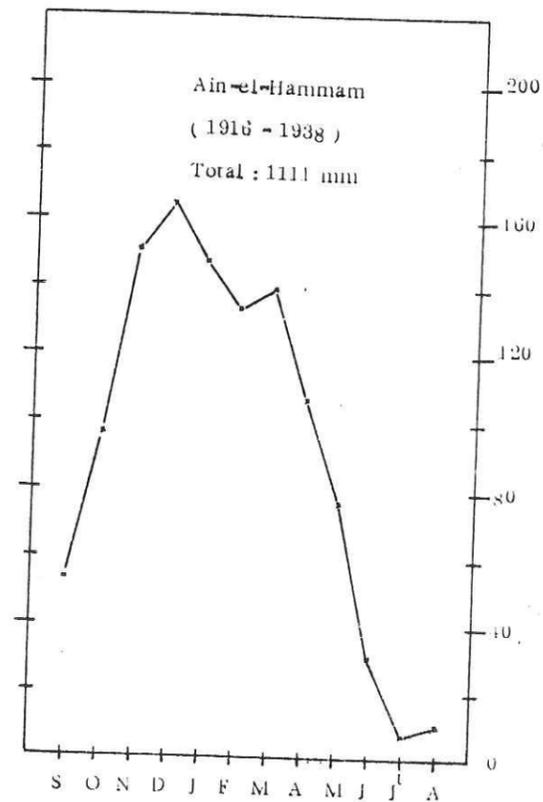
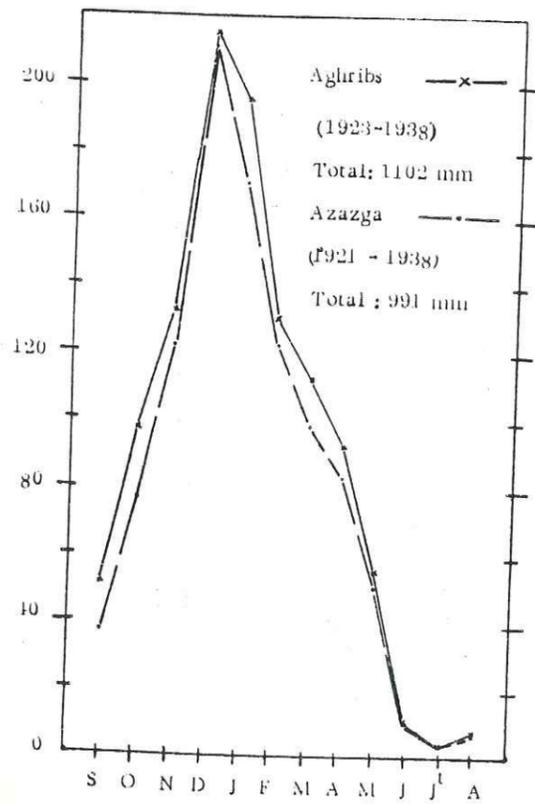
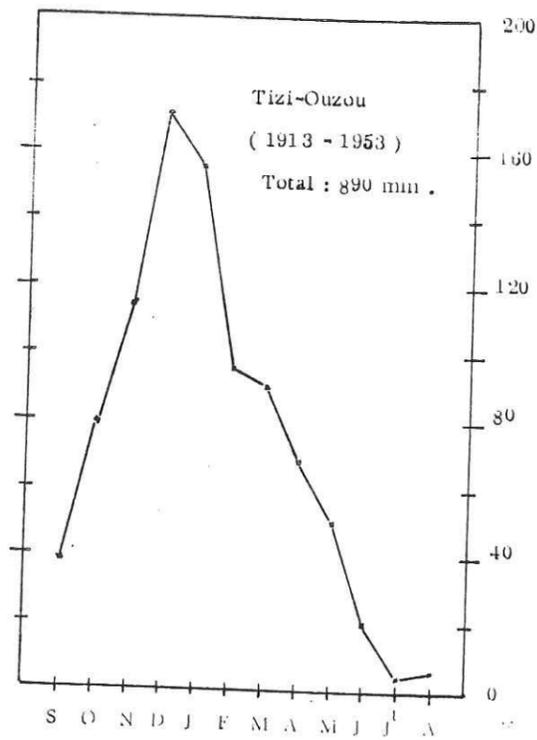
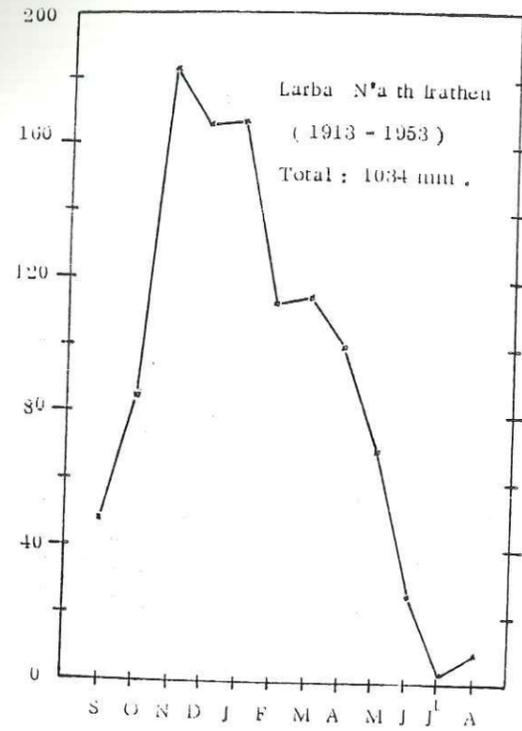


Fig.9 . Pluviométrie annuelle moyenne
(d'après G.MEDINGER.)

Tableau 6 :Caractéristiques des séries ajustées - Equation droite d'ajustement de Henry

Caractéristiques Stations	Périodes considérées	Moyenne (mm)	Ecart-Type (mm)	Coef.de variation	Equation de la droite de HENRY d'ajustement
Tighzert-N'					
Boubehir	1969-1983	917	196	0.21	$P = \pm 196 \mu + 917$
Azazga-Ecole	1921-1957	968	216	0.22	$P = \pm 216 \mu + 968$
Aït-Aïcha	1973-1983	953	262	0.27	$P = \pm 262 \mu + 953$
Aghribs	1923-1955	1055	245	0.23	$P = \pm 245 \mu + 1055$
Fréha	1973-1933	817	160	0.20	$P = \pm 160 \mu + 817$
Ouadhias	1972-1983	879	167	0.19	$P = \pm 167 \mu + 879$
Aïn-el-Hammam	1910-1962	1021	262	0.26	$P = \pm 262 \mu + 1021$
L.Nath-Irathen	1968-1983	957	188	0.20	$P = \pm 188 \mu + 957$
Beni-Yenni	1910-1962	1020	262	0.25	$P = \pm 262 \mu + 1020$
	1973-1983	880	171	0.19	$P = \pm 171 \mu + 880$

Tableau 7 : Périodes de retour (T=1/P)humides et sèches .

Périodes de retour Stations	H U M I D E					
	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans	
Tighzert-N' Boubehir	1080	1115	1270	1315	1370	
Azazga-Ecole	1153	1245	1360	1410	1470	
Aït-Aïcha	1165	1392	1420	1480	1560	
Aghribs	1260	1367	1495	1555	1625	
Fréha	947	1015	1100	1140	1177	
Ouadhias	1012	1085	1175	1210	1255	
Aïn-el-Hammam	1245	1360	1495	1965	1640	
L.Nath-Irathen	1110	1195	1305	1347	1400	
Beni-Yenni	1025	1100	1195	1225	1275	
	1245	1950	1465	1550	1625	
		S	E	C	H	E
T.N' Boubehir	750	665	595	515	460	
Azazga-Ecole	790	695	620	530	465	
Aït-Aïcha	725	610	515	405	330	
Aghribs	850	745	655	555	485	
Fréha	680	610	552	485	440	
Ouadhias	735	665	605	535	515	
Aïn-el-Hammam	805	685	590	485	410	
L.Nath-Irathen	800	720	650	570	520	
Beni-Yenni	735	660	600	525	475	
	795	680	590	480	400	

Les séries que nous avons ajusté présentent généralement un coefficient de variation $c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$ assez faible qui implique une assez faible dispersion de l'échantillon. Ceci témoigne de l'homogénéité des modules pluviométriques annuels observés.

Sur les figures 10 à 19, on remarque que les modules pluviométriques sont généralement alignés, sinon symétriques par rapport à la droite de HENRY d'ajustement tracée après report de trois points qui sont:

- le module pluviométrique annuel moyen P correspondant à la fréquence au dépassement $F = 0,50$;
- deux points extrêmes de fréquence $F=0,10$ et $F=0,90$, par exemple dont on calcule les ordonnées au moyen de l'équation de la droite de HENRY d'ajustement dont la formule est la suivante:

$$P = \bar{P} \pm U_{\alpha} / 2 \times \sigma$$

avec $u =$ variable réduite de GAUSS

$\alpha =$ seuil de fréquence au dépassement

Les tableaux 6 et 7, page 26, regroupent les résultats de l'ajustement des séries pour les stations considérées.

2.1.d.2 - Corrélations "double-masse" entre différentes stations "Régression linéaire"

Des résultats des corrélations, il ressort que les différentes stations peuvent bien être complémentaires les unes des autres, ne serait-ce que pour pallier aux lacunes de certaines séries, compte tenu des valeurs obtenues pour le coefficient de corrélation.

Toutefois, ces corrélations sont à prendre avec beaucoup de précautions, car nous pensons que les données que nous avons utilisées étaient déjà traitées au niveau de l'I.N.R.H. (Ex. DEMRH).

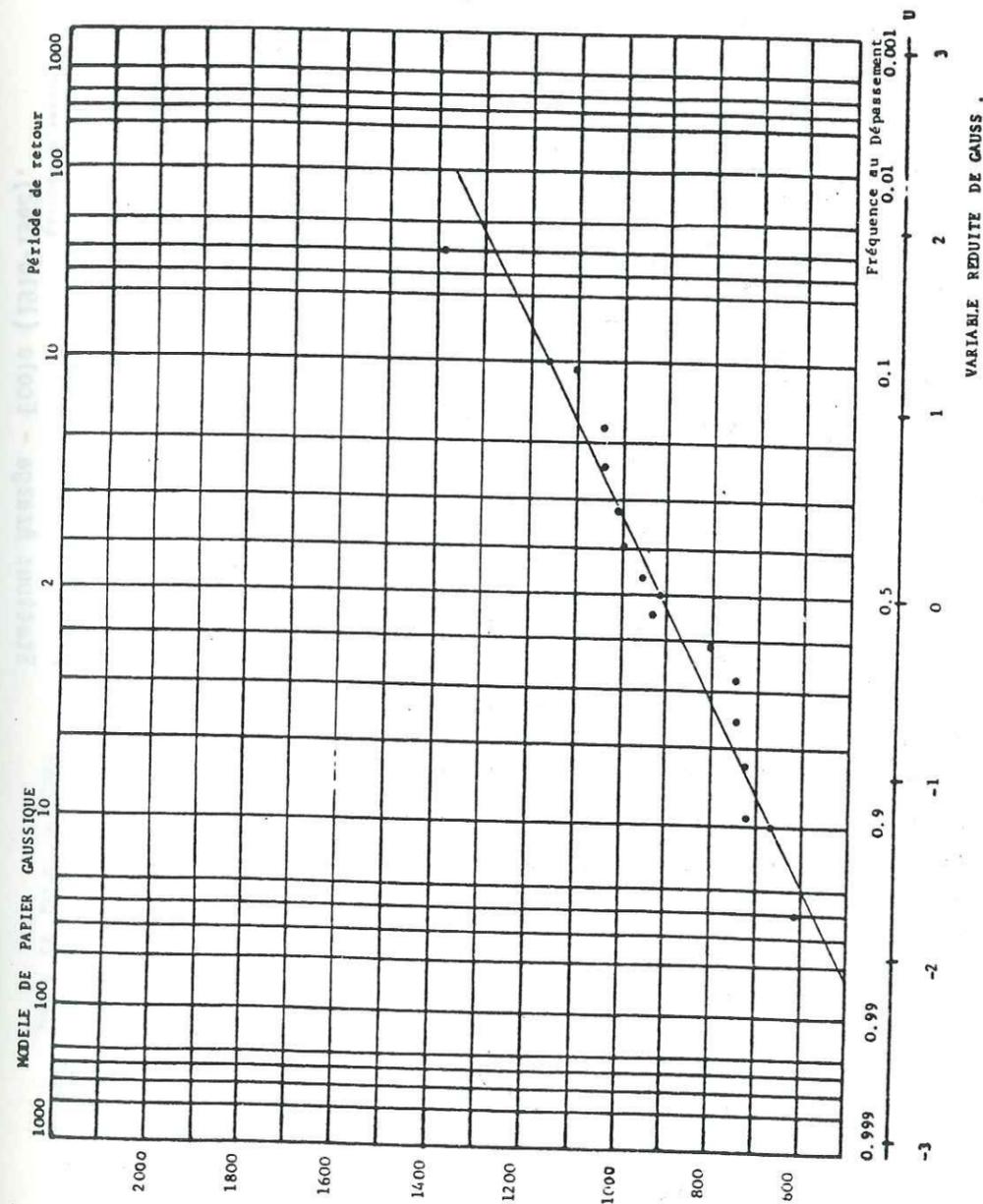


Fig. 10 . Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels.
Station : Tizert-N'boubehir (1973-1983).

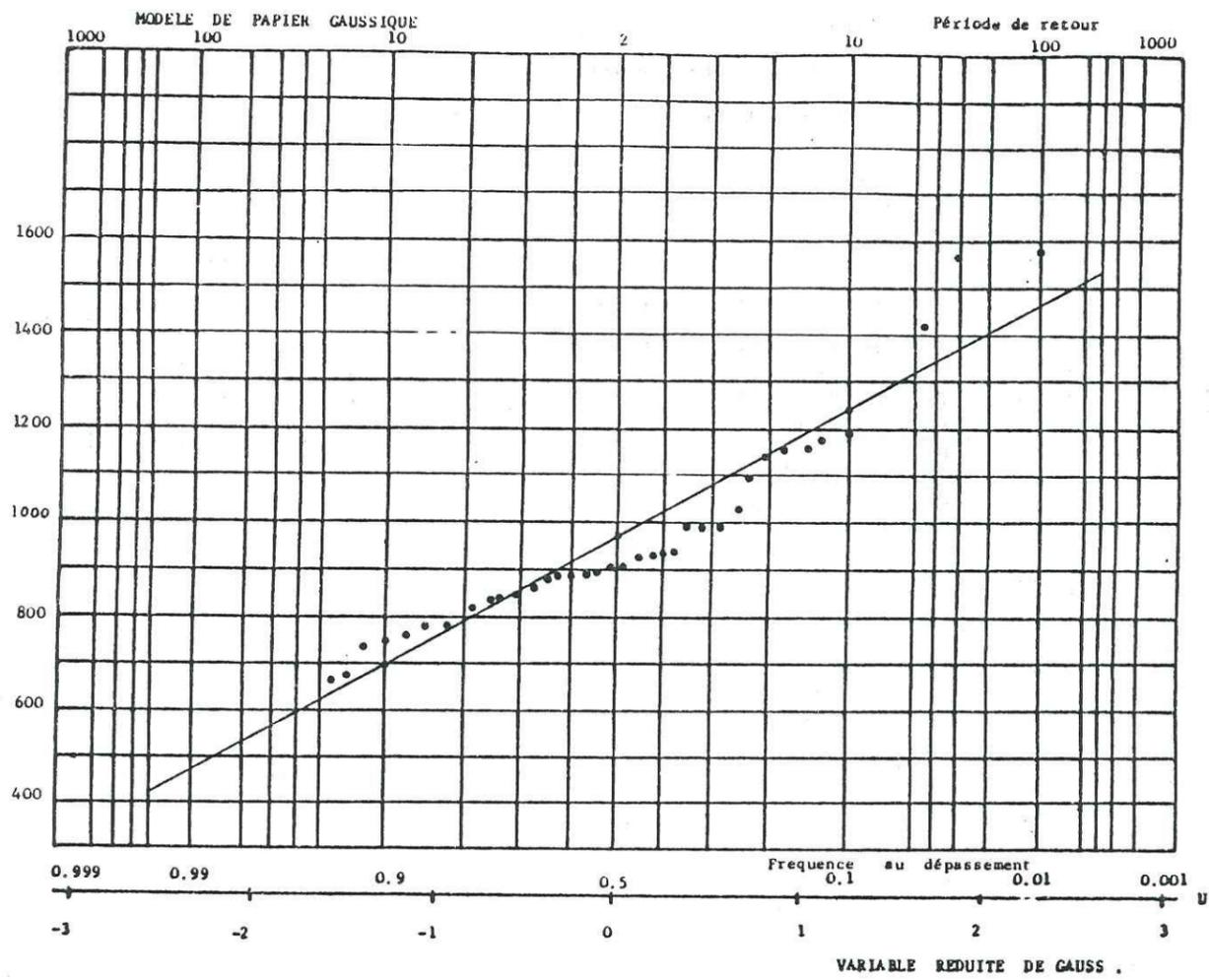


Fig. 11 . Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels.
Station: Azazga - Ecole (1910-1962).

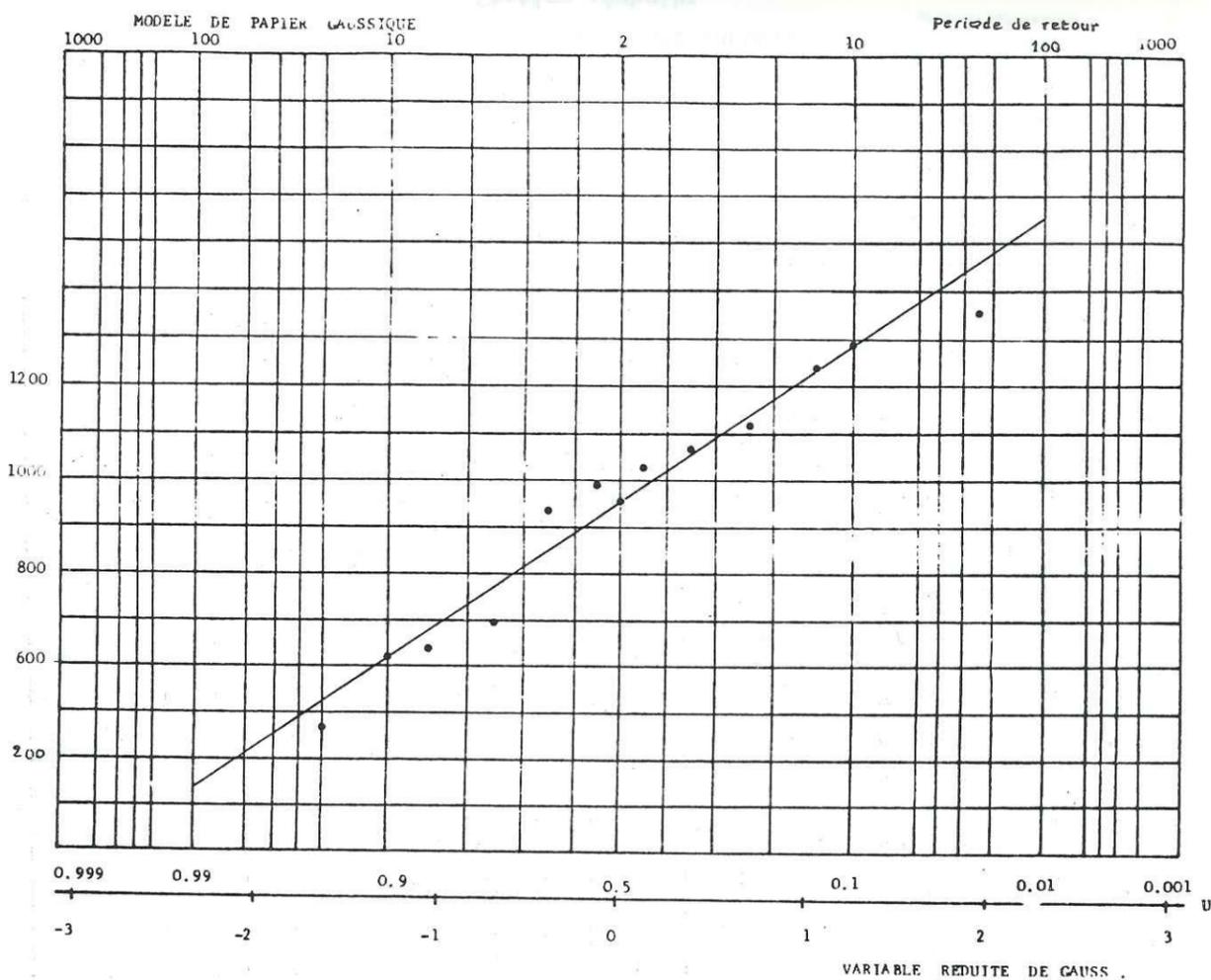


Fig. 12 . Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels.
Station Ait-aicha (1973-1983).

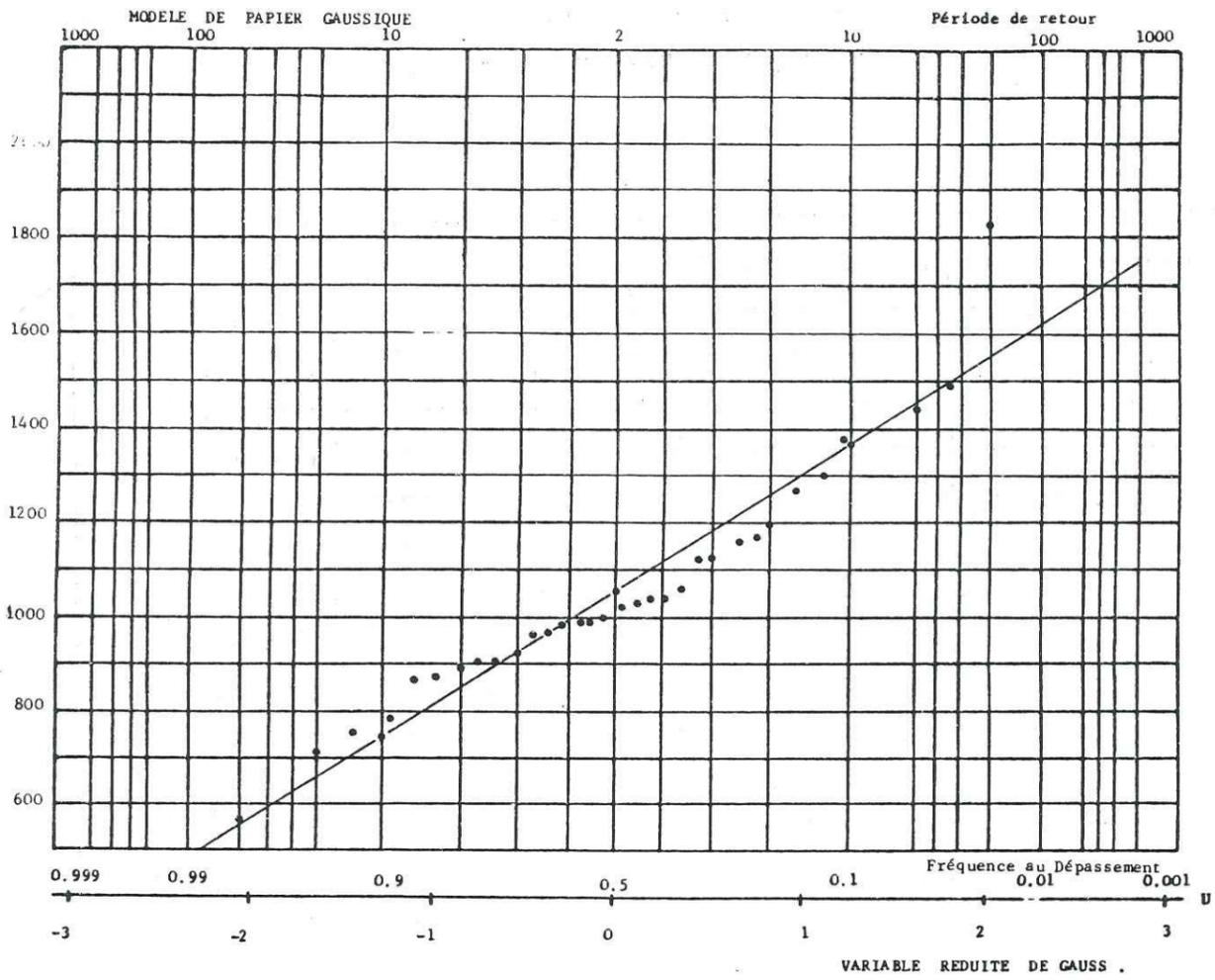


Fig. 13 .Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels Station :Aghribs

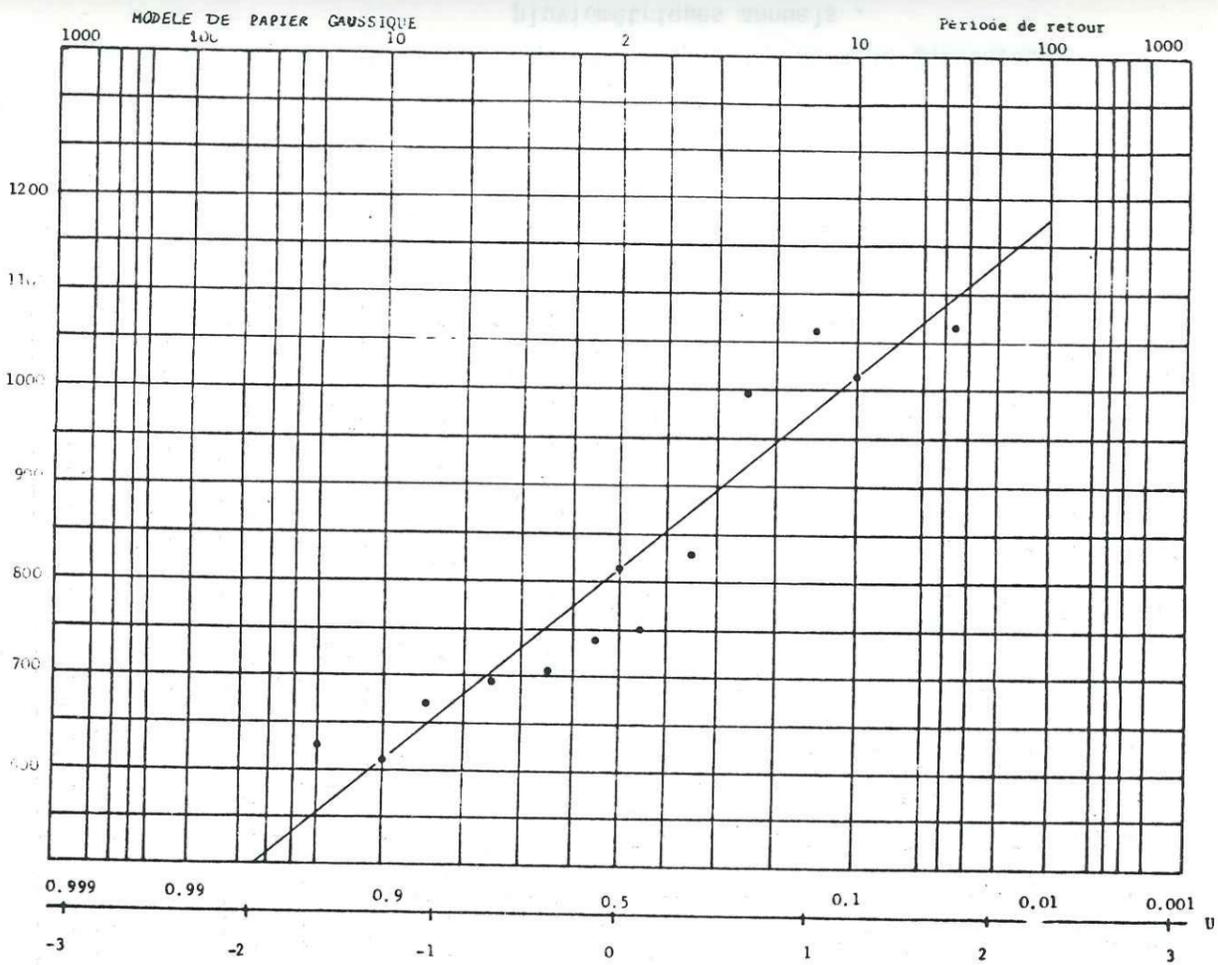


Fig. 14 , Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels . Station: Fréha (1973-1983).

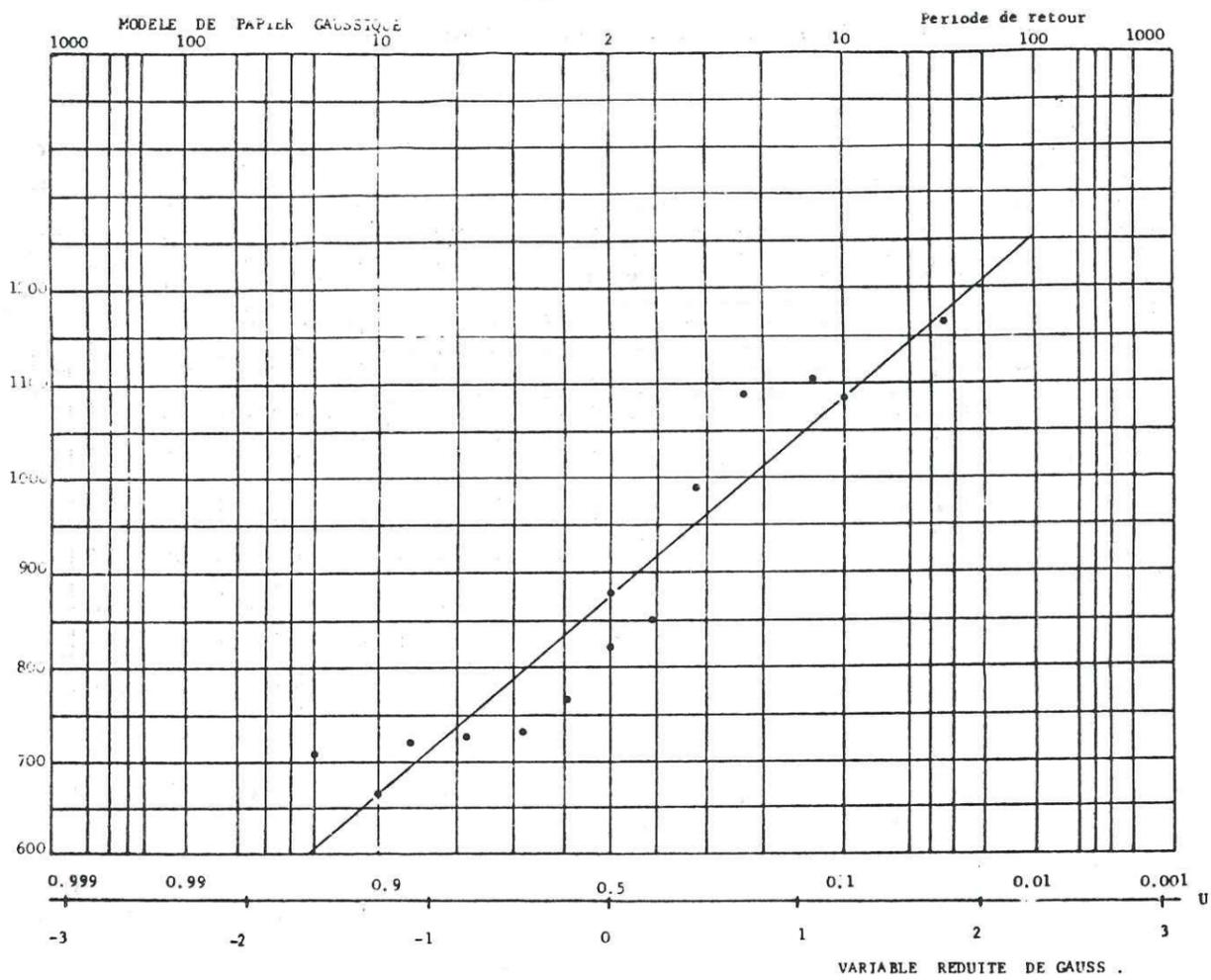


Fig. 15 . Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels .
Station Ouadhias (1973-1983).

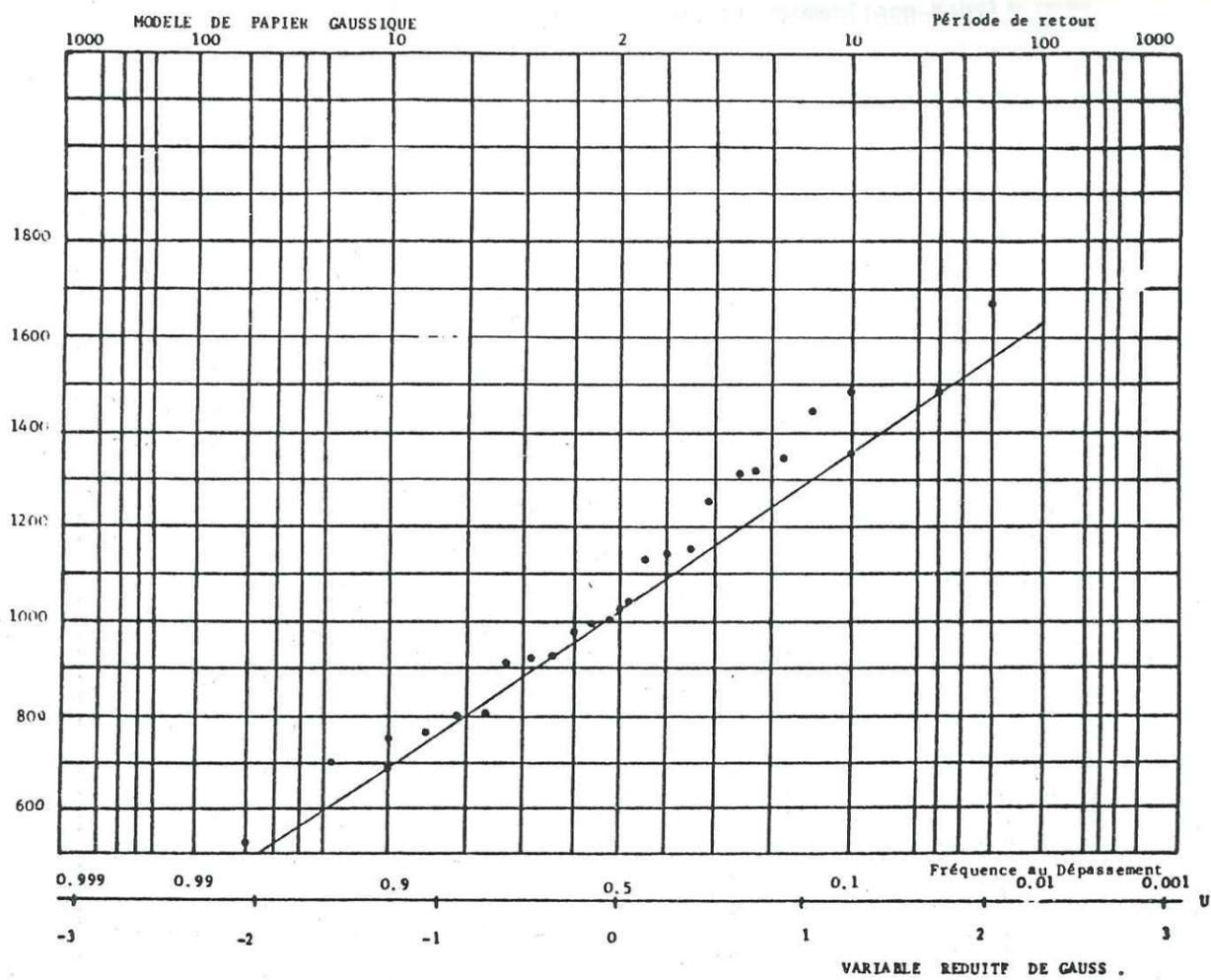


Fig. 16 . Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels.
Station : Ain-el-Hammam (1910-1962).

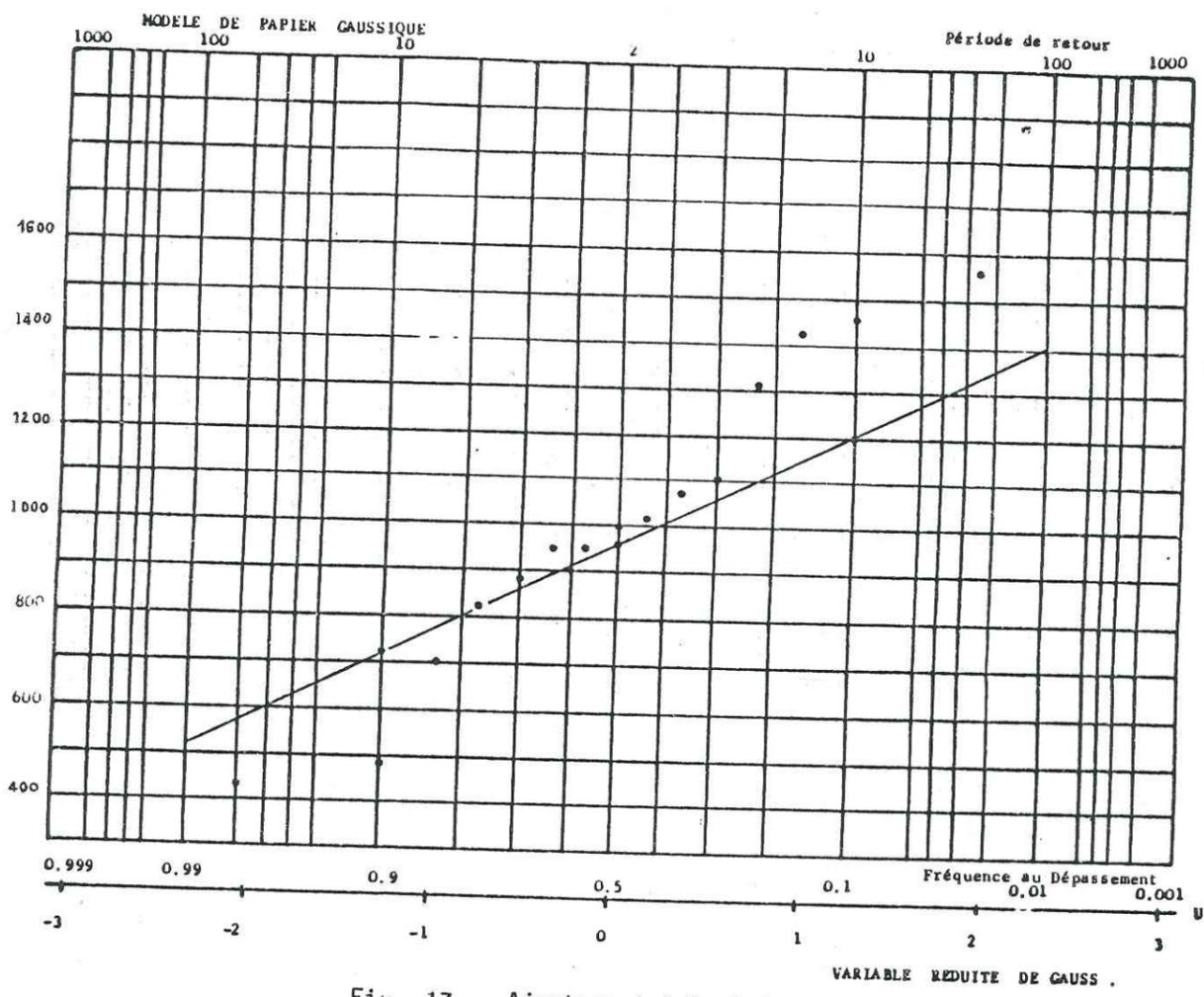


Fig. 17 . Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels
Station : Ain-el Hamman(1968-1983)

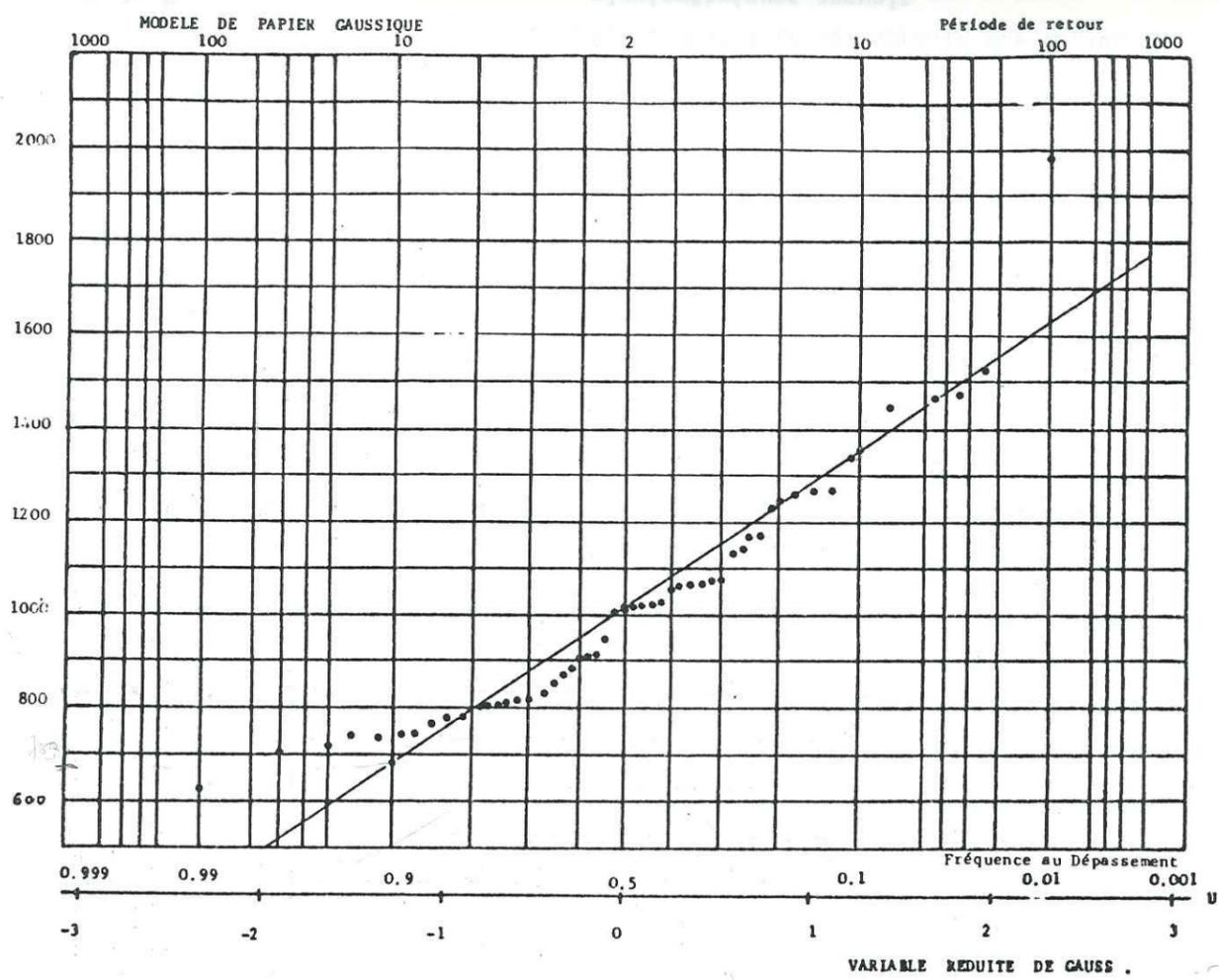


Fig. 18 Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels.
Station: Larba-N'ath-Irathen (1910-1962).

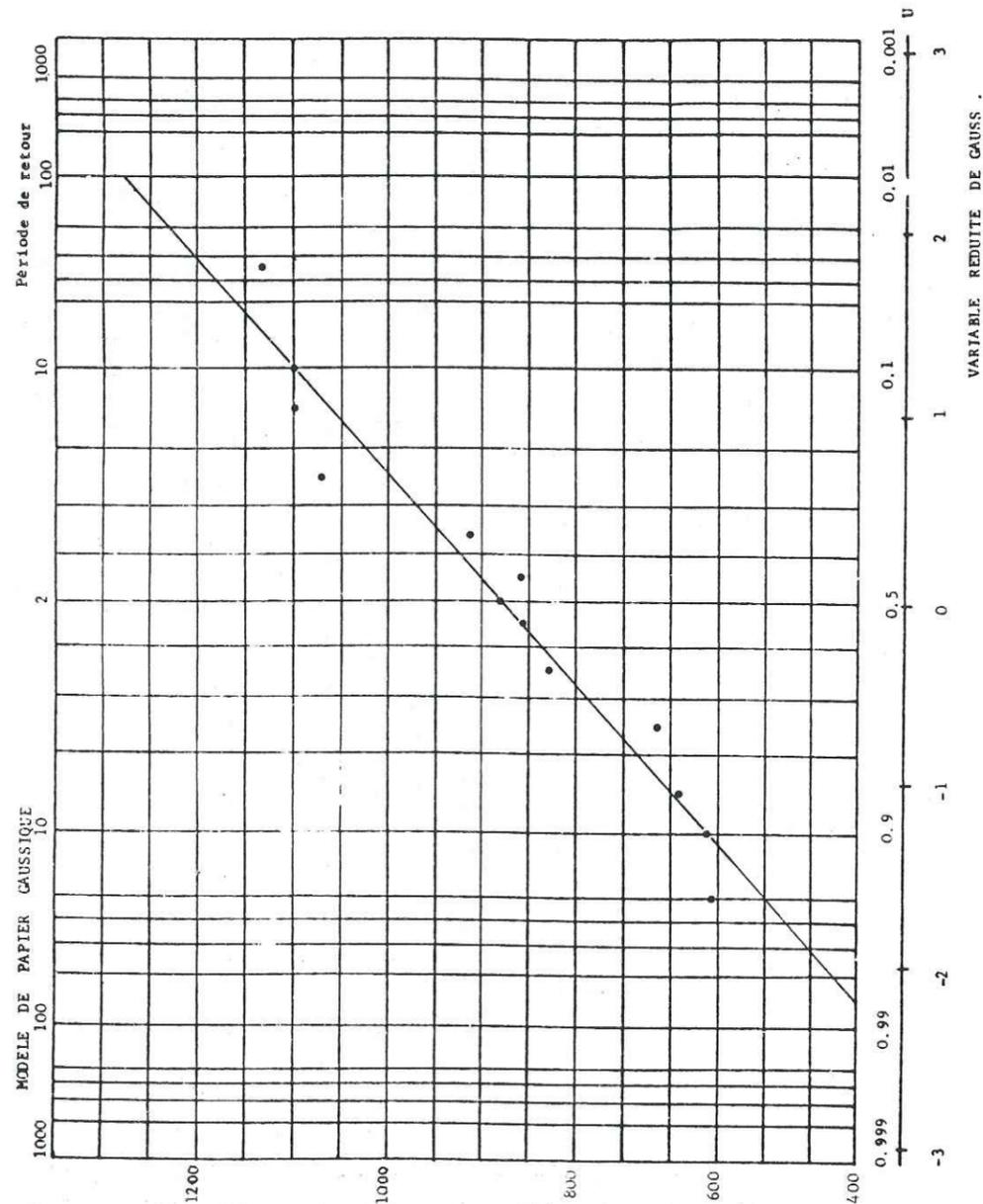


Fig. 19, Ajustement à la loi Normale des totaux pluviométriques annuels.
Station: Beni-Yenni (1973-1983).

Périodes considérées	Stations Correlées	Coef. de corrélation.	Equation de ladroite de regression.
1973/74-1982/83	Ouadhias Beni-Yenni.	r=0.81	Y=C.75X + 226
1973/74-1982/83	Beni-Yenni L.N.Irathen.	r=0.87	Y= X + 86
1921/22-1942/43	Azazga-Ecole A.el-Hammam.	r=0.99	Y=1.20X + 401
1949/50-1982/83	L.N.Irathen Dj.Saharidj.	r=0.99	Y=0.85X + 1000
1923/24-1954/55	L.N.Irathen Aghribs.	r=1.00	Y=1.06X + 509
	L.N.Irathen A.el-Hammam.	r=0.98	Y=1.63X - 327
1921/22-1956/57	L.N.Irathen Azazga-Ecole.	r=1.00	Y=0.94X + 261
1923/24-1954/55	Azazga-Ecole Aghribs.	r=0.99	Y=1.08X + 713
1969/70-1982/83	L.N.Irathen T.N'Boubehir.	r=0.99	Y=0.87X + 207
1973/74-	L.N.Irathen Ait-Aicha.	r=0.99	Y= X + 425
1973/74-1982/83	L.N.Irathen Fréha.	r=0.99	Y=0.86X - 286
1973/74-1982/83	L.N.Irathen Ouadhias.	r=0.99	Y=0.91X - 139

Tableau 8 - Homogénéisation des données pluviométriques
Corrélations "double masse".

Périodes Stations	1878-1938	1913-1938
Tizi-Ouzou	842 mm	893 mm
L.Nath-Irathen	1040 mm	1035 mm

Tableau 9: Comparaison des pluviosités moyennes interannuelles

2.1.2 - Traitement des données récentes (Tableau 10)

Nous traiterons dans ce paragraphe la pluviométrie sur dix (10) ans, c'est-à-dire les données de la période 1973-1983. Le choix de cette série est dû au fait que d'une part c'est la série la plus complète pour l'ensemble des stations, d'autre part parce que les séries plus longues présentent beaucoup de lacunes.

2.1.2.1 - Pluviométrie annuelle moyenne (période 73/74-82/83)

Calculée par la méthode de la moyenne arithmétique, la pluviométrie annuelle moyenne sur ce bassin versant est de 937 mm.

Postes Pluviométriques	Totaux Pluviométriques Annuels (mm).											Moyennes Annuelles
	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	1977/78	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83	
T.N'Boubehir	1045	1105	615	1013	721	748	749	803	931	956	1043	884
Djema Saharidj	1196	1142	687	1094	693	707	721	727	851	733	670	834
Azazga-Ecole	1430	1235	870	1162	733	780	781	818	931	894	866	956
Aït-Aïcha	1/5/73	1112	636	1354	470	1025	695	987	1237	1066	934	952
Aghribs	506	1399	849	1095	768	815	867	963	1138	817	1042	933
Fréha	1/4/72	1073	753	1069	626	997	743	671	832	709	695	817
Ouadhias	989	1165	725	1087	732	719	707	852	820	1105	765	879
Ain-elHammam	1278	1873	844	1454	1103	702	949	1073	1312	821	1017	1129
Larba-N'ath-Irathen		1242	841	1365	897	851	826	857	1077	849	864	867
Beni-Yenni	7/3/73	1135	691	1101	856	714	661	858	1073	914	829	880
Yakouren	1560	1577	1061	1434	1297	1025	1065	1051	1259	1042	1279	1242
Bouassem	907	1168	693	1069	727	751	778	1176	998	802	907	907
Makouda	1130	871	739	998	543	366	817	1008	981	770	787	801

Tableau: 10. Pluviométrie interannuelle moyenne .

Stations	Année												
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	
T.N'Boubehir	78.8	166.6	247.6	268.3	6.8	112.6	73.3	51.7	12.7	3.3	9.6	13.4	1042.9
Aït-Aïcha	55.3	130.7 ⁺	251.2 ⁺	269.0	4.1	84.0	49.9	46.0	12.9	2.4	13.6	14.8	933.9
Dj.Saharidj	44.5	100.1	171.5	146.6	2.3	91.0	54.6	48.7	11.1	0.0	3.6 ⁺	20.1 ⁺	670.4
Azazga-Ecole	35.1	135.5	259.1	226.7	5.1	65.0	56.7	51.8	9.3	0.5	0.8	19.9	865.5
Aghribs	41.4	143.5	340.8	247.5	5.8	126.9	73.5	34.6	9.7	0.0	1.4	16.5	1041.6
Fréha	29.2	107.8	203.1	165.2	2.9	66.7	45.9	40.6	9.1	0.0	0.2	23.9	695.2
Ouadhias	75.4	110.8	230.7	159.5	0.5	46.1	65.6	50.8	10.7	0.0	0.0	14.5	764.5
A.el.Hammam	87.2	134.1	328.1	232.7	6.2	98.4	88.1	49.5	13.8	1.1	4.4	27.2	1016.6
L.B.Irathen	63.7	143.1	237.1	187.8	1.3	83.8	63.9	54.0	8.7	0.0	1.2	18.8	863.4
Beni-Yenni	71.3	122.8	232.7	184.0	2.4	73.7	52.3	51.5	13.7	1.4	4.3	18.7	828.8
Moy.Mens.	58.0	130.0	250.0	209.0	4.0	89.0	62.0	48.0	11.0	0.9	4.0	19.0	884.9

Tableau : 11 . Pluviométrie du bassin versant du Haut Sébaou

Année : 1982-1983.

(130.7⁺ : Valeur mensuelle moyenne .) .

2.1.2.2 - Variations annuelles (Tableau 10, page 39)

De 1973 à 1983, on note une nette diminution des précipitations; le déficit est de l'ordre de 200 mm et même plus. Ce phénomène pourrait se raccorder avec la sécheresse du sahel (depuis 1973); il est aussi accentué avec celle qui a touché le bassin méditerranée (années 1976-1983).

2.1.2.3 - Variations mensuelles (1982-1983) (Tableau 11, p.40).

La représentation de la pluviosité mensuelle au cours de l'année par des diagrammes en échelons (fig.20 et 21) montre que cette dernière est bimodale, que le mois le plus pluvieux est novembre et le plus sec est juillet.

2.1.2.4 - Variations saisonnières (Tableau 12)

Nous avons calculé respectivement pour chacune des stations pluviométriques la moyenne pluviométrique et son pourcentage relatif. Ceci nous permet de déduire pour le bassin versant l'indice saisonnier A.H.P.E. (Automne, Hiver, Printemps, Été).

Stations	Automne(A)	Hiver(H)	Printemps(P)	Eté(E)	Indices Saisonniers
T.N'Boubehir	491	388	138	26	A.H.P.E
Aït-Aicha	437	357	109	31	A.H.P.E
Dj.SAharidj	316	240	114	24	A.H.P.E
Azazga-Ecole	430	297	118	21	A.H.P.E
Aghribs	526	380	118	18	A.H.P.E
Fréha	341	235	96	24	A.H.P.E
Ouadhias	17	206	127	15	A.H.P.E
A.el.Hammam	549	237	151	33	A.H.P.E
L.N.Irathen	444	273	127	20	A.H.P.E
Beni-Yenni	427	260	118	24	A.H.P.E

Tableau 12: Les précipitations saisonnières

2.1.2.5 - Relation pluviométrie - altitude

D'après l'étude de N. SADI intitulée: "Etude agropédologique de la vallée du Sebaou", la pluviométrie n'est pas une fonction linéaire de l'altitude (fig.22).

Dans le cas de notre étude qui ne concerne que le bassin versant du Haut Sébaou, la pluviométrie est une fonction linéaire de l'altitude. (fig.23).

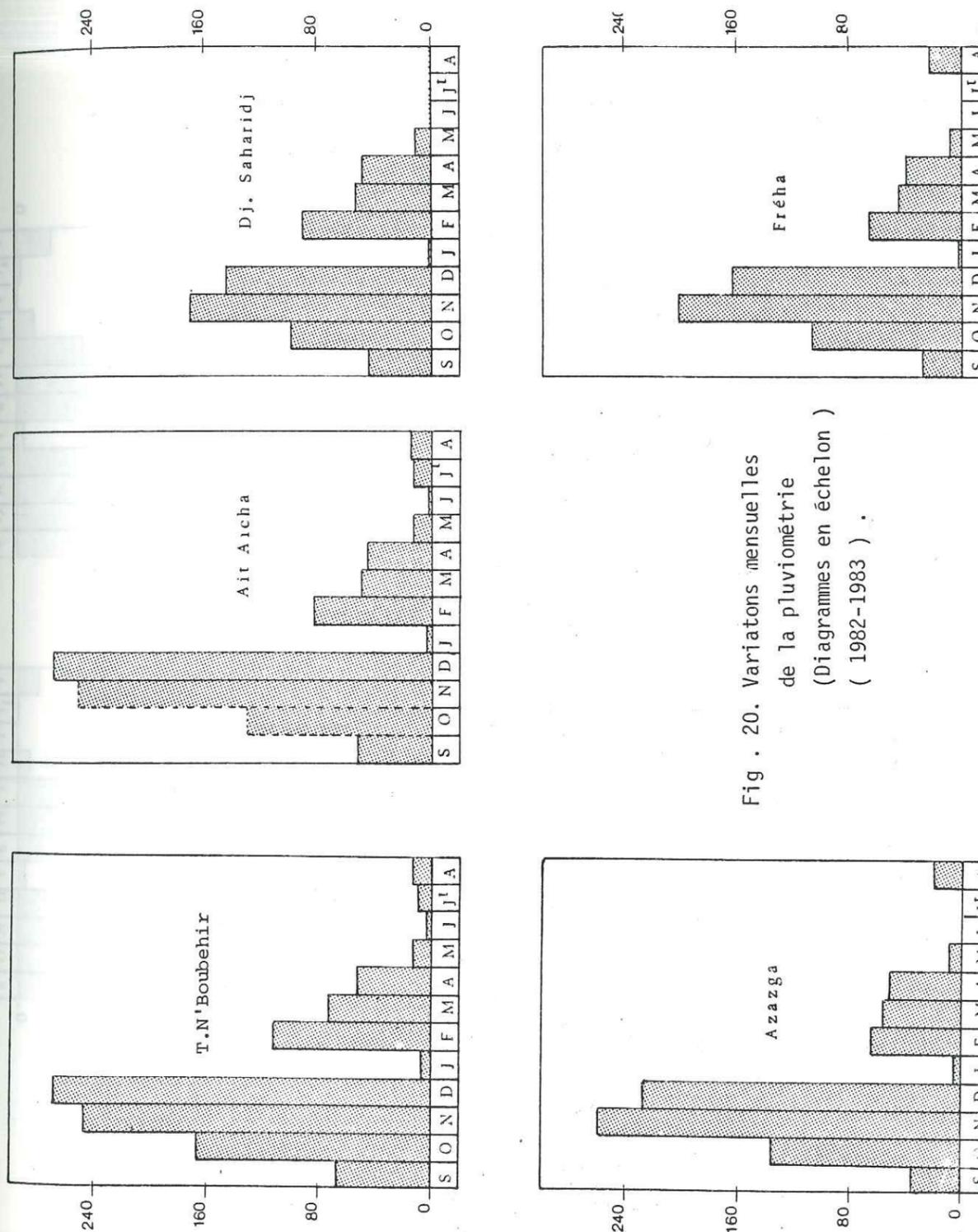


Fig. 20. Variations mensuelles de la pluviométrie (Diagrammes en échelon) (1982-1983) .

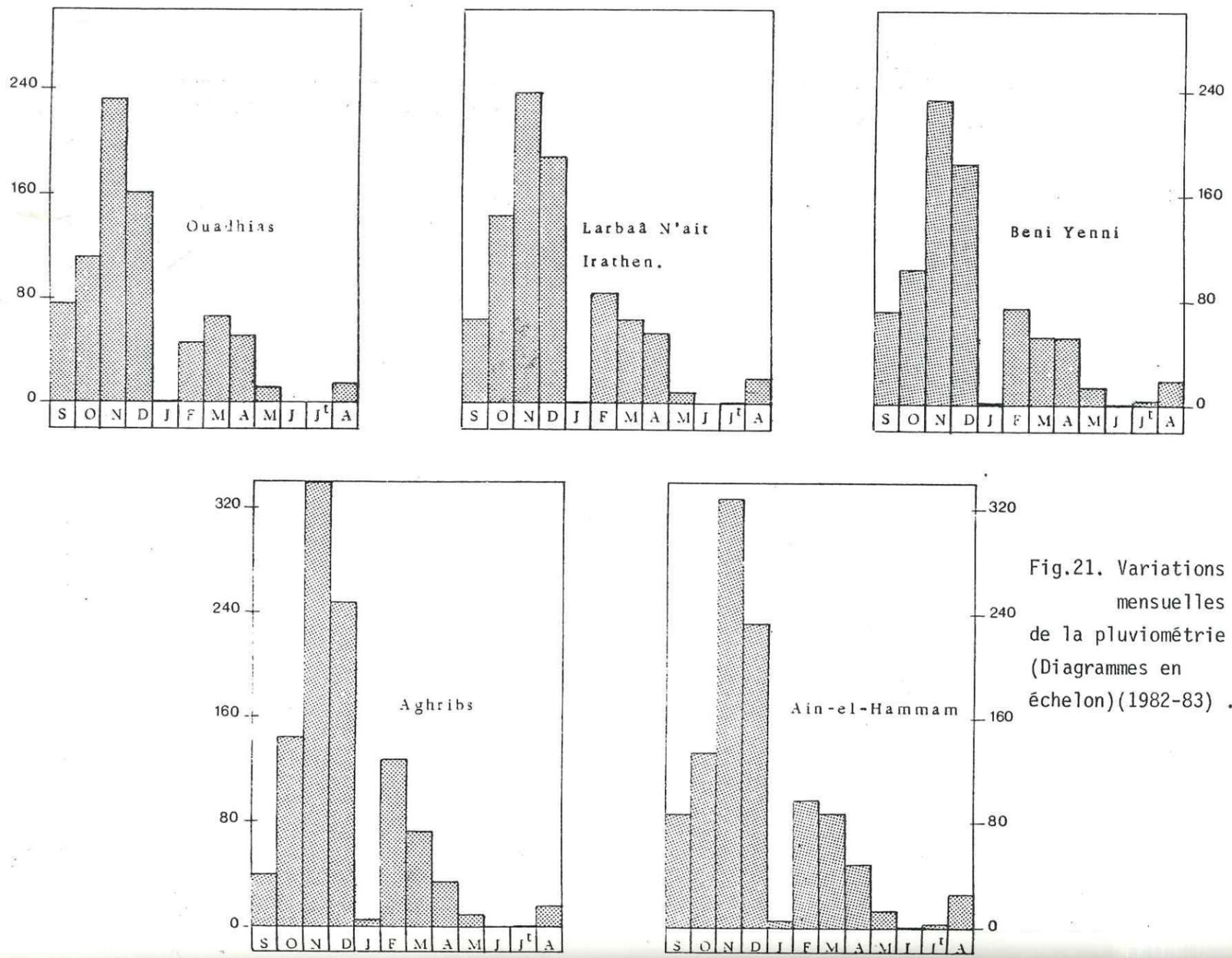


Fig.21. Variations mensuelles de la pluviométrie (Diagrammes en échelon)(1982-83) .

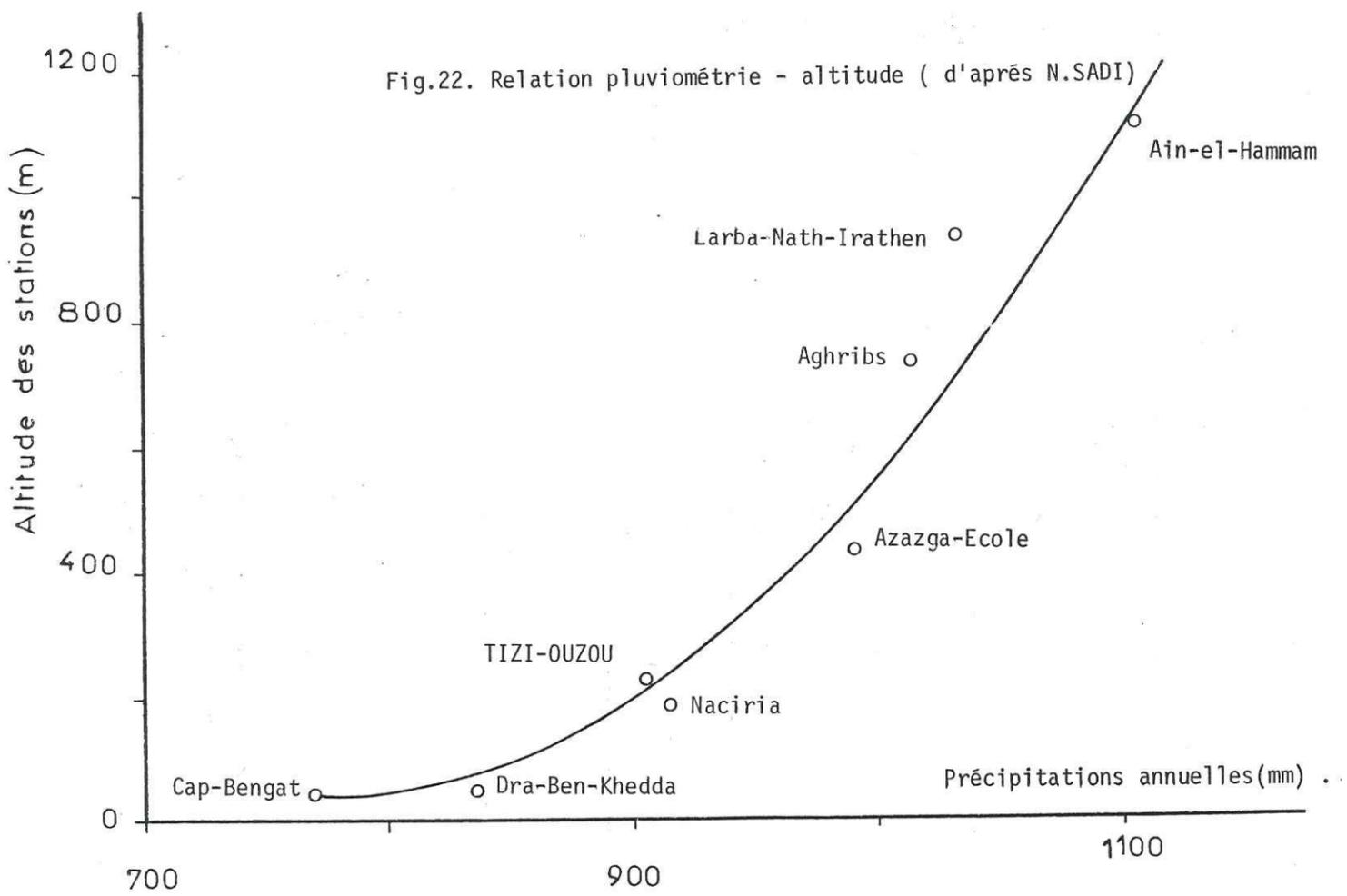
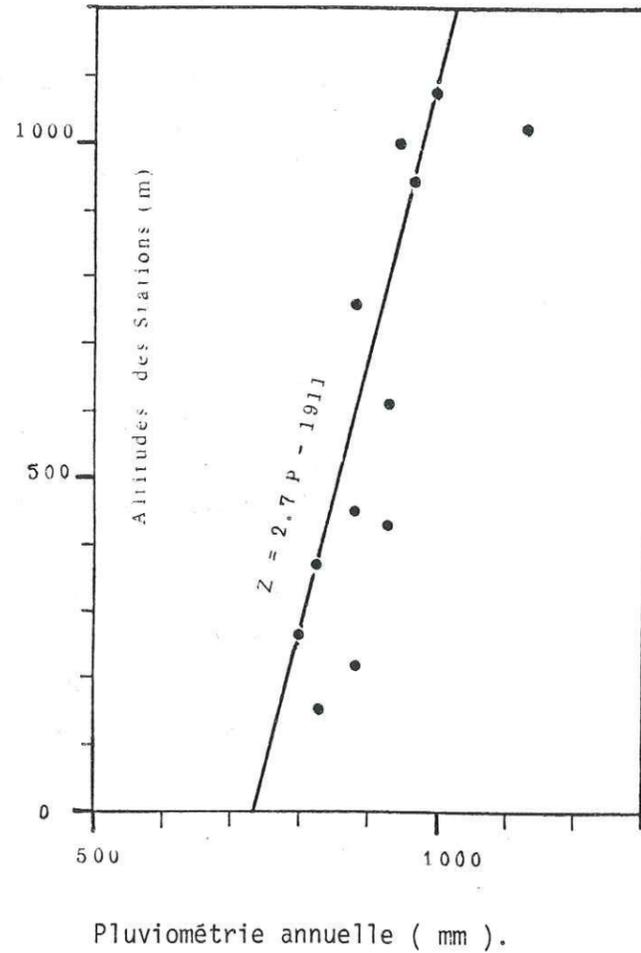


Fig.22. Relation pluviométrie - altitude (d'après N.SADI)

Fig.23.Relation pluviométrie-altitude



2.1.2.6 - Influence de l'éloignement par rapport à la mer sur les précipitations

Nous avons tenté de mettre en évidence l'influence de l'éloignement par rapport à la mer sur les précipitations, mais nous remarquons que la lame d'eau précipitée n'est pas influencée par ce facteur. Par contre, ce qu'on peut dire c'est que les précipitations augmentent de l'Ouest à l'Est.

Dans ce qui précède, nous avons analysé l'un des facteurs le plus important du climat, à savoir les précipitations d'une manière détaillée. Malgré leur importance, le climat est influencé par le paramètre température de façon non négligeable.

2.2 - LA TEMPERATURE

2.2.a - Les données anciennes (Tableau 13) (fig.24)

D'après SELTZER, l'équipement ancien se compose des stations Tizi-Ouzou, Larba-Nath-Irathen (ex. Fort National), Aïn-el-Hammam (ex.Michelet) et Aghribs. Les séries de données relatives à ces stations sont lacunaires, mais néanmoins elles permettent d'établir la comparaison avec les données recueillies à la station de Boukhalfa (située légèrement à l'Ouest de Tizi-Ouzou), la seule opérationnelle actuellement.

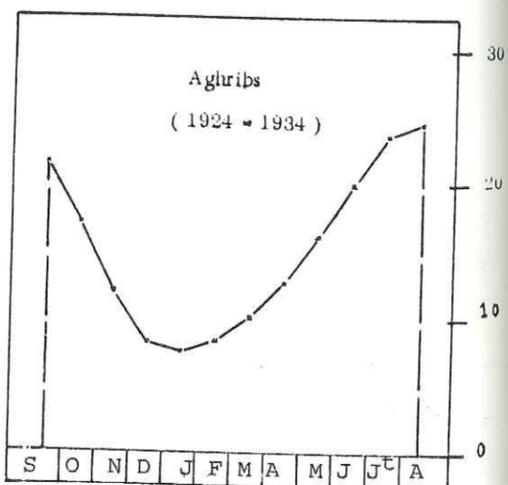
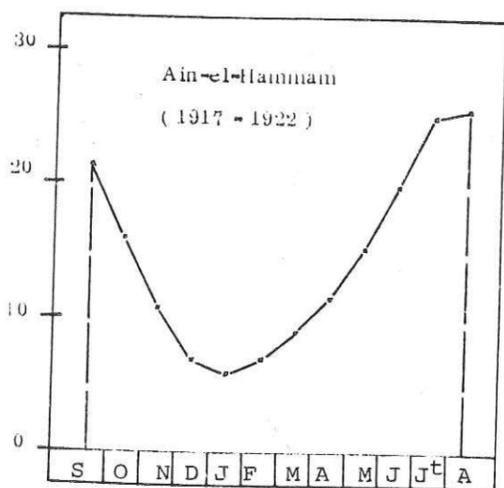
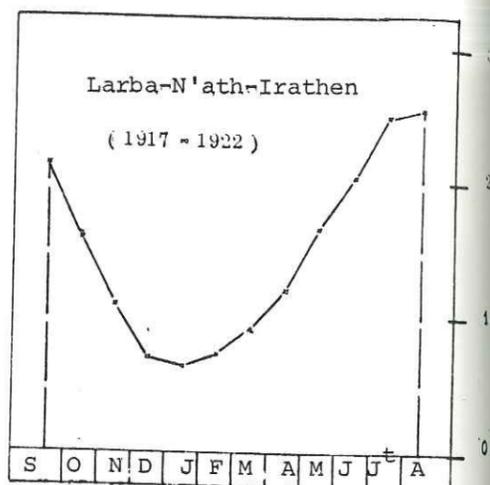
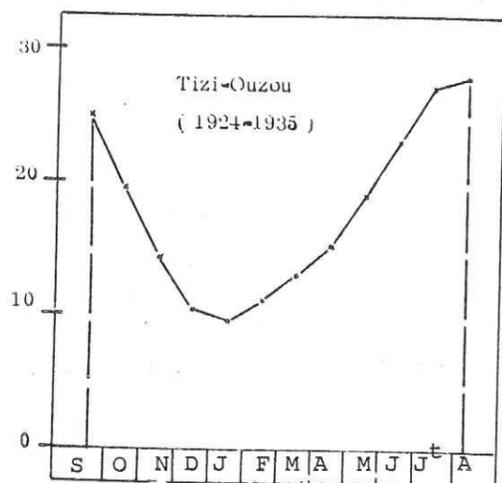
Les données des températures moyennes annuelles sont présentées dans le tableau 13 ; elles montrent que le maximum est atteint en Août et le minimum en Janvier.

Remarque: ces maximums et minimums ne coïncident pas avec les équivalents pluviométriques, respectivement relatifs aux mois de Décembre et Juillet.

Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Tizi-Ouzou	25.0	19.5	14.3	10.5	9.0	11.2	13.0	15.2	18.9	23.0	27.2	27.7	17.9
L.N.Irathen	21.4	15.9	11.0	7.0	6.4	7.4	9.4	12.5	16.7	20.4	24.9	26.6	14.8
A.e'l-Hammam	21.4	16.2	10.8	7.0	6.2	7.0	9.0	11.6	15.3	19.8	25.0	25.6	14.6
Aghribs	21.6	17.1	12.0	8.4	7.6	8.4	10.2	12.7	16.3	20.0	23.7	24.6	15.3
Moyenne	22.0	17.0	12.0	8.0	7.5	8.5	10.5	13.0	17.0	21.0	25.0	26.0	16.0

Tableau 13: Données des températures d'après SELTZER (1913-1937)

Fig .24. Températures annuelles moyennes
(d'après P.SELTZER.)



2.2.b - La station de Boukhalfa

Nous avons réussi à relever quatorze (14) années de données (1969-1983) (Tableau 14). A la lumière de ces données, nous remarquons que le mois le plus chaud est Août et le plus froid Janvier. De la même manière nous ferons remarquer que les maximums et minimums ne coïncident pas avec les équivalents pluviométriques respectifs. La température moyenne annuelle est de 19°C.

Afin de montrer le contraste des différences de températures nous avons représenté les données sur des diagrammes en échelons pour les années considérées (fig. 25 à 27).

Parmi les paramètres qui jouent un rôle important on ne peut omettre de signaler l'influence des vents.

2.3 - LE VENT

Une région donnée se caractérise souvent par les fréquences forces et directions des vents dominants.

Pour ce qui nous concerne, nous disposons de données de P. SELTZER relatives à la station de Tizi-Ouzou pour la période (1913-1936) (Tableau 15). Au niveau de cette station, la fréquence des vents pour les mois de Janvier - Mars, Avril - Juin, Juillet - Septembre, Octobre - Décembre était la suivante:

- . W.E et N.E à 7 h.
 - . E.W et N.W à 13 h.
 - . E.W et N.E. à 18 h.
- (Fig. 28.)

Actuellement les données sont recueillies à la station de Boukhalfa (tableau 16). Leur exploitation permet nous permet d'obtenir les résultats de la figure 29 qui montre une direction NE-SW de la fréquence de la force des vents pour les années 1982 et 1983.

Nous terminons l'étude des paramètres climatiques par l'interprétation des relevés concernant l'humidité relative.

2.4 - L'HUMIDITE RELATIVE

Définition: l'humidité relative ou état hygrométrique est le rapport en % de la tension de vapeur maximum correspondant à la température mesurée au thermomètre sec. Au niveau du bassin versant du haut Sébaou il n'existe plus d'équipement pour chiffrer ce paramètre. La dernière des stations à fonctionner jusqu'à une date récente étant celle de Tadmaït (arrêtée en 1976) et située sur le moyen Sébaou. Les valeurs de l'humidité relative que nous citerons ici, sont recueillies dans

Mois Années	Moyennes Mensuelles												Moyennes Annuelles	
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	A	
1969-1970	22.1	20.0	15.5	10.0	13.6	11.5	12.6	14.5	11.4	22.9	26.4	28.4	17.4	
1970-1971	26.7	18.8	15.7	11.6	10.9	10.3	10.7	16.3	18.7	22.1	26.3	29.9	18.2	
1971-1972	23.7	19.6	13.4	11.4	10.9	12.4	14.2	13.7	17.3	21.4	24.4	25.0	17.3	
1972-1973	22.1	19.3	16.7	13.2	12.0	10.1	11.3	15.1	20.7	25.1	27.1	28.3	18.4	
1973-1974	25.7	19.0	14.8	11.9	11.5	11.2	13.4	15.7	19.0	24.7	27.3	28.7	18.6	
1874-1975	23.7	19.6	15.0	11.4	11.5	11.4	12.6	15.1	18.7	22.6	26.7	27.7	18.0	
1975-1976	26.5	20.2	13.8	11.1	9.5	11.5	12.9	16.0	20.7	25.2	28.2	29.7	18.8	
1976-1977	26.2	18.8	14.8	13.3	12.1	13.8	16.2	18.0	20.0	24.2	29.6	29.7	19.7	
1977-1978	25.2	23.4	16.6	14.7	10.8	15.0	14.8	16.2	20.7	25.5	29.6	29.9	20.2	
1978-1979	29.9	18.9	14.5	15.0	14.3	13.4	14.0	15.1	21.3	26.9	29.6	29.7	20.2	
1979-1980	27.5	20.2	14.8	12.9	11.5	13.0	14.2	16.4	20.4	25.5	29.6	29.7	19.6	
1980-1981	26.5	21.2	14.4	14.2	10.0	11.9	15.8	16.2	19.5	23.8	24.8	26.8	18.8	
1981-1982	25.2	22.5	17.5	14.2	12.6	12.0	14.0	15.6	19.9	25.8	30.3	27.7	19.8	
1982-1983	25.4	19.4	15.0	20.4	9.5	10.7	11.0	15.4	18.3	30.6	22.5	27.7	18.8	
T°C Mens. Moy.	25.4	20.0	15.0	13.0	11.5	12.0	13.5	16.0	19.0	25.0	27.0	28.5	19.0	

Tableau :14 ,Températures mensuelles et annuelles moyennes
Station de BOUKHALFA(Institut agronomique).

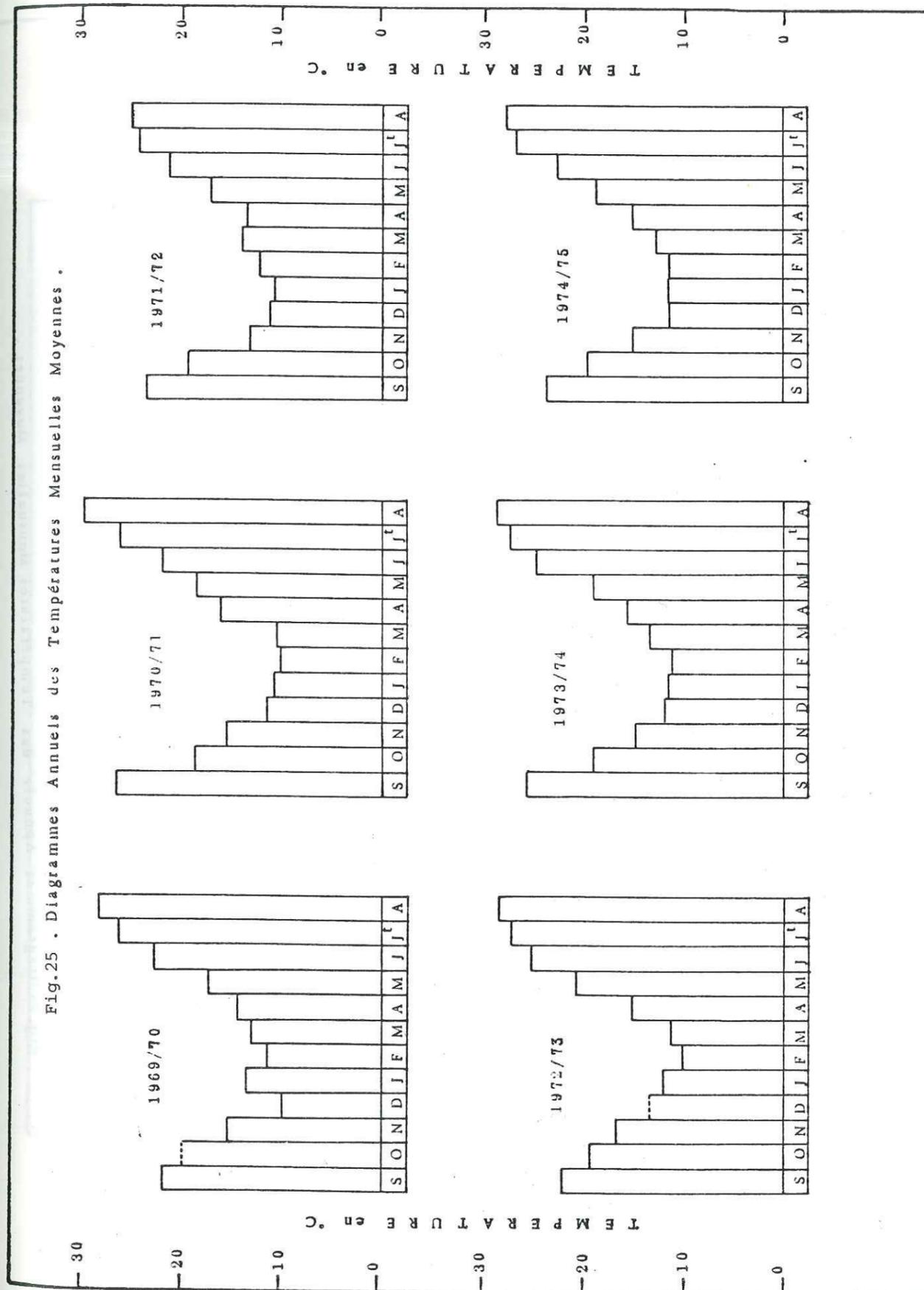
Station de Tizi-Ouzou

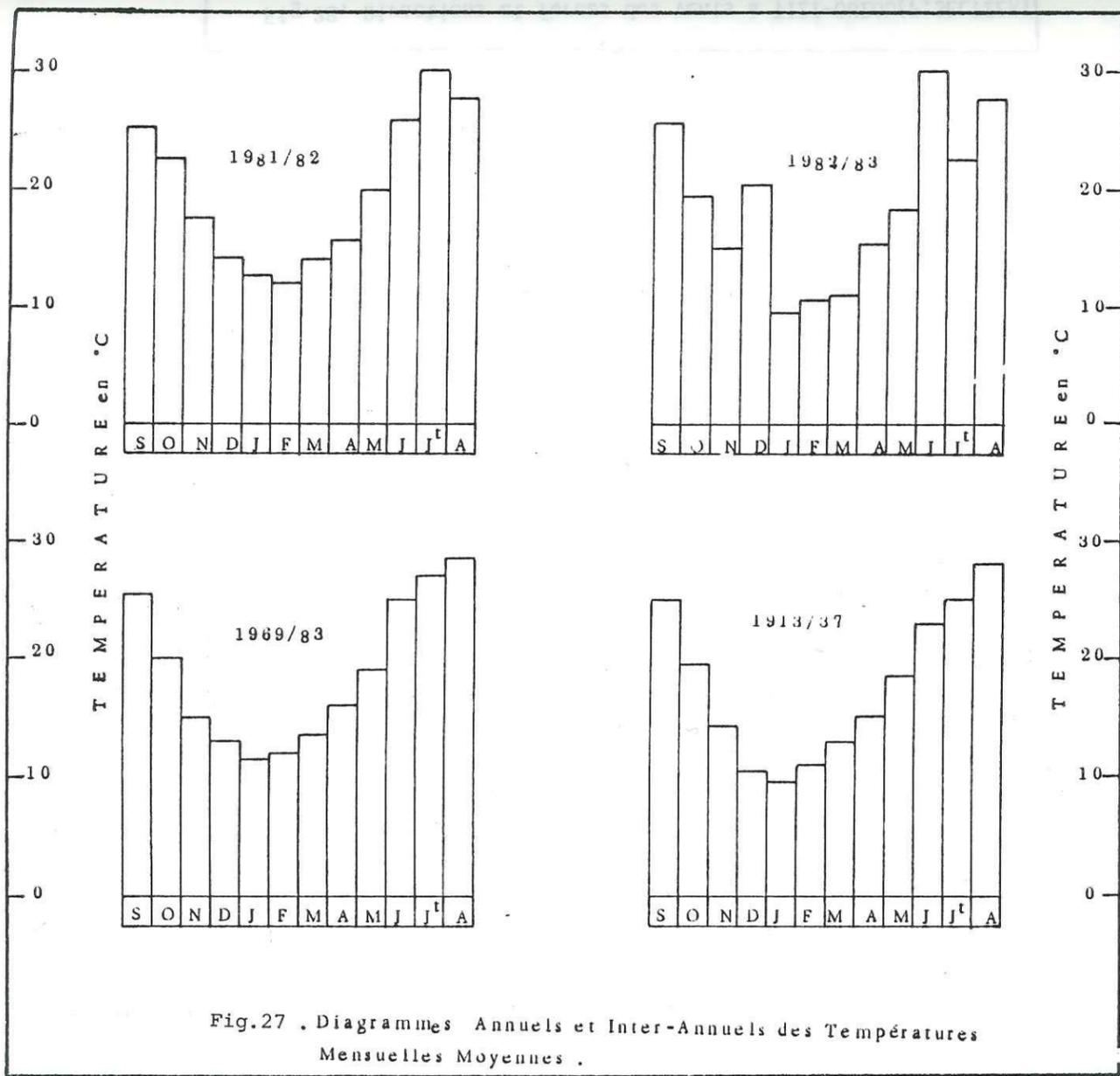
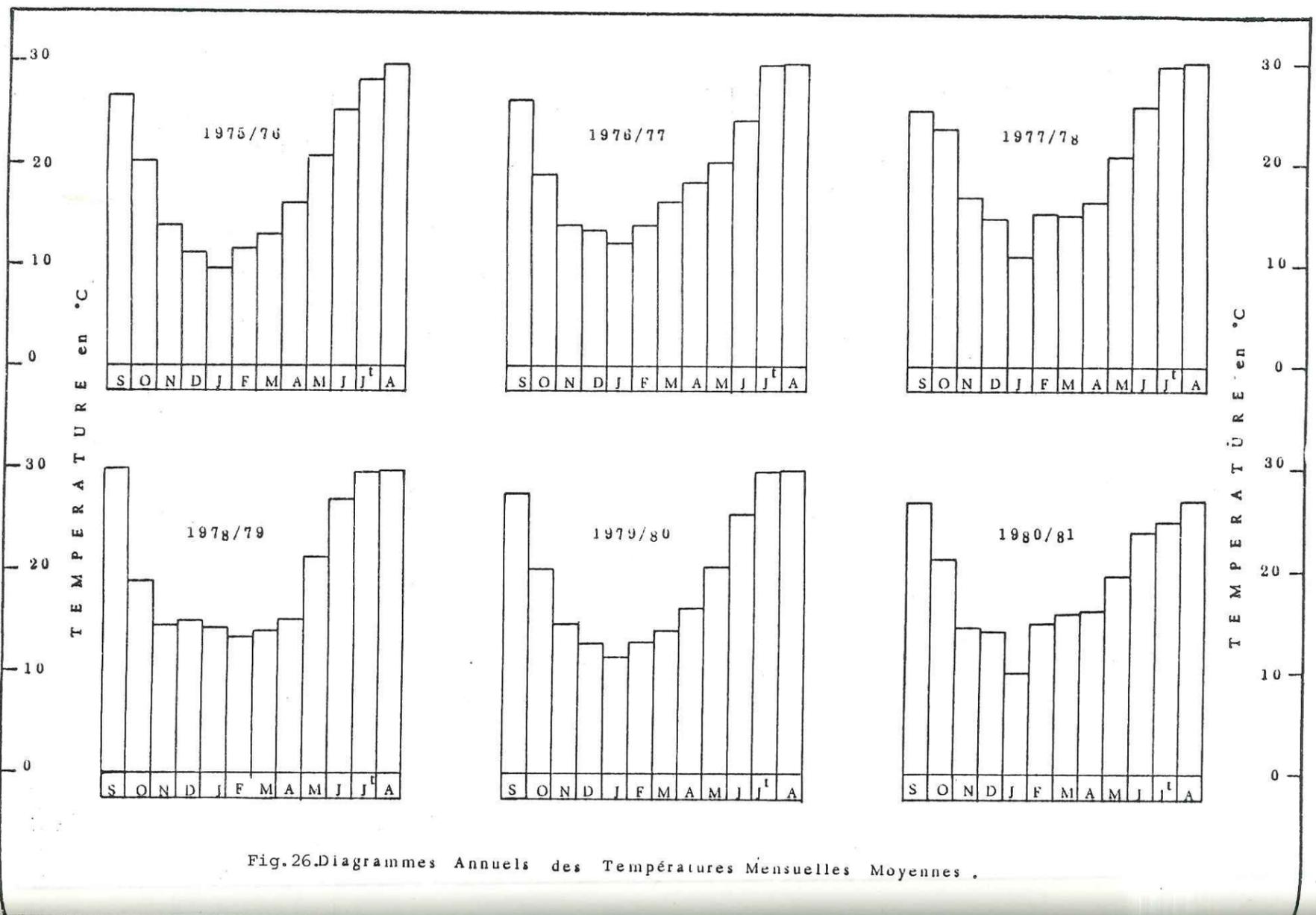
Vents	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Année
7 heures													
N	12	10	9	6	9	6	7	10	7	8	7	5	8
NE	18	15	16	12	12	12	13	16	17	14	14	15	15
E	30	28	26	26	26	24	19	23	30	32	28	28	27
SE	7	8	11	17	18	17	16	14	20	19	16	14	15
S	1	3	2	6	6	8	9	6	4	4	2	2	4
SW	7	6	7	6	7	5	8	6	5	5	5	8	6
W	15	16	16	17	12	14	15	14	9	10	18	15	14
NW	10	14	13	10	10	14	13	11	8	8	10	14	11
13 heures													
N	8	8	9	11	13	13	13	14	11	9	6	5	10
NE	5	6	4	5	8	8	9	10	11	7	5	6	10
E	15	8	8	5	4	5	4	4	5	5	8	13	7
SE	10	7	5	3	3	3	4	5	6	6	9	8	6
S	6	5	5	5	5	4	2	3	5	6	7	4	5
SW	14	14	11	10	11	9	9	14	9	15	15	14	12
W	27	31	32	32	27	29	26	23	27	30	31	29	28
NW	15	21	26	29	29	29	33	27	26	22	19	21	25
18 heures													
N	16	11	12	11	11	13	12	11	13	13	9	10	12
NE	10	10	9	8	10	11	13	14	9	10	12	16	11
E	3	5	8	5	7	11	12	12	13	7	5	4	8
SE	6	3	3	2	4	3	4	5	4	2	3	1	3
S	0	1	1	1	2	3	2	1	3	2	2	0	1
SW	6	7	5	9	10	11	10	10	7	7	5	7	8
W	46	32	32	33	28	23	21	27	27	36	45	41	32
NW													

Tableau 15: Fréquence de la force des vents à la station de Tizi-Ouzou
(d'après P. SELTZER)

Année	Mois	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SW	SSW	WSW	W	WNW	NW	NNW
	J	9		5				14	2	8	10	2	1	3	1		
	F	5	2	8	1	3		9		6	5					9	1
	M															11	
	A			8		1		7		4	15			2			
	M	2	4				4		12			14	11		11		
	J	8		11		2				4	13			9		8	
	J	9		13		7				6	9			7		7	
	A	4		7		4		12		1	12			6		10	
	S	9		11		1		2		4	11			11		12	
	O	4		9		3		3		4	14			7		7	
	N	11		8		3		1		4	4			2		4	
	D	2		7		1		2		10	29		1	2		7	
Total annuel		2	6	87	1	25	4	50	14	51	122	16	15	49	12	75	1
	J	3		13		1		6		10	2		2			5	
	F	3		8		2	1	4		5	1	7	1	6		4	
	M	9		8		3		4		5		7		6		8	
	A	12		7	1	4		4		2	1	10	1	5		11	
	M	7		12		4	1	4	1	4	2	17		15		3	
	J	5	1	4				2		4	3	10	8	11		9	
	J	9		4	1			9		2		22	6	11		7	
	A	5	1	3				6		4	1	6	4	5		12	3
	S	6		6	1	1		7		5	1	6	5	5		9	
	O	2		3		1		2		15	1	3	3	13		7	
	N	7	1	8		2		9		10	1	6	3	3		3	
	D	8		2		2		3		7		6		8		2	
Total annuel		76	3	74	3	20	2	60	1	73	11	102	31	90		80	3

Tableau 16: Fréquence de la force des vents-station de Boukhalfa





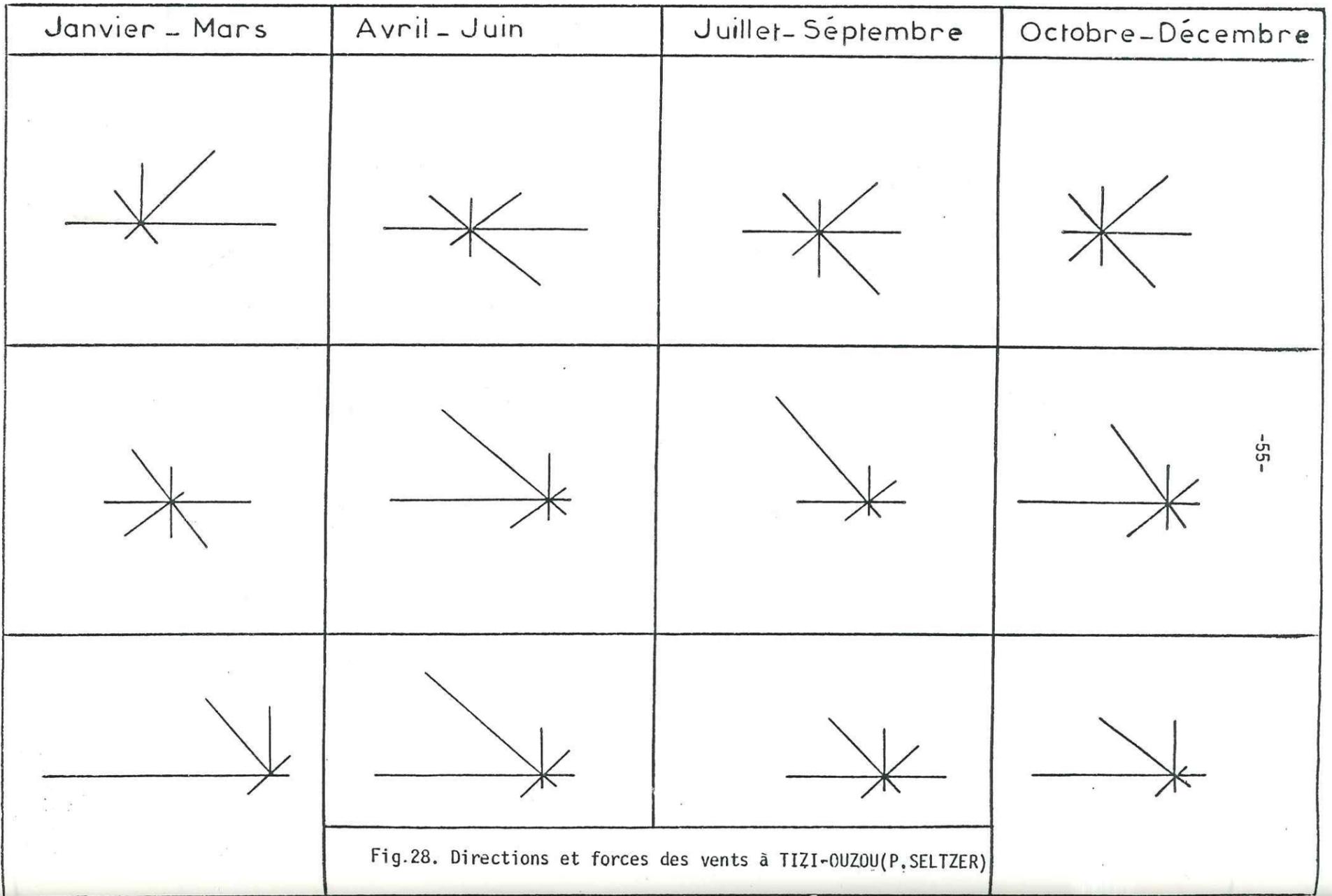
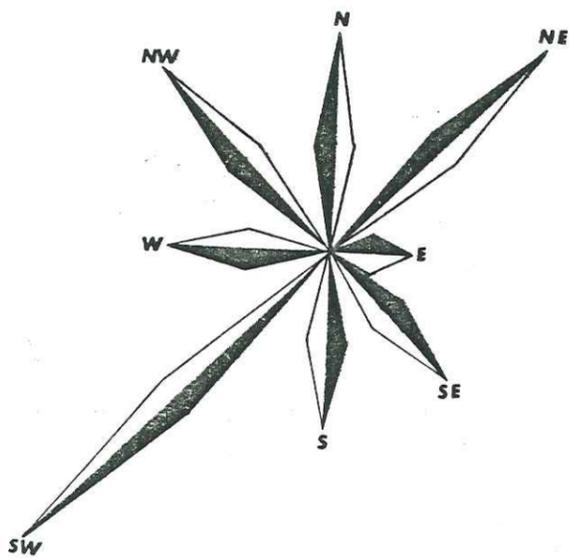
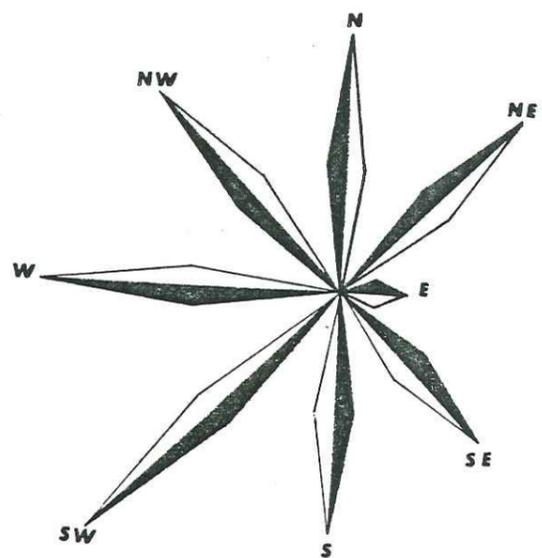


Fig.29. Directions et forces des vents à BOUKHALFA



Année : 1981



Année : 1982

P. SELTZER pour Tizi-Ouzou, Larba-Nath-Irathen et Aghribs (1913-1938) (Tableau. 17).

A travers ces valeurs, nous remarquons que le maximum d'humidité relative est observé en Décembre et Janvier, et le minimum en Juillet et Août; ceci concorde bien avec les valeurs extrêmes de la pluviométrie.

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

2.5 - LES DIAGRAMMES PLUVIOTHERMIQUES (fig.30)

Les diagrammes pluviométriques de l'année 1982-1983 construit à partir de la pluviométrie et de la température mensuelle moyenne nous a permis de mettre en évidence une saison sèche allant du mois d'Avril au mois de Septembre, c'est-à-dire une saison sèche de six mois, mais cela est un cas particulier pour cette année, car généralement la saison sèche ne dure que quatre mois (mi-Mai - Septembre).(fig.31 à 33 d'après N. SADI).

2.6 - LE CLIMATOGRAMME DU BASSIN VERSANT (fig. 34).

Dans ce graphique, nous avons reporté en ordonnée les précipitations mensuelles et en abscisse, les températures mensuelles. On réunit alors par une ligne brisée les douze points ainsi définis par la pluviométrie et la température. Le climatogramme sera complété par:

- les lignes d'égales valeurs de l'indice d'aridité mensuelle de De MARTONE, pour $I = +5$, $I = +10$, $I = +20$.

Ces points convergent au point d'ordonnée zéro et d'abscisse (-10)

- Par la droite définissant le mois sec selon BAGNOUB et GAUSSEN: Pluviométrie = au double de la température ($P=2T$).

Au niveau du bassin versant du haut Sébaou, nous remarquons pour l'année 1982-1983 que les mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Octobre et Novembre sont tempérés. Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre sont arides. Décembre est particulier.

Pour la période 1913-1938 (P. SELTZER), nous remarquons que les mois de Décembre et de Janvier sont plutôt froids. Février, Mars, Avril, Mai, Octobre et Novembre sont tempérés. Juin, Juillet, Août et Septembre arides.

En résumé, nous pourrions dire qu'il y a prédominance de mois tempérés et arides.

Tableau.17. Humidité relative (P.SELTZER,1913-1937).

Mois	7h				13h				18h			
	t	t-t'	f	H	t	t-t'	f	H	t	t-t'	f	H
Larba-N'ath-Irathen												
Janvier	5.2	1.5	5.2	77	7.7	2.0	5.7	72	6.0	1.1	5.6	80
Février	5.6	1.6	5.2	76	8.7	2.5	5.8	69	6.5	1.4	5.8	80
Mars	7.6	2.2	5.5	70	11.2	3.9	6.5	65	8.7	2.2	6.1	72
Avril	10.3	3.0	6.0	64	14.3	3.0	7.2	59	11.2	2.8	6.7	67
Mai	14.3	3.4	7.9	65	18.1	4.5	9.3	59	15.1	3.2	8.6	67
Juin	18.4	4.6	9.4	59	22.7	6.0	10.9	53	19.5	4.7	10.0	58
Juillet	22.8	6.6	10.3	49	27.8	9.0	11.5	41	23.5	6.6	10.8	49
Août	23.1	6.7	10.1	47	29.0	9.6	11.7	38	24.2	6.7	11.5	50
Septembre	19.2	4.9	9.5	57	25.0	7.6	10.7	45	20.3	5.2	10.0	56
Octobre	13.7	2.6	8.5	72	18	4.7	9.1	57	14.6	2.8	8.8	71
Novembre	9.6	2.5	6.2	69	12.6	3.1	7.2	66	10.2	2.2	6.8	73
Décembre	5.9	1.4	5.6	80	8.2	2.0	6.0	74	6.5	1.4	5.8	80
Année	13.0	3.4	8.5	65	17.0	4.8	8.5	58	13.9	3.4	8.1	67
Aghribs												
Janvier	6.4	1.3	5.9	82	9.6	2.0	6.7	75	7.3	1.2	6.4	81
Février	6.7	1.6	5.7	77	10.5	2.7	6.4	68	7.8	1.7	6.1	77
Mars	8.9	2.0	6.4	74	12.7	2.9	7.5	68	9.8	2.0	6.8	75
Avril	11.7	2.6	7.1	70	15.8	3.8	8.4	63	12.5	2.8	7.5	69
Mai	14.7	3.2	8.6	69	18.8	4.2	10.2	63	15.2	3.1	8.8	69
Juin	19.4	3.8	11.2	66	23.8	5.3	13.0	58	20.3	4.5	11.0	61
Juillet	22.6	5.3	11.7	57	27.6	7.2	13.8	50	23.6	5.9	11.8	54
Août	23.0	5.2	12.2	58	28.3	7.4	14.4	50	23.8	5.6	12.5	56
Septembre	20.0	3.9	11.5	66	24.6	5.6	13.3	57	20.6	3.9	12.0	66
Octobre	15.3	2.6	9.5	73	19.7	4.0	11.2	65	16.1	2.7	10.0	74
Novembre	10.8	1.8	7.6	79	14.7	3.2	8.5	68	11.7	1.9	8.0	77
Décembre	7.3	1.4	6.2	80	10.2	2.1	6.9	74	8.0	1.3	6.7	82
Année	13.9	2.9	8.6	71	18.0	4.2	10.0	63	14.7	3.0	9.0	76
Tizi-ouzou												
Janvier	6.5	0.7	6.5	89	12.6	2.7	7.5	69	10.0	1.6	7.3	79
Février	7.3	0.9	6.6	86	14.3	3.6	7.4	60	11.1	2.0	7.4	75
Mars	9.6	1.2	7.5	83	16.8	4.3	8.3	57	13.2	3.1	7.4	65
Avril	12.2	1.6	8.6	80	20.0	5.3	9.5	55	15.0	3.1	9.1	68
Mai	15.6	1.9	10.6	79	23.8	6.3	11.2	50	19.3	3.8	10.9	65
Juin	19.6	2.6	12.9	75	29.0	8.4	13.1	44	24.2	5.5	12.8	56
Juillet	22.5	4.0	13.4	66	33.2	10.7	13.9	37	28.1	7.5	13.6	48
Août	23.1	4.3	13.7	64	33.8	10.7	14.7	37	28.1	7.1	14.3	50
Septembre	20.0	3.2	12.4	71	29.8	8.7	13.6	43	24.4	5.4	13.2	57
Octobre	15.2	1.6	10.7	82	23.9	6.7	10.7	47	18.9	3.4	11.0	68
Novembre	11.1	1.3	8.3	83	18.1	4.3	9.2	58	14.4	2.4	9.0	73
Décembre	7.8	0.9	6.9	87	13.7	3.1	7.7	65	10.7	1.8	7.4	77
Année	14.2	2.0	9.8	79	22.4	6.2	10.6	52	18.2	3.9	10.3	65

Fig.30 .Diagramme pluviothermique du bassin versant du Haut Sébaou . (1982-1983).

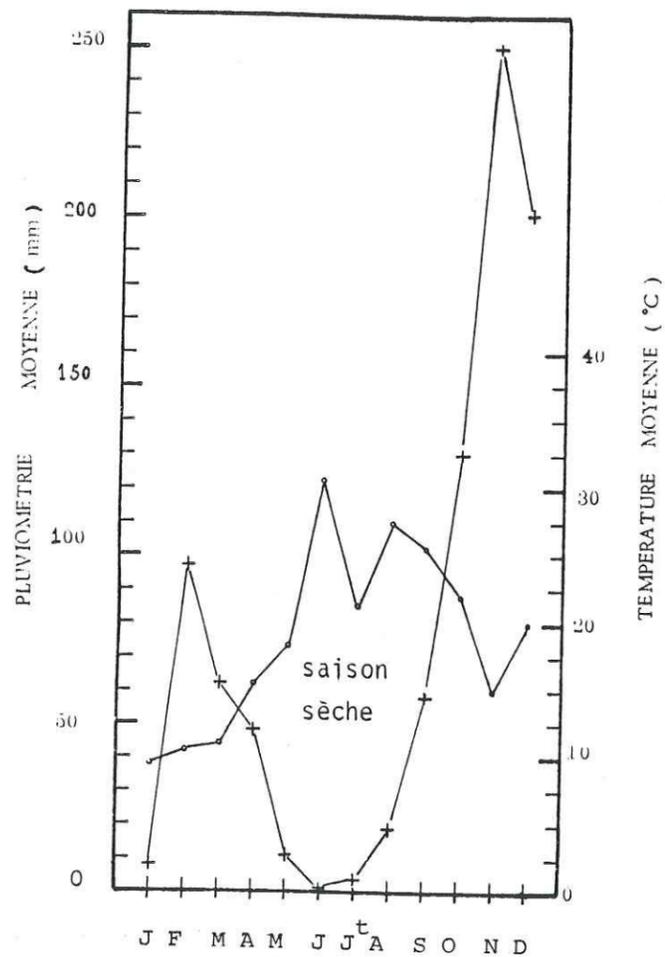
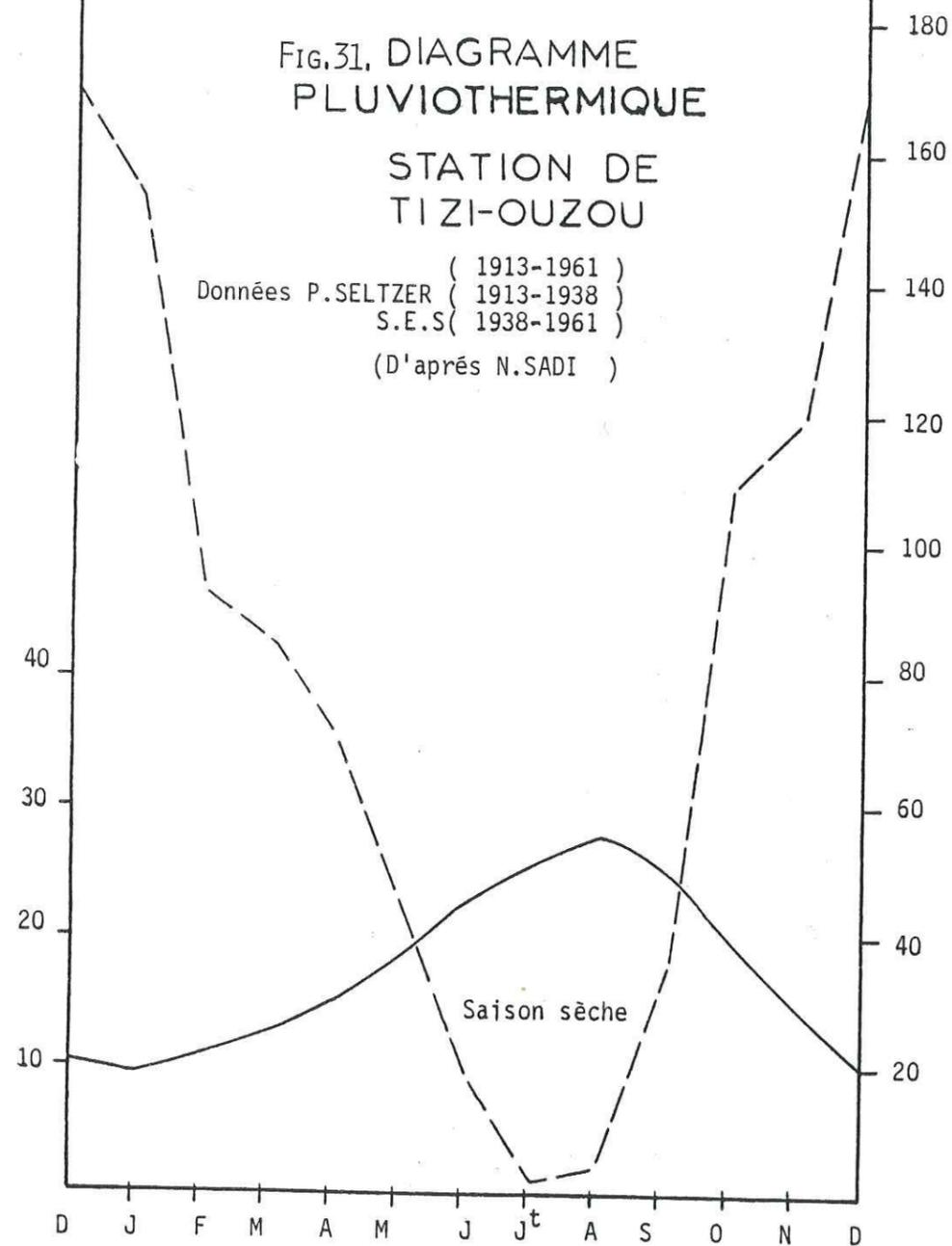


FIG.31, DIAGRAMME PLUVIOTHERMIQUE

STATION DE TIZI-OUZOU

Données P.SELTZER (1913-1961)
(1913-1938)
S.E.S (1938-1961)
(D'après N.SADI)



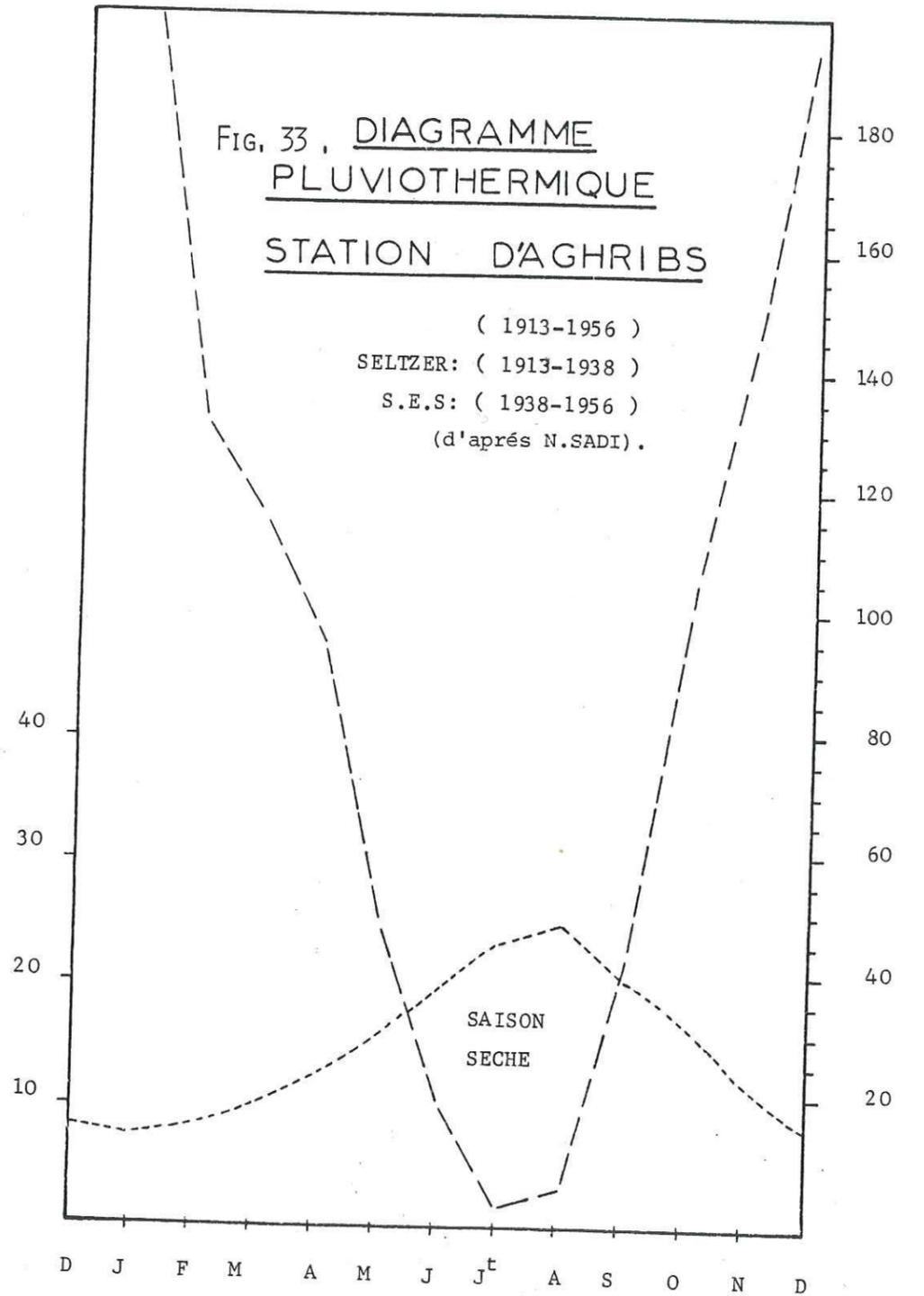
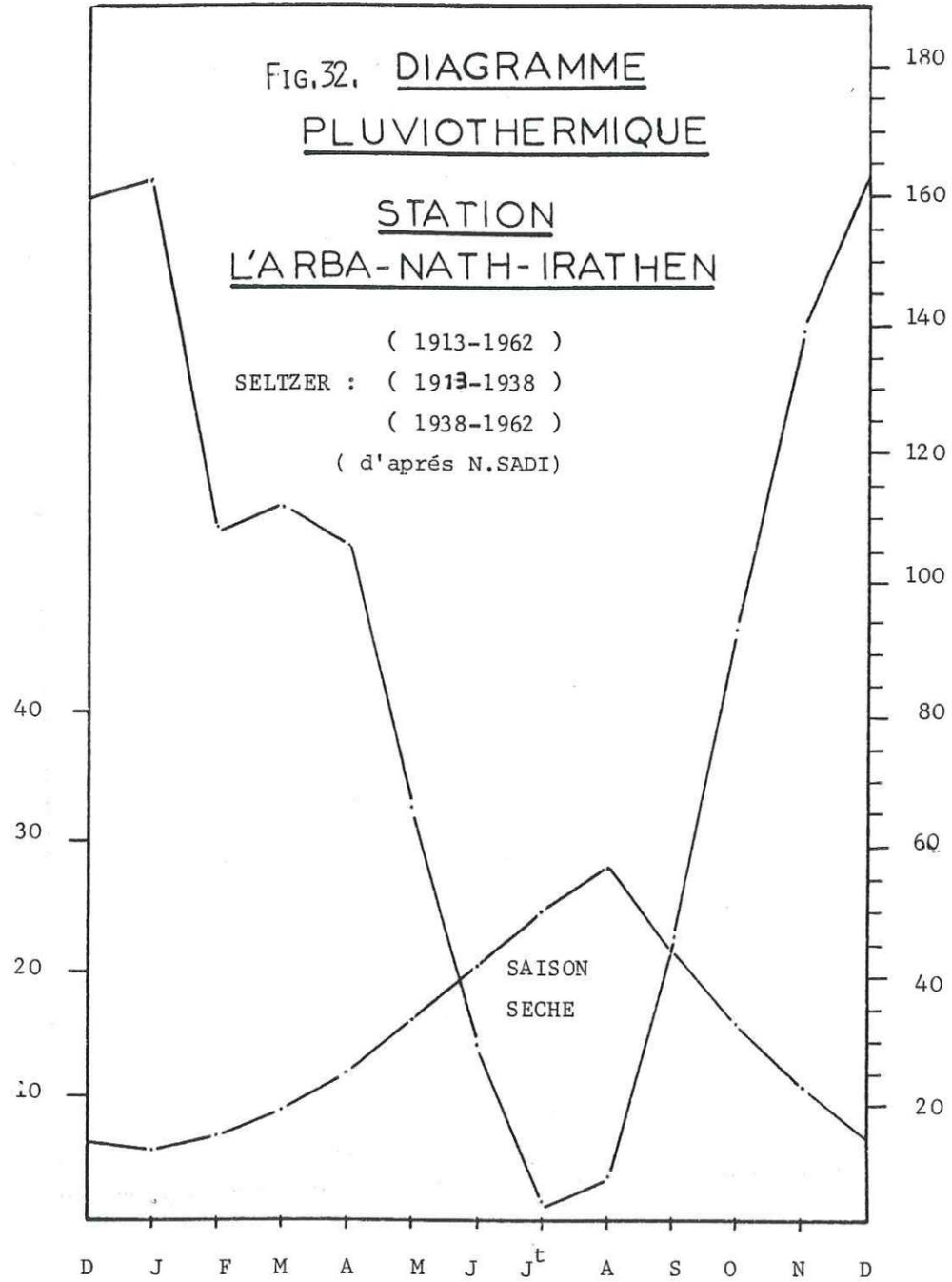
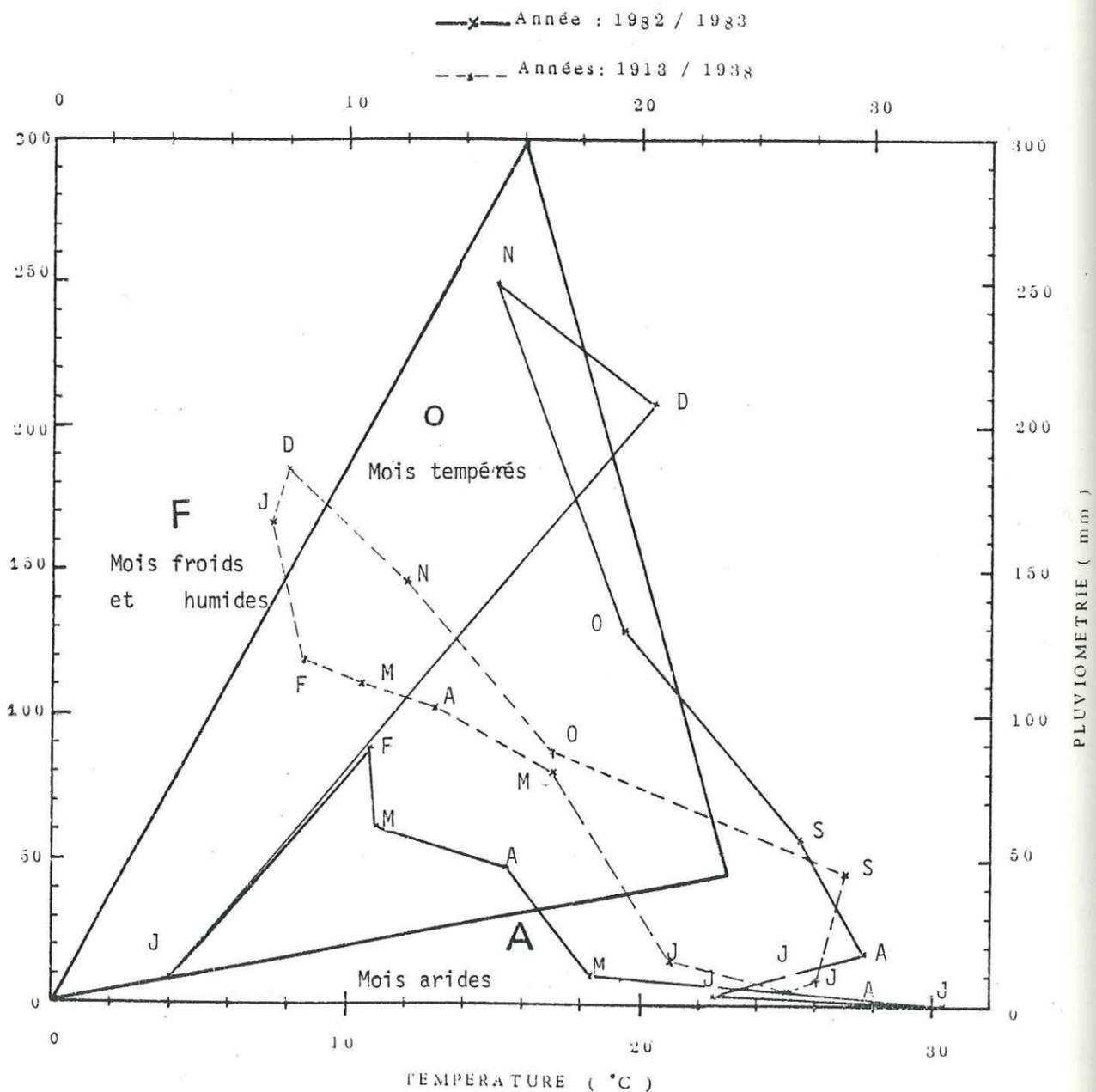


Fig.34. Climatogrammes du Bassin Versant



2.7 - REGIME THERMIQUE

Indice de DE MARTONNE (Indice d'aridité de DE MARTONNE). En 1923 se basant sur le régime des précipitations et des températures DE MARTONNE définissait l'indice d'aridité:

$$A = \frac{P}{T+10} \quad \text{avec } P = \text{Précipitations annuelles moyennes}$$

$$T = \text{Températures annuelles moyennes}$$

Nous avons calculé l'indice pour l'ensemble des stations, et nous trouvons des valeurs de "A" suivantes:

$$27,62 \leq A \leq 42,79$$

2.8 - METHODE OMBROTHERMIQUE

Pour GAUSSEN et BAGNOUB, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égal au double de la température moyenne.

Si l'on s'en tient à ce critère, on peut déduire pour l'année 1982-1983 que les mois secs sont Janvier, Mai, Juin, Juillet et Août. Au cours de cette année, l'absence de pluie en Janvier est particulière. Pour les données de P. SELTZER, ce sont les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre, ce qui est tout à fait normal pour des mois de saison estivale.

3 - DÉTERMINATION DE LA LAME D'EAU PRÉCIPITÉE

Nous pouvons estimer la hauteur d'eau précipitée par trois méthodes différentes, chacune étant plus élaborée que l'autre.

3.1 - METHODE ARITHMETIQUE

Pour les deux périodes considérées nous obtenons respectivement 1973-1983: 937 mm et 1982-1983: 885 mm.

3.2 - METHODE DES POLYONES DE THIESSEN (fig.35)

Pour ce faire nous avons utilisé en plus des stations internes au bassin versant trois stations extérieures à ce dernier qui sont Bouassem, Makouda, Yakouren. Les résultats obtenus pour les deux périodes sont 1973-1983: 941 mm et 1982-1983 : 895 mm.

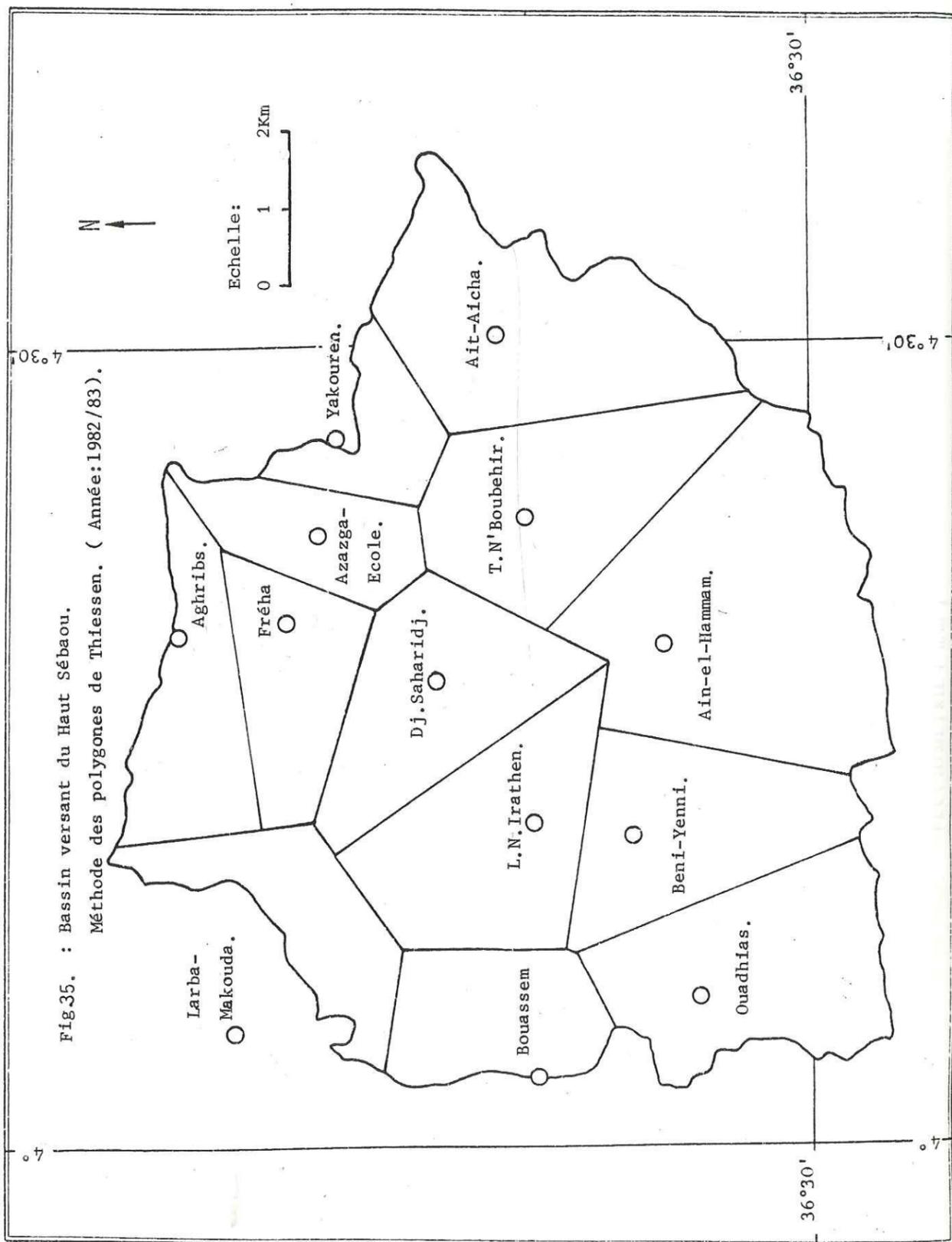


Fig.35. : Bassin versant du Haut Sébaou.
Méthode des polygones de Thiessen. (Année:1982/83).

3.3 - METHODE DES ISOHYETES (fig.36 et 37)

Pour avoir une approche précise de la valeur de la lame d'eau précipitée, nous avons comme précédemment considéré les deux périodes. Les résultats obtenus sont reportés dans les tableaux ci-dessous (Tableaux 18 et 19).

Année 1973-1983		
Surface interisohyete en 10 ⁶ m ²	Pluviométrie moyenne interisohyète en (m)	Volume précipité sur le bassin versant en 10 ⁶ m ³
460	0.85	391.0
480	0.95	456.0
292	1.05	306.6
156	1.15	179.4
144	1.25	55.0
1432		1388.0 <i>1369</i>
Année 1982-1983		
36	0.65	23.4
200	0.75	150.0
432	0.85	367.2
336	0.95	319.2
232	1.05	243.6
156	1.15	179.4
40	1.25	50.0
1432		1332.8 <i>1330</i>

Tableaux 18 : Résultats de la méthode des isohyètes. Années 73/83 et 82/83

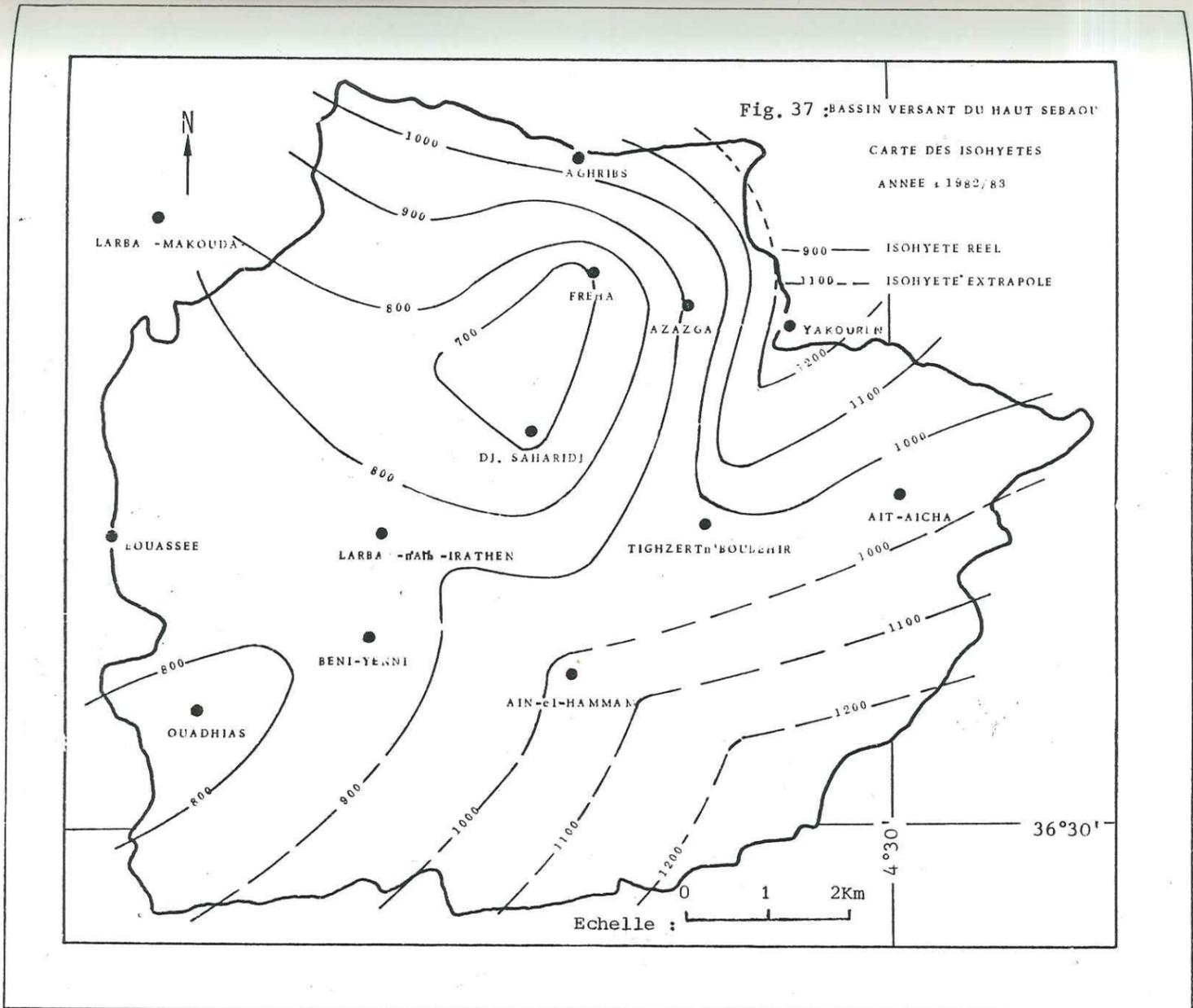
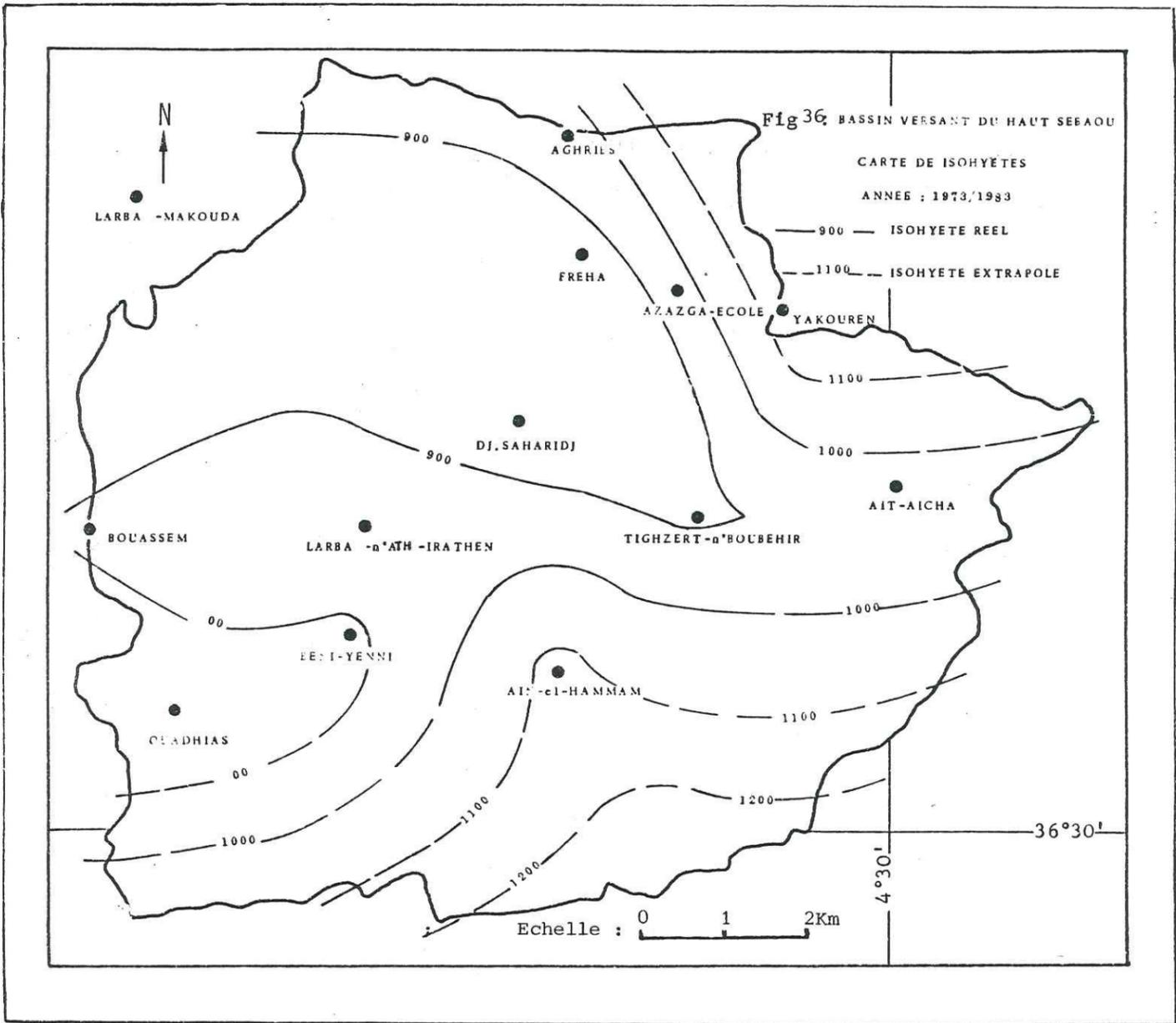
De ces deux tableaux, nous déduisons les lames d'eau précipitées suivantes:

Année 1973-1983 = $P = \frac{V}{S} = 931 \text{ mm}$

Année 1982-1983 = $P = \frac{V}{S} = 969 \text{ mm}$

CONCLUSION

Nous remarquons que dans l'ensemble, les valeurs obtenues par les trois méthodes sont à peu près du même ordre de grandeur, ceci confirme l'homogénéité des séries utilisées.



4 - ÉTUDE DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION

4.1 - L'ÉVAPOTRANSPIRATION REELLE (E.T.R.)

L'estimation de la lame d'eau évapotranspirée est facilement accessible grâce aux formules empiriques et diagrammes que des auteurs comme L. TURC, COUTAGNE et WUNDT ont élaboré.

Ces formules et diagrammes font intervenir des paramètres faciles à quantifier, comme la température et la pluviométrie.

4.1.a) Année 1982-1983

Formule de L. TURC $E.T.R. = \frac{P}{\sqrt{\frac{0.9+P^2}{L^2}}}$

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

Pour une précipitation annuelle moyenne $P = 885$ mm, et une température annuelle moyenne $T = 19^\circ\text{C}$, nous obtenons une $E.T.R. = 717$ mm, soit 81% des précipitations.

Formule de M. COUTAGNE (1ère formule)

$E.T.R. = P - \lambda P^2$ avec $\lambda = \frac{1}{0,8 + 14T}$
 $\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda} \end{array} \right.$

En remplaçant P et T , par leur valeur comme précédemment, on obtient une $E.T.R.$ de 658 mm, soit 74% des précipitations.

Le diagramme de WUNDT (fig.38)

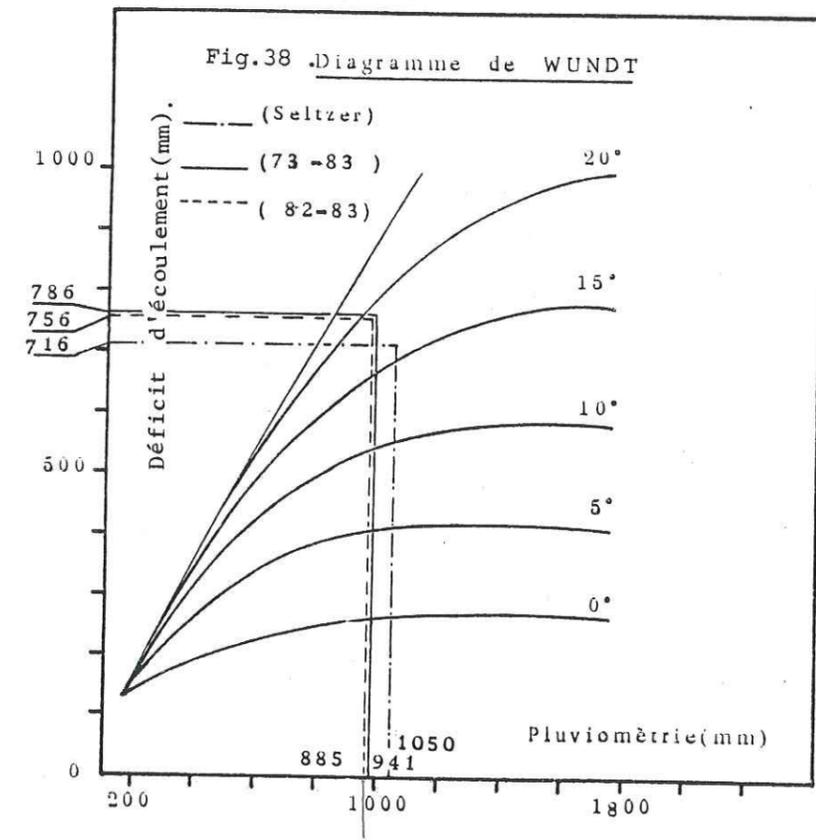
Ce diagramme donne le déficit d'écoulement que l'on peut assimiler à l' $E.T.R.$ Ainsi pour 885 mm reporté en abscisse et $T = 19^\circ\text{C}$ sur les courbes, nous obtenons un déficit en ordonnée $D = 756$ mm, soit 85% des précipitations.

4.1.b) Périodes (1973-1983) et (1913-1938)

Après l'application des mêmes formules que précédemment, nous obtenons les résultats suivants:

- 1973-1983 pour $\begin{cases} P = 941 \text{ mm} \\ T = 19^\circ\text{C} \end{cases}$

983225
 1249812



Mois	T°c	T+15	$0.40 \frac{T}{T+15}$	Tg _A	$\frac{h}{H} \%$	$0.18+0.62 \frac{h}{H}$	Ig	Ig+50	Ep (mm)
Septembre	25.0	12.43		762.6	0.567	432.47	482.47	0.250	121
		372,5							
Octobre	19.50	11.35	54	618.3	0.468	289.73	339.73	0.226	77
Novembre	14.30	10.45	51	483.1	0.460	222.24	272.24	0.195	53
Décembre	10.50	10	44	431.1	0.420	181.06	231.06	0.164	38
		310.0							
Janvier	9.70	10	43	461.2	0.413	190.80	240.80	0.157	38
		310							
Février	11.15	10.94	53	582.0	0.472	275.11	325.11	0.157	51
Mars	13.00	12	53	734.4	0.472	347.15	397.15	0.186	74
		51.20							
Avril	15.20	13.14	55	864.7	0.484	418.95	462.95	0.201	94
Mai	18.90	14.17	67	948.0	0.555	526.42	576.42	0.223	129
		439.3							
Juin	23.00	14.67	68	980.7	0.561	550.17	600.17	0.242	145
		440.1							
Juillet	27.15	14.41	77	957.2	0.614	588.60	638.00	0.258	165
		446.7							
Août	27.70	13.35	77	937.2	0.608	535.48	585.48	0.259	152
		420.0							
Année	17.9		59.16	8204.0	0.508	4566.58			1137

Tableau 19: Station de Tizi-Ouzou - Période 1913-1937
Evapotranspiration potentielle de L. TURC

Mois	T° C	T + 15 (°C)	$0,4 \frac{T}{T+15}$	Tg _A	$\frac{h}{H} \%$	$0,62 \frac{h}{H}$	$0.18+0.62 \frac{h}{H}$	Ig	Ig + 50	EP (mm)
Janvier	9.70	24.70	0.16	415	0.43	0.26	0.44	182.60	232.60	37
Février	11.15	26.15	0.16	541	0.53	0.32	0.50	270.50	320.50	51
Mars	13.00	28.00	0.19	705	0.53	0.32	0.50	325.50	375.50	71
Avril	15.20	30.20	0.20	849	0.55	0.34	0.52	441.48	491.48	98
Mai	18.90	33.90	0.22	947	0.67	0.41	0.59	558.73	608.73	134
Juin	23.00	38.00	0.24	980	0.68	0.42	0.60	588.00	638.00	153
Juillet	27.15	42.15	0.22	957	0.77	0.47	0.65	622.05	672.05	175
Août	27.70	42.70	0.26	869	0.76	0.47	0.65	564.85	614.85	160
Septembre	25.00	40.00	0.25	737	0.69	0.42	0.60	442.20	492.20	123
Octobre	19.50	34.50	0.23	579	0.54	0.33	0.51	295.29	345.29	79
Novembre	14.30	29.50	0.20	439	0.51	0.31	0.49	215.11	265.11	53
Décembre	10.50	25.50	0.16	375	0.44	0.27	0.43	168.75	218.75	35

Tableau 20: Station Tadmaït - Période 1913-1937 - Evapotranspiration potentielle (L. TURC)

Formule de L. TURC E.T.R. = 742 mm, soit 79% des précipitations.

Formule de M. COUTAGNE (1ère formule): E.T.R. = 658 mm soit 74% des précipitations.

Le diagramme de WUNDT: D = 716 mm soit 84% des précipitations.

- 1913-1938 pour $\begin{cases} P = 1050 \text{ mm} \\ T = 16^\circ\text{c} \end{cases}$

Formule de L. TURC: E.T.R. = 819 mm, soit 78% des précipitations.

Formule de M. COUTAGNE (1ère formule) E.T.R. = 687mm soit 65% des précipitations.

Diagramme de WUNDT: D = 716 mm soit 68% des précipitations.

Conclusion

Nous obtenons des valeurs d'E.T.R. comprises entre 65% et 85 % des précipitations pour l'ensemble des trois périodes considérées. Nous pensons que ces valeurs sont surestimées.

4.2 - L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (E.T.P.)

4.2.a - Formule de L. TURC (Tableaux 19 et 20)

En 1962, L. TURC a proposé la formule simplifiée suivante pour chiffrer l'E.T.P. mensuelle lorsque l'humidité relative mensuelle est supérieure à 50 %.

$$E.T.P. = 0,40 (I_g + 50) \frac{t}{t + 15} \quad (1)$$

avec:

E.T.P.: exprimé en mm d'eau par mois;

I_g: la radiation solaire globale du mois considéré sur une surface horizontale (unité: petites cal./cm²/jour)

t: température moyenne mensuelle en degrés celsius.

Le coefficient (0,4) est valable pour les mois de 30 et 31 jours.

Il est égal à 0,37 pour le mois de Février.

Comme la radiation solaire globale I_g n'est mesurée qu'en un petit nombre de stations, celle-ci est souvent évaluée à partir de la radiation maximale I (tables d'Angot et d'après le rapport h/H de la durée effective d'isolation (mesurée par un héliographe) à la durée du jour astronomique (en heure).

La formule souvent utilisée pour I_g dans la région d'étude est I_g = I_o (0.18 + 0.62 h/H)(2). (Formule dérivée de celle d'Angström). avec:

I_o et H ne dépendent que de la latitude et sont données par des tables.

En remplaçant I_g par sa formulation dans l'équation (1), nous obtenons l'équation (3).

$$E.T.P. = 0.4 (I_o(0.18+0.62 h/H + 50) \frac{t}{t + 15} \quad (3)$$

C'est cette formule qui est utilisée par P. SELTZER pour chiffrer l'E.T.P. à la station de Tadmit et Tizi-Ouzou pour la période (1913-1937) (tableaux 19 et 20).

Pour notre part, vue l'absence des données (I_g en particulier) sur le bassin versant du Haut Sébaou, nous n'avons pas pu chiffrer l'E.T.P. par cette formule de L. TURC, ni pour la période (1973-1983), ni pour l'année (1982-1983).

4.2.b- Méthode du bilan de C.W. THORNTWAITE

Cette méthode simple fondée sur les précipitations et les températures est très pratique, car elle permet de calculer à la fois l'ETP et l'ETR.

Comme les températures maximales et minimales sont toutes les deux influencées, mais en sens inverse, par l'humidité de sol, THORNTWAITE propose d'utiliser les températures moyennes.

Les valeurs mensuelles de l'ETP sont lues sur l'abaque de THORNTWAITE qui comprend: (fig. 39).

- une échelle logarithmique pour l'E.T.P (en cm) en abscisse;
- une échelle logarithmique pour les températures (en degrés celsius) en ordonnée;
- et une échelle logarithmique des indices thermiques en ordonnées.

Principe d'utilisation de l'abaque

L'abaque comprend un point fixe (A) de coordonnées

$$A \quad \begin{cases} T^\circ\text{c} = 26.5 \\ E.T.P_{cm} = 13.5 \end{cases}$$

Connaissant les valeurs mensuelles de l'indice thermique correspondant aux températures moyennes (tableau 21) on détermine la valeur thermique annuel que l'on reporte sur l'échelle des indices thermiques, soit le point B:

Fig.39. Abaque de calcul de l'E.T.P de C.W.THORNTHWAITE .

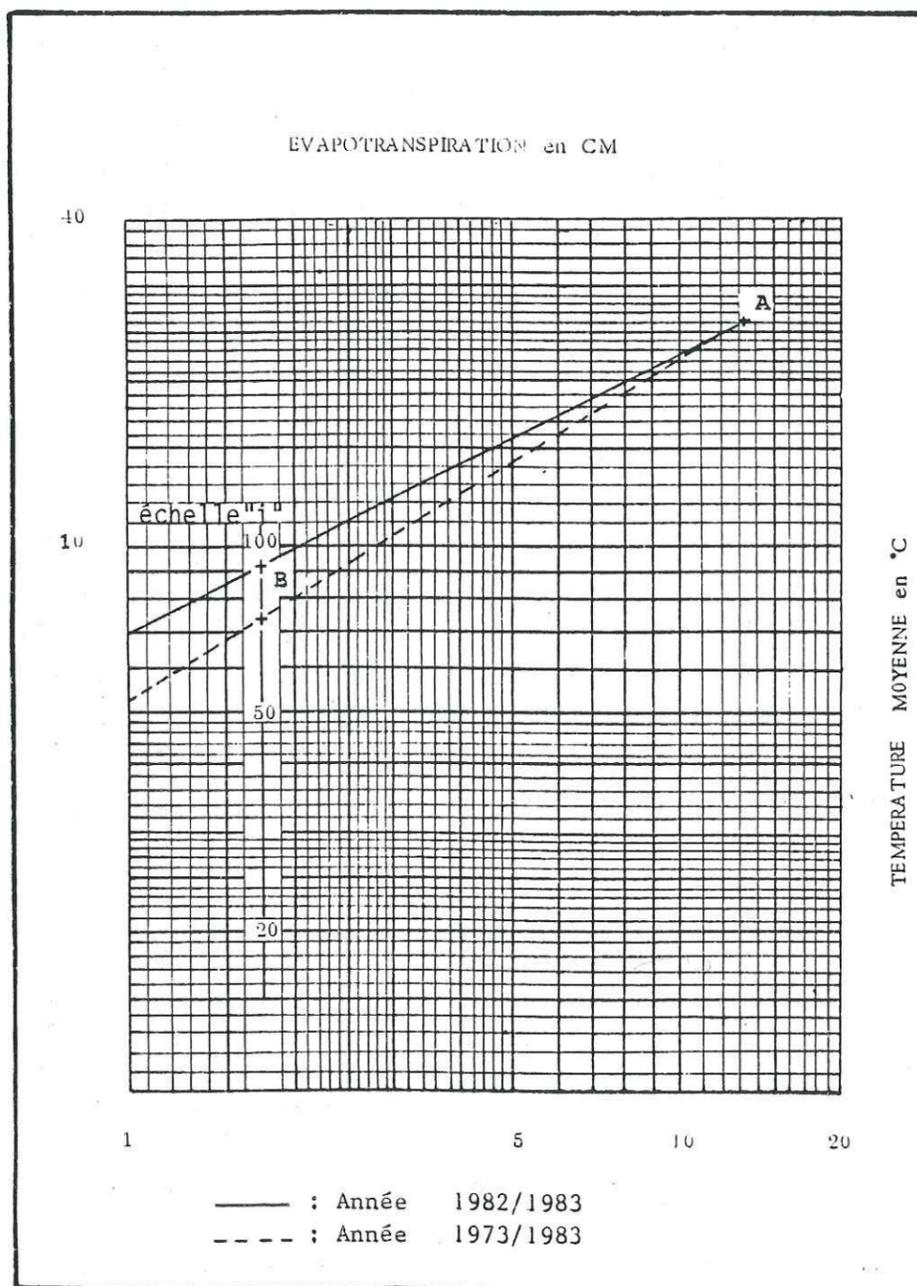


Tableau. 21 . VALEURS MENSUELLES DE l CORRESPONDANT AUX TEMPERATURES MOYENNES

T°C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0			0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07
1	0.09	0.10	0.12	0.13	0.15	0.16	0.18	0.20	0.21	0.23
2	0.25	0.27	0.29	0.31	0.33	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44
3	0.46	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58	0.61	0.63	0.66	0.69
4	0.71	0.74	0.77	0.80	0.82	0.85	0.88	0.91	0.94	0.97
5	1.00	1.03	1.06	1.09	1.12	1.16	1.19	1.22	1.25	1.29
6	1.32	1.35	1.39	1.42	1.45	1.49	1.52	1.56	1.59	1.63
7	1.66	1.70	1.74	1.77	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	2.00
8	2.04	2.08	2.12	2.15	2.19	2.23	2.27	2.31	2.35	2.39
9	2.44	2.48	2.52	2.56	2.60	2.64	2.69	2.73	2.77	2.81
10	2.86	2.90	2.94	2.99	3.03	3.08	3.12	3.16	3.21	3.25
11	3.30	3.34	3.39	3.44	3.48	3.53	3.58	3.62	3.67	3.72
12	3.76	3.81	3.86	3.91	3.96	4.00	4.05	4.10	4.15	4.20
13	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70
14	4.75	4.81	4.86	4.91	4.96	5.01	5.07	5.12	5.17	5.22
15	5.28	5.33	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.65	5.71	5.76
16	5.82	5.87	5.93	5.98	6.04	6.10	6.15	6.21	6.26	6.32
17	6.38	6.44	6.49	6.55	6.61	6.66	6.72	6.78	6.84	6.90
18	6.95	7.01	7.07	7.13	7.19	7.25	7.31	7.37	7.43	7.49
19	7.55	7.61	7.67	7.73	7.79	7.85	7.91	7.97	8.03	8.10
20	8.16	8.22	8.28	8.34	8.41	8.47	8.53	8.59	8.66	8.72
21	8.78	8.85	8.91	8.97	9.04	9.10	9.17	9.23	9.29	9.36
22	9.42	9.49	9.55	9.62	9.68	9.75	9.82	9.88	9.95	0.01
23	10.08	10.15	10.21	10.28	10.35	10.41	10.48	10.55	10.62	0.68
24	10.75	10.82	10.89	10.95	11.02	11.09	11.16	11.23	11.30	1.37
25	11.44	11.50	11.57	11.64	11.71	11.78	11.85	11.92	11.99	2.06
26	12.13	12.21	12.28	12.35	12.42	12.49	12.56	12.63	12.70	2.78
27	12.85	12.92	12.99	13.07	13.14	13.21	13.28	13.36	13.43	3.50
28	13.58	13.65	13.72	13.80	13.87	13.94	14.02	14.09	14.17	4.24
29	14.32	14.39	14.47	14.54	14.62	14.69	14.77	14.84	14.92	4.99
30	15.07	15.15	15.22	15.30	15.38	15.45	15.53	15.61	15.68	5.76
31	15.84	15.92	15.99	16.07	16.15	16.23	16.30	16.38	16.46	6.54
32	16.62	16.70	16.78	16.85	16.93	17.01	17.09	17.17	17.25	7.33
33	17.41	17.49	17.57	17.65	17.73	17.81	17.89	17.97	18.05	8.13
34	18.22	18.30	18.38	18.46	18.54	18.62	18.70	18.79	18.87	8.95
35	19.03	19.11	19.20	19.28	19.36	19.45	19.53	19.61	19.69	9.78
36	19.86	19.95	20.03	20.11	20.20	20.28	20.36	20.45	20.53	0.62
37	20.70	20.79	20.87	20.96	21.04	21.13	21.21	21.30	21.38	1.47
38	21.56	21.64	21.73	21.81	21.90	21.99	22.07	22.16	22.25	2.33
39	22.42	22.51	22.59	22.68	22.77	22.86	22.95	23.03	23.12	3.21
40	23.30									

VALEURS DE L'EVAPOTRANSPIRATION EN CM POUR LES TEMPERATURES SUPERIEURES A 26°5

T°C	26°5, 27.0, 27.5, 28.0, 28.5, 29.0, 29.5, 30.0, 30.5, 31.0, 31.5, 32.0, 32.5
Ep	13.50, 13.95, 14.37, 14.78, 15.17, 15.54, 15.89, 16.21, 16.52, 16.80, 17.07, 17.31, 17.53, 17.72
T°C	33.5, 34.0, 34.5, 35.0, 35.5, 36.0, 36.5, 37.0, 37.5, 38.0 17.90, 18.05, 18.18, 18.29, 18.37, 18.43, 18.47, 18.49, 18.50, 18.50

- on trace la droite passant par A et B;
 - ainsi pour une température en ordonnée, l'intersection avec la droite AB, nous permet de lire la valeur de l'ETP (cm) non corrigée en abscisse.

Les valeurs de l'ETP obtenues sont ensuite affectées d'une correction de latitude (Tableau 22)

Pour le calcul de l'évapotranspiration réelle (ETR), C.W. THORNTHWAITE considère deux cas:

1/ P > ETP, alors ETR = ETP

2/ P < ETP, alors ETR = ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol ne sont pas épuisées, au-delà il y aura déficit concernant la réserve utile, nous la considérons d'une part égale à 100 mm comme le fait C.W. THORNTHWAITE, et d'autre part nous la calculerons d'après la formule de HALLAIRE qui tient compte d'un certain nombre de caractéristiques physiques de l'état du sol, pouvant particulièrement influencer sur cette réserve utile.

La formule est la suivante:

$$R = \frac{C - F}{100} \times h \times D' + 30 \text{ mm}$$

où: R est la réserve en eau utile

C est la capacité de rétention

F est la capacité au point de flétrissement

h est la profondeur du sol

D' est la densité apparente (D' ≠ 1)

30 mm est l'enracinement capillaire

Dans la vallée du haut Sébaou, le sol végétal est limono-sableux, épais en moyenne de un mètre, l'aquifère est généralement constitué de sable fin à grossier, de graviers et de galets, ce qui nous a poussé à choisir une capacité de rétention de l'ordre de dix pour cent (10%).

Pour cette capacité, nous obtenons après calcul une réserve de 130 mm.

4.2.c - Application de la méthode du bilan hydrique de C.W. THORNTHWAITE pour le calcul de l'E.T.R. et de l'E.T.P. (Tableaux 23 à 26 et fig.40).

Afin de dégager et de mieux apprécier l'influence du phénomène évapotranspiration, nous avons d'une part effectué le calcul pour deux périodes très différentes et présentant donc des pluviométries différentes; d'autre part, nous avons considéré deux valeurs de réserve utile.

Tableau. 22. DUREE MOYENNE POSSIBLE D'ENSOLEILLEMENT

N. Lat.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0	1.04	.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
5	1.02	.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	.99	1.02
10	1.00	.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	.98	.99
15	.97	.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	.95	.97
20	.95	.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	.93	.94
25	.93	.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
26	.92	.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	.99	.91	.91
27	.92	.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	.99	.90	.90
28	.91	.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	.98	.90	.90
29	.91	.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	.98	.90	.89
30	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
31	.90	.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	.98	.89	.88
32	.89	.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	.98	.88	.87
33	.88	.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	.97	.88	.86
34	.88	.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	.97	.87	.86
35	.87	.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	.97	.86	.85
36	.87	.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	.90	.85	.84
37	.86	.84	1.03	1.10	1.22	1.23	1.25	1.17	1.03	.96	.84	.83
38	.85	.84	1.03	1.10	1.23	1.24	1.25	1.17	1.04	.96	.84	.83
39	.85	.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	.96	.83	.82
40	.84	.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	.96	.83	.81
41	.83	.83	1.03	1.11	1.25	1.26	1.27	1.19	1.04	.96	.82	.80
42	.82	.83	1.03	1.12	1.26	1.27	1.28	1.19	1.04	.95	.82	.79
43	.81	.82	1.02	1.12	1.26	1.28	1.29	1.20	1.04	.95	.81	.77
44	.81	.82	1.02	1.13	1.27	1.29	1.30	1.20	1.04	.95	.80	.76
45	.80	.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	.94	.79	.75
46	.79	.81	1.02	1.13	1.29	1.31	1.32	1.22	1.04	.94	.79	.74
47	.77	.80	1.02	1.14	1.30	1.32	1.33	1.22	1.04	.93	.78	.73
48	.76	.80	1.02	1.14	1.31	1.33	1.34	1.23	1.05	.93	.77	.72
49	.75	.79	1.02	1.14	1.32	1.34	1.35	1.24	1.05	.93	.76	.71
50	.74	.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	.92	.76	.70
S. Lat.												
5	1.06	.95	1.04	1.00	1.02	.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
10	1.08	.97	1.05	.99	1.01	.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
15	1.12	.98	1.05	.98	.98	.94	.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
20	1.14	1.00	1.05	.97	.96	.91	.95	.99	1.00	1.08	1.09	1.15
25	1.17	1.01	1.05	.96	.94	.88	.93	.98	1.00	1.10	1.11	1.18
30	1.20	1.03	1.06	.95	.92	.85	.90	.96	1.00	1.12	1.14	1.21
35	1.23	1.04	1.06	.94	.89	.82	.87	.94	1.00	1.13	1.17	1.25
40	1.27	1.06	1.07	.93	.86	.78	.84	.92	1.00	1.15	1.20	1.29
42	1.28	1.07	1.07	.92	.85	.76	.82	.92	1.00	1.16	1.22	1.31
44	1.30	1.08	1.07	.92	.83	.74	.81	.91	.99	1.17	1.23	1.33
46	1.32	1.10	1.07	.91	.82	.72	.79	.90	.99	1.17	1.25	1.35
48	1.34	1.11	1.08	.90	.80	.70	.76	.89	.99	1.18	1.27	1.37
50	1.37	1.12	1.08	.89	.77	.67	.74	.88	.99	1.19	1.29	1.41

Mois Éléments de calcul	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Température moy. (°C)	27.0	17.0	12.0	8.0	7.5	8.5	10.5	13.0	17.0	21.0	25.0	26.0	16.0
Indices thermiques (i)	12.85	6.38	3.76	2.04	1.85	2.23	3.08	4.25	6.38	8.78	11.44	12.13	$\sum i = 75.17$
ETP non corrigée (mm)	13.95	66.0	66.7	19.6	14.0	21.5	30.0	42.4	66.0	93.0	123.0	130.0	782.0
Facteurs de correction	1.03	0.97	0.85	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP corrigée (mm)	144	64	31	16	12	18	31	47	80	113	153	151	860
Précipitations moy.	45	87	146	185	167	119	111	102	60	15	5	8	1050
ETR (mm)	45	64	31	16	12	18	31	47	80	95	5	8	425
Réserve utile	0	23	100	100	100	100	100	100	80	0	0	0	
Excédent (R+I) (mm)	0	0	38	169	155	101	80	55	0	0	0	0	598

Tableau 23 - - - BILAN HYDRIQUE DE C.W. THORNTHWAITE A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT (d'après les données de P. SELTZER)
(Réserve utile = 100 mm)

Mois Éléments de calcul	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Temp. moyenne (°C)	27.0	17.0	12.0	8.0	7.0	8.5	10.5	13.0	17.0	21.0	25.0	26.0	16.0
Indices thermiques	12.85	6.38	3.76	2.04	1.85	2.23	3.08	4.25	6.38	8.78	11.44	12.13	$\sum i = 75.17$
E.T.P. non corrigée	139.5	66.0	36.7	19.6	14.0	21.5	30.8	42.4	66.0	93.0	123.0	130.0	782.0
Facteur de correction	1.03	0.97	0.85	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
E.T.P. corrigée (mm)	1.44	64	31	16	12	18	31	47	80	113	153	151	860
Précipitations moy.	45	87	146	185	167	119	111	102	60	15	5	8	1050
Evapotranspiration réelle (mm)	45	64	31	16	12	18	31	47	80	113	18	8	482
Réserve utile	0	23	130	130	130	130	130	130	110	18	0	0	
Excédent (R+I)	0	0	8	169	155	101	80	55	0	0	0	0	568

Tableau 24 BILAN HYDRIQUE DE C.W. THORNTHWAITE A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT
(d'après les données de P. SELTZER - Réserve utile = 130 mm)

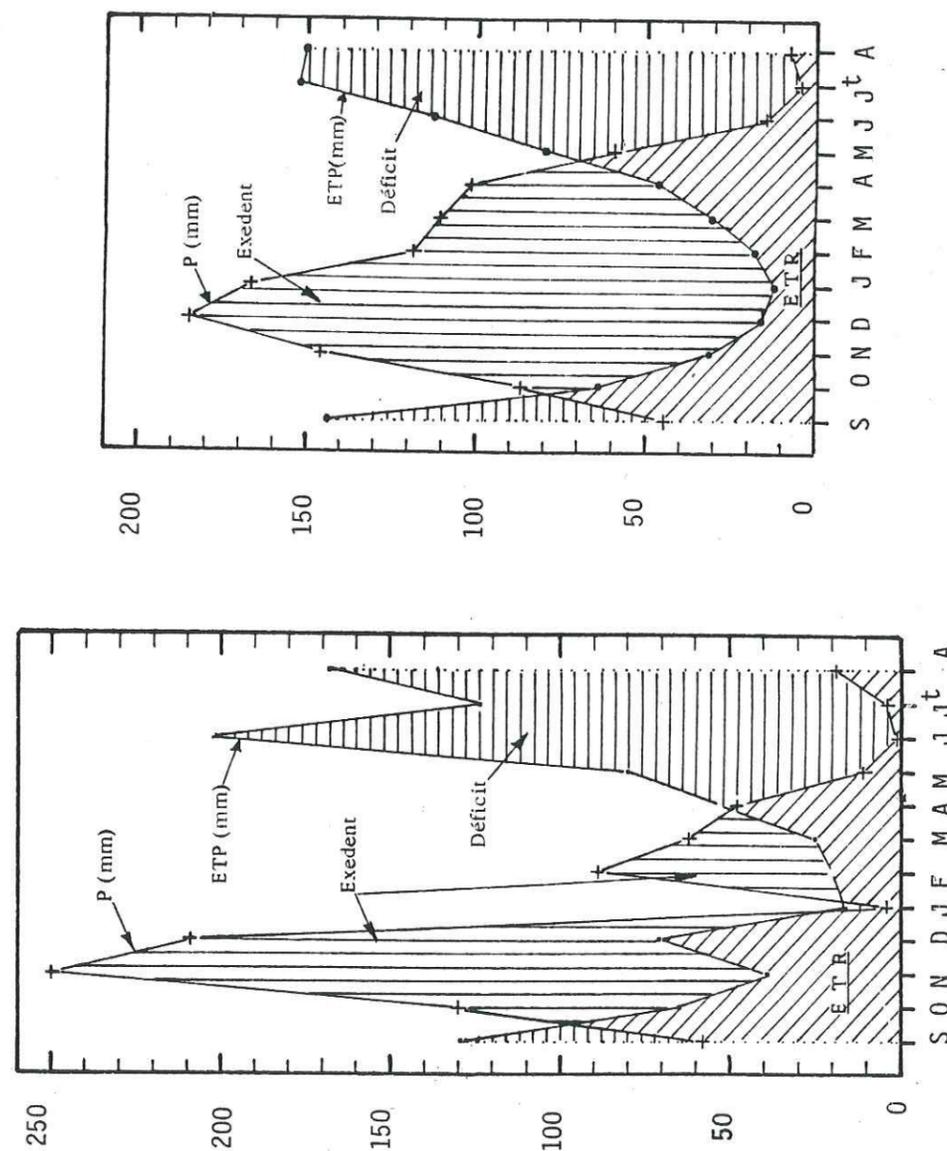
Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Températures moyennes	25.5	19.4	15.0	20.4	9.5	10.7	11.0	15.4	18.3	30.6	22.5	27.7	19.0
Indices thermiques	11.78	7.79	5.28	8.41	2.64	3.16	3.30	5.49	7.13	15.53	9.75	13.36	93.6
ETP non corrigée	125	75	46	84	18	24	24.5	48	66	166	100	145	921.5
Facteur de correction	1.03	0.87	0.85	0.84	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP corrigée	129	65	39	71	16	20	25	53	80	203	124	169	993
Précipitations moy.	58	130	250	209	4	89	62	48	11	1	4	19	885
ETR (mm)	58	65	39	71	16	20	25	53	80	27	4	19	477
Réserve utile	0	65	100	100	88	100	100	95	26	0	0	0	
Excédent (R+I) (mm)	0	0	176	138	0	57	37	0	0	0	0	0	408

Tableau 25 : BILAN HYDRIQUE SELON C.W. THORNTHWAITE (Réserve utile 100mm) (Année 1982-1983) à l'échelle du bassin versant

Mois Paramètres	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Année
Temp. moy.	25.5	19.4	15	20.4	9.5	10.7	11	15.4	18.3	30.6	22.5	27.7	19
Indices thermiques	11.78	7.79	5.28	8.41	2.64	3.16	3.30	5.49	7.13	15.53	9.75	13.36	93.6
ETP non corrigée	125	75	46	84	18	24	24.5	48	66	166	100	145	921.5
Facteur de correction	1.03	0.87	0.85	0.84	0.87	0.84	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
ETP corrigée	129	65	39	71	16	20	25	53	80	203	124	168	993
Précipitations moy.	58	130	250	209	4	89	62	48	11	1	4	19	885
ETR (mm)	58	65	39	71	16	20	25	53	80	57	4	19	507
Réserve utile (mm)	0	65	130	130	118	130	130	125	56	0	0	0	
Excédent (R+I) (mm)	0	0	146	138	0	57	37	0	0	0	0	0	378

Tableau 26 : BILAN HYDRIQUE SELON C.W. THORNTHWAITE (Année 1982-1983) à l'échelle du bassin versant - (Réserve utile 130 mm)

Fig. 40. Bilans de THORNTHWAITE



1913-1937 (d'après P. SELTZER.)

1982-1983

4.2.d - Analyse des résultats du bilan hydrique

La première remarque à tirer de ces bilans effectués pour les deux réserves utiles envisagées est la relative faible valeur de l'E.T.R. dont l'ordre de grandeur est de 400 à 500 mm. Cette remarque est vérifiée pour l'année 1982-1983 et la période 1931-1937.

Le deuxième à trait à la vérification de l'équilibre de ces bilans. En effet, nous avons pour les deux périodes des bilans hydriques qui répondent à la relation $P = E.T.R. + (R+I)$

4.3 - CRITIQUES DES RESULTATS DE L'E.T.R. ET DE L'E.T.P. OBTENUS PAR LES DIFFERENTES METHODES

Dans les tableaux 27 et 28., nous avons regroupé les résultats des différentes méthodes, afin de pouvoir les comparer.

1/ Année 1982-1982

E.T.R. (mm)	E.T.P. (mm)	Auteurs
717 (81 %)	993	L. TURC
507 (57 %)		C.W. THORNTHWAITE
658 (74 %)		M. COUTAGNE
756 (74 %)		WUNDT

Tableau 27

2/Années 1973-1983 et 1913-1937

E.T.R. (mm)	E.T.P. (mm)	auteurs
742 (79 %)	1153	L. TURC 1973-1983
879 (78 %)		1913-1937
483 (46%)	860	C.W. THORTHWAITE
687 (65 %)		1913-1937
685 (73 %)		M. COUTAGNE
716 (68%)		WUNDT 1973-1983

Tableau 28

Tableaux 27 et 28: Récapitulation des valeurs de l'ETR et de l'ETP obtenues par les différentes méthodes

D'après l'analyse de ces résultats, nous pouvons dire qu'on a toujours une E.T.P. très supérieure aux précipitations. Ceci à l'échelle de l'année.

Concernant l'E.T.R., les formules de L.TURC et M.COUTAGNE donnent des résultats assez proches à 15% près.

L'E.T.R. calculée par la méthode du bilan hydrique de C.W. THORNTHWAITE est à notre avis sous-estimée, compte-tenu des valeurs obtenues par les autres formules.

5 - Estimation de la lame d'eau ruissellée par la méthode de TIXERON-BERKALOFF

Pour estimer le ruissellement, ces deux auteurs utilisent la formule empirique suivante:

$$R = \frac{p^3}{3 (E.T.P.)^2} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} E.T.P. = E.T.P. \text{ annuelle (m)} \\ P = \text{Pluviométrie annuelle moyenne (m)} \\ R = \text{Ruissellement annuel (m)} \end{cases}$$

L'application de cette formule aux données de l'année 1982-1983 donne le résultat suivant:

$$\left. \begin{array}{l} E.T.P. = 993 \text{ mm} \\ P = 885 \text{ mm} \end{array} \right\} R = 234 \text{ mm}$$

Pour la période 1913-1937, nous avons

$$\left. \begin{array}{l} E.T.P. = 860 \text{ mm} \\ P = 1050 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{d'où } R = 522 \text{ mm}$$

En traduisant en volume on obtient respectivement une lame d'eau ruissellée de l'ordre de:

$$335.10^6 \text{ m}^3 \text{ dans le premier cas et de } 746.10^6 \text{ m}^3 \text{ dans le second cas.}$$

Conclusion

En tenant compte des valeurs de l'E.T.R. importantes calculées plus haut, nous pouvons dire que seule la valeur obtenue dans le 1er cas paraît plausible, en conséquence nous estimons que cette méthode d'estimation ne s'adapte pas à notre terrain.

B - HYDROLOGIE DE SURFACE

Introduction

1 - Généralités

L'hydrologie de surface s'intéresse à une fraction de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant et drainée par le réseau hydrographique.

La nature lithologique et le contexte géographique influent beaucoup sur la densité et la hiérarchisation du réseau hydrographique.

En grande Kabylie, et particulièrement dans le Haut Sébaou, le réseau hydrographique bien hiérarchisé et dense a permis un contrôle plus ou moins efficace du ruissellement de surface.

2-Directions et profil en long de l'Oued Sébaou (fig.41)

L'Oued Sébaou, avec une longueur de 110kms est l'oued principal qui traverse la plaine étudiée. Depuis sa source (Djurdjura oriental) jusqu'à l'embouchure (Mer Méditerranée), il change trois fois de directions

- Direction nord : de la source à Azazga
- Direction ouest d'Azazga à Tadmaït
- Direction nord: de Tadmaït à l'embouchure.

La longueur du lit majeur est de 76kms pour une pente de $i = 28.10^{-4}$, quant au lit mineur, il fait 87 kms pour $i = 25.10^{-4}$

Dans les gorges du Bellaoua, c'est-à-dire au seuil aval de la zone d'étude et sur une distance de 7kms, la pente du lit de l'oued est $i = 28.10^{-4}$, puis vers l'embouchure elle varie de $i = 21.10^{-4}$ à $i = 10.10^{-4}$.

La majeure partie des oueds du bassin versant ont un régime semi-permanent ou sec. Les profils en long sont extrêmement jeunes, en particulier celui de l'oued de Sébaou (fig. 41) montre des ruptures de pente fortes en amont et faibles en aval (à l'embouchure).

3-Equipement du bassin versant (tableau 29)

L'équipement hydrométrique se compose de trois stations de jaugeage dont deux stations en amont respectivement sur les oueds: Aissi et Dis permettent de chiffrer l'apport de ces affluents.

La troisième, située en aval sur l'oued Sébaou permet de chiffrer les sorties.

Régulièrement, les jaugeages sont effectués, trois fois par mois (5, 15 et 25) par l'équipe de techniciens de l'I.N.R.H. de Tizi-Ouzou. Aussi pour avoir des mesures continues les stations sont équipées de limnigraphes enregistreurs, et les jaugeages selon les circonstances sont effectués soit au moulinet, soit au saumon.

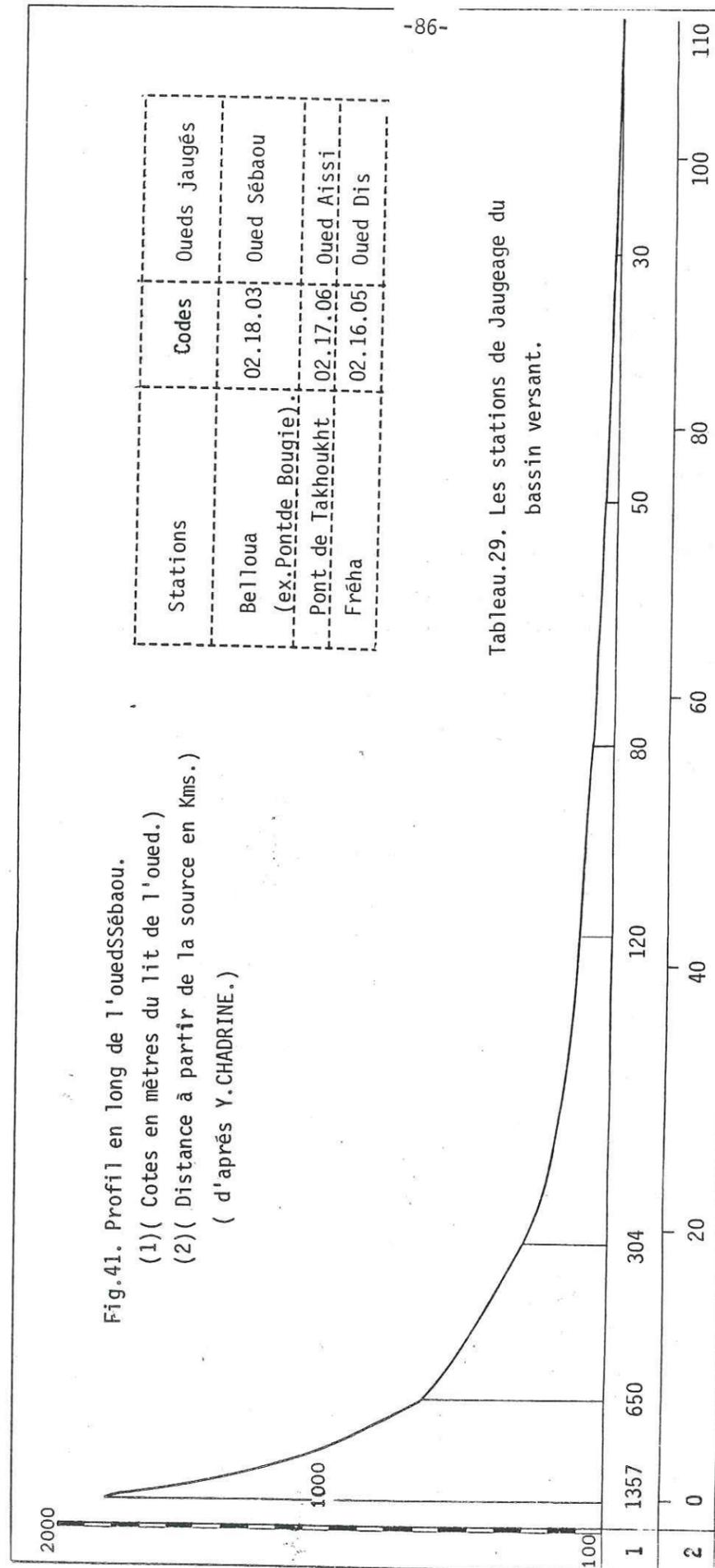


Fig.41. Profil en long de l'oued Sébaou.
 (1) (Cotes en mètres du lit de l'oued.)
 (2) (Distance à partir de la source en kms.)
 (d'après Y. CHADRINE.)

Tableau.29. Les stations de Jaugeage du bassin versant.

I - APPORTS ET SORTIES

1.1 - LES APPORTS

1.1.a- La station de Fréha (oued Dis) (Tableau 30)

Nous avons pu recueillir les débits relatifs à la période 1973-1978. L'analyse de ces derniers montre que le maximum d'apport est enregistré en Décembre, Février, Mars et Avril et le minimum en Juillet, Août et Septembre.

Nous remarquerons aussi que parallèlement à la diminution des précipitations, les apports sont sensiblement affectés en passant de 83.65 hm³ (année 1973-1974) à 22.84 hm³ (année 1976-1977).

1.1.b- La station du Pont de Takhoukt (oued Aissi)

Il n'existe malheureusement pas de données au niveau de cette station.

1.2 - LES SORTIES: STATION DES GORGES DU BELLOUA(ex: pont de Bougie)
(Tableaux 31 et 32)

Au niveau de ce site, nous disposons de deux séries de mesures de débits respectivement relatives aux périodes (1950-1958) et 1973-1978. Comme précédemment, nous remarquons que les écoulements maximums correspondent aux mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février et Mars et les écoulements minimums aux mois d'Août et Septembre.

En ce qui concerne la deuxième période, les maximums sont enregistrés aux mois de Janvier, Février, Mars et Avril et les minimums aux mois d'Août et Septembre.

Remarque:

A l'exception de l'année 1954-1955, les débits de sortie au seuil du Belloua sont relativement élevés (tableau 32).

Pour la station de Fréha (oued Dis), les débits relatifs à la période 1973-1978 accusent une décroissance due à la chute des précipitations pendant cette période.

TABLEAU 30 : DEBITS TRANSITANT A LA STATION DE FREHA. (Oued Dis), (1973-1978), (Hm³).

Année	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	An.
1973-74	2.6	0.2	0.1	11.9	0.6	23.1	31.8	11.6	1.5	0.1	0.0	0.0	83.6
1974-75	0.0	0.4	2.0	0.5	1.4	6.9	11.5	1.3	0.4	0.1	0.0	0.0	24.6
1975-76	0.0	0.0	7.4	4.2	4.7	23.7	8.5	0.8	2.0	0.1	0.0	0.0	51.4
1976-77	0.0	0.0	2.0	9.5	6.4	1.5	0.2	2.9	0.2	0.0	0.0	0.0	22.8
1977-78	0.0	0.0	0.8	0.1	2.7	1.6	6.0	14.2	0.6	0.1	0.0	0.0	26.1

TABLEAU 31 : DEBITS TRANSITANT A LA STATION DU BELLOUA. (Oued Sebaou), (1950-58), (Hm³).

Année	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	An.
1950-51	7.6	8.2	23.9	54.4	126.1	135.3	97.8	27.0	25.3	5.5	0.9	0.6	512.6
1951-52	2.53	64.9	59.7	92.1	213.8	173.9	134.0	83.1	92.6	16.8	5.2	2.3	940.9
1952-53	4.2	2.7	15.9	190.5	212.4	108.5	204.2	57.9	31.9	9.1	3.3	1.7	842.3
1953-54	3.3	5.9	4.9	12.6	108.0	182.2	107.5	147.4	43.0	10.5	2.8	1.5	629.7
1954-55	1.3	2.5	32.4	36.6	60.5	46.8	66.6	47.2	26.8	5.2	1.3	1.5	328.6
1955-56	4.2	18.6	35.2	53.5	81.7	201.3	109.6	76.6	34.0	5.5	1.4	0.6	622.2
1956-57	0.8	1.6	12.9	39.3	—	—	16.1	37.3	31.0	7.9	1.4	0.5	—
1957-58	0.4	127.5	281.4	210.1	207.9	70.5	103.5	71.9	17.5	3.8	1.3	1.7	1098.0

TABLEAU 32 : DEBITS TRANSITANT A LA STATION D BELLOUA. (Oued Sebaou), (1973-78), (Hm³).

Année	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Jui.	Août	An.
1973-74	15.9	5.0	3.6	84.7	38.2	193.5	457.0	178.0	60.1	13.2	4.2	2.0	1045.0
1974-75	2.8	7.4	12.7	8.9	11.7	46.5	112.3	48.3	21.1	9.5	2.1	1.3	284.6
1975-76	1.5	1.5	35.3	31.8	26.8	239.6	98.0	40.4	37.2	12.6	7.8	2.6	535.3
1976-77	1.8	5.9	34.3	117.1	97.1	42.9	16.4	31.2	12.0	4.8	2.0	1.4	366.9
1977-78	1.1	1.0	3.9	4.5	20.8	29.0	64.8	130.8	23.9	7.7	2.4	1.4	291.4

1.3 - RELATIONS PLUIES / DEBITS EVACUES

A l'échelle du bassin versant, pendant la période 1973-1983, nous remarquons qu'on a deux épisodes de pluies/débits. Le premier allant de 1973 à 1977 pour lequel on note une chute irrégulière de la pluviométrie et des débits qui suivent bien cette variation.

Le deuxième allant de 1977 à 1983 pour lequel on note un parallélisme entre la progression des deux paramètres.

L'interprétation à l'échelle de l'année pourrait être envisagée de la manière suivante:

-Pour l'année 1974, nous avons une forte pluviométrie correspondant à un débit évacué par l'oued Sébaou très important.

-En 1974-1975, la pluviométrie baisse et le débit évacué aussi.

-En 1975-1976, la pluviométrie remonte, mais le débit de sortie reste faible, ceci peut s'expliquer par le déficit de l'année précédente qui fait qu'une grande partie des précipitations participe à la recharge de la nappe, d'où le ruissellement de surface qui reste faible.

-Les années 1976-1977 et 1977-1978 sont très semblables aux précédentes.

Pour les années 1978-1983, la recharge étant assurée, la pluviométrie et le débit évacué évoluent parallèlement autrement dit pour cette période les précipitations et les débits augmentent.

Remarque - Entre 1977 et 1983, les débits évacués sont déduits de la corrélation: débit précipités, débits évacués (ci-dessous).

1.4 - CORRELATION DEBITS PRECIPITES - DEBITS EVACUES (fig.42)

Partant des précipitations et des débits évacués correspondants, observés à la station du Belloua, nous avons effectués une corrélation débitsprécipités (à l'échelle du bassin versant) débits évacués, nous avons obtenu une assez bonne corrélation avec un coefficient $r = 0.93$ (tableau 33)

Ainsi la droite de régression est de la forme:

$$y = 0.80 x - 577$$

avec y = débit de sortie

x = débit précipité

Conclusion - Cette droite nous permettra de prévoir pour des précipitations données, les débits de sortie aux gorges du Belloua.

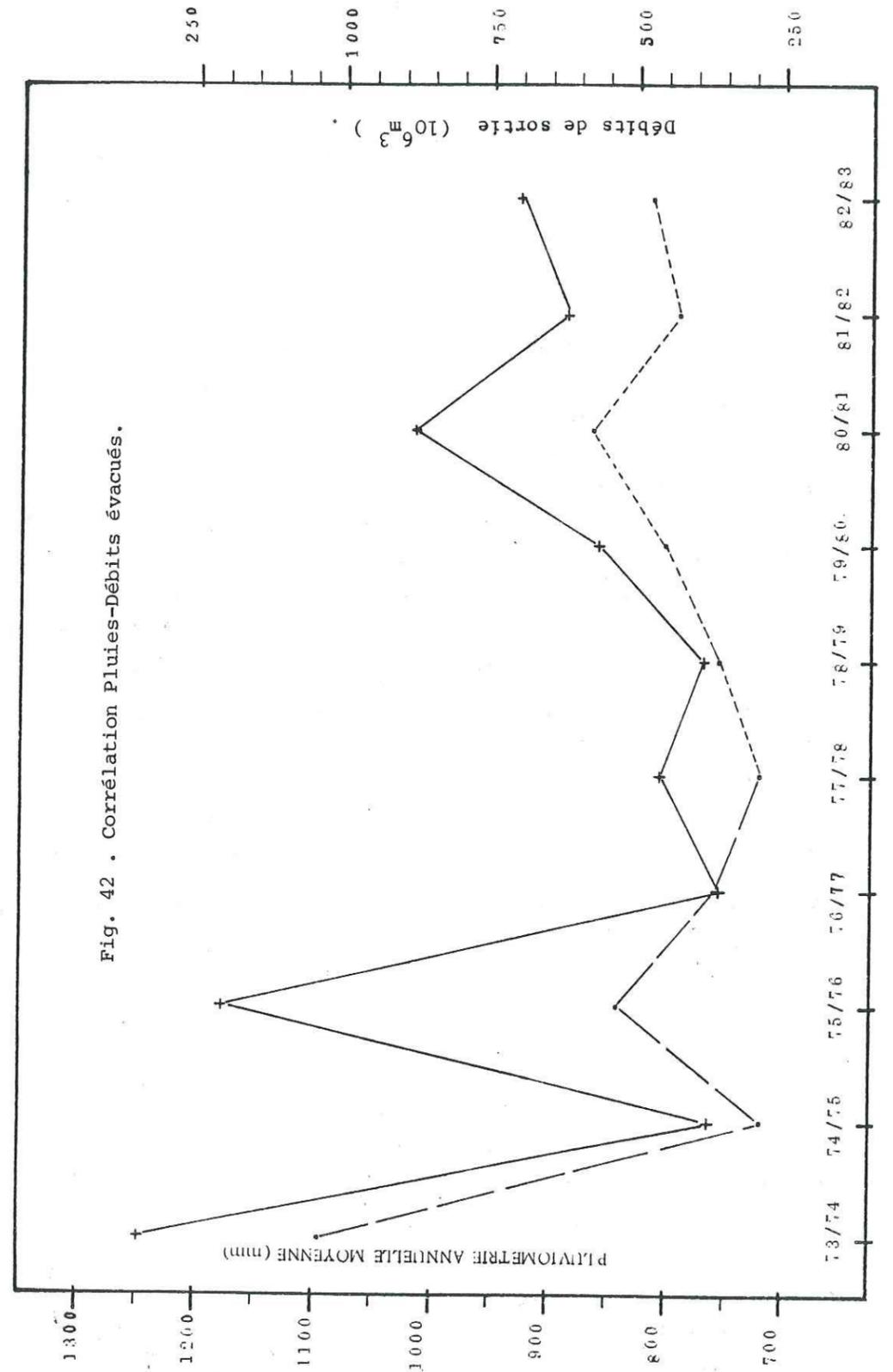


Fig. 42 . Corrélation Pluies-Débits évacués.

Années Paramètres	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	1977/78	1978/79	1979/80	1980/81	1981/82	1982/83
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1248	764	1179	756	806	770	861	1016	886	927
Volume précipité (10 ⁶ m ³) (Qp)	1785	1093	1686	1081	1153	1181	1231	1453	1267	1236
Débits de sortie (10 ⁶ m ³) (Qd)	1045	285	553	367	291	363 ⁺	403 ⁺	579 ⁺	431 ⁺	478 ⁺
	50.5%	26%	33%	34%	25%	31%	33%	39%	34%	36%
Qp - Qd (10 ⁶ m ³)	740	808	1151	714	861	818 ⁺	829 ⁺	874 ⁺	836 ⁺	848 ⁺

Tableau; 33. Corrélation: Débits précipités-Débits de sortie (Belloua).

Droite de régression : $Y = 0,80.X - 577$.

avec : $X = Q_p$ et $Y = Q_d$

403⁺ : Valeur déduite de la corrélation.

N.B. : Cette corrélation, nous donne un coefficient ($r=0.93$) surestimé à notre avis, car sinon il supprimerait l'erreur généralement admise (10 à 15%) sur les mesures des pluies et des débits.

Elle nous semble un peu exagérée, car malgré, les pluies exceptionnelles des journées du 27, 28 et 29 mars 1974, les valeurs des pluies et des débits enregistrés, nous semblent entachées d'erreur

En fait, pour obtenir une corrélation adéquate, il faudrait corrélérer des épisodes de pluies (nombre de jours de pluie), correspondant à des volumes précipités ou jaugés. Quand on dispose de données annuelles, l'idéal, serait de travailler sur une série de données assez longue; ce qui n'est pas notre cas

2 - ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE

La formule classique du bilan est la suivante:

$$P = E+R+I$$

avec: P = précipitation-moyenne annuelle (en mm)

E = évapotranspiration réelle-moyenne annuelle (en mm)

R = ruissellement-moyen. annuel (en mm)

I = infiltration-moyenne annuelle (en mm).

Pour l'année 1982-1983, nous avons:

- pluviométrie = 885 mm

- ruissellement = 234 mm (TIXERON-BERKALOFF)

- évapotranspiration réelle = 619 mm (moyenne des valeurs de M.COUTAGNE, C.W. THORNTWAITE et L. TURC).

En remplaçant chaque terme par sa valeur dans l'équation du bilan nous aurons:

$$P = E+R+I \text{ soit } 885 = 619+234+I \text{ d'où}$$

$$I = 32\text{mm}$$

Exprimé en pourcentage, chaque terme représente:

- l'évaporation réelle: 70% des précipitations

- le ruissellement: 26% des précipitations;

- l'infiltration (sur le bassin versant): 4% des précipitations.

Pour la période 1913-1938, nous avons:

- pluviométrie = 1050 mm

- évapotranspiration réelle = 663 mm (moyenne des valeurs de M.COUTAGNE, C.W. THORNTWAITE et L. TURC)

La valeur du ruissellement (522 mm soit 50% des précipitations) déterminée par la méthode de TIXERON-BERKALOFF nous semblant peu vraisemblable, nous avons estimé le débit de sortie aux gorges du Belloua, grâce à la corrélation: débits précipités/débits évacués.

Ce débit est de 623.10^6 m³, soit 436 mm correspondant à (R+I)

Comme précédemment, la valeur des paramètres reportées dans l'équation du bilan, on obtient:

$$P = E+(R+I) \text{ soit } 1050 = 663+436 = 1099 \text{ (à 5\% près).}$$

Si on admet que le ruissellement et l'infiltration se présentent dans les mêmes proportions que précédemment, nous aurons:

- ruissellement = 26% des précipitations;

$$= 286\text{mm}$$

- infiltration = 4% des précipitations soit 44 mm = I

Conclusion

Nous estimons d'une part que l'E.T.R. est surestimée, car elle est du même ordre de grandeur que celle obtenue avec $T^{\circ}=19^{\circ}\text{C}$.

On peut noter aussi que la valeur de 436 mm relative à (R+I) est entachée d'erreur, car elle est déterminée à partir de la corrélation débits précipités/débits évacués.

CONCLUSION

Tout au long de ce chapitre, nous avons tenté de présenter et de chiffrer le maximum de paramètres, afin de mieux rendre compte du climat de la région étudiée.

L'étude des paramètres morphométriques, du réseau hydrographique nous a montré qu'il s'agit d'un bassin versant de forme allongée ($K > 1$); la densité des thlawegs est importante. Les oueds présentent des profils d'équilibre du lit reflétant le stade de jeunesse, en particulier celui de l'oued Sébaou présente des ruptures de pente. L'ensemble de ces caractéristiques montre que le bassin versant du haut Sébaou est en pleine évolution géomorphologique.

Dans cette région, la pluviosité n'est pas négligeable. Comparée à celle de l'Ouest ou du Sud du pays. Ceci est normal, car l'existence d'un relief tel que le Djurdjura qui fait écran aux vents de la Méditerranée, l'effet de l'altitude et enfin l'augmentation d'Ouest en Est de la pluviosité font de cette région, l'une des régions les plus arrosées de l'Algérie du Nord.

Mais la répartition des pluies, au cours de l'année est très irrégulière, de sorte qu'on se retrouve avec une saison sèche de quatre mois et des températures estivales élevées (de l'ordre de 30°C).

Au cours de l'année 1982-1983, il est tombé sur le bassin versant du haut Sébaou 885 mm de pluie. D'après l'essai de bilan hydrologique cette pluviosité se répartit comme suit:

- 70%: évapotranspiration réelle
- 26%: ruissellement de surface
- 4%: infiltration dans le sol

Ces caractéristiques se retrouvent d'une manière générale sur l'ensemble du bassin versant du Sébaou. Pour pallier à un épuisement de la ressource qui commence d'ailleurs à se faire sentir, des constructions de retenues collinaires sont en projet sur les oueds Aïsi et Dis.

CHAPITRE 2

ETUDE GEOLOGIQUE

INTRODUCTION : SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE DANS L'OROGENE ALPIN PERI-MEDITERRANEEN

1 - GEOLOGIE REGIONALE DE L'ALGERIE DU NORD

- 1.1. Le domaine de l'Atlas tellien
- 1.2. Le domaine des hautes plaines
- 1.3. Le domaine de l'Atlas saharien

2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE

- 2.1. Chronologie des dépôts
- 2.2. Esquisse tectonique

3 - ESSAI DE RECONSTITUTION PALEOGEOGRAPHIQUE - ROLE HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS

CONCLUSION

ETUDE GEOLOGIQUE

INTRODUCTION

SITUATION DE LA ZONE D'ÉTUDE DANS L'OROGENE ALPIN PÉRIMÉDITERRANÉEN (Fig. 43)

La structure actuelle de l'Algérie du Nord est héritée des mouvements alpins qui ont permis l'individualisation des grands ensembles géologiques actuels.

Si on faisait une coupe transversale de la chaîne alpine à l'échelle de la méditerranée occidentale, on pourrait remarquer la disposition suivante:

- Au centre, une zone interne où prédominent des affleurements de socle (roches métamorphiques).

De part et d'autre apparaissent successivement:

a/ la chaîne calcaire (ou dorsale) constituée par des séries sédimentaires secondaires et tertiaires;

b/ la zone des nappes (ou zone externe).

- A l'extérieur, les domaines parautochtones et autochtones: Mesatas Ibérique et Marocaine, auxquelles on peut rattacher en Algérie, le domaine de l'Atlas saharien.

1 - GÉOLOGIE RÉGIONALE DE L'ALGÉRIE DU NORD

Quatre grands ensembles structuraux caractérisent la Géologie du Nord Algérien. Sur une coupe nord-sud (fig.44) on distingue:

1.1 - LE DOMAINE DE L'ATLAS TELLIEU

Ce domaine se subdivise en deux ensembles:

- Au Nord, le tell septentrional comprenant les noyaux du socle primaire kabyle; la chaîne calcaire (ou dorsale) discontinue et les flyschs sud et nord kabyles.

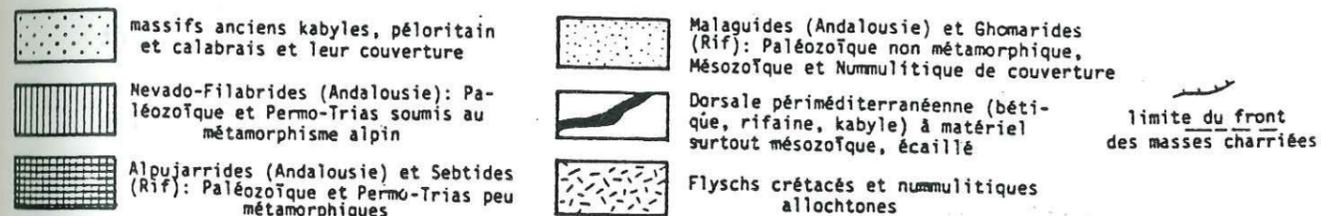
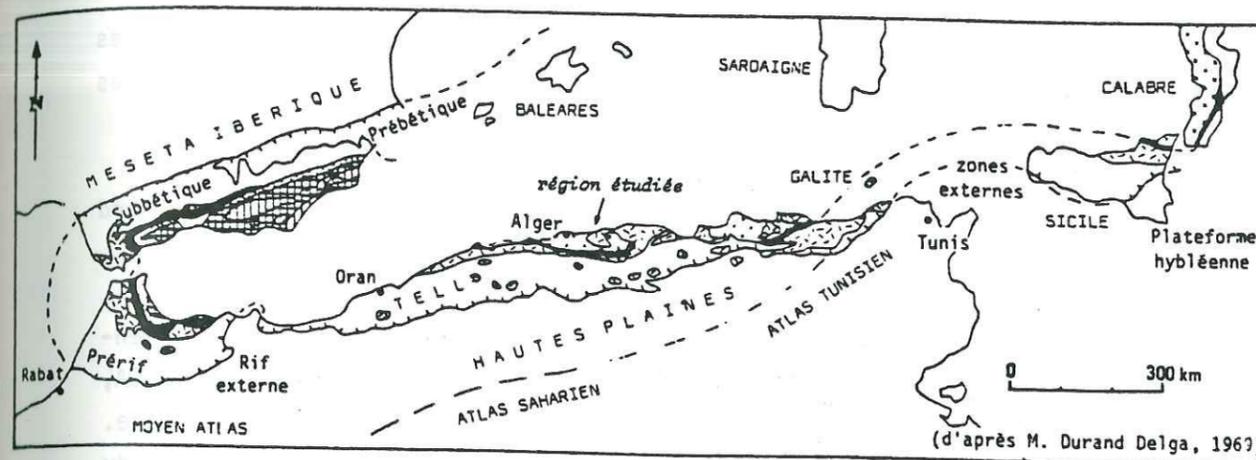
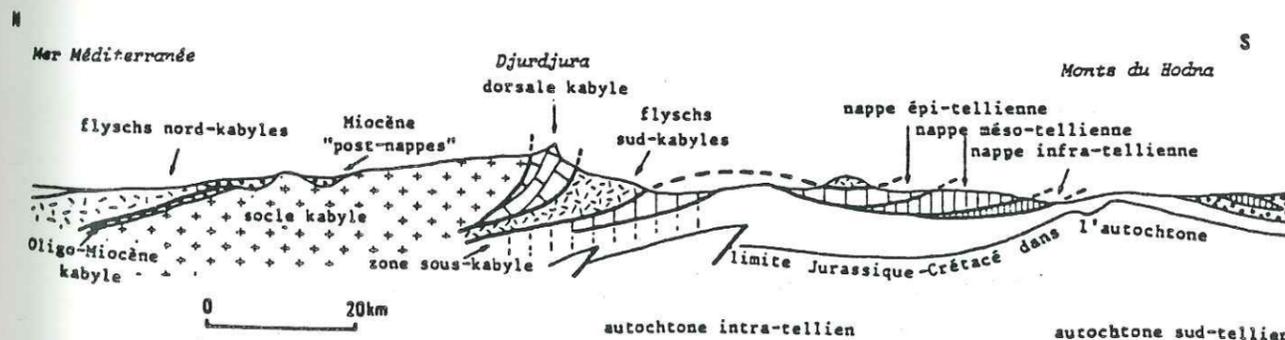


Fig. 43 . Situation de la zone étudiée dans l'orogène alpin Périméditerranéen.



N.B. L'échelle des hauteurs est fortement exagérée

(d'après M. Durand Delga, 1969, complété pour les zones internes)

Fig. 44. Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la Grande Kabylie .

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

De part et d'autre de ces chaînons d'orientation est-ouest, les dépressions de la Soummam à l'Est et du Cheliff à l'Ouest sont occupées par des dépôts néogènes et quaternaires.

1.1.a) Le tell septentrional

C'est un ensemble à structure complexe qui se localise au Nord de l'Atlas tellien; il comprend:

1.1.a.1) Les massifs primaires kabyles

Essentiellement constitués de terrains cristallophylliens sédimentaires ou volcaniques d'âge paléozoïque (anté-Gothlandien: DURAND DELGA, 1956). Ces massifs sont bien développés en Grande et Petite Kabylie. Leur équivalent à l'Ouest sont les massifs d'Alger, du Chenoua et du Cap Ténès.

1.1.a.2) La chaîne calcaire (ou dorsale kabyle)

C'est une zone étroite discontinue, qui correspond à un empilement d'écaillés liées à l'orogène (Alpin de l'Eocène moyen).

Les sédiments sont d'âge secondaire à tertiaire (Eocène). Elle se subdivise en dorsale interne, médiane et externe.

1.1.a.3) L'Oligo-Miocène kabyle

C'est un ensemble discordant sur le socle et d'âge stampien-aquitainien (D. RAYMOND, 1976). Il est formé à la base par des conglomérats et se termine par des calcaires silicifiés. Sur les bordures du massif du Chenoua, aux conglomérats de base, succèdent des grès arkosiques (M. MESBAH - Thèse 3° cycle, 1981).

1.1.a.4) Les flyschs (fig.45)

Les flyschs peuvent se présenter en contact anormal, soit sur la dorsale, soit sur l'Oligocène ou encore en position comparable à ceux du Tell méridional que nous verrons plus loin. Ces flyschs se subdivisent en deux séries: la série maurétanienne et la série massylienne d'ailleurs pas très bien définies dans la littérature.

En Kabylie, plusieurs hypothèses furent émises sur l'origine des flyschs.

a4.1- Hypothèse d'origine "ultra" Kabyle

Les flyschs d'âge crétacé et plus récents proviendraient d'un sillon (ou d'une zone) située, avant les charriages, au Nord du Domaine Kabyle (DURAND-DELGA et MATHAEUR, 1960).

a4.2- Hypothèse d'origine "infra" kabyle

Les flyschs seraient issus d'un bassin situé au Sud de la dorsale, et par un phénomène de scission, il s'est produit un départ de flyschs vers le Nord et le Sud, s'expliquant par des mouvements de sous-charriage (DURAND-DELGA, 1963).

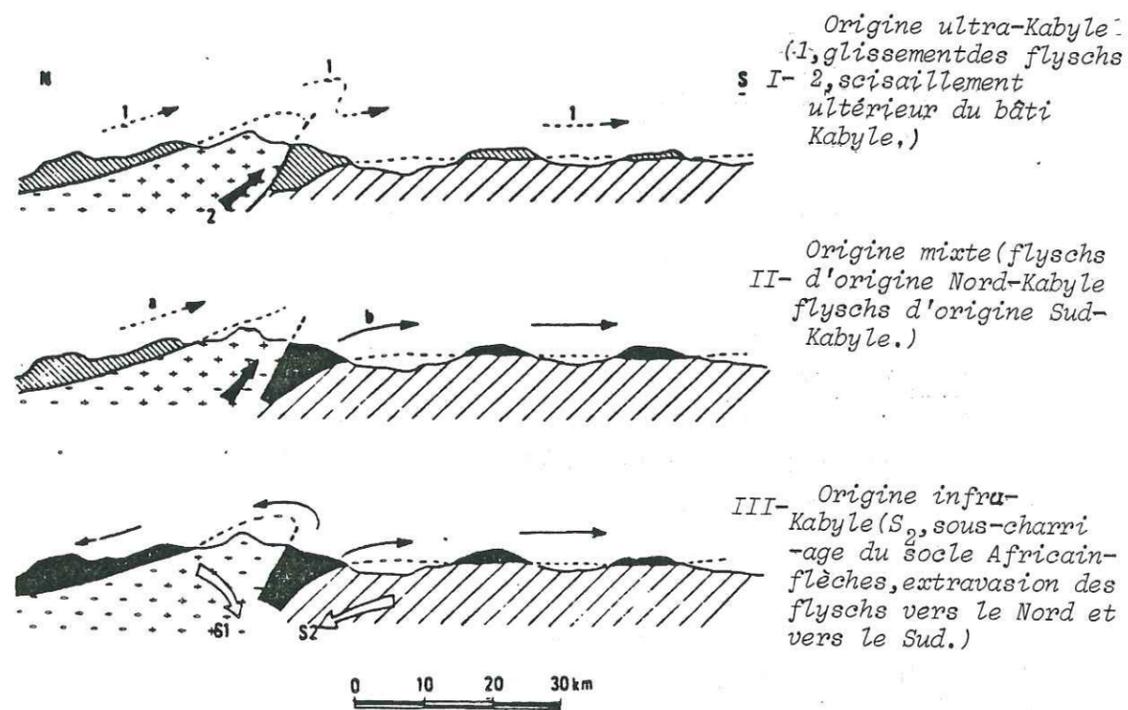


Fig. 45. Hypothèses sur l'origine des flyschs Kabyles (M. DURAND DELGA (1969))

1.1.b) Le Tell méridional

On distingue plusieurs zones ou unités qui sont souvent du même âge.

1.1.b.1) Les unités autochtones ou paraautochtones, qui apparaissent en différents endroits: littoral oranais, massifs du Cheliff, de l'Algérois de l'Ouarsenis et des Bibans.

Ces unités d'extension réduite sont constituées de terrains mésozoïques et parfois paléozoïques.

1.1.b2) Les nappes telliennes (ou masses allochtones)

Ce sont des empilements de nappes à différentes unités tectoniques. Nous avons les nappes telliennes proprement dites à matériel marno-calcaire du Crétacé supérieur et les nappes à faciès flysch d'âge crétacé-miocène, situées généralement au-dessus des précédentes.

1.2 - LE DOMAINE DES HAUTES PLAINES

C'est le domaine présaharien, où l'on peut distinguer d'Ouest en Est les unités suivantes:

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

La série stratigraphique plus complète et plus épaisse dans la partie orientale qu'occidentale, présente de fréquentes variations de faciès au sein d'un même étage, en particulier du Sénonien.

La limite entre le domaine des hautes plaines et l'atlas saharien est marquée par l'accident nord-atlasique.

1.3 - LE DOMAINE DE L'ATLAS SAHARIEN

L'Atlas saharien a pris naissance à la faveur d'un sillon subsident plongeant vers l'Est entre les hautes plaines et la plateforme saharienne. Les sédiments accumulés durant le Mésozoïque et le Cénozoïque forment les puissantes séries néritiques et continentales. La limite entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne est marquée par une série d'accidents souples ou cassants matérialisant la flexure sud-atlasique.

1.4 - LA PLATEFORME SAHARIENNE

Au-delà de la flexure nord-atlasique, s'étend la plate-forme saharienne ou le Sahara proprement dit, ensemble d'ergs et de plateaux subtabulaires. Cette plateforme se subdivise en deux grandes régions naturelles: le haut sahara (ou Sahara occidental) et le bas sahara (ou le Sahara oriental).

2 - CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA ZONE ÉTUDIÉE

(d'après D. RAYMOND, 1976) (fig. 46)

La dépression de l'oued Sébaou se situe au Nord du Tell septentrional. Elle est limitée au Nord par la chaîne littorale constituée de flyschs nord-kabyle et de grès numidiens constituant l'unité structurale la plus élevée.

A l'Est par le chaînon de Beni-Ghobri qui s'allonge de la chaîne du Djurdjura (SE) (Beni-Zikki) jusqu'au NW où il recoupe au Dj.Tamgout (1278 m) la chaîne littorale.

A l'Ouest par les noyaux du socle kabyle représentés par les djebels Aissa Mimoun, Belloua et Sidi Ali Bounab.

Et au Sud par le socle kabyle et en arrière plan, la chaîne calcaire.

Dans le contexte géologique régional, la dépression est connue sous le nom du synclinal miocène de Tizi-Ouzou.

2.1 - CHRONOLOGIE DES DEPOTS (fig.47)

Dans le détail, la géologie de la zone étudiée est très complexe; c'est pourquoi nous nous limiterons à définir les unités les plus importantes et les phases tectoniques correspondantes qui pourraient être à l'origine du schéma géologique actuel.

2.1.a - Le Paléozoïque

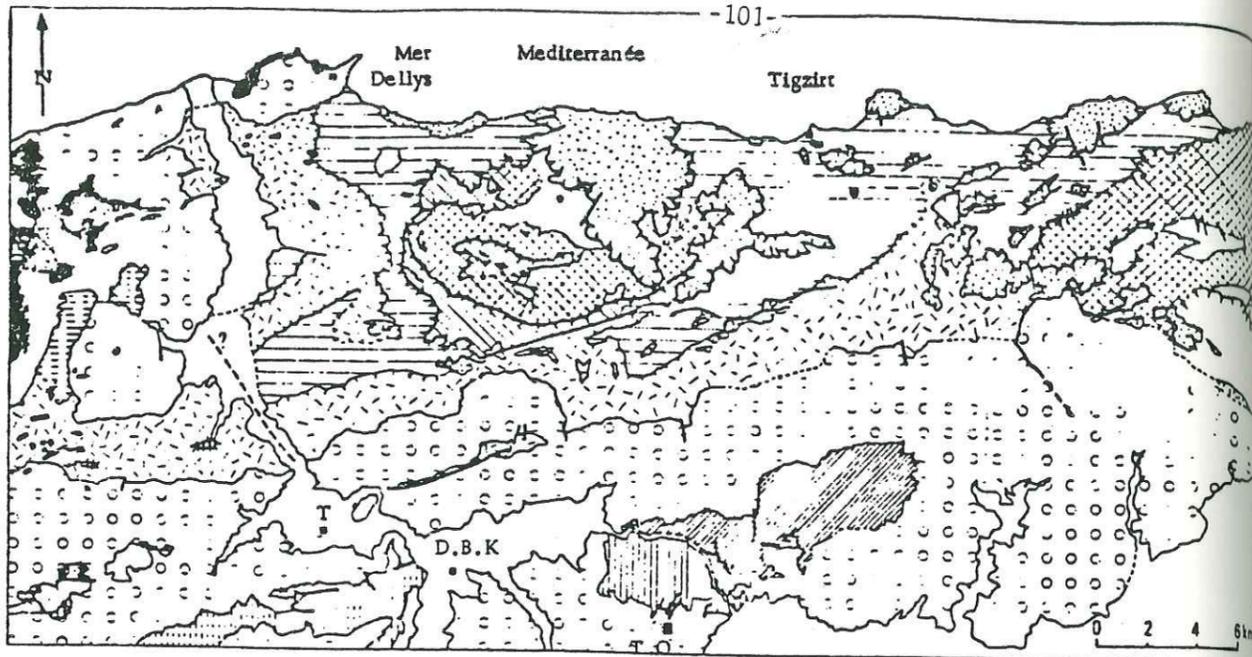
Il est représenté par le socle métamorphique qui jalonne le Nord de la dorsale et les noyaux du sud de la chaîne littorale: djebels Aissa-Mimoun, Belloua et Sidi-Ali-Bounab.

Description des faciès

Djebel Aissa-Mimoun: le socle est constitué d'albitophyres à la base, auquel succèdent des grauwackes et des tufs rhyolitiques d'âge Llavirn.

Djebel Belloua: le socle est représenté par une série satinée avec à sa base des marbres dolomitiques, puis des amphibolites, puis des porphyroïdes et se termine par les micaschistes.

Djebel Sidi-Ali-Bounab: la série écrasée du massif de Sidi-Ali-Bounab est représentée par un granite, des mylonites et des mica-schistes mylonitisés.



NEOGENE
POST-NAPPES
Fig. 46. Schéma structural du NW de la Grande Kabylie.

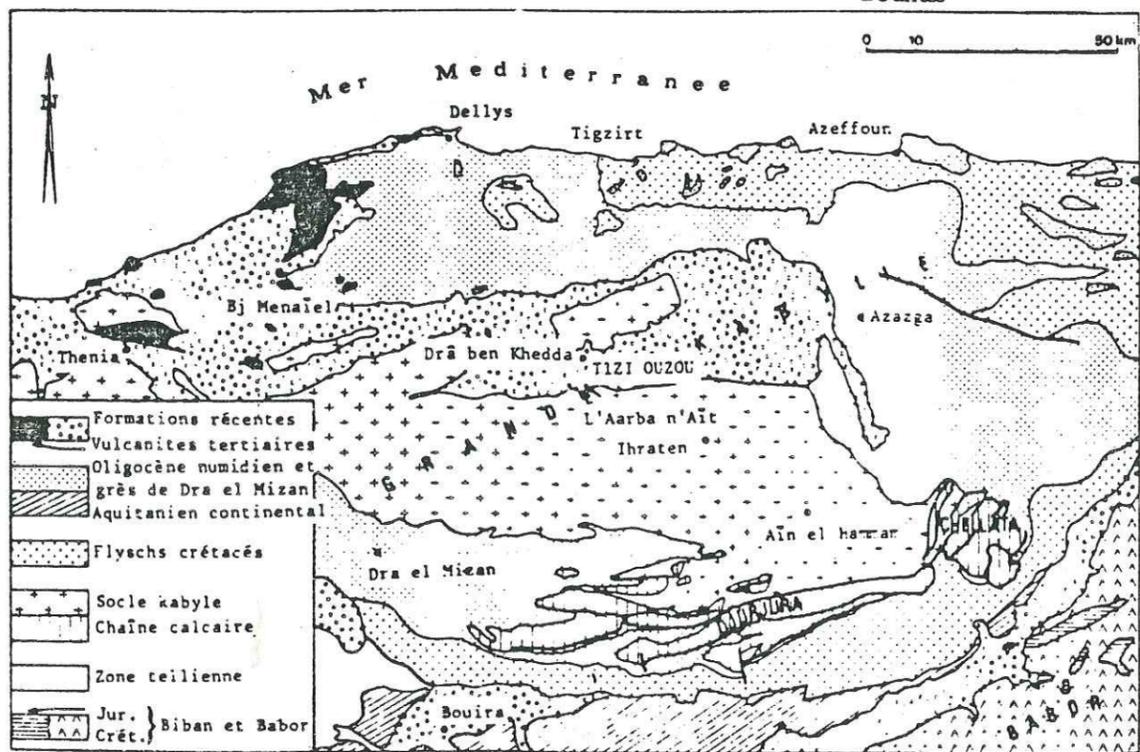
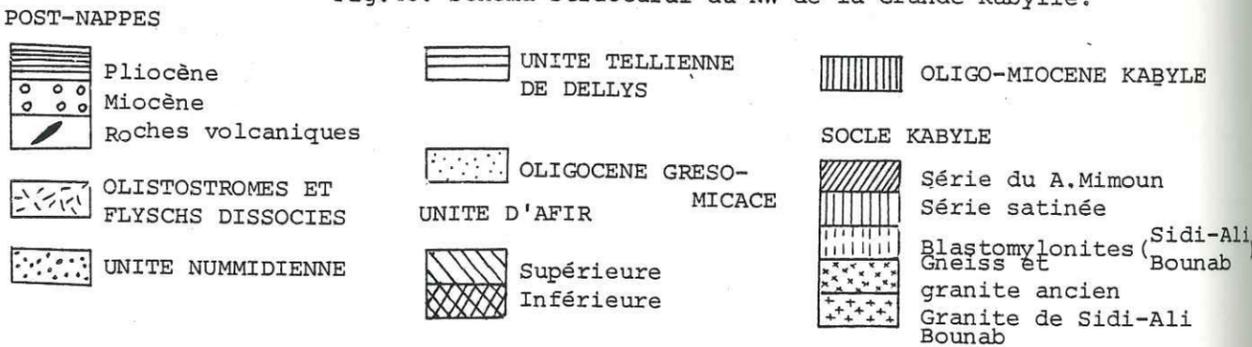
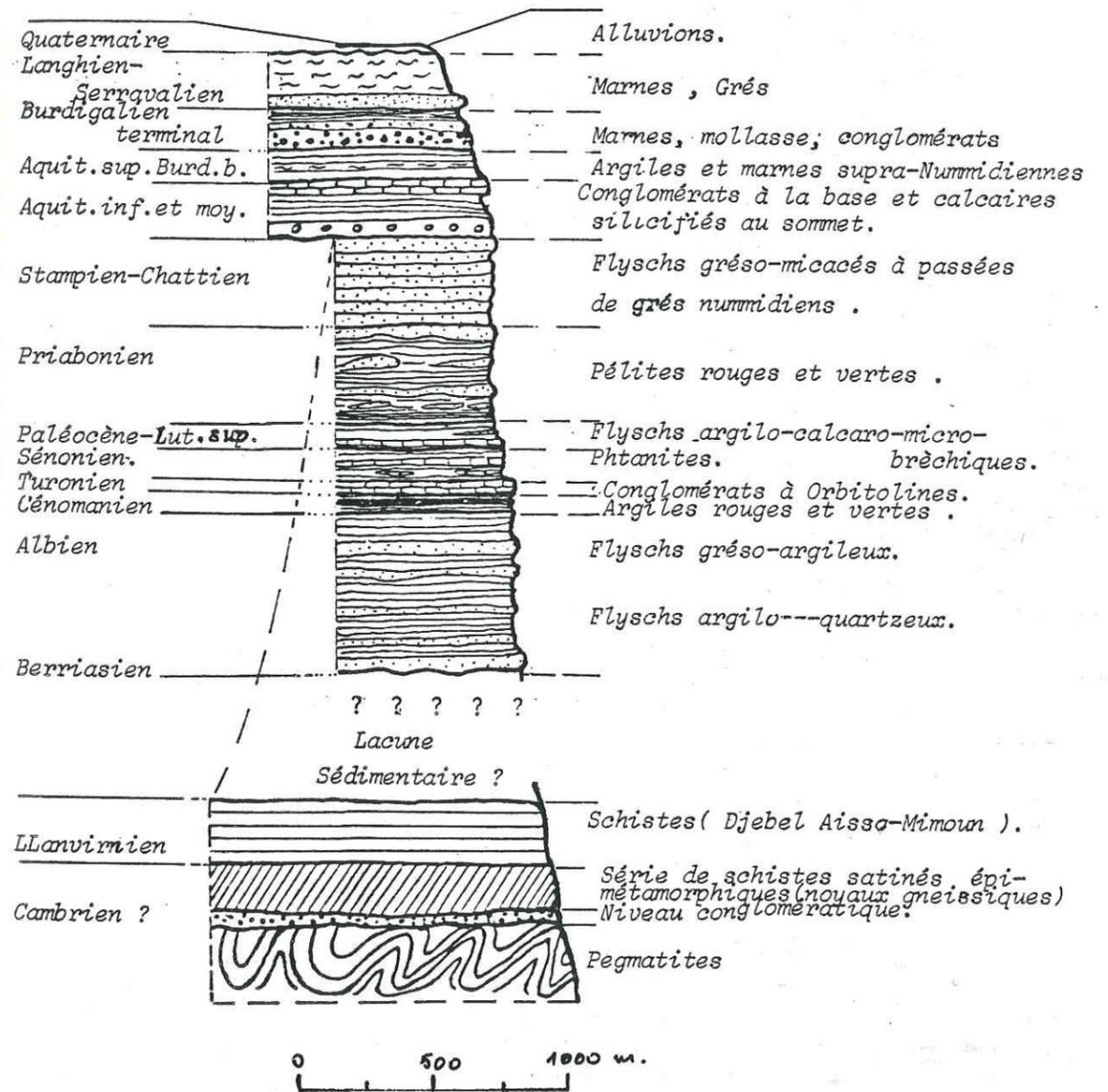


Fig. 47. Schéma structural de la Grande Kabylie (carte au 1/50.000e de 1951).



Colonne stratigraphique schématique de la zone étudiée.

2.1.b - Le Mésozoïque

Sur la chaîne littorale, il est représenté par le Crétacé, en effet nous avons:

Crétacé inférieur: constitué par des flyschs argilo-quartzeux et des flyschs grés-argileux localisés respectivement au N.W (Tizerouin) et au N.E (Adrar) de la zone étudiée.

Cénomaniens: constitué par les phanites.

Turonien-Sénonien: marnes et biomictites en plaquettes, intercalations de calcaires à Inocérames.

Crétacé supérieur: constitué par un flysch argilo-calcaro-micro-bréchiqne de l'unité d'Affir-Azefonn. Le flysch du Haut-Sebaou est un flysch chaotique argilo-calcaire.

Remarque: le Mésozoïque est largement représenté dans la partie est et sud, c'est-à-dire dans la chaîne calcaire où l'on rencontre les faciès du Trias, Jurassique et Crétacé - vue la position de ces faciès, en bordure de notre zone, leur analyse dans le détail n'est pas d'un intérêt important pour notre étude.

2.1.c - Le Cénozoïque

De la même manière que précédemment nous ne détaillerons pas ici le Cénozoïque de la chaîne calcaire; dans la partie nord, nous avons:

Stampien-Chatien: représenté par des flyschs grés-micacés avec passées de grès numidiens que l'on observe au Nord de Fréha à Oubellil.

Aquitaniens: Oligo-Miocène kabyle, représenté par des conglomérats à la base et se termine au sommet par des calcaires silicifiés. Ces faciès s'observent à la sortie des gorges du Belloua (Ain-el-Bir) et sur le djebel Aissa Mimoun (Igounnen Amer).

Aquitaniens supérieurs-Burdigaliens basaux: constitué d'argiles et marnes supra-numidiennes.

Burdigalien terminal: à la base: marnes de base, puis des conglomérats ensuite de la molasse et se termine enfin par des marnes que l'on rencontre à Abizar, Boudjima et Makouda.

Langhien-Serravalien, débute par des grès et se termine par des marnes. Les grès sont discordants sur le socle de Aissa-Mimoun (Tikobaïne) et du djebel Belloua (NE de la ville de Tizi-Ouzou). Les marnes tapissent l'ensemble du synclinal de Tizi-Ouzou.

Burdigalien terminal et Langhien-Serravalien constituent les formations "post nappes" que l'on rencontre dans ce synclinal.

2.1.d - Le Quaternaire

Il est représenté dans ce synclinal miocène par des dépôts alluvionnaires, anciens, récents et actuels, dont les âges pour les termes anciens et récents sont indéterminés.

Ces dépôts se présentent sous forme de terrasses emboîtées ou étagées reflétant les différentes phases dues à notre avis à une tectonique post-miocène et à des variations du niveau de base en relation avec celles du niveau de la mer (glaciations? déglaciations? épigénie?).

2.2 - ESQUISSE TECTONIQUE (fig.48)

2.2.a - Tectonique souple (déformations)

2.2.a.1) Tectonique du socle

Au niveau de chaque massif de socle, la déformation miocène s'exprime par des réactions variables en fonction des caractéristiques mécaniques du matériel ancien.

Dans la série satinée (djebel Belloua) on a une déformation souple en grand. Dans certains cas, il y a accordance entre la stratification du Miocène et la dernière schistosité affectant le substratum.

Toujours dans la série satinée, on a des déformations souples et cassantes d'échelle métrique (ondulations - Kink-bands) dont l'âge alpin est certain dans certains secteurs (comme Ain-el-Bir).

2.2.a.2) Tectonique du Miocène "post-nappes"

Dans la région de Tizi-Ouzou, le Miocène "post-nappes" participe aux déformations du socle, c'est ainsi que sont réalisées des structures de direction N 70 (fig.48). Tous les plis sont à plan axial vertical, excepté l'anticlinal de Dra-Karrouch, déversé vers le Sud.

2.2.b - Tectonique cassante (fracturation)

2.2.b.1) Accidents N 70

Certains d'entre eux affectent les formations "post-nappes" (Dra-Karrouch, versant nord du massif de Sidi-Ali-Bounab).

Les plus remarquables sont visibles au niveau du substratum du Miocène "post-nappe" de l'anticlinal d'Affir où ils se présentent sous forme de failles subverticales à regard sud, disposés en relais. Ils découpent l'édifice structural des nappes, ainsi que l'unité numidienne.

2.2.b.2) Accidents N 140

Leur mise en évidence est plus difficile. A partir des images transmises par satellite et par corrélation de faciès, il a été possible de mettre en évidence deux accidents importants, qui sont respectivement

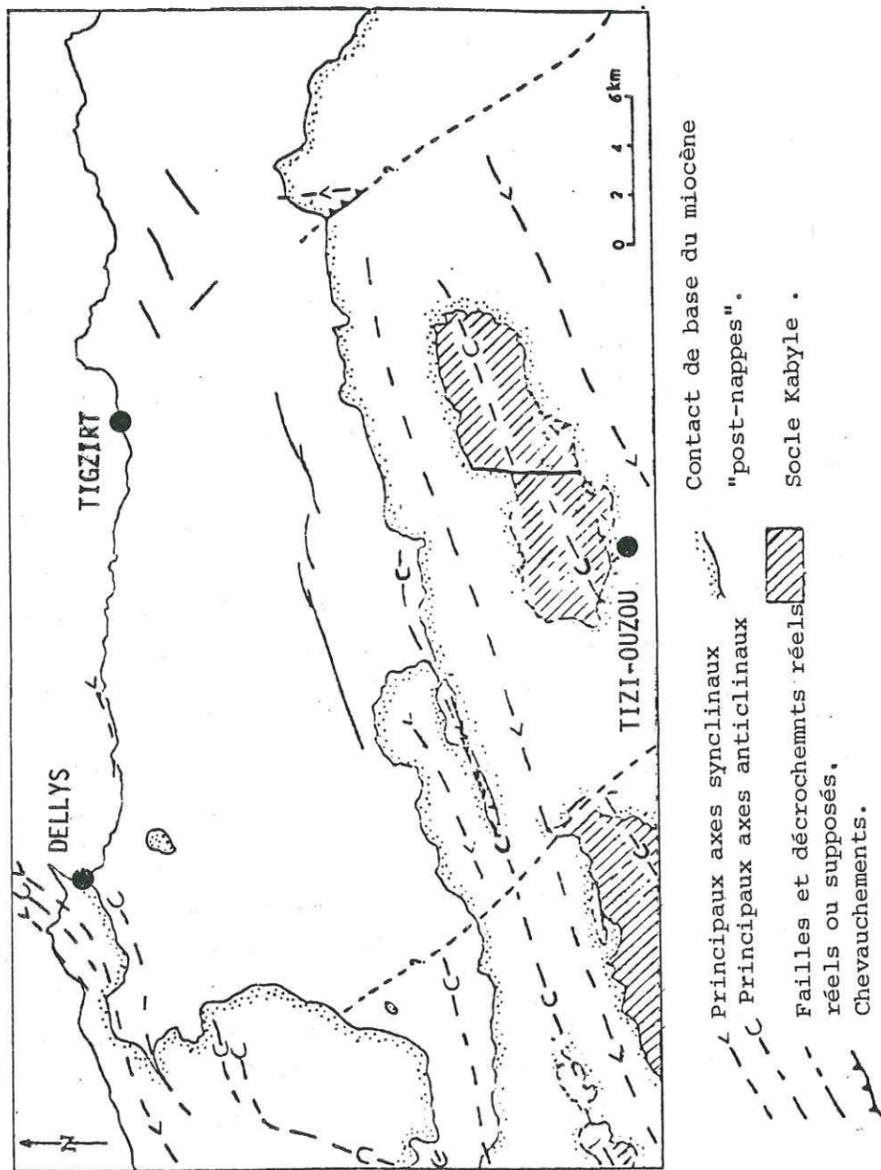


Fig.48 . Principales structures "post-nappes".

celui de Tigzirt, ouest d'Abizar, Mekla, massif de Chellata (suite d'accidents discontinus), et celui qui séparerait l'ensemble des massifs de Sidi-Ali-Bounab-Naciria de l'ensemble des massifs Dra-Karrouch-Belloua-Aissa-Mimoun.

2.2.b.3) Accidents nord-sud

Ils sont assez fréquents dans la zone d'étude, le plus remarquable est le décrochement sénestre qui décale vers le Nord la partie orientale du Djebel-Aissa Mimoun.

3 - ESSAI DE RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE (fig.49)

(D'après D. RAYMOND, 1976)

Jusqu'à l'Oligocène supérieur, le socle Kabyle est émergé. Il s'y développe une surface d'érosion attaquant profondément les séries métamorphiques.

A partir de l'Oligocène supérieur, transgression de l'Oligo-miocène kabyle.

A partir de l'Aquitaniens, le bassin marin va recevoir diverses nappes de provenance citra-kabyle accompagnées d'olistostromes.

Aquitaniens terminal: mise en place des nappes d'afir et du Haut Sébaou

Burdigaliens: mise en place de la nappe de Dellys, réalisation possible d'un talus comblant la marge du bassin récepteur.

Compression hypothétique, développement d'une surface d'érosion, ébauche de l'anticlinal d'afir.

Ennoyage à nouveau et mise en place tectono-sédimentaire de l'olistostrome II (toujours à partir des zones citra-kabyles).

Langhien: fort courte émergence, subsidence généralisée de la région, corrélative à la surrection des massifs kabyles. C'est le début de la sédimentation molassique "post-nappe" dellysienne.

A la fin du Miocène, nous avons une phase fini-Miocène entraînant des déformations dans le Miocène "post-nappe", lesquelles déformations sont globalement postérieures au dépôt de marnes à *Globorotalia Praemenardii* qui marque la fin du Miocène dans le bassin de Tizi-Ouzou. Les mouvements se sont donc produits pendant ce laps de temps: Serravaliens, Tortonien et Messinien. Cette phase est responsable des fractures N 70 affectant le Miocène "post-nappe" comme on peut lui attribuer aussi la zone d'accidents (N 140) (Tigzirt-Chellata) et les divers accidents nord-sud.

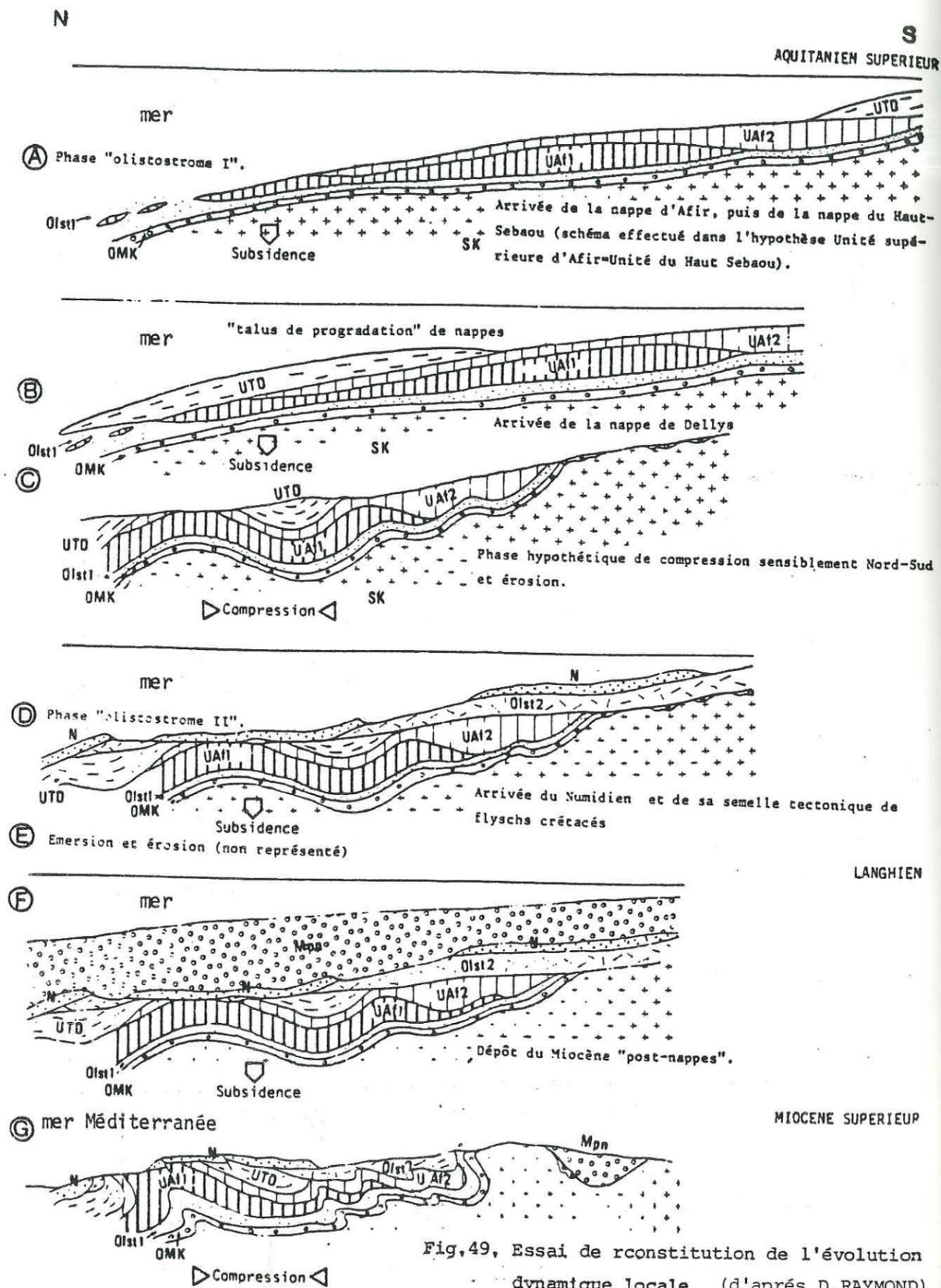


Fig.49, Essai de rconstitution de l'évolution dynamique locale (d'après D.RAYMOND)

Légende: SK- Socle kabyle. OMK- Oligo-Miocène ka.yle. Olist 1- Olistostrome "I". UAF 1- Unité inférieure d'Affir. UAF 2- Unité supérieure d'Affir-Flysch du Haut Sebaou. UTO- Unité tellienne de Dellys. Olist 2- Olistostrome "II" et flyschs dissociés. N- Formation numidienne. Mpn- Miocène post-napp-

Le réseau hydrographique visible actuellement (fig.50) est en partie "hérité" d'un réseau anté-pliocène, car il est localement encaissé perpendiculairement à des reliefs conformes dûs aux plis N 70 de la phase fini-miocène. Comme exemples, nous pouvons citer: la cluse épigénique de l'oued Sébaou dans l'anticlinal du Djebel-Aissa Mimoun; la cluse du Chabet-ben-Randjour dans le massif de Naciria et la cluse de l'oued Rha correspondant à un ancien méandre recoupé de l'oued Sébaou (Est de Bordj-Sébaou).

D'après les observations sur le terrain de M. BENHASSAINE, basées sur la forme du relief des massifs, leurs altitudes croissantes d'Ouest en Est, il existerait une ancienne surface d'aplanissement d'âge post-langhien et anté-villafranchien, puisque le Villafranchien est localisé en contrebas de ces massifs.

Dans l'anticlinal de Bellou-Aissa-Mimoun coule l'oued Sébaou à la faveur d'une cluse épigénique matérialisée par un contact tectonique important. Le passage naturel de l'oued Sébaou serait situé au Sud du Djébel Belloua. En fait, il y a deux hypothèses au niveau de la cluse du Bellou-Aissa Mimoun (gorges du Belloua).

1/ Antécédence du réseau hydrographique. Au moment du plissement fini-Miocène occasionnant les ondulations longitudinales de la basse kabylie, l'oued serait antécédant, mais l'épigénie du Belloua-Aissa Mimoun n'est pas vérifiée.

2/ Surimposition du réseau au moment de la surrection de l'anticlinal de Bellou-Aissa Mimoun. Dans ce cas, l'hypothèse du soulèvement du socle de Grande Kabylie (en particulier de Belloua-Aissa Mimoun) serait légèrement postérieure à l'établissement des plis longitudinaux, donnant naissance au bassin miocène de Tizi-Ouzou. Dans cette optique, les alluvions perchées sur l'Aissa-Mimoun pourraient bien représenter des témoins de l'ancien chenal d'écoulement de l'oued Sébaou.

Dans la cluse de la basse vallée, l'oued Sébaou recoupe presque orthogonalement la terminaison périclinale de la chaîne littorale et les chaînons côtiers. Le matériel constituant ces reliefs étant des molasses ou des olistostromes. Dans ce secteur aussi, la surrection des chaînons côtiers étant fini-Miocène, nous pourrions émettre les hypothèses d'antécédence ou de surimposition.

D'après M. BENHASSAINE, il s'agirait plutôt d'une surimposition, car:

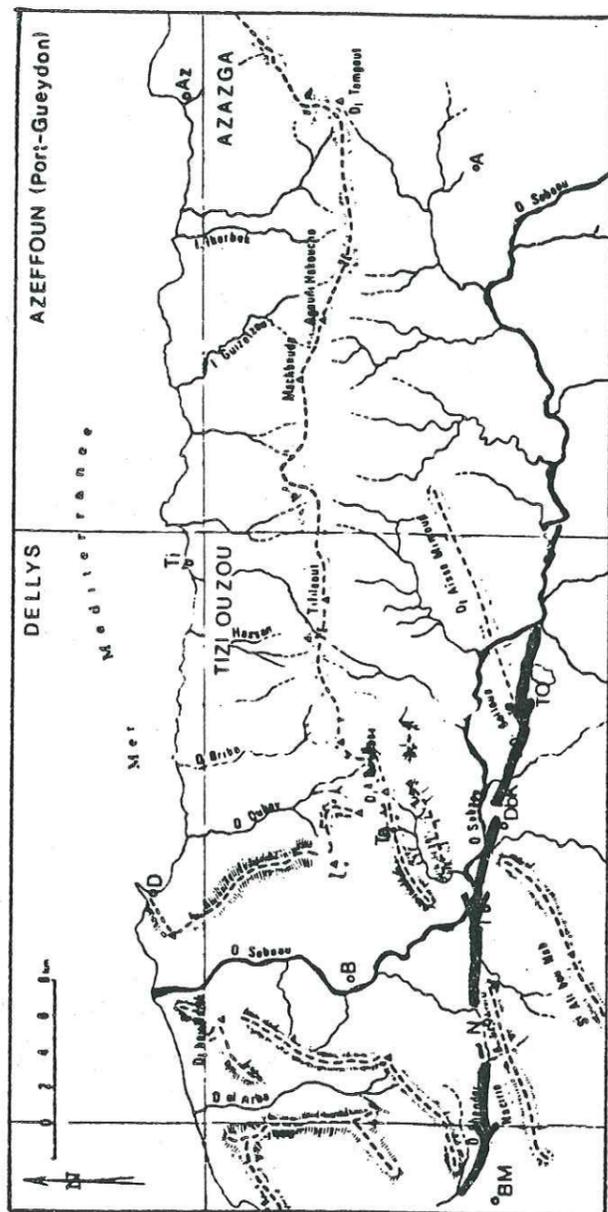


Fig. 50. Tracé probable du réseau hydrographique avant le pliocène.

A: Azazga; Az: Azeffour, B: Baghliia; UM: Bordj Menafel; DBK: Drâ ben Khedda
 D: Dellys; N: Naciria T; Tadmaït; Ti: Tizirt; IO: Tizi Ouzou; Ta: Taourga

➔ : Tracé supposé.

- Des marnes pliocènes d'origine marine, non déformées, se sont déposées dans la vallée de l'oued El-Arba. Ces formations n'existent pas dans la basse vallée de l'oued Sébaou.

- D'autre part, dans la vallée de l'oued Chender (l'oued Chender est un affluent de rive droite de l'oued Isser), il existe des terrasses d'érosion perchées à Tala Rhoraf, ces dernières constituent l'interfluve et la ligne de partage des eaux entre les bassins du bas Sébaou et du bas Isser.

Dans le cadre de ces observations, l'ouverture de la basse vallée de l'oued Sébaou serait postérieure au Pliocène.

- Les terrasses d'érosion de Tala Rhoraf pourraient être les témoins du passage de l'oued Sébaou dans la région. Dans cette optique, l'oued Sébaou aurait été jusqu'au Pliocène, un affluent important de rive droite de l'oued Isser.

- Enfin le raccordement topographique d'une terrasse marine gréseuse à matrice rubéfiée avec les premières terrasses de Baghliia nous laisse penser que la basse vallée est ouverte au Quaternaire moyen. Cet argument peut être mis en parallèle avec le changement brutal du cours du Sébaou au niveau du coude de Tadmaït. Dans ce cas le décrochement signalé par D. RAYMOND aurait rejoué à une époque plus récente.

ROLE HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS

D'après les connaissances stratigraphiques dont nous disposons sur les différentes formations et leurs caractéristiques hydrogéologiques (perméabilité, porosité..), il nous est possible d'établir la classification suivante:

1/ Les formations très peu perméables représentées par le Miocène marneux et les flyschs grésomiacés qui ne présentent pratiquement aucun intérêt hydrogéologique (au point de vue emmagasinement de ressources). Mais les marnes du Miocène jouent le rôle de substratum imperméable pour la nappe alluviale.

2/ Le socle métamorphique, quoique fracturé et altéré, demeure comme réservoir très modeste. En effet, il existe çà et là quelques sources dans les schistes et les gneiss, mais leurs débits restent très faibles.

3/ Les formations jurassiques et crétacées du Djurdjura sont à notre avis les réservoirs les plus importants qui se trouvent dans le bassin versant. D'ailleurs l'oued Sébaou, et d'une manière générale ses affluents, prennent leur source dans ce massif du Djurdjura. Malheureusement, ce réservoir est presque inexploité.

4/ Le Quaternaire représenté par les alluvions de la plaine du haut Sébaou est le réservoir le plus important exploité actuellement.

Conclusion :

Nous venons de faire une classification hydrogéologique des différentes formations constituant la géologie du bassin versant, laquelle montre d'une part le rôle joué par chaque entité géologique, d'autre part, l'intérêt économique d'exploiter tel ou tel réservoir aquifère à plus ou moins courte échéance.

CONCLUSION

la zone d'étude se situe au sein d'un ensemble géologique marqué non seulement par une tectonique extracontinentale (orogène alpin pré-méditerranéen), mais aussi par une tectonique intercontinentale, régionale relative à l'Algérie du Nord, et locale relative au tell septentrional.

Le bassin versant de l'oued Sébaou est représenté par des faciès géologiques stratigraphiquement variés allant des plus anciens aux plus récents. En effet, nous avons:

- du socle paléozoïque (socle kabyle);
- du Mésozoïque: chaîne calcaire, flysch d'Afir et du Haut Sébaou;
- du Cénozoïque: chaînes calcaires, flyschs d'Afir et marnes du Miocène "post-nappes" du bassin de Tizi-Ouzou;
- du Quaternaire: alluvions anciennes, récentes et actuelles de l'oued Sébaou et ses affluents.

La coexistence de ces faciès est favorisée par un enchainement d'une tectonique caractéristique, en partie de la région (origine des flyschs, structures en écaïlle de la chaîne calcaire).

La tectonique "fini-Miocène" y est pour beaucoup dans le modelé structural des formations géologiques. Le réseau hydrographique serait hérité en partie de cette tectonique fini-miocène.

Enfin, le rôle hydrogéologique de certaines formations n'est pas du tout négligeable quand on sait que les alluvions quaternaires et les calcaires jurassiques et crétacés constituent les principaux réservoirs aquifères de la région.

CHAPITRE 3

ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

INTRODUCTION

- 1 - GEOMORPHOLOGIE DE LA VALLEE DU HAUT SEBAOU
 - 1.1. Interprétation de la carte géomorphologique
 - 1.2. Les terrasses alluviales - descriptions
- 2 - LA PROSPECTION ELECTRIQUE
- 3 - LE RESERVOIR UTILE
 - 3.1. Les cartes du toit du substratum
 - 3.2. Les coupes géoélectriques
 - 3.3. Les coupes hydrogéologiques
 - 3.4. Interprétation de la carte des isopaques des alluvions

CONCLUSION

ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

INTRODUCTION

La recherche de ressources hydrauliques potentielles ou non, au sein d'une formation géologique donnée est très étroitement liée à la connaissance de l'histoire des dépôts de la nature et de l'extension des sédiments constituant cette formation.

Dans notre région, la formation aquifère correspond à des dépôts détritiques quaternaires sous forme de terrasses dans un synclinal à coeur miocène.

1 - GÉOMORPHOLOGIE DE LA VALLÉE DU HAUT SÉBAOU

1.1 - INTERPRÉTATION DE LA CARTE GÉOMORPHOLOGIQUE

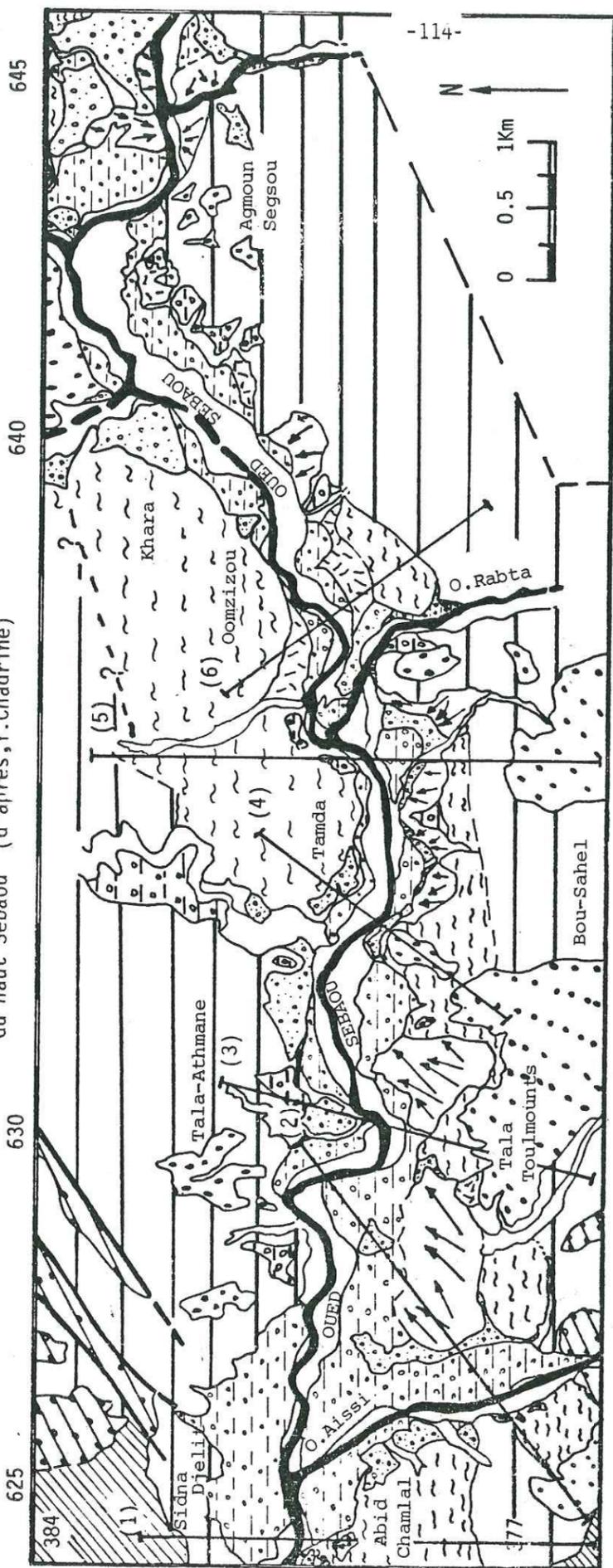
D'une manière générale, les terrasses alluviales sont réparties symétriquement sur les rives gauche et droite de l'oued Sébaou et de son affluent l'oued Aïssi.

L'extension des terrasses est globalement plus importante sur la rive droite de l'oued Sébaou. Ceci est particulièrement remarquable pour les terrasses 6, 3, 2 et 1. Sur la rive gauche de l'oued Sébaou, la terrasse 5 est la plus étendue, c'est le cas par exemple de Fréha, Khara et Tala-Athmane.

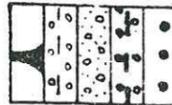
Cette symétrie, dans leur répartition et la non équivalence de leur étendue, nous laisse à penser qu'au cours du cycle de dépôt des terrasses alluviales ou à la fin, il y a eu une érosion différentielle ayant pour aboutissement le schéma actuel de la vallée.

L'autre caractéristique importante qui ressort de cette carte est la répartition asymétrique des cônes de déjection. En effet, dans la majeure partie de la vallée, ils se répartissent sur la rive droite de l'oued Sébaou, à l'exception de la zone de Fréha où on note une symétrie locale. Cette répartition asymétrique pourrait être à l'origine d'apports importants provenant du versant nord du Djurdjura. Pour ce qui est des autres formations quaternaires et tertiaires, elles ne présentent pas de caractéristiques particulières, excepté les marnes bleues du Langhien-Serravalien qui occupent une superficie non négligeable dans la vallée.

Fig. 50 Carte géomorphologique de la vallée du haut Sébaou (d'après, V. Chadrine)



LEGENDE



QUATERNAIRE
 Lit majeur de l'oued.
 Terrasse .6. Alluvions récentes.
 Terrasse .5. Dépôts grossiers.
 Terrasse .4. Dépôts semi-grossiers.
 Terrasses .3, 2 et 1. Alluvions anciennes.



TERTIAIRE
 Argiles grises ou bleues à passées gréseuses (Helvétien)
 Grès et poudingues (Langhien).
 Marnes bleues (Langhien-Serravalien).

Eboulis ou dépôts de pente.
 Cônes de déjection.



Paléozoïque
 Socle Kabyle (LLANVIRN).
 Coupes géomorphologiques.

1.2 - LES TERRASSES ALLUVIALES - DESCRIPTIONS (fig. 51 à 53)

On rencontre six (06) niveaux de terrasses dans la vallée de l'oued Sébaou. Les épaisseurs des dépôts sont assez variables. Elles sont de l'ordre de 3 - 15 m pour le Quaternaire ancien à moyen et de 40 m pour le Quaternaire récent.

Les terrasses sont généralement emboîtées et étagées dans le haut et le moyen Sébaou et emboîtées dans le Bas Sébaou (coupes et cartes).

Au sein de la zone d'étude, nous avons choisi de décrire deux séries complètes qui sont :

1.2.a. la série du Pont de Michelet (Tableau 34).

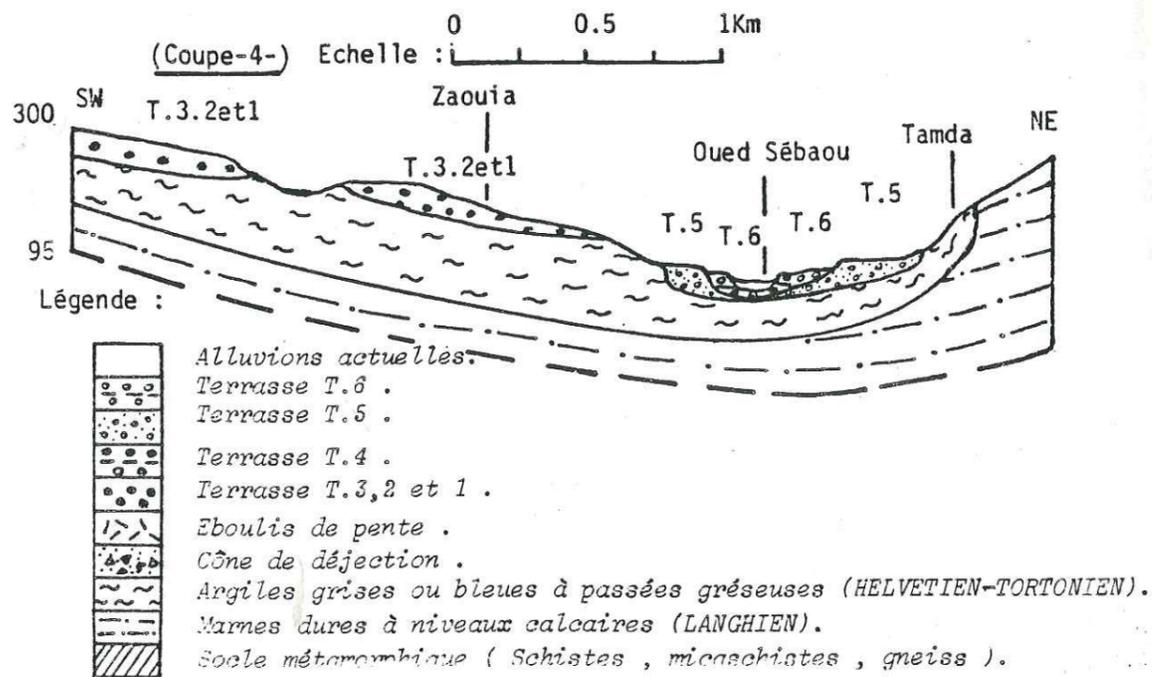
1.2.b. la série de Takorrabt bou Achbatzène. (Tableau 35).

D'une manière générale, ces deux séries présentent des terrasses situées à des altitudes différentes, d'épaisseurs équivalentes. La matrice limoneuse, argileuse ou argilo-sableuse est rubéfiée ou non. La stratification, quand elle existe, est bien ou peu développée.

En ce qui concerne la granulométrie, on note la prédominance de galets de diamètres allant de 10 à 30 cm et plus, de blocs de la taille du mètre-cube et d'éléments fins (sable).

Enfin, l'homogénéité pétrographique des éléments découle de l'appartenance des sources d'apports (oueds) au même bassin versant.

Fig. 51 . Etagement des terrasses alluviales ,
(Epaisseurs des formations non respectées).



Cette légende est commune aux figures : 51,52et53 .

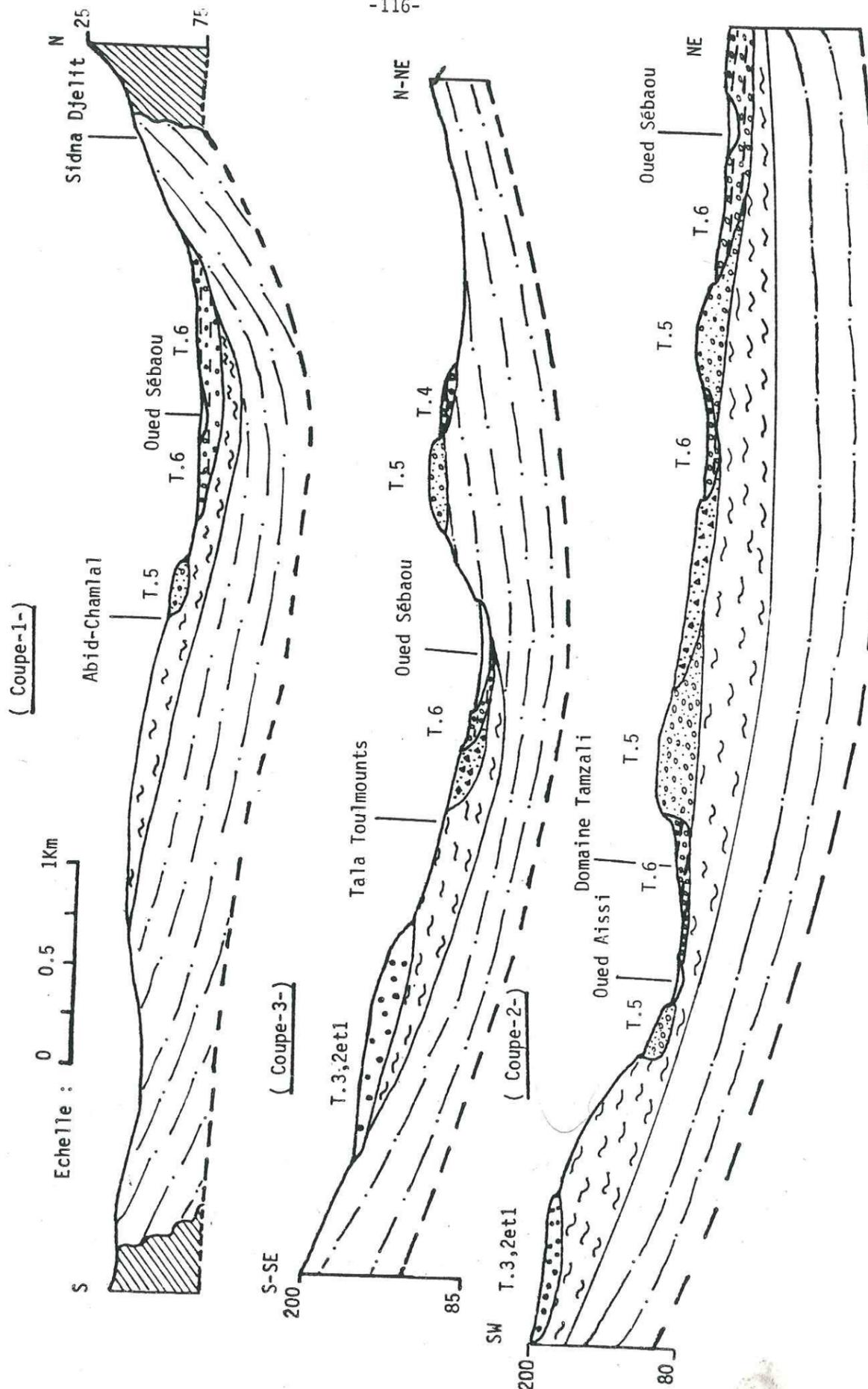
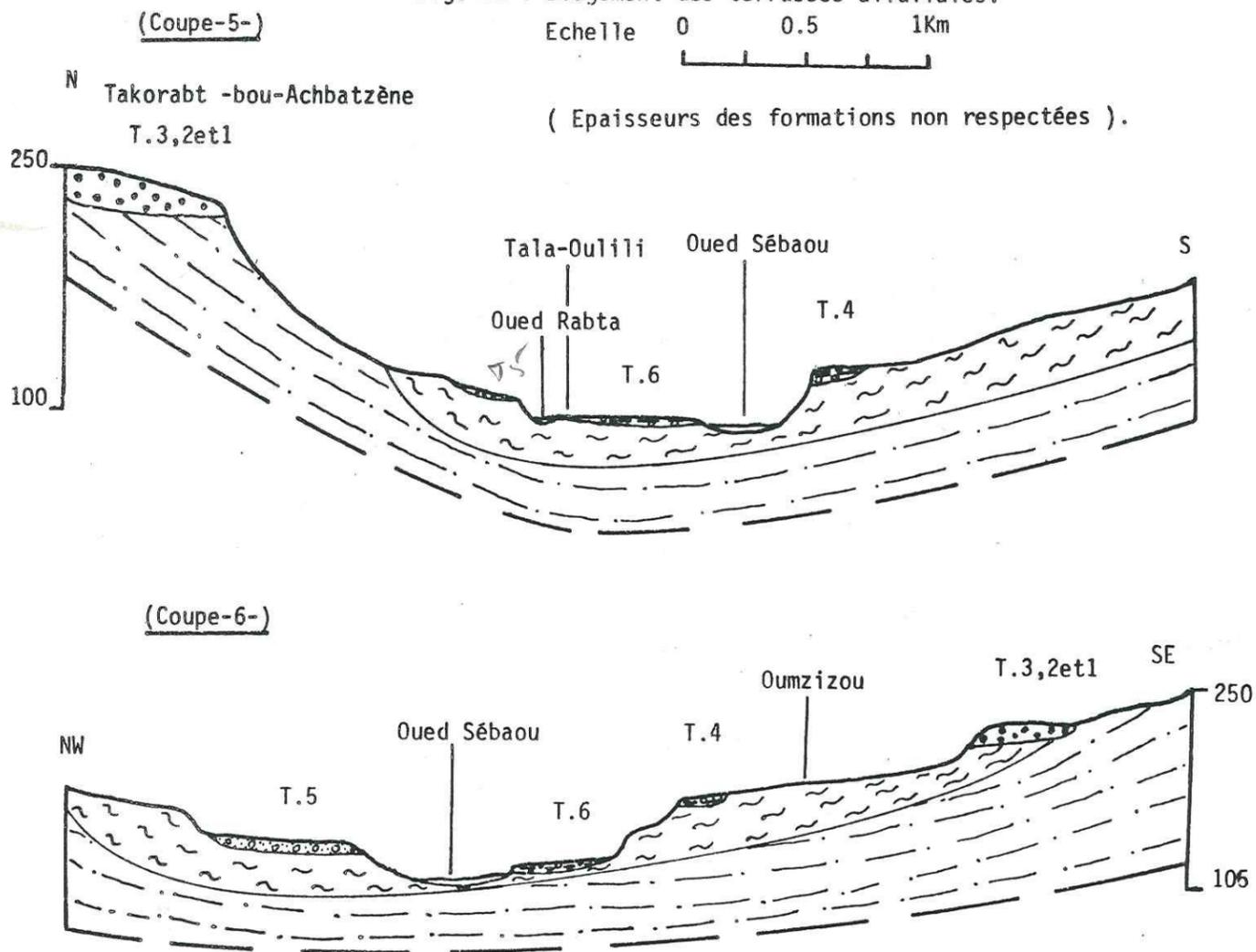


Fig. 52 . Etagement des terrasses alluviales .
(Epaisseurs des formations non respectées).

Fig. 53 . Etagement des terrasses alluviales.



-117-

Ordre des Terrasses	Altitudes (m)	Epaisseur (m)	Matrice couleur	Stratification Litage	Granoclassement	Granulométrie	Pétrographie	Oueds (sources d'apport)
2	280-300	3	Argileuse très rubéfiée	Peu développée	/	Peu de galets-Beaucoup d'éléments de diamètre $\phi < 10$ cm	Elements de socle	/
3	240-260	3-4	Argilo-sableuse rose	Peu développée	/	Beaucoup de graviers de $\phi < 0,5$ cm. Présence de galets de $\phi > 1$ m ³	- quartz détritique - séricitoschistes - flyschs	Acif-Ou-Serdoun
4	220	4-5	Argileuse ocre	Bien développée Litage visible	De la base au sommet	Prédominance de galets de $\phi < 10$ cm.Présence de blocs de $\phi 1$ m ³	Débris de flyschs	Acif-Ou-Serdoun
5	210- 215	3	Argileuse beige ocre	/	/	/	/	Acif-Ou-Serdoun
6	205	4-5	Gris, noir	Bien développée	/	Prédominance de galets $\phi > 10$ cm	- quartz - flysch - schiste	Oued Tirourda
Lit actuel	200	/	Sableuse grise	/	/	En surface prédominance de galets de $\phi > 30$ cm qui sont concentrés dans le chenal	Beaucoup de ressemblance à la terrasse 6	

Tableau 34 - Série du pont de Michelet

-118-

Ordre des terrasses	Altitudes (m)	Épaisseur (m)	Matrice couleur	Stratification litage	Granoclassement	Granulométrie	Pétrographie	Oueds (sources d'apports)
1	290	15-20	limoneuse beige	Bien développée	De la base au sommet	Nombreux blocs de $\phi > 1m3$ à la base	Flyschs, grès, Nummiens, socle	/
2	220	2-3	Argileuse rubéfiée	Pas de stratification	/	Prédominance d'éléments de $\phi < 30$ cm	Socle et flyschs dans les mêmes proportions	Djurdjura
3	170	5-6	Limono-sableuse ocre	Bien développée litage apparent	De la base vers le sommet	Tous les galets sont de $\phi < 30$ cm	Prédominance de galets de grès nummiens	/
4	150	3	Limoneuse beige	Bien développée Litage régulier	De la base vers le sommet	Prédominance de galets de $\phi = 20cm/\phi=30$ cm	Flyschs, socle	/
5	110	3	Limono-argileuse rubéfiée	Presque inexsistante	/	Les galets de $\phi < 10$ cm prédominent	-Débris de quartz - Schistes - Flyschs	Socle
6	100	15 (forage)	Sableuse grise	Bien développée	/	En surface $\phi < 5cm$ en profondeur $\phi < 15$ cm	Sables, graviers, galets, marnes, limons.	/

Tableau 35 - Série de Takorrabt-bou-Achbatzène

Série de Tadmaït	Épaisseur (m)	Stratification litage	Granoclassement	Granulométrie	Pétrographie	Source (origine d'apport)
1,2,3,4,5,	5 m	Mal stratifiés	Faible	Prédominance de petits galets et socle grossier, absence d'éléments de $\phi > 30$ cm	Socle et grès miocènes	Affleurements environnants (locaux)
6	30 m	Pas de litage apparent	/	/	Socle et grès	Affleurements environnants (locaux)
Série de Baghlia	Comparables à celles de Tadmaït	meilleure que la série de Tadmaït car favorisée par des courants réguliers et de faible pente du lit de l'oued	/	/	/	/

1.2.6. Caractéristiques des terrasses de la moyenne et basse vallée de l'oued Sébaou

Tableaux 36 et 37

2 - LA PROSPECTION ÉLECTRIQUE

En 1964, la Compagnie Générale de Géophysique (C.G.G.) a effectué sur toute la vallée du Sébaou, pour le compte de la direction de l'Hydraulique de Tizi-Ouzou (D.H.W.) une campagne de sondages électriques. La plaine du haut Sébaou a été subdivisée en trois zones, chacune d'elle ayant fait l'objet d'une étude d'essais ou de reconnaissance.

Les buts et possibilités de la prospection étaient de:

- 1- préciser l'épaisseur des alluvions aquifères au-dessus de l'imperméable marneux;
- 2- calculer le volume de l'aquifère;
- 3- mettre en évidence des chenaux fossiles constituant les drains de la nappe d'infiltration.

23 profils pour un total de 212 sondages électriques ont été exécutés.

a) La zone de Sikh-ou-Meddour - Tamda (fig. 54)

Les résultats des sondages électriques réalisés au niveau des forages sont les suivants:

SE au niveau des forages	Épaisseurs (m)	Nature des alluvions imprégnées	Résistivités Ωm
Tizi-Rached	7	Sables, graviers, galets	200
Tamda-2	6		250
Tala Toulmounts-1	8,5	Sables, graviers, gros galets	200
Tala Toulmounts-2	7,5	Sables, graviers, galets	85
Tala Athmane-1	9,5	Sables, graviers gros galets	200
Tala Athmane-2	6	Sables, graviers gros galets	200
Tazazraït-2	9,5	Sables, graviers, galets	150-200
Tizi-Ouzou - 3	17	Limons(6,5-9,8), sables graviers, galets	20 (limons) 110
Tizi-Ouzou - 5	15,5	Limons, sables, graviers, galets	20 (limons) 200

Tableau 38 - Résultats des sondages électriques au niveau de Sikh-ou-Meddour-Tamda

Les autres sondages électriques sont comparables aux précédents (tableau ci-dessus). Les limons conducteurs de surface prennent plus d'importance d'amont en aval et atteignent plus de 5 mètres d'épaisseur à l'approche du pont de Bougie.

Avant la confluence oued Aissi-oued Sebaou, l'épaisseur des alluvions est d'environ 20 mètres.

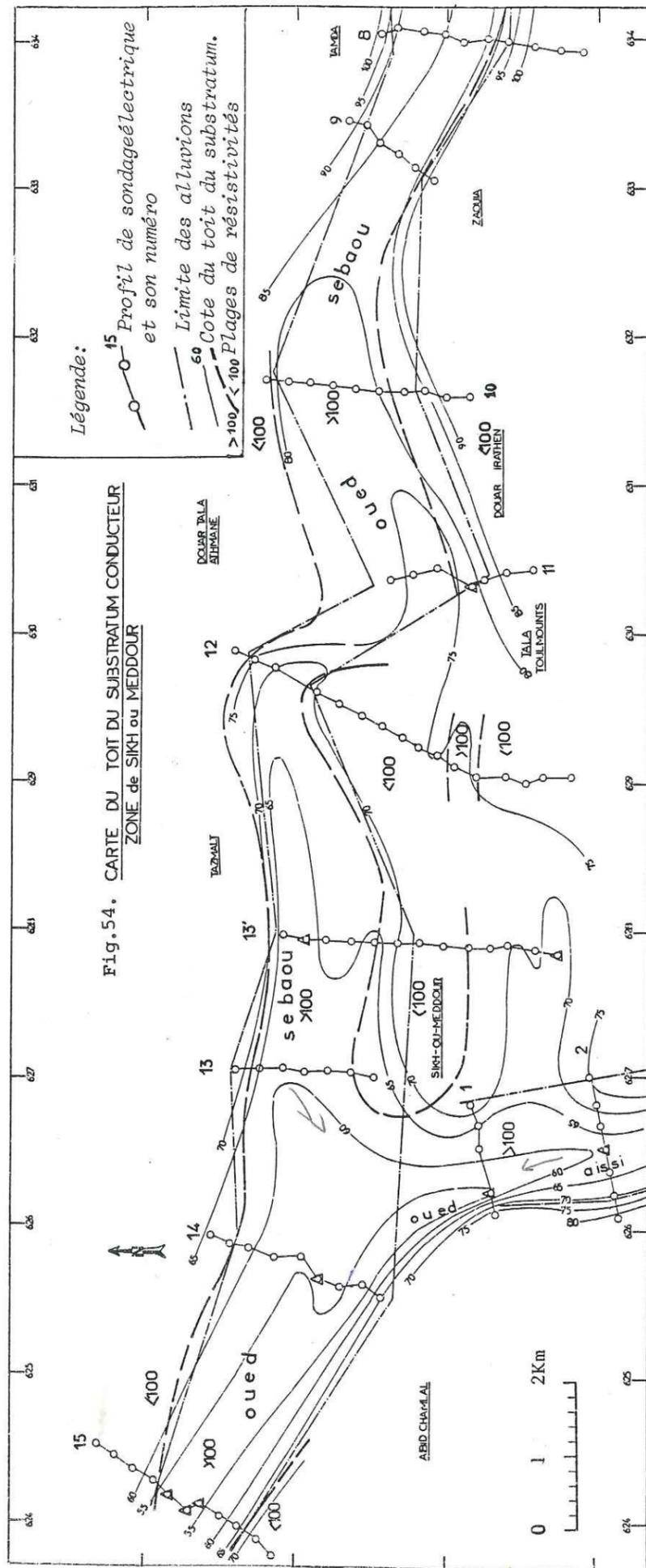


Fig. 54. CARTE DU TOIT DU SUBSTRATUM CONDUCTEUR
ZONE de SIKH ou MEDDOUR

b) Zone de Tazazrait-Khara (fig. 55)

Au niveau de cette zone, deux sondages électriques (4A et 4B) réalisés au droit des forages (Oumzizou 1-Oumzizou 3) (fig. 56) sont retenus comme étalons. Leur interprétation montre que les alluvions aquifères présentent des résistivités $\rho = 120$ et $160 \Omega m.$ respectivement, et les limons de surface $\rho = 15$ et $30 \Omega m.$

Les autres sondages électriques mettent en évidence les limons sur les deux rives de la vallée. Au centre des dépôts grossiers de résistivités $350 < \rho < 3000 \Omega m.$ affleurent directement.

De part et d'autre de la vallée et au droit de la confluence oued Sebaou-Oued Rabta, la résistivité des alluvions est $\rho < 100 \Omega m.$ Il s'agit là probablement d'une terrasse ancienne plus colmatée que les dépôts récents. L'épaisseur maximum des alluvions est de 12 m.

c) Zone de Fréha (fig. 57)

Le sondage électrique A2 (fig. 58) réalisé au droit des forages "Fréha 4" montre des alluvions imprégnés de résistivité $\rho = 75 \Omega m.$ et des limons de recouvrement de résistivité $\rho = 8,5 \Omega m.$ Les marnes du substratum ont une résistivité $\rho = 6 \Omega m.$ Sur le reste de la zone, les sondages électriques montrent l'apparition d'un niveau superficiel très résistant $130 < \rho < 200 m.$

Remarque: cette couche résistante de surface qui s'étend sur la haute et moyenne vallée du Sébaou, lorsqu'elle devient épaisse masque le niveau inférieur et empêche l'évaluation précise de la profondeur des marnes du substratum.

3 - LE RÉSERVOIR UTILE - INTERPRÉTATION DE LA CARTE DES ISOPAIQUES DES ALLUVIONS

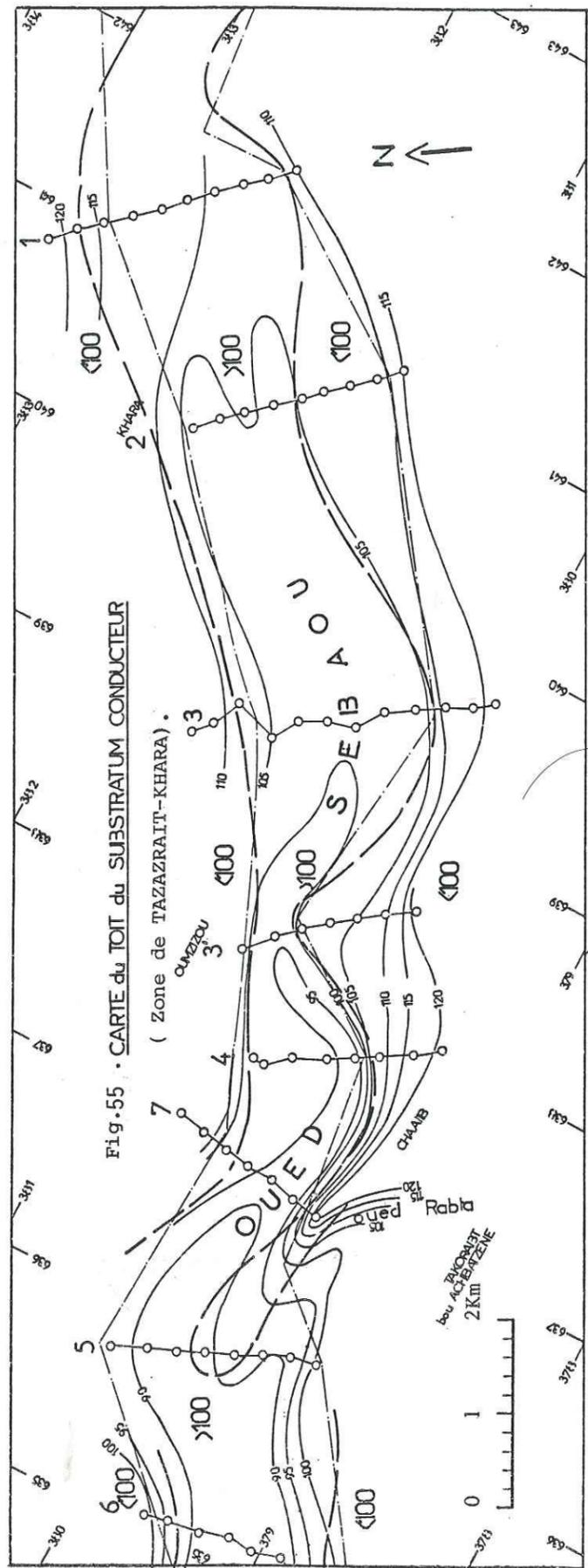
3.1 - LES CARTES DU TOIT DU SUBSTRATUM (fig. 54, 55 et 57)

L'un des résultats le plus important de la prospection est l'établissement de la carte du toit du substratum.

Sur les trois cartes (zones de Sikh-ou-Meddour, Tazazrait-Khara et Fréha-Djemaaa Tizra) les chenaux fossiles sont bien mis en évidence que ce soit pour le Sébaou ou ses affluents.

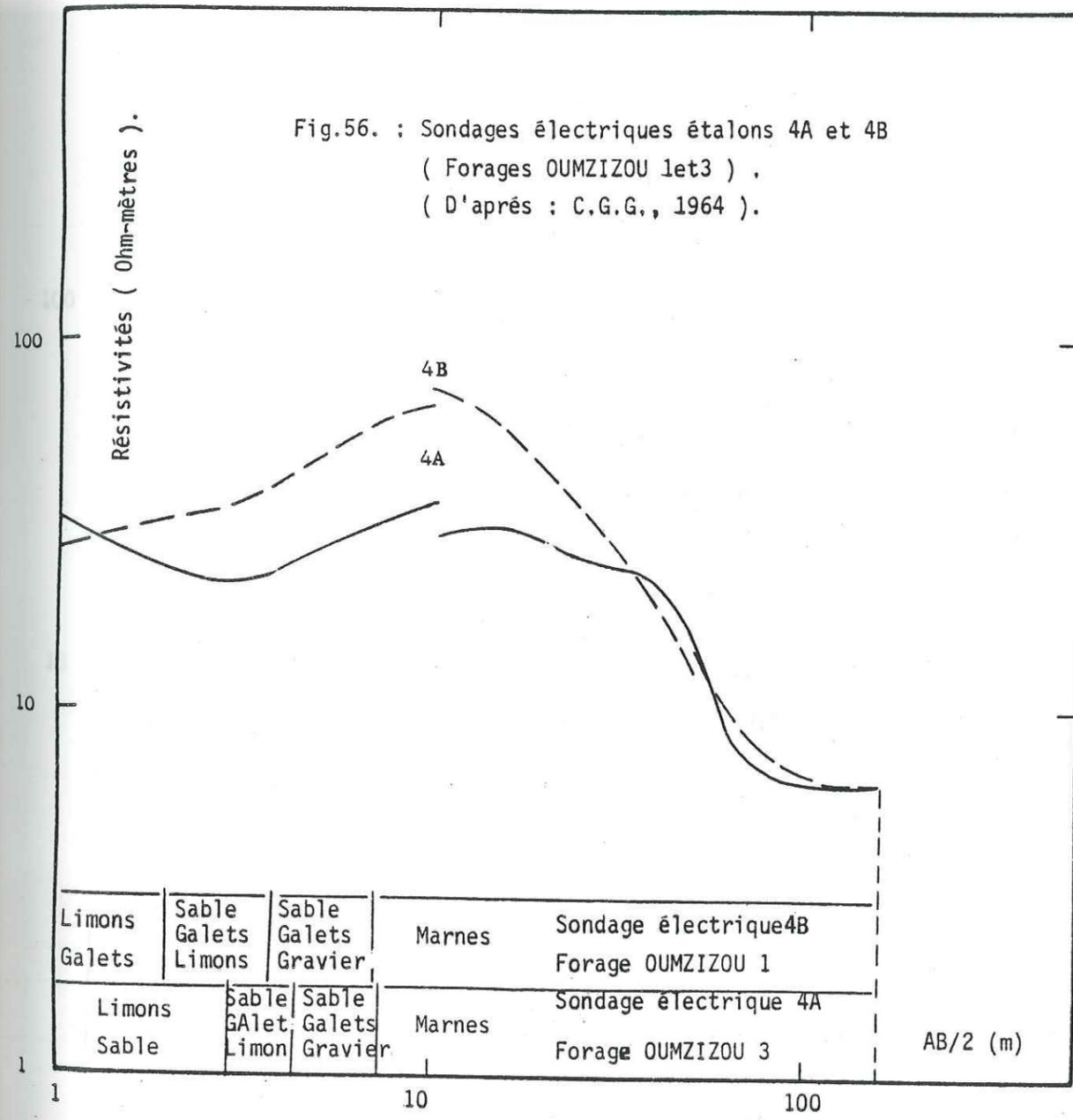
La délimitation des alluvions aquifères est basée sur les épaisseurs de recouvrement déduites des sondages électriques.

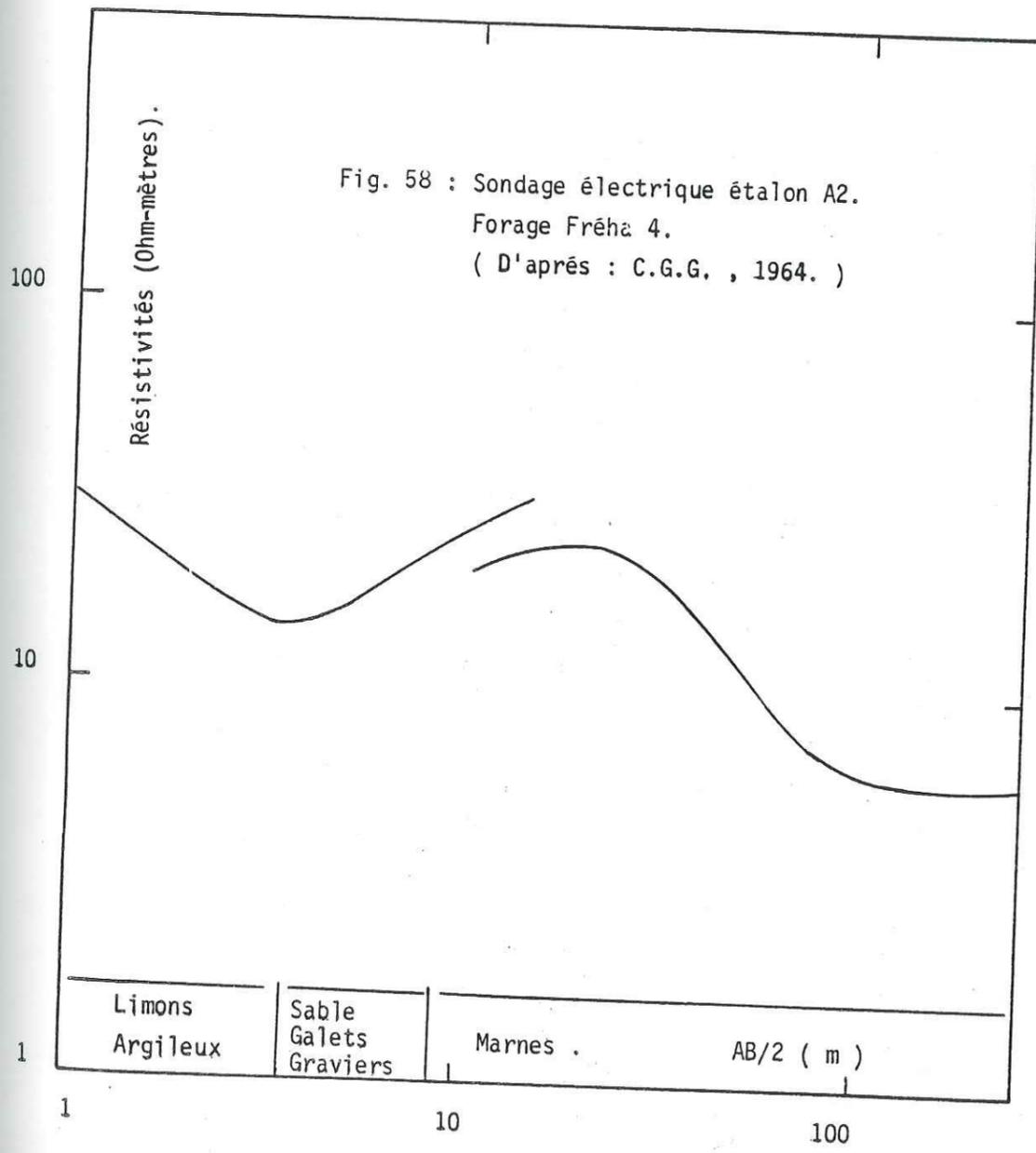
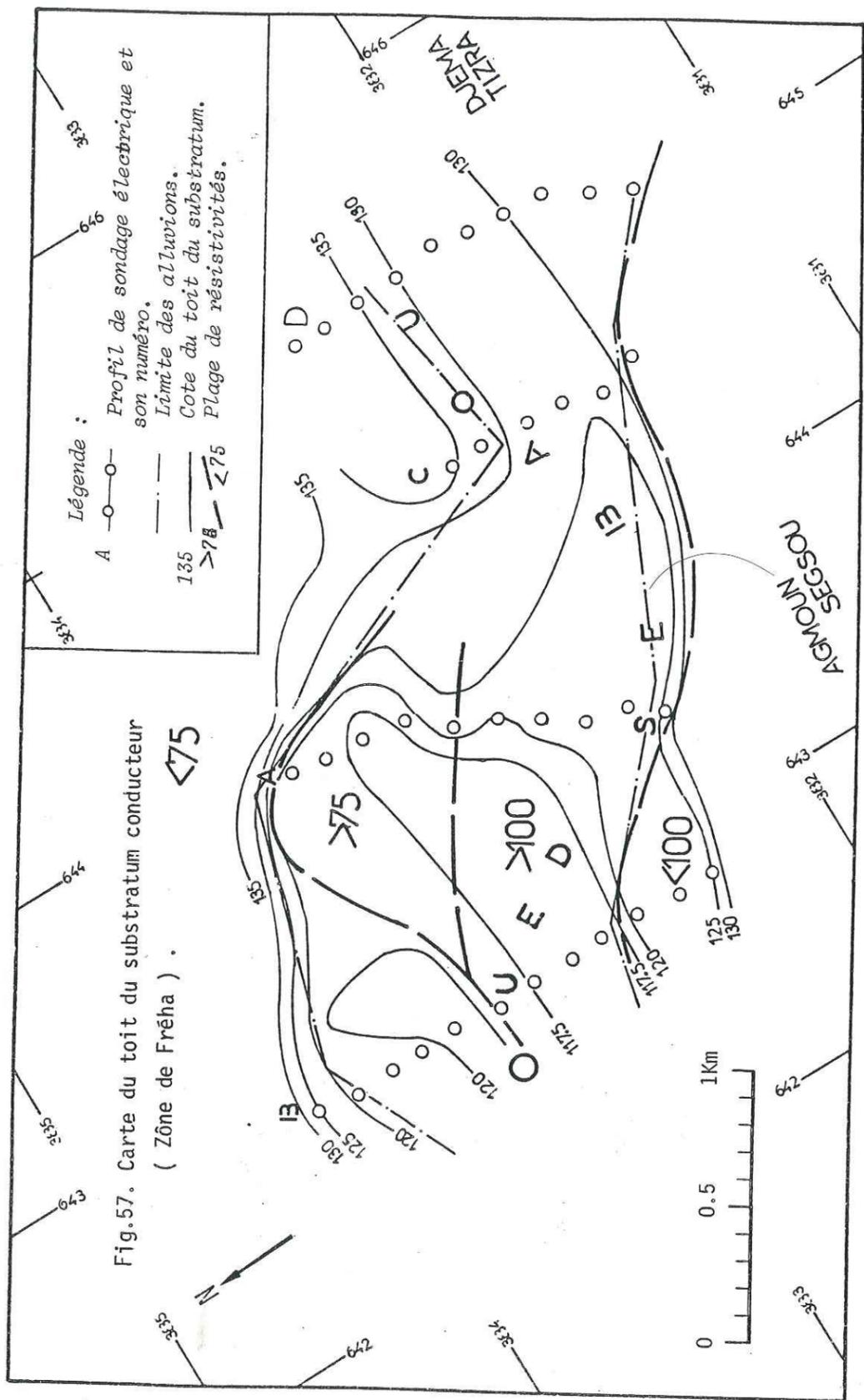
D'après les résistivités obtenues pour chaque profil de SE un classement pour chaque zone a été possible, dégageant ainsi des plages de $\rho > 100 \Omega m.$ relative à l'axe de la vallée et $\rho < 100 \Omega m$ relative aux bordures de cette dernière.



Légende :

- 7 Profil de sondage électrique et son numéro.
- Limite des alluvions.
- 90— Cote du toit du substratum.
- >100 <100 Plage de résistivités.





3.2 - LES COUPES GEOELECTRIQUES (fig. 60 à 65)

Sur ces coupes géoélectriques établies selon les profils des sondages électriques, on peut remarquer que les épaisseurs des alluvions sont comprises en moyenne entre 5 et 20 mètres.

Ces épaisseurs concordent bien avec celles mises en évidence par les sondages mécaniques.

On peut remarquer aussi que les résistivités des alluvions sont de l'ordre de 100 à 200 ohm-mètres.

En surface, des niveaux résistants (mais parfois conducteurs), discontinus, d'épaisseur réduite (0,5 à 1 m) sont mis en évidence. Il s'agit d'alluvions sèches et de limons de recouvrement.

Au sein des alluvions, des intercalations argileuses conductrices sont aussi mises en évidence.

Mises à part ces remarques caractéristiques, il ne nous est pas possible de déduire d'autres conclusions à partir de ces coupes, sinon qu'elles présentent d'amont en aval de la vallée, l'évolution de la géométrie de l'aquifère.

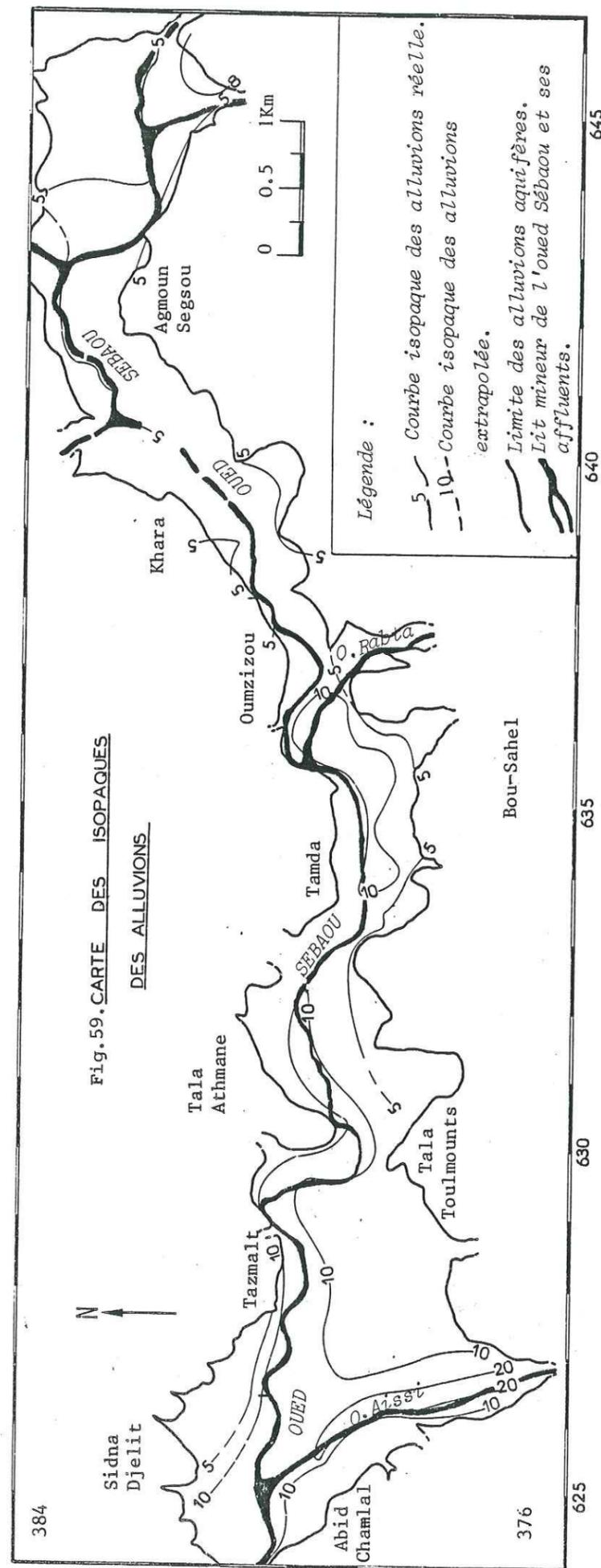
En fait, la réinterprétation de ces coupes n'a pas été possible car nous ne disposons pas des données brutes relatives à chaque sondage électrique.

3.3 - LES COUPES HYDROGEOLOGIQUES (d'après les logs de forages) (fig.66)

Ces coupes longitudinales schématisiques sont réalisées généralement dans la terrasse 6 et le lit majeur actuel de l'oued.

Elles permettent d'esquisser la morphologie du substratum marneux et le plus ou moins important niveau argilo-limoneux qu'est la terre végétale. Entre les deux formations l'horizon aquifère constitué d'alluvions (sable, graviers, galets) présente des épaisseurs irrégulières. Cette irrégularité est due soit à la remontée du substratum, soit à l'importance des terrains de recouvrement.

Nous remarquons que les côtes des marnes (toit du substratum) obtenues par prospection géophysique concordent bien avec les résultats des sondages mécaniques au droit des coupes précitées.



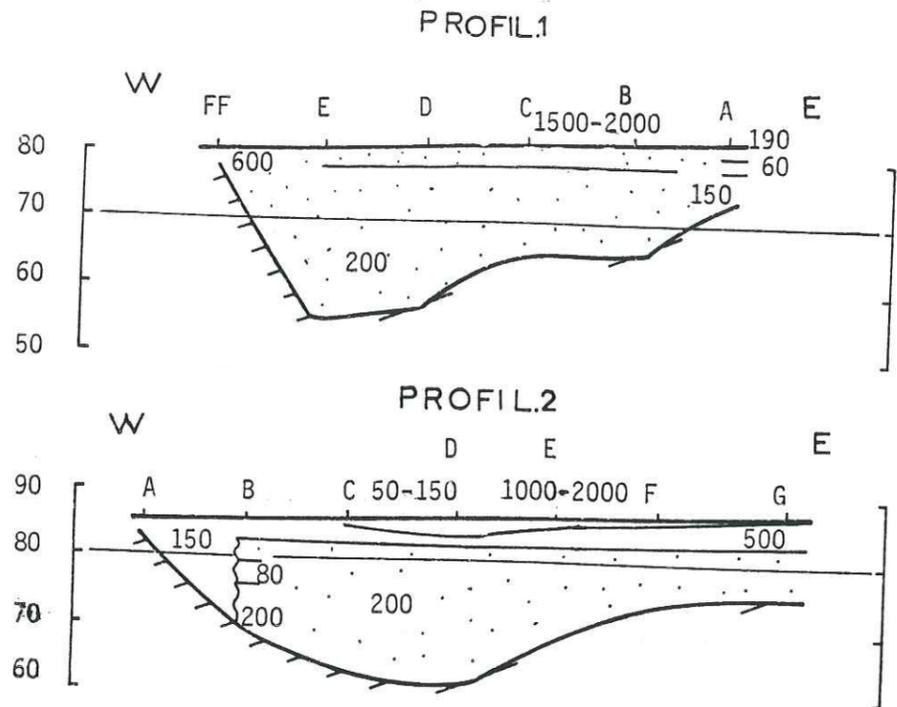


Fig.60. Coupes géoélectriques suivant les profils de sondages électriques.
Echelles: Horizontale 1/10.000e
Verticale : 1/1000e

LEGENDE COMMUNE AUX FIGURES : 60 à 65.

- 200 Horizon aquifère et sa résistivité.
- Toit du substratum conducteur.
- (15) Profil de sondage électrique.
- Foage

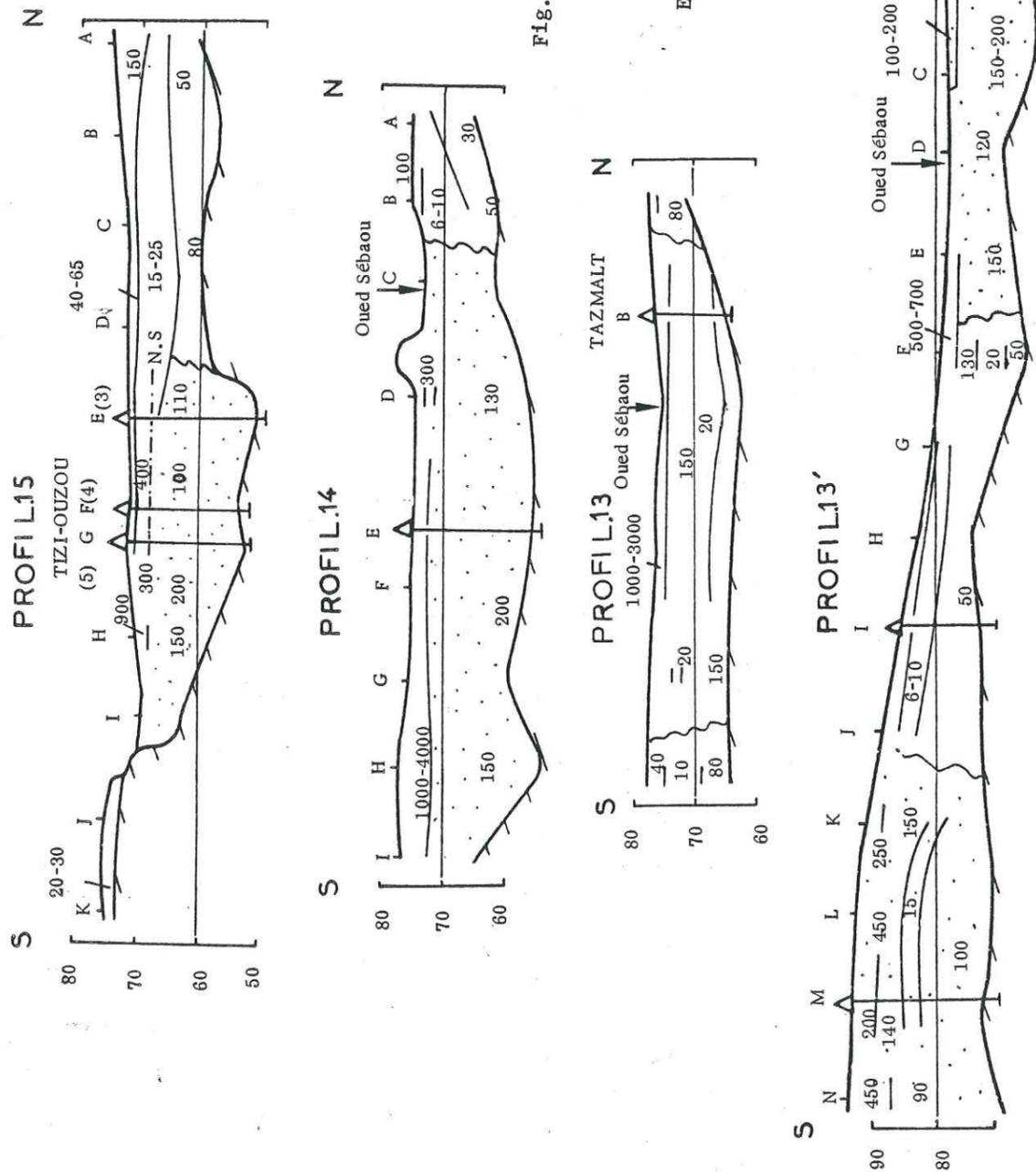


Fig.61 : Coupes Géoélectriques suivant les profils de S.E.
Horizontale: 1/10.000e
Ech : Verticale : 1/1000e

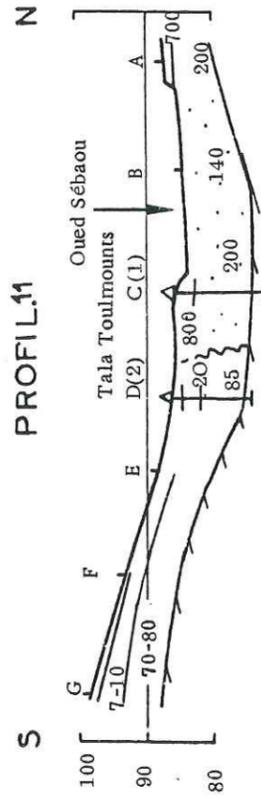
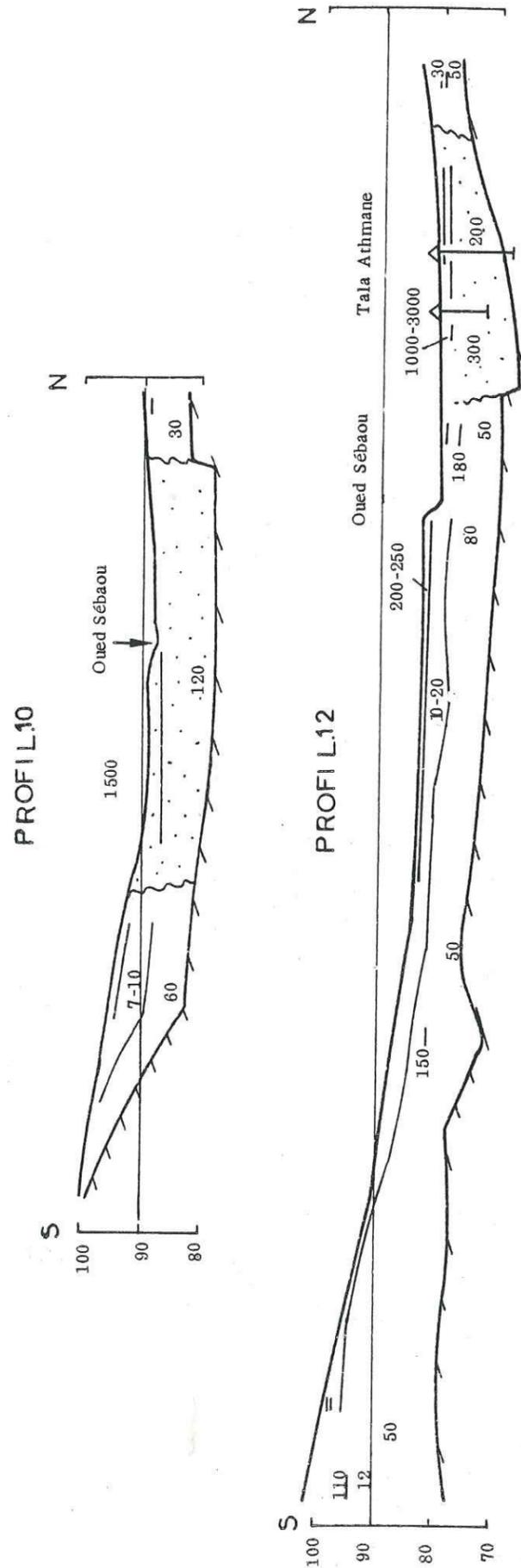


Fig. 62. Coupes Géoélectriques
suivant les profils de S.E.
Horizontale: 1/10,000e
Ech: Verticale : 1/1000e

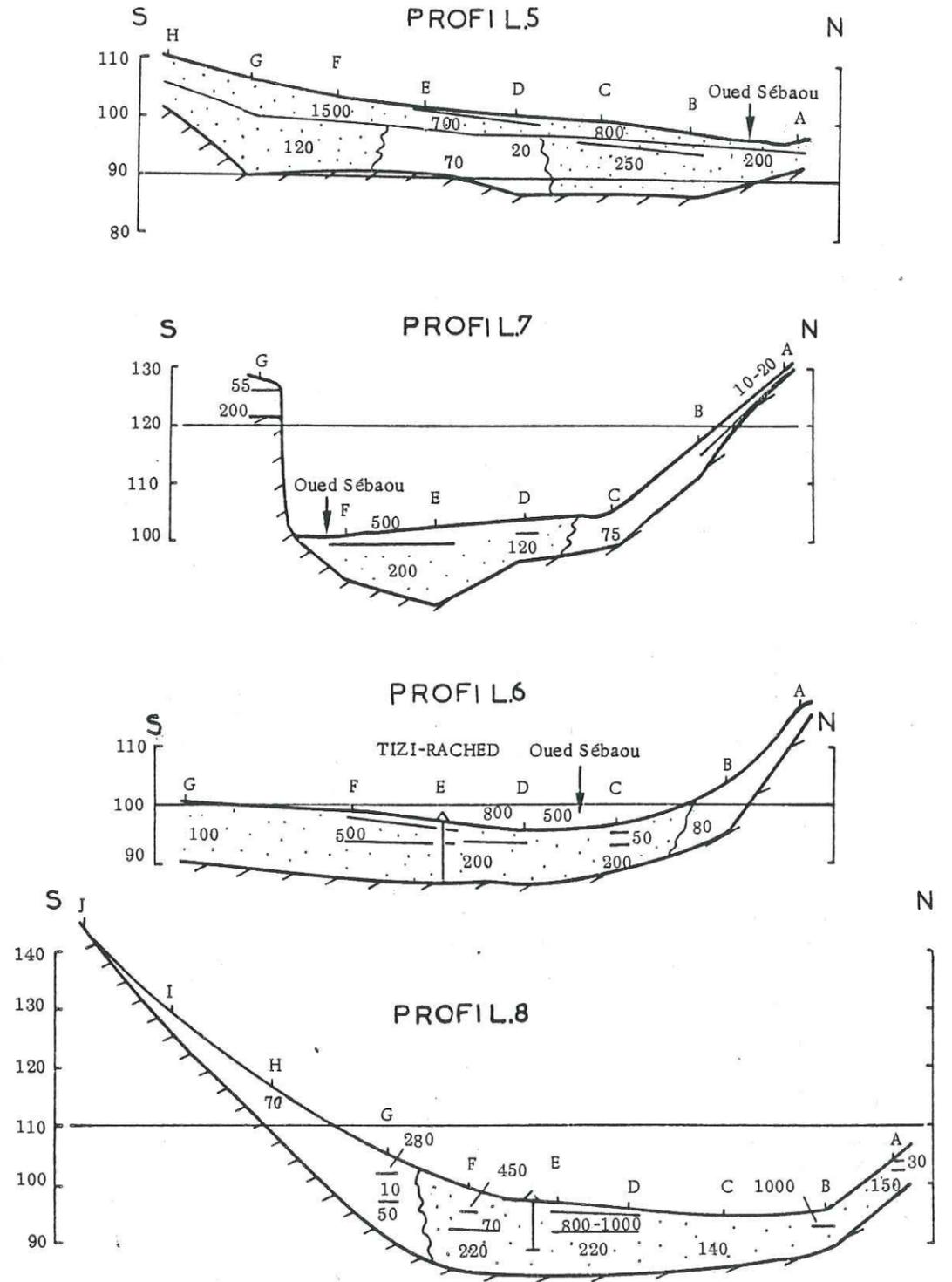


Fig. 63 : Coupes Géoélectriques suivant les
profils de sondages électriques
Horizontale : 1/10,000e
Ech. Verticale : 1/1000e.

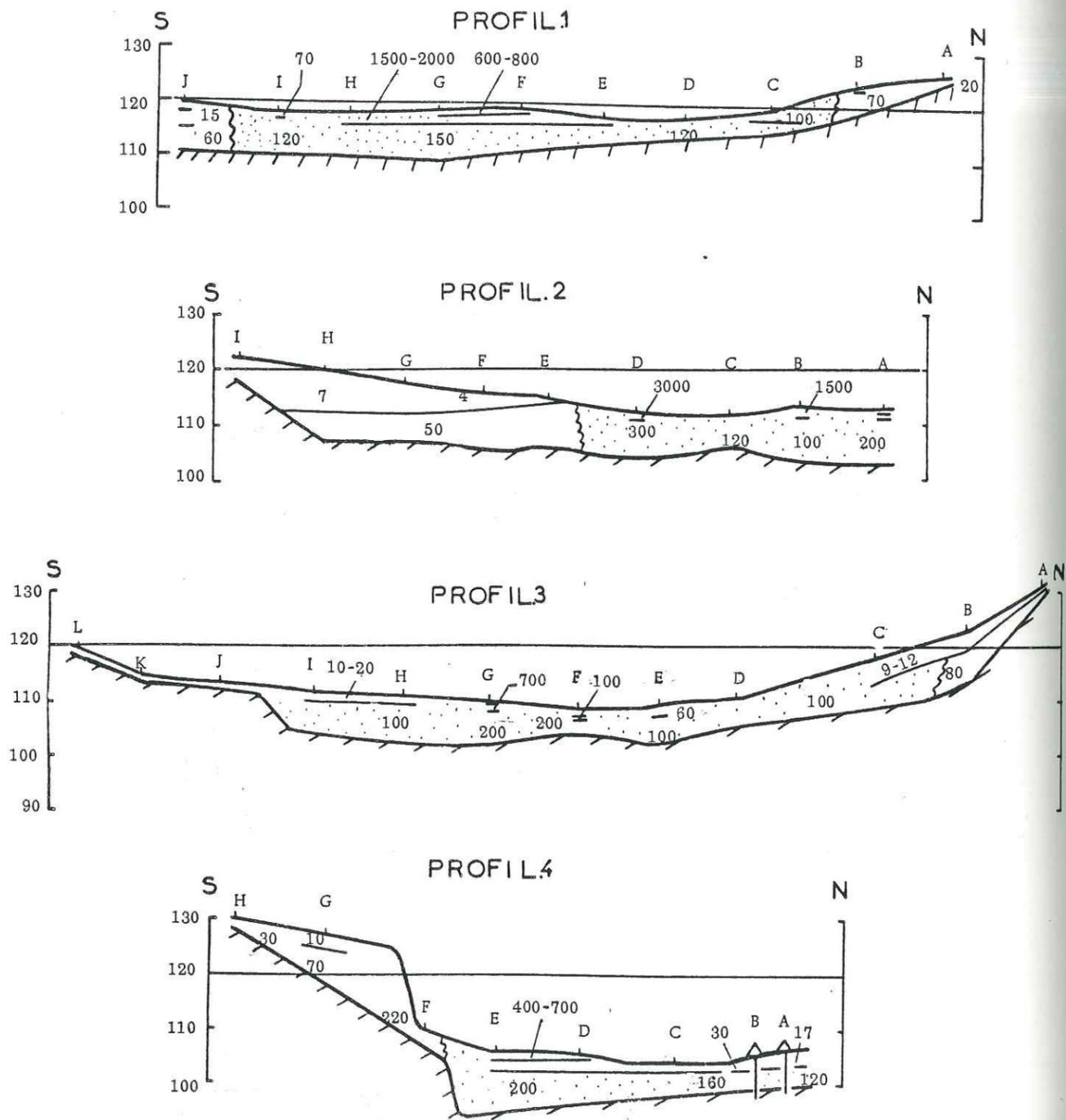


Fig. 64 : Coupes Géoélectriques suivant les profils de sondages électriques.
 Ech. Horizontale : 1/10.000e.
 Verticale : 1/1000e.

Fig. 65 : Coupes Géoélectriques suivant les profils de sondages électriques.
 Zone de Fréha-Djema-Tirza Ech: Horizontale : 1/10.000e
 Verticale : 1/1000e.

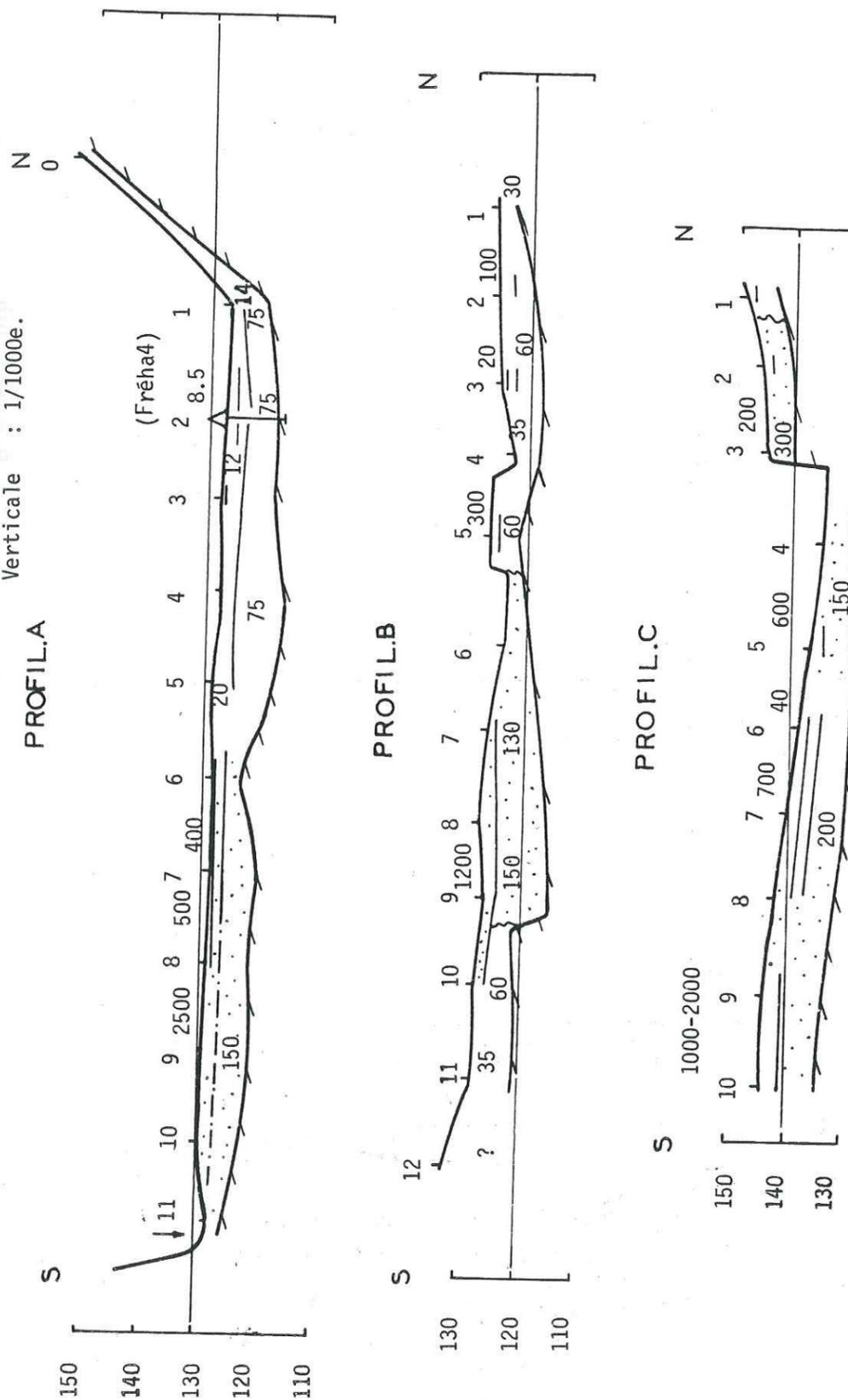
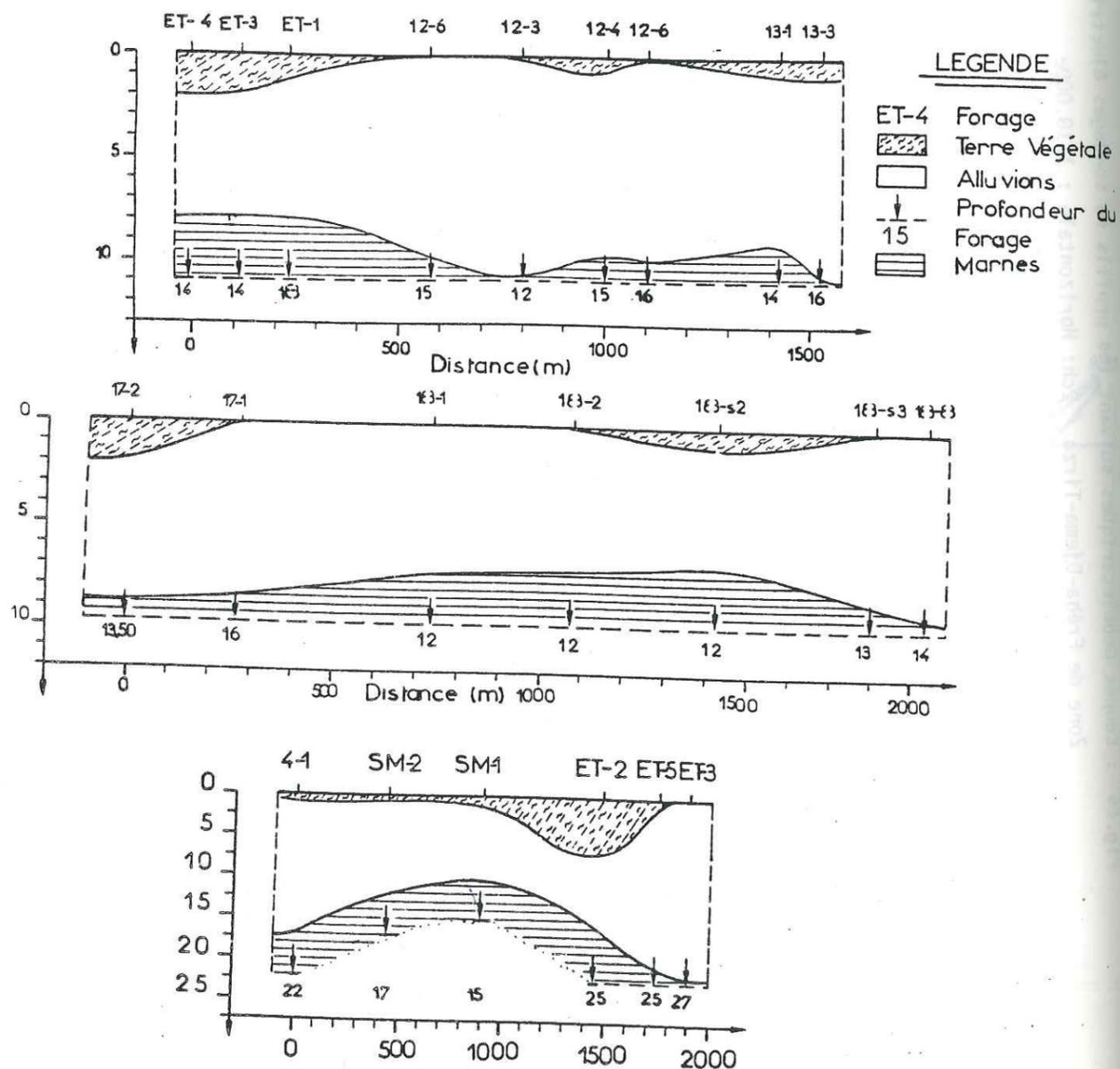


FIG.66. COUPES HYDROGEOLOGIQUES
LONGITUDINALES (d'après LOGS de forage)



3.4 - INTERPRETATION DE LA CARTE DES ISOPAQUES DES ALLUVIONS (fig.59)

Le tracé des isopaques est basé sur les épaisseurs calculées d'après la géophysique (C.G.G., 1964). Les résultats de la géophysique ont fait l'objet de vérification dans les zones où ont été réalisés récemment des sondages mécaniques (forages).

Sur cette carte, on distingue:

- 1- zone oued Aissi: Epaisseur : 20 mètres;
- 2- zone Oumzizou jusqu'au Pont de Bougie et oued Aissi: Epaisseur comprise entre 10 et 20 m avec un seuil au niveau du pont de Tamda;
- 3- de Oumzizou jusqu'à l'amont, nous avons une zone où les épaisseurs sont comprises entre 5 et 10 m. Dans cette zone, nous pouvons inclure les versants non cités jusqu'à présent.

Nous pensons que ces différences d'épaisseurs sont dues à un changement de pente du lit de l'oued; sachant qu'un cours d'eau érode ou dépose pour atteindre ou revenir à son profil d'équilibre.

Ces zones d'épaisseurs maximum pourraient correspondre à une déformation tectonique du substratum entraînant le seuil de Tamda par exemple, vu le surcreusement sur l'oued Aissi.

CONCLUSION

L'étude du remplissage alluvial dans la vallée du Haut Sébaou, nous permet de retenir les caractéristiques suivantes:

- les dépôts quaternaires (anciens, moyens et récents) se sont effectués en six phases différentes, conduisant à des terrasses étagées, emboîtées ou mixtes, de puissances variables, ce qui explique les fluctuations du niveau de base;
- la granulométrie et la nature pétrographique des sédiments marquent bien l'évolution précédente et témoignent de la prédominance des sédiments appartenant au bassin versant;
- par leurs positions, par rapport à l'oued et leurs extensions, l'exploitation se fait au niveau du lit actuel de l'oued, 6ème et 5ème terrasse;
- pour une exploitation convenable, il fallait connaître les épaisseurs de la 6ème et 5ème terrasse et du lit actuel; ceci est rendu possible grâce à la prospection géophysique qui nous montre qu'il s'agit de sédiments constitués de limons argileux à sableux en surface, puis du sable, graviers et galets, ces derniers constituant l'aquifère proprement dit, de $\rho > 100$ m., $\rho < 100$ m., puis enfin les marnes;
- cette même projection nous a permis d'établir la carte du substratum marneux, d'où l'on déduit le tracé fossile du lit de l'oued;
- enfin, les forages d'exploitation réalisés ces dernières années nous fournissent des renseignements supplémentaires qui nous permettent d'avoir une meilleure approche du réservoir utile.

CHAPITRE 4

ETUDE PIEZOMETRIQUE

INTRODUCTION

1 - INVENTAIRE DES POINTS D'EAU

- 1.1. Caractéristiques des puits et forages utilisés
- 1.2. Le choix de l'utilisation des puits

2 - LA PIEZOMETRIE

- 2.1. Les hautes eaux
- 2.2. Les basses eaux

3 - FLUCTUATIONS DE LA NAPPE

- 3.1. Profondeur des eaux
- 3.2. Battements de la nappe

4 - LA RECHARGE DE LA NAPPE

- 4.1. La recharge
- 4.2. Conséquences sur l'exploitation

CONCLUSION

ETUDE PIEZOMETRIQUE

INTRODUCTION

La surface piézométrique est le plan d'eau que l'on rencontre dans le sol, lors d'un sondage mécanique. Ce plan peut être réel ou fictif selon qu'on se trouve en nappe libre ou captive.

Dresser une carte piézométrique consiste à mesurer le niveau d'eau dans un plus grand nombre possible d'ouvrages captant si possible la totalité de l'aquifère (ouvrages parfaits).

Quelque soit le problème abordé, le nombre élevé de relevés piézométriques effectués lors d'une étude ne pourra qu'affiner les résultats escomptés, et permettra donc de mieux visualiser la notion d'hydrodynamique souterraine .

1- INVENTAIRE DES POINTS D'EAU (FIG.67)

Il a été effectué sur la base du document de Y. CHADRINE (1974). Nous avons utilisé un réseau de puits assez dense dont la plupart sont nivelés, complétés par quelques puits et forages dont les côtes ont été estimées à partir de la carte topographique au 1/10.000e.

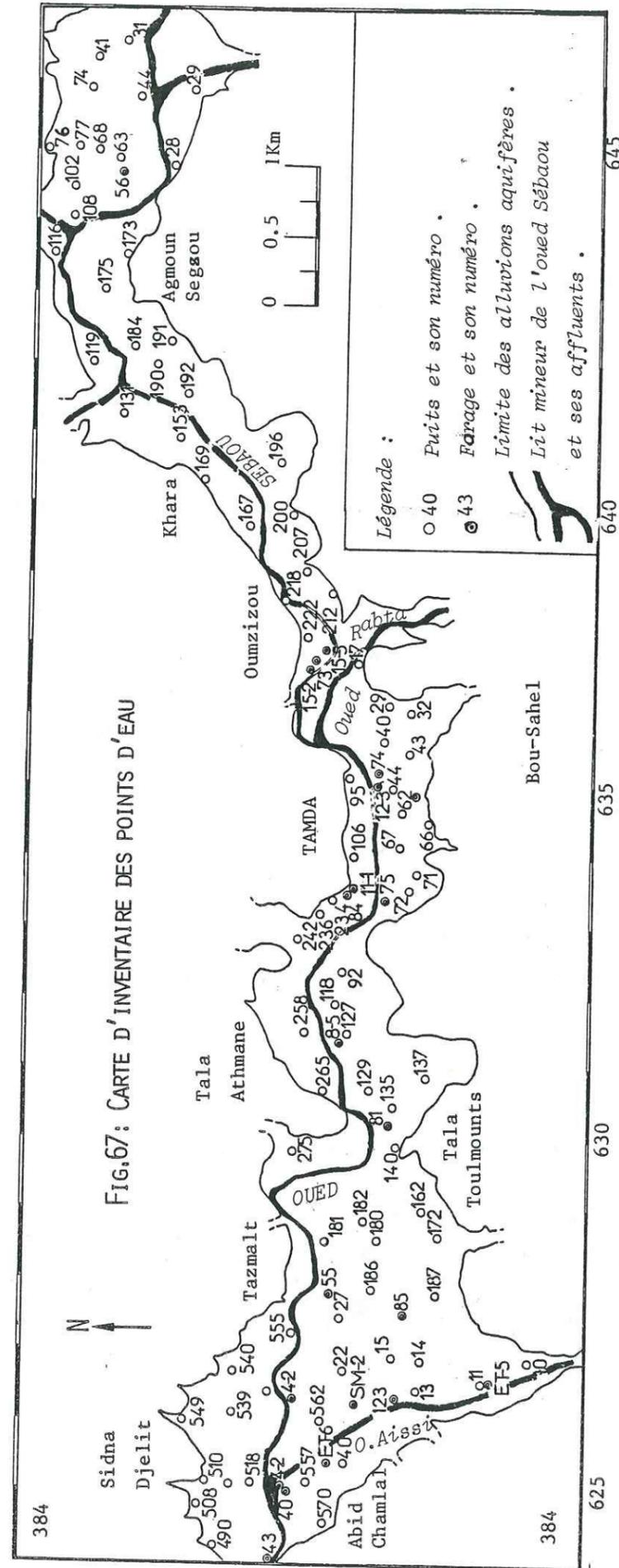
1.1- CARACTERISTIQUES DES PUIITS ET FORAGES UTILISES

Les puits utilisés sont pour la plupart des ouvrages artisanaux construits en briques ou pierres. Non couverts, ils servent en grande partie à l'irrigation et très peu à l'alimentation en eau potable des paysans. Enfin, signalons que ces puits ne captent pas tous la totalité de l'aquifère.

1.2 - LE CHOIX DE L'UTILISATION DES PUIITS

Nous avons opté pour l'utilisation des puits au détriment des forages, pour les raisons suivantes:

- le nombre de puits est très élevé et couvrent la totalité de l'aquifère, ce qui n'est pas le cas des forages qui de plus sont alignés le long de l'oued sur la sixième terrasse;
- contrairement aux forages, une grande partie des puits sont nivelés;
- enfin, les puits utilisés se répartissent régulièrement sur la sixième et la cinquième terrasse alluviale.



2 - LA PIÉZOMÉTRIE

Nous avons effectué deux relevés piézométriques respectivement en période d'étiage (fin septembre - début octobre), et en période de hautes eaux (fin mars - début avril). Ces derniers nous ont permis de rendre compte du comportement du réservoir aquifère et d'en apprécier les battements extrêmes.

2.1- LES HAUTES EAUX (fig.68)

Le relevé a donc été effectué fin mars - début avril sur des puits et forages libres d'accès. Vue l'absence de précipitations, à l'époque de nos relevés, la piézométrie n'est pas soumise à l'influence de la recharge de la nappe.

Sur la carte ainsi établie, nous remarquons que le niveau piézométrique de la nappe fluctue d'amont en aval entre les côtes 140 et 70 m. Un axe de drainage des eaux souterraines est mis en évidence. Il coïncide en l'occurrence avec le tracé actuel de l'oued Sébaou qui draine lui aussi le ruissellement de surface du bassin versant.

Un axe similaire au premier est mis en évidence sur l'affluent principal: l'oued Aissi.

L'écoulement des versants est convergent vers l'axe de la vallée comme le montrent les isopièzes parallèles à subparallèles à la limite de l'aquifère. Cette alimentation de bordure est renforcée par la vidange des terrasses 3 et 1, qui se traduit par des sources temporaires à faibles débits.

La continuité de l'aquifère se limite généralement au lit actuel de l'oued et les terrasses 6 et 5.

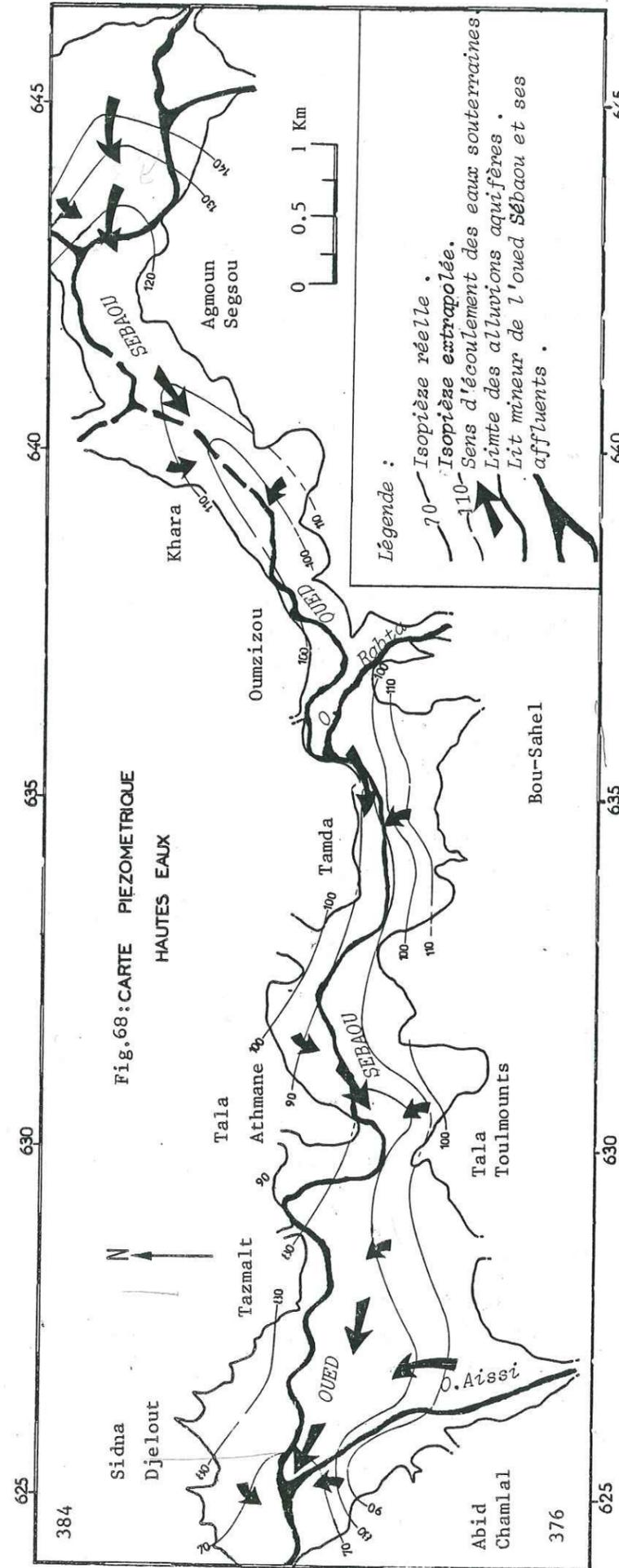
Dans les zones où la vallée accuse un rétrécissement (entre Tamda et Oumzizou en particulier) l'aquifère est réduit au lit de l'oued. De ce fait, les isopièzes ne reflètent que l'alimentation des terrasses étagées. Les alimentations de bordure sont très soulignées au niveau d'Abid-Chamlal, et sur la rive gauche (face à Tamda) où les isopièzes sont les plus serrées.

Le gradient hydraulique $i = \frac{H}{L}$ n'est pas très variable. Il oscille entre deux valeurs à savoir:

$$i = 10^{-2} \text{ en amont et en aval de la vallée, sur les versant}$$

$$i = 10^{-1}$$

$10^{-2} = 0,1$
 $10^{-1} = 1$



2,4 km → 1 km
23 km → 1 km
2 = 23 x 1 km / 2,4 km

9,58 km

9580 m

9580 20 / 9580

2.2- LES BASSES EAUX (fig.69)

Nous obtenons les mêmes profils piézométriques soulignant le drainage des eaux souterraines s'effectuant par le biais d'un axe d'écoulement qui coïncide avec l'écoulement superficiel du Sébaou. Les alimentations des versants convergent vers le centre de la vallée. Comme en hautes eaux, le niveau de la nappe oscille d'amont en aval entre les côtes 140 et 70 m. L'isopièze 70 m, sur l'oued Aissi se situe plus en amont, alors que la 90 disparaît complètement.

Par rapport aux hautes eaux, les isopièzes 120, 130 et 140 enregistrent aussi des déformations.

Les gradients hydrauliques mesurés aux mêmes endroits que la carte des hautes eaux sont de l'ordre de $i = 10^{-2}$ pour les bordures de la vallée et $i = 10^{-3}$ pour le centre. Les gradients de l'ordre de 10^{-1} pour les bordures en hautes eaux disparaissent ici, ce qui est tout à fait normal car en l'absence d'alimentation, donc de venues d'eau importante de la part des versants, l'écoulement souterrain s'effectue très lentement.

3 - FLUCTUATIONS DE LA NAPPE

3.1- PROFONDEUR DES EAUX

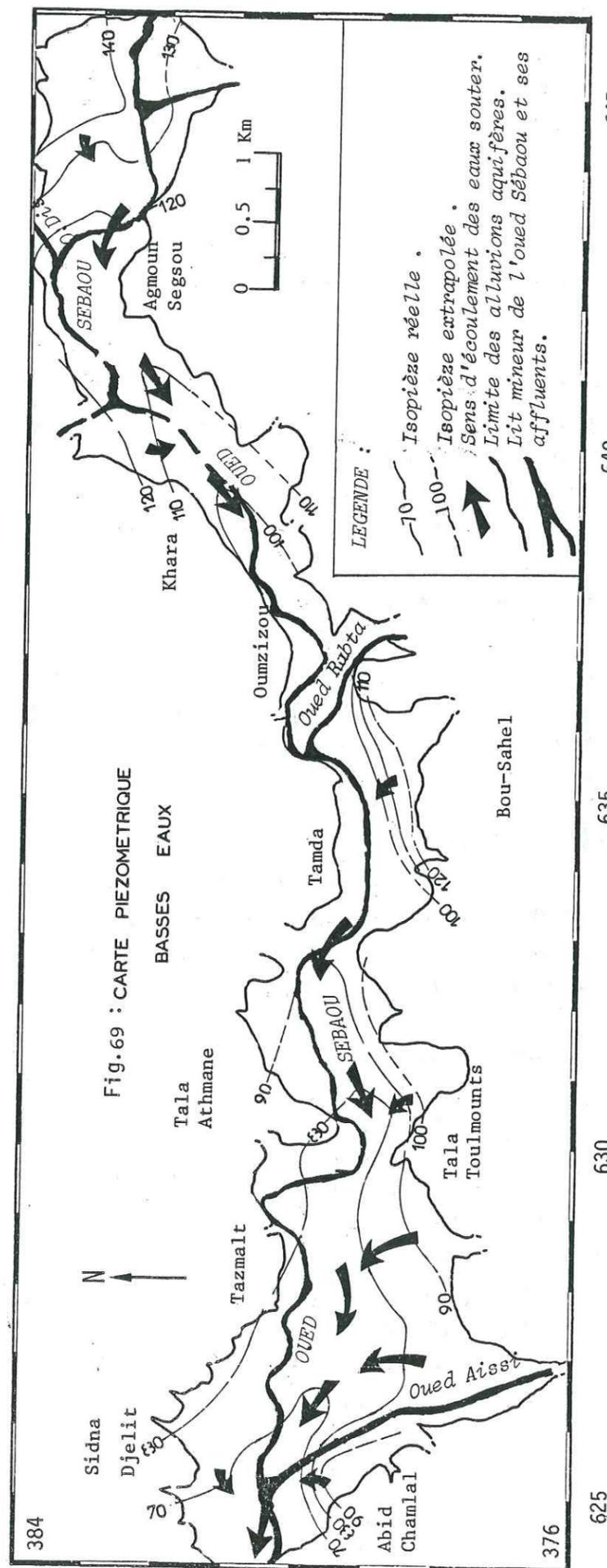
D'après les relevés des niveaux statiques que nous avons effectués lors des deux campagnes, nous remarquons qu'en période de basses eaux, la profondeur minimale des eaux est supérieure à deux (02) mètres, et la maximale avoisinant les six (06) mètres en amont de l'oued Aissi et sur les versants.

Pendant la période des hautes eaux, la profondeur des eaux se situe entre un (01) et cinq (05) mètres, avec les profondeurs minimales toujours dans l'axe de la vallée.

Nous remarquons que les fluctuations moyennes de l'ordre de 1 - 4 mètres demeurent importantes surtout pour les puits situés sur les versants.

3.2- BATTEMENTS DE LA NAPPE (fig.70)

Comme nous l'avons signalé précédemment, l'examen de la carte des battements de la nappe montre que c'est sur les bordures de la vallée que les battements de la nappe sont les plus importants. En effet, dans ces zones ils atteignent quatre (04) mètres et même plus. En amont des oueds Sébaou et Aissi, ils sont aussi importants dans la mesure où ils dépassent les trois (03) mètres.



Au centre de la vallée, les battements sont inférieurs ou égaux à deux (02) mètres.

Notons enfin qu'il existe une similitude entre cette carte et les cartes de basses et hautes eaux, qui se traduit ici par le parallélisme et le subparallélisme des courbes d'équibattelements par rapport à la limite des alluvions aquifères et l'axe de la vallée.

4 - LA RECHARGE DE LA NAPPE

4.1- LA RECHARGE

Durant la période des pluies, la recharge de la nappe peut être envisagée de la manière suivante:

- recharge directe par infiltration des précipitations;
- recharge par les eaux de ruissellement provenant du bassin versant peu perméable. Cette recharge s'effectue sur les périphéries de l'aquifère.

Quand commence la saison sèche, et que les pompages deviennent intensifs, nous pouvons envisager qu'une partie du débit de l'oued rejoint la nappe. C'est la troisième recharge plausible qui peut se justifier par la disparition totale de l'écoulement superficiel.

4.2- CONSEQUENCES SUR L'EXPLOITATION

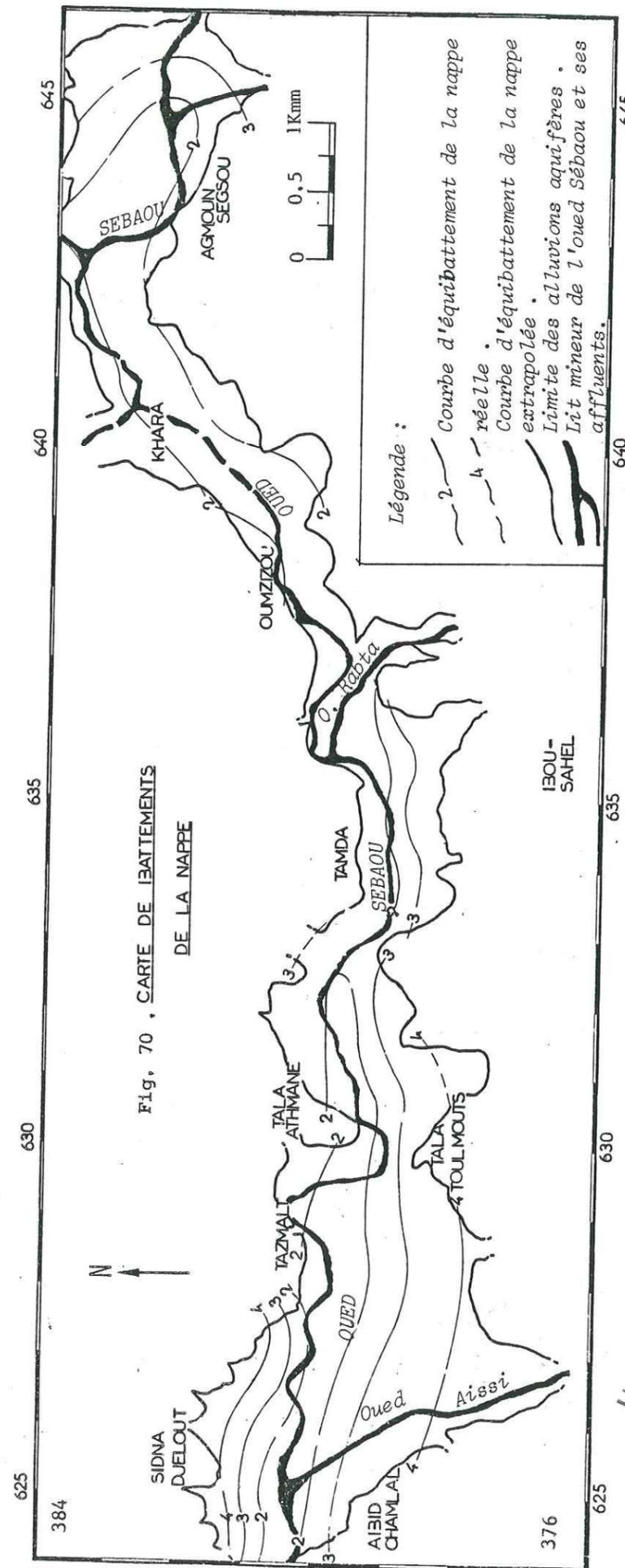
De l'analyse des cartes piézométriques des hautes et basses eaux et de la carte des équibattelements du niveau de la nappe, nous retiendrons les critères suivants:

- pour assurer une exploitation fiable, l'implantation des ouvrages de captage devrait se faire le plus près possible du lit de l'oued;
- l'oued étant près, nous pensons que son débit participe au soutien du niveau de la nappe pendant les basses eaux.

CONCLUSION

L'étude de la piézométrie nous a permis de mettre en évidence un axe de drainage principal des eaux souterraines qui coïncide avec l'écoulement superficiel actuel de l'oued Sébaou.

Les écoulements de bordure convergent vers cet axe. La possibilité d'écoulement souterrain par l'ancien lit de Sébaou en direction de l'oued Isser n'est pas exprimée, car aucune fuite n'est détectée sur les cartes piézométriques.



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

Les gradients hydrauliques sont assez forts sur les bordures ($i = 10^{-1}$) et moyens à faibles dans l'axe de la vallée ($i = 10^{-2}$ à 10^{-3}) engendrant ainsi des écoulements lents.

Les battements de la nappe enregistrés entre hautes et basses eaux ne sont pas négligeables (1 à 4 m).

Ils sont dûs à notre avis à une exploitation intensive et au phénomène d'évaporation, surtout durant la période estivale.

La recharge de la nappe s'effectue seulement par l'impluvium sur l'étendue de l'aquifère et le ruissellement du bassin versant en partie.

CHAPITRE 5

ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

INTRODUCTION

- 1 - DEFINITIONS DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES
 - 1.1. Le coefficient d'emmagasinement "S"
 - 1.2. La transmissivité "T"
 - 1.3. La perméabilité "K"
- 2 - LES ESSAIS DE DEBITS REALISES
- 3 - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES
 - 3.1. Méthode de la courbe standard de C.V. THEIS
 - 3.2. Méthode de la courbe de "descente" de C.V. THEIS et C.E. JACOB
 - 3.3. Méthode de la remontée de THEIS-JACOB
- 4 - METHODES D'ESTIMATION DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT "S"
 - 4.1. Détermination de la porosité utile par la méthode d'ARCHIE
 - 4.2. Calcul du coefficient d'emmagasinement "S" par la méthode de RORABOUGH
 - 4.3. Calcul du coefficient d'emmagasinement "S" par la méthode de LEBEDEV
 - 4.4. Autre méthode d'approche de calcul du coefficient d'emmagasinement "S" (méthode combinée de VIGUIER-THEIS-JACOB)
 - 4.5. Critique des résultats obtenus par les différentes méthodes
- 5 - METHODES DE DETERMINATION DE LA PERMEABILITE
- 6 - ESTIMATION DU RAYON D'ACTION
- 7 - CRITIQUE DES VALEURS DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES (T, S et K)
 - 7.1. Les transmissivités
 - 7.2. Les coefficients d'emmagasinement
 - 7.3. Les perméabilités

CONCLUSION

ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

INTRODUCTION

Les principales caractéristiques hydrodynamiques que nous tenterons de chiffrer dans ce chapitre sont : la transmissivité, le coefficient d'emménagement (que l'on assimilera à la porosité efficace ou utile) et le coefficient de perméabilité (que l'on calculera à partir de la formule $T = K.H$, en considérant successivement : $H =$ hauteur de l'aquifère, $h =$ hauteur crépinée).

1 - DÉFINITIONS DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

1.1 - LE COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT "S"

C'est un nombre sans dimension qui est égal au volume d'eau libéré par un prisme vertical d'un terrain aquifère pour un abaissement unitaire du niveau piézométrique de la nappe. Il reste lié à l'élasticité de l'eau et de la roche pour une nappe captive et équivaut en pratique à la porosité efficace pour une nappe libre (l'élasticité de l'eau et de la roche étant négligeable).

1.2 - LA TRANSMISSIVITE "T"

Elle est égale au produit du coefficient de perméabilité par l'épaisseur de l'horizon aquifère et s'exprime en m^2/s .

1.3 - LA PERMEABILITE "K"

Selon DARCY, la perméabilité est la facilité avec laquelle un milieu poreux laisse circuler l'eau. Elle s'exprime en m/s .

2 - LES ESSAIS DE DÉBITS RÉALISÉS

Les essais que nous tenterons d'interpréter sont réalisés par le service forage de la D.H.W. de Tizi-Ouzou. Le planing est le suivant:

- 1) Généralement 3 ou 4 paliers enchaînés avec des débits croissants (de 2 à 3 heures chacun).
- 2) Remontée des paliers le plus souvent pas totale.
- 3) Essai de longue durée à un débit constant inférieur ou égal au débit critique de la courbe caractéristique des paliers enchaînés de durée supérieure à 48 heures.
- 4) Remontée de l'essai de longue durée généralement partielle (le temps de surveillance de la remontée est pour tous les essais très inférieur au temps de pompage).

En fait, la D.H.W. adopte ce planing car le but recherché est de tester la production de l'ouvrage. De plus, au cours des essais, aucun relevé sur un piézomètre n'a été effectué pour mettre ou non en évidence l'influence de ces derniers dans une zone donnée.

Pour ce qui nous concerne, nous avons essayé de réaliser des essais avec un réseau de surveillance et de durée assez longue, mais cela n'a pas été possible par manque de moyens (stations de pompage...).

C'est pourquoi nous avons opté pour l'interprétation des essais déjà réalisés.

3 - DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

3.1 - METHODE DE LA COURBE STANDARD DE C.V. THEIS

Nous avons opté pour la méthode de THEIS car les formules de DUPUIT ne tiennent pas compte de la compressibilité du terrain, de l'eau et du temps de pompage. De plus, à débit constant même avec un temps long, le rayon d'action tend seulement vers une limite ou un régime de pseudo-équilibre.

Il faut donc, au moins dans le cas d'une nappe captive, trouver une autre formulation qui tienne compte des deux critères précédents. En 1935, C.V. THEIS fût le premier à développer les formules en régime de non-équilibre de l'écoulement des eaux souterraines en milieu isotrope.

En comparant ce type d'écoulement à la propagation de la chaleur, C.V. THEIS aboutit à l'expression suivante :

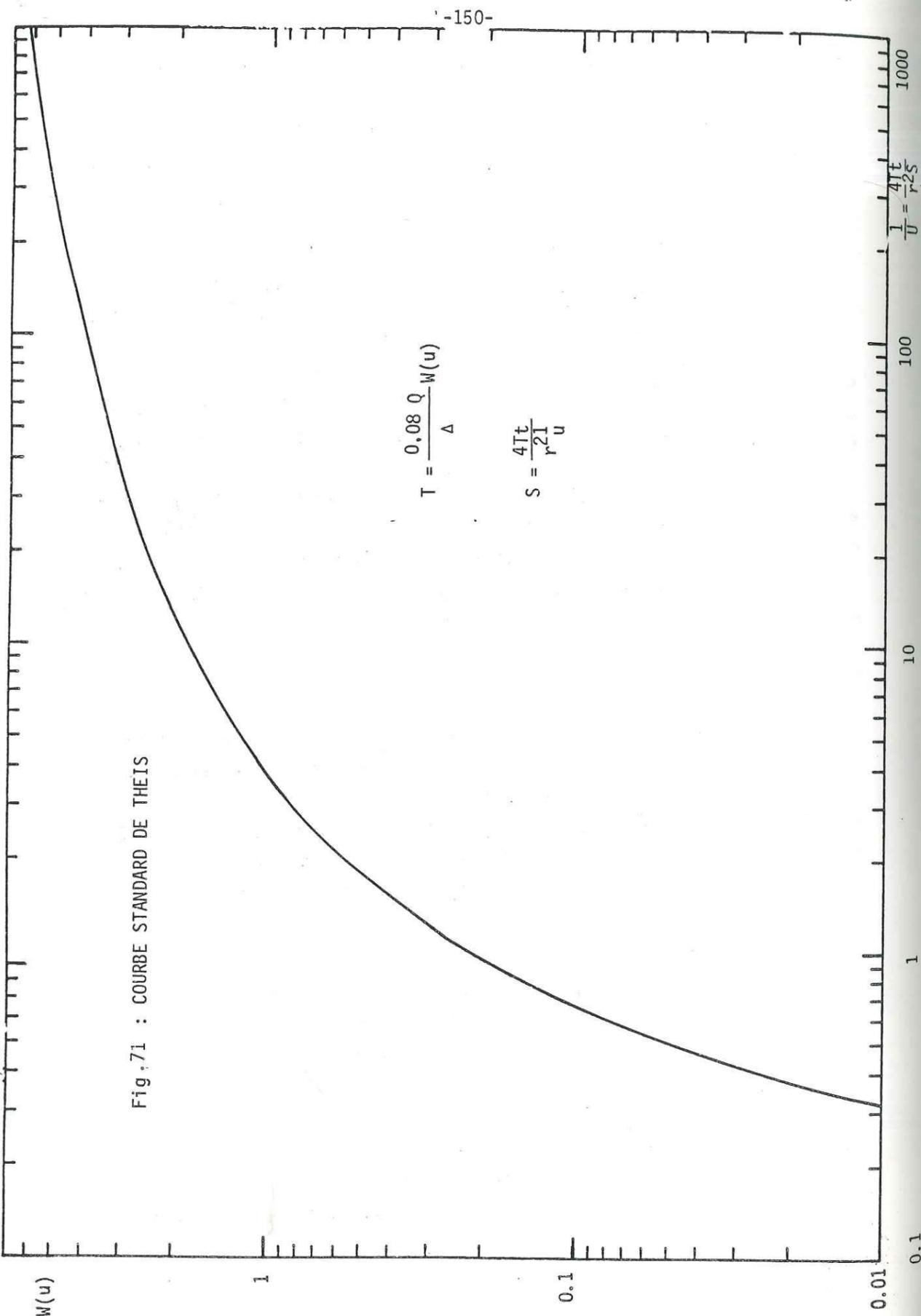


Fig.71 : COURBE STANDARD DE THEIS

L'équation de la courbe standard de C.V. THEIS est de la forme:
 $\log [W(u)] = f [\log(u)]$ ou $f [\log(1/u)]$
 on peut construire différentes courbes standard relatives aux différentes valeurs de "u" ou "1/u" et donc relatives aux différentes valeurs du couple (T, S).

3.1.a - Principe de la méthode

Cette méthode de la courbe standard de C.V. THEIS consiste à :

1/ Construire la courbe expérimentale $\log \Delta = f (\log t)$ de l'essai de pompage considéré, sur un papier bilogarithmique de même module que celui de la courbe standard choisie.

2/ Superposer par transparence les deux courbes (standard et expérimentale) tout en veillant au parallélisme des axes des ordonnées et des abscisses.

3/ Choisir un point "A" par exemple, sur le tronçon où l'on obtient une bonne superposition des deux courbes.

Ce point choisi aura successivement les coordonnées suivantes:

- dans le repère de la courbe standard W_A et $(1/u)_A$ ou $(u)_A$
 W_A et $(1/u)_A$ ou $(u)_A$

- dans le repère de la courbe expérimentale

Δ_A et t_A

Pour calculer la transmissivité et le coefficient d'emmagasinement, il suffit de remplacer les coordonnées du point "A" dans les équations respectives donnant ces deux paramètres.

Remarque: Cette méthode donne des résultats cohérents pour des pompages de courte durée. Quand la durée du pompage est longue, on atteint le régime d'équilibre ou de pseudo-équilibre; et le choix du point "A" est difficile.

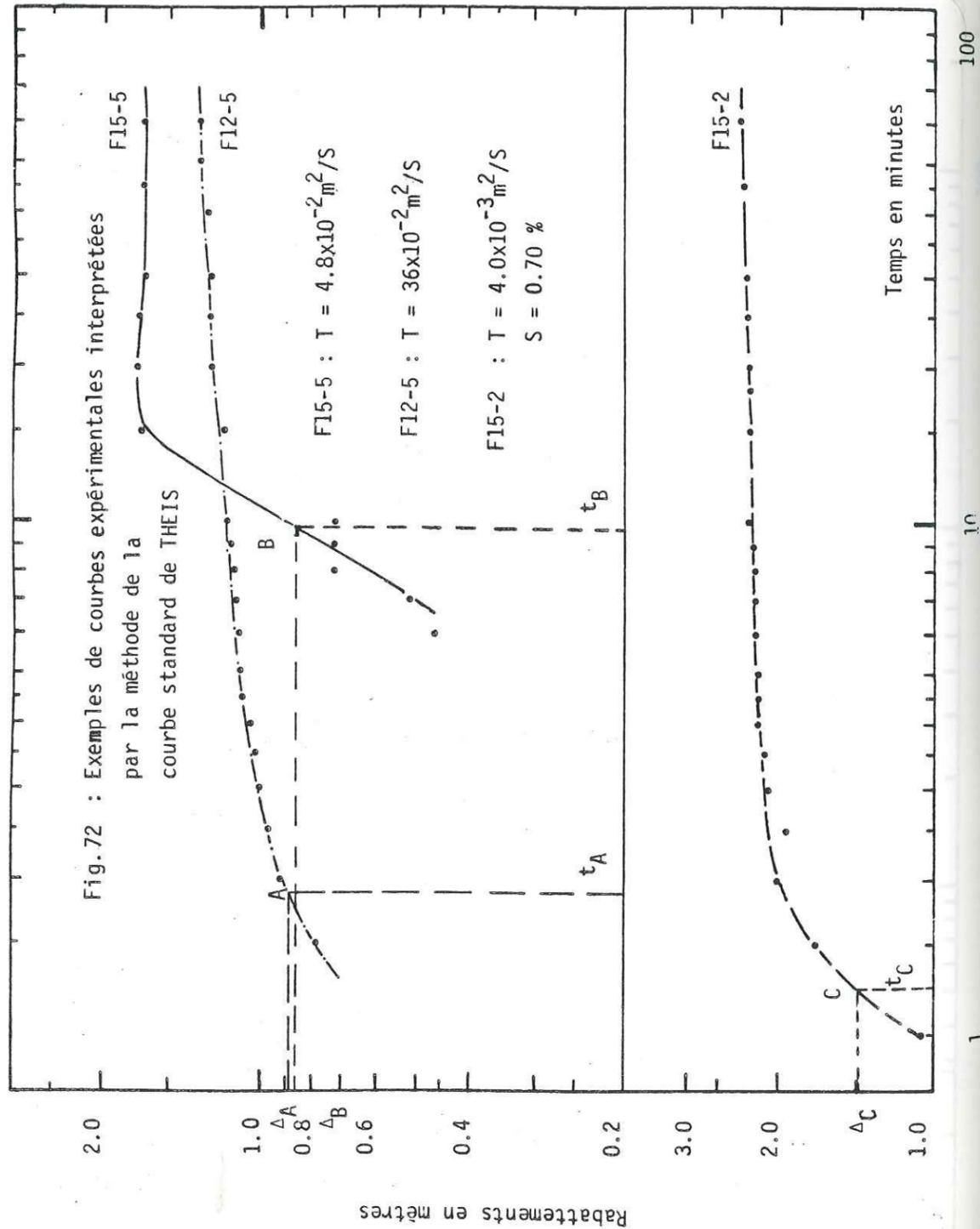
3.1.b - Application

La courbe standard utilisée pour l'interprétation de nos essais présente les équations suivantes pour T et S (fig.71)

$$T = \frac{0.08 Q}{\Delta} W(u)$$

$$S = \frac{4 T t}{r^2} \frac{1}{u}$$

Pour le calcul du coefficient d'emmagasinement, nous avons utilisé pour les valeurs de "r" les valeurs du rayon efficace calculé par la méthode de VIGUIER.



Les essais interprétés sont effectués au niveau des forages 15-5, 12-5 et 15-2.

Nous avons construit les courbes expérimentales relatives à une heure de pompage (fig.72).

Les résultats obtenus sont les suivants:

Forage 15-5 (interprétation du 1er palier)

$$Q = 4.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} : \Delta_B = 0,47$$

$$r_e = 2.40 \text{ m} : w_B = 0,07$$

$$(1/u)_B = 56.10^{-2} : t_B = 10 \text{ minutes}$$

En remplaçant chaque paramètre par sa valeur dans les équations de T et S qui suit:

$$T = \frac{0,08 Q}{B} W_B, \quad S = \frac{4 T t_B}{r_e^2 (1/u)_B}$$

On obtient:

$$T = 4,8.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 52 \%$$

Forage 12-5 (interprétation de l'essai de longue durée)

Comme précédemment, nous avons:

$$Q = 2.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} ; \Delta_A = 0,88 \text{ m} ; t_A = 1,8 \text{ mn.}$$

$$r_c = 3.80 \text{ m} ; W_A = 2,0 ; (1/u)_A = 11,5$$

Les calculs donnent:

$$T = 36.10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 93 \%$$

Forage 15-2 (interprétation de l'essai de longue durée)

Nous avons:

$$Q = 14,6.10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} ; \Delta_C = 1,50 \text{ m} ; t_C = 1,25 \text{ mn}$$

$$r_e = 3,16 \text{ m} ; W_C = 5,2 ; (1/u)_C = 1,8$$

Les calculs donnent:

$$T = 4.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$S = 0,70 \%$$

Conclusion

Les valeurs de transmissivités obtenues par cette méthode, peuvent paraître vraisemblables vu que l'ordre de grandeur y est, mais quand aux valeurs du coefficient d'emmagasinement, il nous semble que ce n'est pas la bonne méthode à appliquer, ou que les essais ne s'y prêtent pas.

$$\Delta = \frac{Q}{4 T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4 T} W(u) \quad (1)$$

avec $u = \frac{r^2 S'}{4 T t}$

Δ = rabattement en (m) ;

Q = débit constant de pompage en m³/s ;

r = distance en "m" du puits d'observation à l'axe du puits de pompage ;

T = transmissivité en m²/s ;

S = coefficient d'emmagasinement.

3.2- Méthode de la courbe de "descente" de C.V.THEIS et C.E.JACOB .

Lorsque le temps de pompage devient suffisamment grand, on peut utiliser une approximation logarithmique de la formule de C.V. THEIS: la simplification de C.E. JACOB pour u < 0,01 ; on a alors :

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

Cette formule simplifiée donne une solution d'autant plus proche de la courbe de dépression réelle à l'instant (t) que "r" est plus petit (on est le plus proche possible du puits de pompage) et que le temps de pompage suffisamment grand. Elle est d'autant plus approchée que T/S est plus grand.

La première méthode dite de C.V. THEIS est basée sur l'équation (1). C'est la méthode de la courbe de la fonction caractéristique (courbe standard).

La deuxième méthode dite de C.E. JACOB est basée sur l'équation (2). C'est la méthode graphique d'approximation logarithmique. C'est cette dernière que nous utiliserons pour le calcul des transmissivités.

Remarque : Comme nous ne disposons pas de mesures de rabattements (Δ) dans des piézomètres, on prendra comme coefficient d'emmagasinement - S - la (ou les) valeur(s) de la porosité utile, paramètres équivalents dans le cas d'une nappe libre.

3.2.a- Principe de la méthode

Sur un graphique semi-logarithmique, on porte en ordonnée les rabattements et en abscisse le logarithme du temps ; autrement dit, on trace la courbe $\Delta = f(\log t)$.

Théoriquement, on devrait trouver une droite moyenne (matérialisée par les points de mesure) de la forme $y = ax + b$. Mais, ce n'est pas toujours le cas, car au cours du pompage, le débit de la pompe peut varier, une réalimentation peut avoir lieu si le rejet ne s'effectue pas loin de la zone d'influence du pompage.

La pente de la droite $y = ax + b$, égale à $\frac{0,183 Q}{T}$, représente la pente du rabattement pour un cycle logarithmique, d'où $T = \frac{0,183 Q}{a}$.

Si la droite coupe l'axe des abscisses en un point t. (cas de mesures effectuées dans un piézomètre), on a alors un rabattement nul pour lequel le deuxième terme de l'équation s'écrit :

$$\log. \frac{2,25 T t}{r^2 S} = 0 \implies \frac{2,25 T t}{r^2 S} = 1 \text{ et donc :}$$

$$S = \frac{2,25 T t}{r^2}$$

3.2.5 - Application

A l'aide de cette méthode, nous avons interprété les essais réalisés sur la plaine du Haut Sébaou. (fig.73-81)

Les conditions d'application ne sont pas respectées car les durées des pompages sont généralement inférieures à 48 heures. Signalons que, dans nos observations des mesures dans le puits de pompage, le calcul du coefficient "S" ne peut pas être envisagé.

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau suivant:

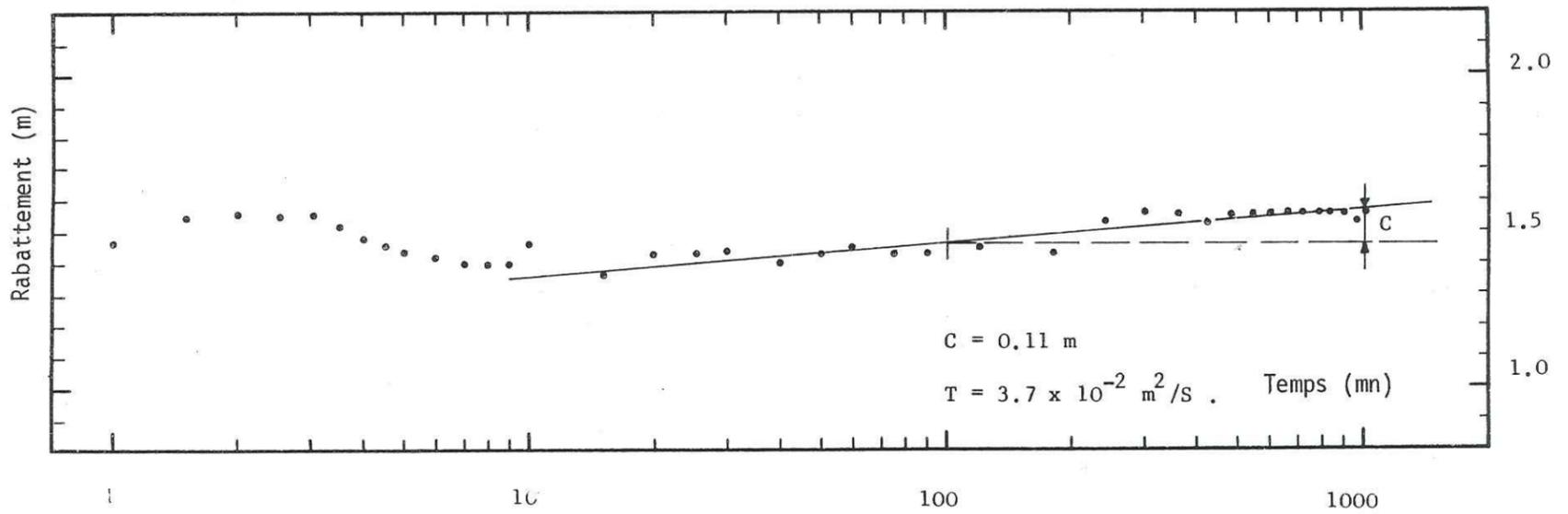
Forages	2-4	4-2	8-5	11-1	12-3	15-2	15-5	ET-6	SM-2
Transmissivités 10 ⁻² m ² /s	3,7	2,0	0,08	3,6	25,0	1,0	2,0 0,55	30	7,3

Tableau 39- Valeurs des transmissivités (courbe de descente)

3.3 - METHODE DE LA REMONTEE DE THEIS-JACOB

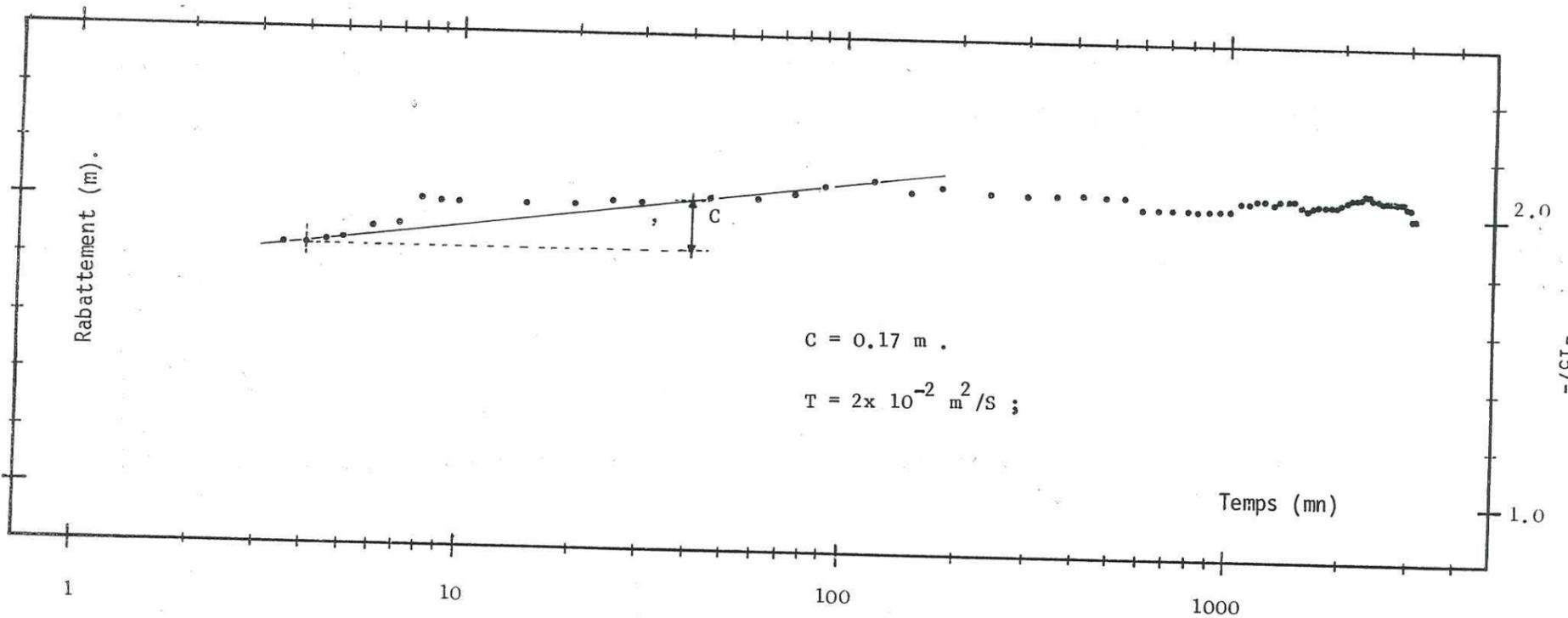
La détermination de la transmissivité par la méthode de la courbe de remontée THEIS-JACOB est à notre avis la plus fiable, car, pendant la remontée, l'écoulement des eaux souterraines est soumis à un régime naturel (quoiqu'en réalité, après l'arrêt du pompage, l'eau continue à s'écouler vers l'ouvrage de pompage, car à une distance assez grande, l'aquifère réagit en retard à l'appel de débit).

Fig.73. Essai de longue durée
 Courbe de descente
 Forage (2-4) ($Q=22 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{S}.$)



-156-

Fig.74. Essai de longue durée
 Courbe de descente
 Forage (4-2) ($Q=19 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{S}.$)



-157-

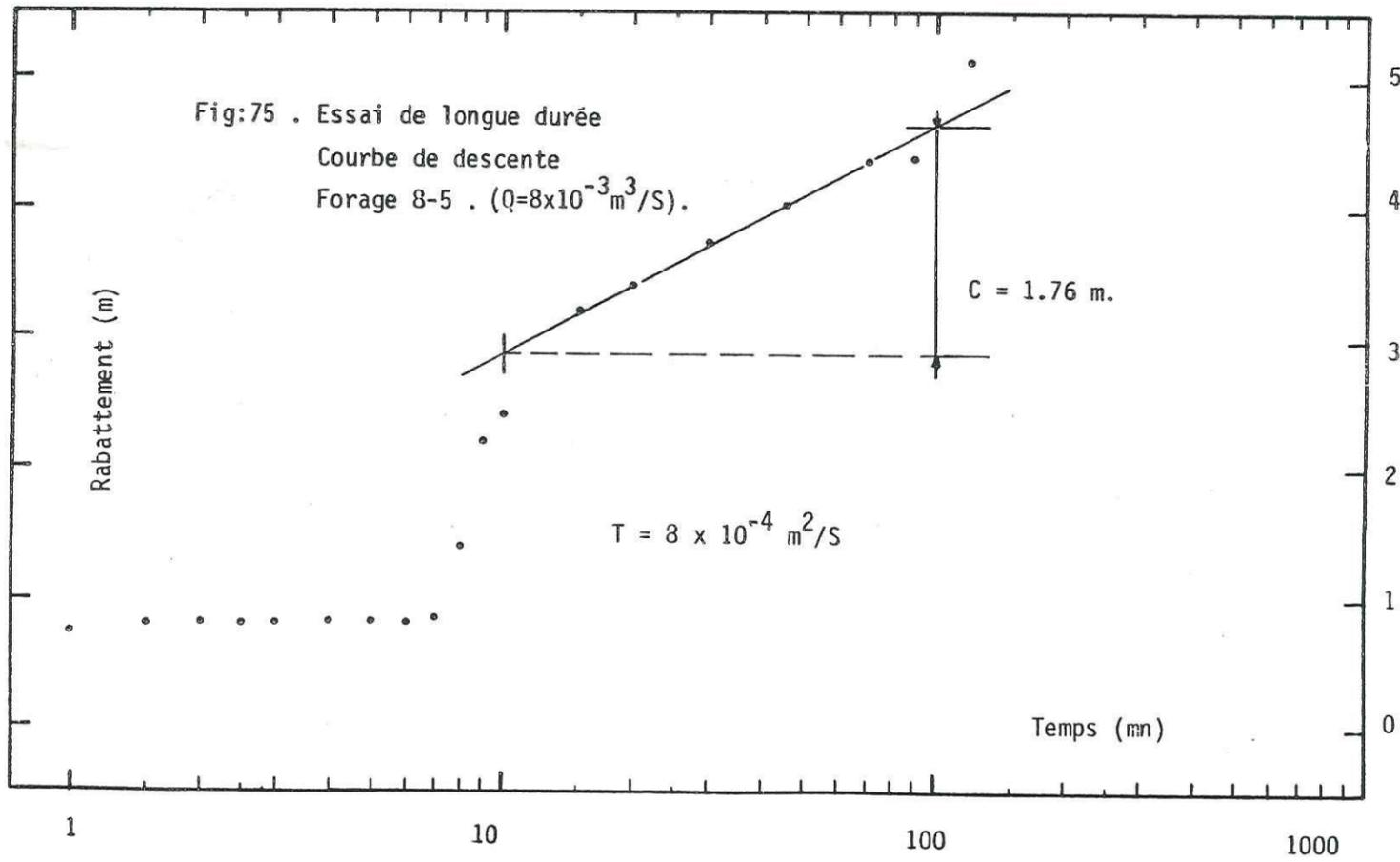


Fig.76. Essai de longue durée
 Courbe de descente
 Forage (11-1) ($Q=17 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{S}$)

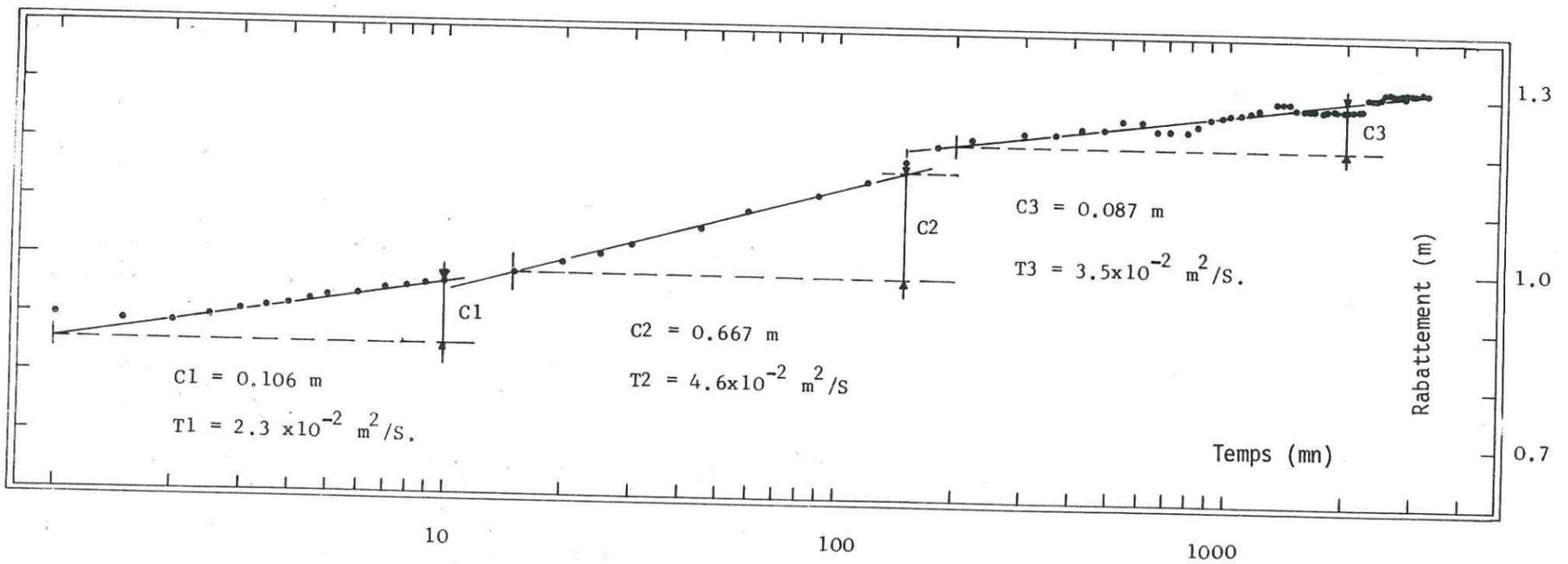
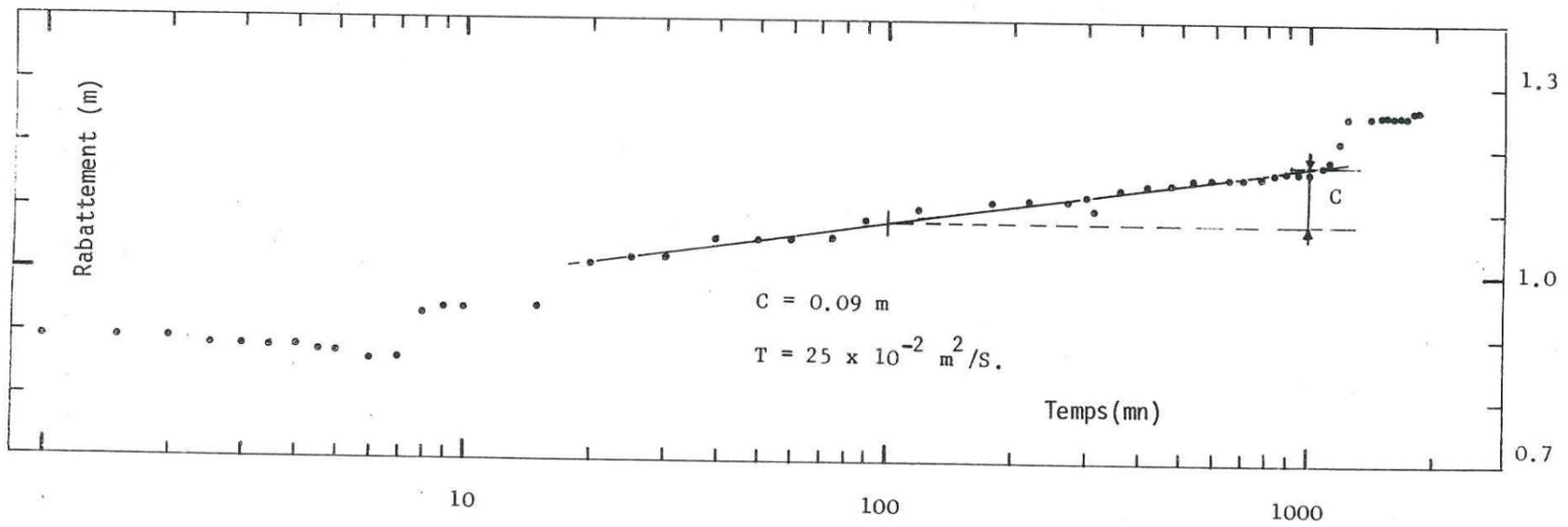
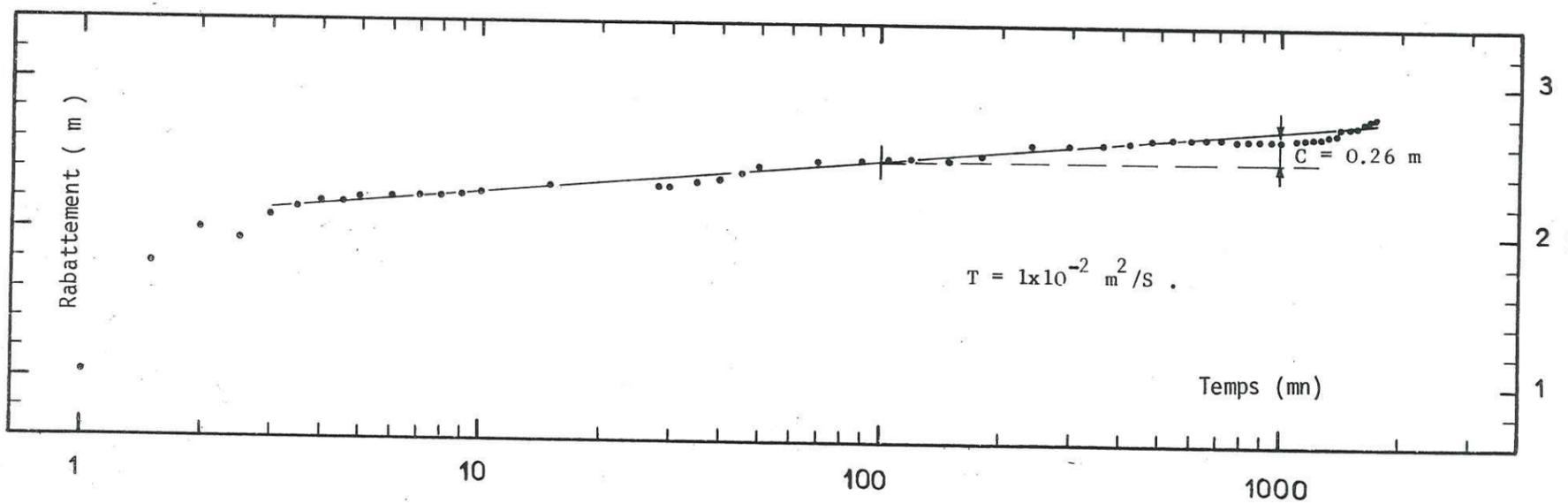


Fig.77. Essai de longue durée
 COURBE de descente
 Forage (12-3) ($Q=22 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{S}$).



-160-

Fig.78. Essai de longue durée
 Courbe de descente
 Forage (15-2) ($Q=14 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{S}$).



-161-

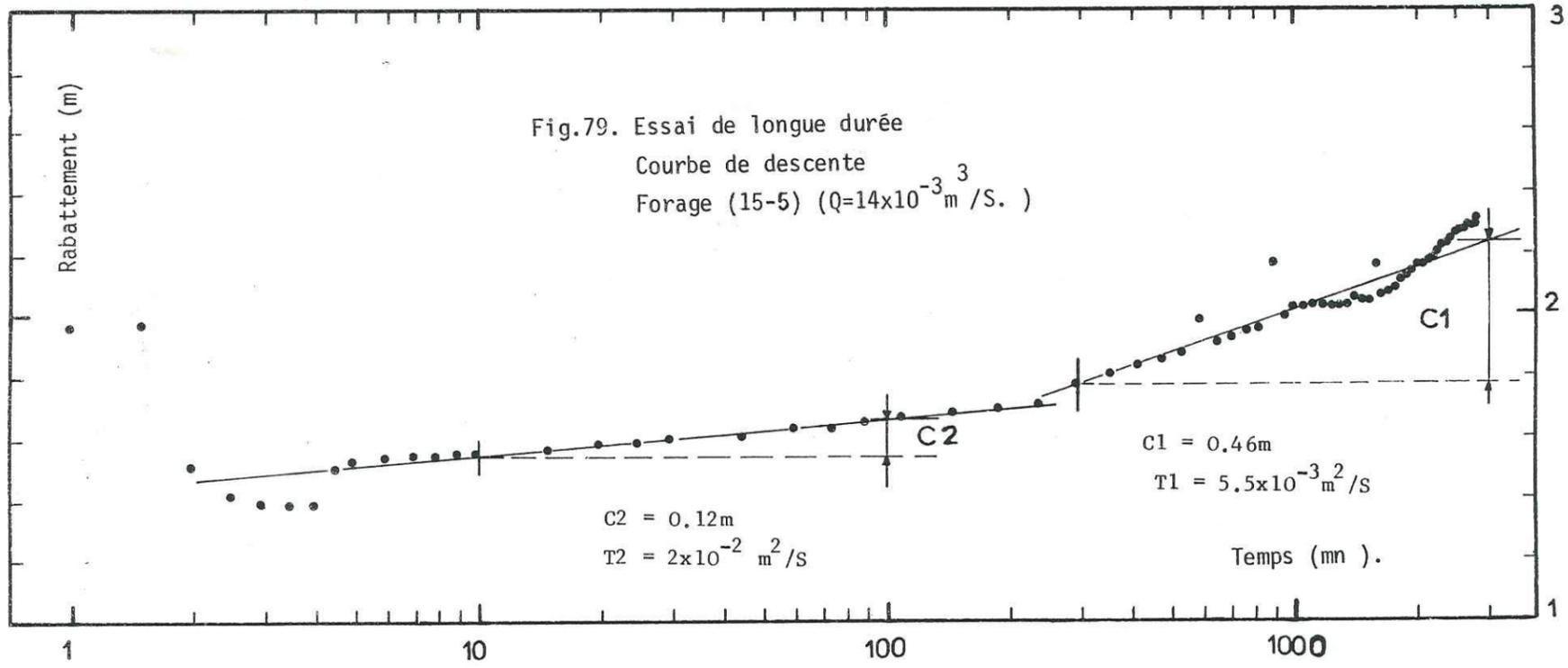


Fig.80 . Essai de longue durée
 Courbe de descente
 Forage (ET-6) ($Q=18 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{S.}$)

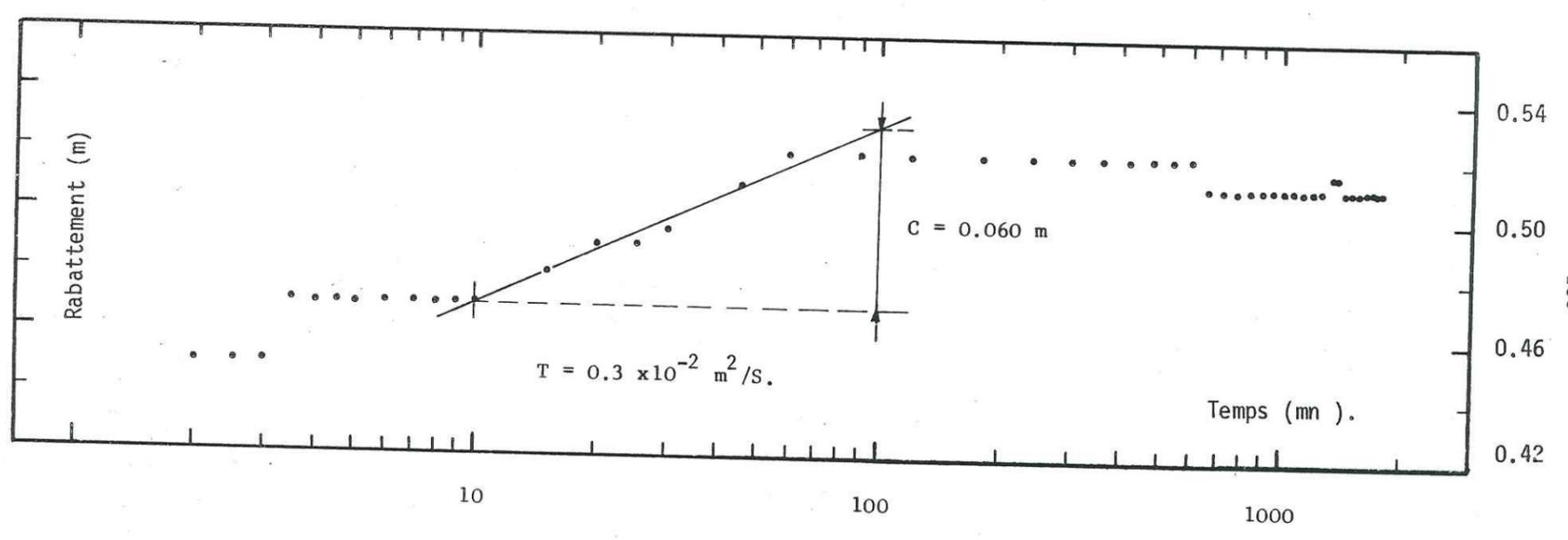
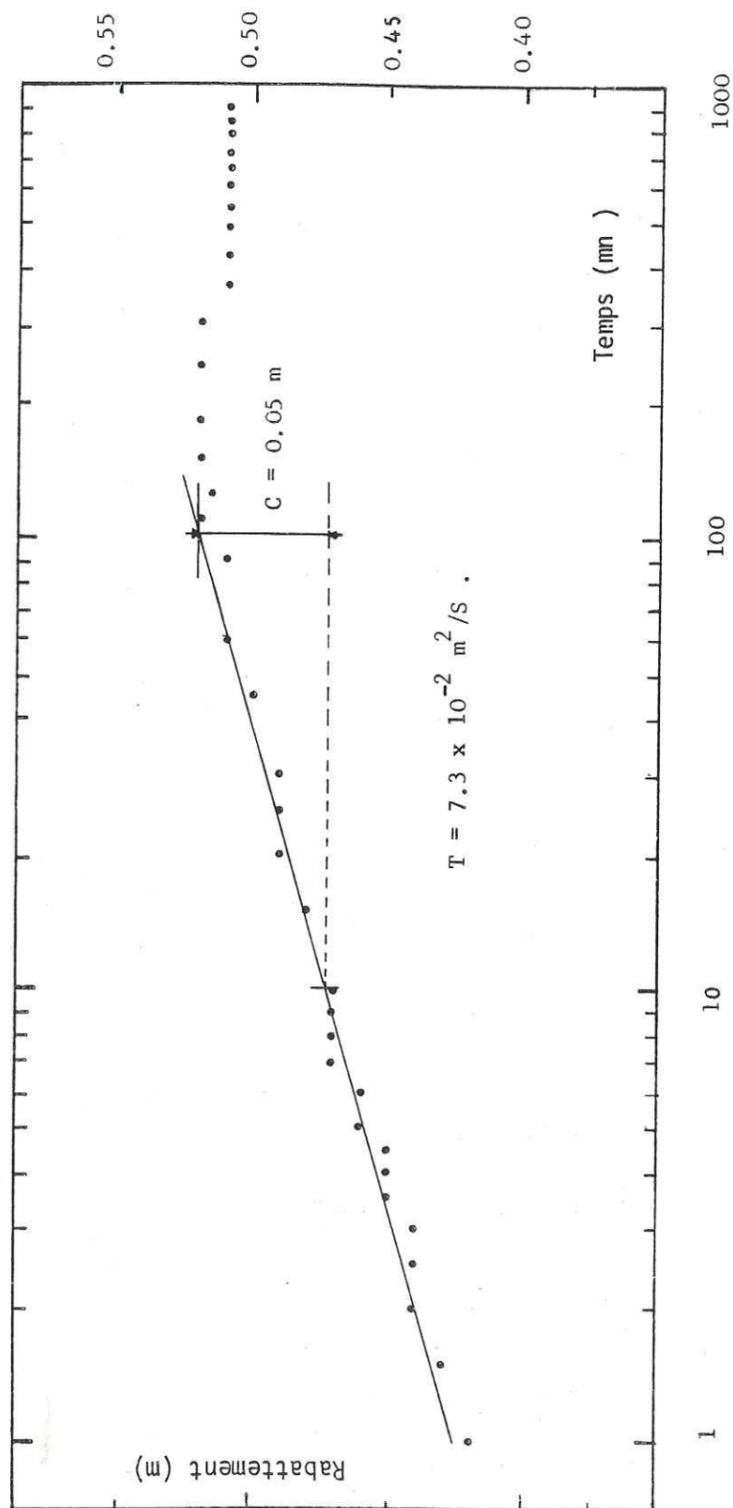


Fig. 81. Essai de longue durée
 Courbe de descente
 Forage (SM-2) ($Q=20 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.)



Autrement dit, à la fin du pompage le niveau statique de la nappe remonte très vite en quelques secondes : c'est le phénomène de la post-production. Ensuite, au bout d'une durée au moins égale à celle du pompage, le niveau piézométrique tend à revenir au niveau initial. Tout se passe donc comme si, au cours de la remontée, on injectait un débit constant dans l'ouvrage.

De la même manière que lors du pompage, on mesure le rabattement résiduel Δ' qui représente la différence entre le niveau statique et celui mesuré à l'instant t' (temps écoulé depuis l'arrêt du pompage).

Le rabattement résiduel s'exprime alors :

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

d'où l'équation de la remontée de THEIS-JACOB : $\Delta'' = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{t}{t'}$

- avec :
- Δ = rabattement à la fin du pompage,
 - Δ' = rabattement durant la remontée,
 - t = temps écoulé du début à l'arrêt du pompage,
 - t' = temps écoulé depuis l'arrêt du pompage.

Cette méthode, valable pour des temps t et t' assez grands, permet de déterminer la transmissivité.

3.3a - Principe de la méthode

Comme pour l'interprétation durant le pompage, on porte sur un diagramme semi-logarithmique, les rabattements résiduels (en ordonnées) en fonction du $\log \frac{t}{t'}$ (en abscisse), on obtient ainsi la courbe :

$$\Delta'' = f \left(\log \frac{t}{t'} \right).$$

Après le phénomène de post-production, les points de mesure donnent une droite moyenne de la forme $y = ax + b$ dont la pente $a = \frac{0,183 Q}{T}$ pour un cycle logarithmique, d'où $T = \frac{0,183 Q}{a}$.

3.3b - Applications (fig. 82 à 87)

Pour les essais interprétés, les valeurs obtenues sont les suivantes:

Forages	ET-6	15-5	15-2	11-1	8-5	SM-2
T	7,2	6,2	14,5	3,6	1,3	9,0
$10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$						

Tableau 40- Valeurs de transmissivités (courbe de remontée)

Fig.82. Essai de longue durée
 Courbe de remontée
 Forage ET-6

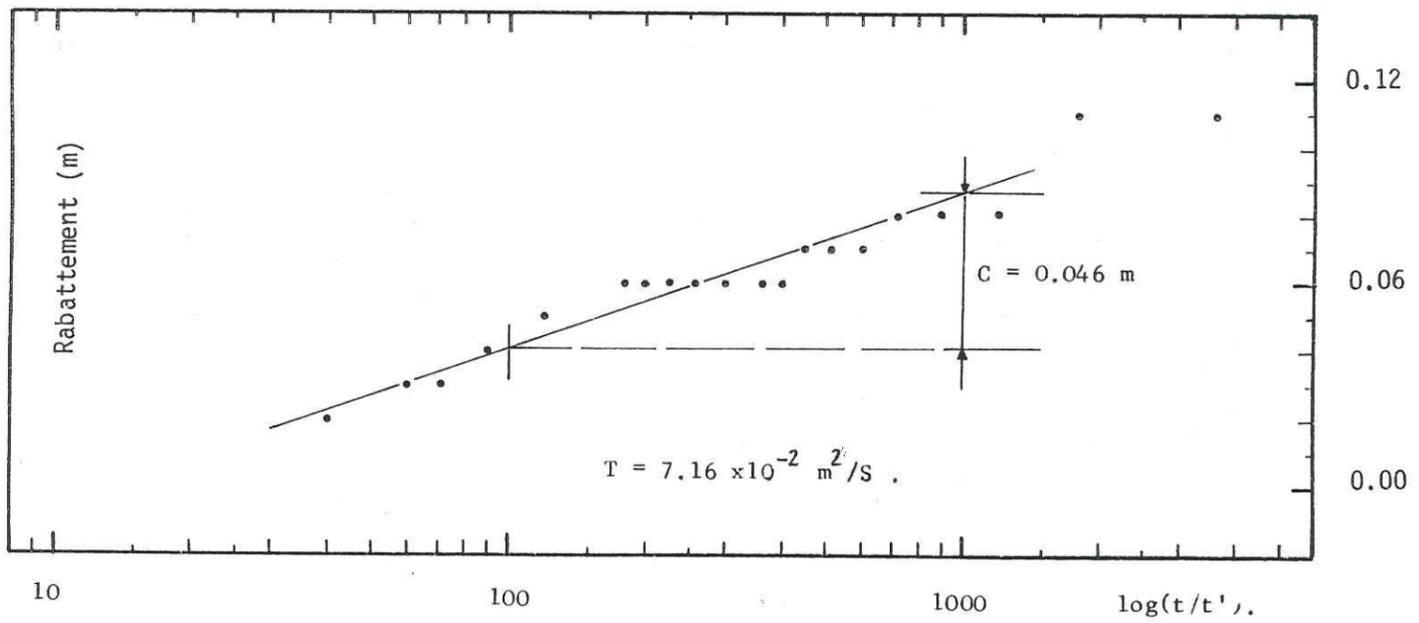


Fig.83. Essai de longue durée
 Courbe de remontée
 Forage (15-5).

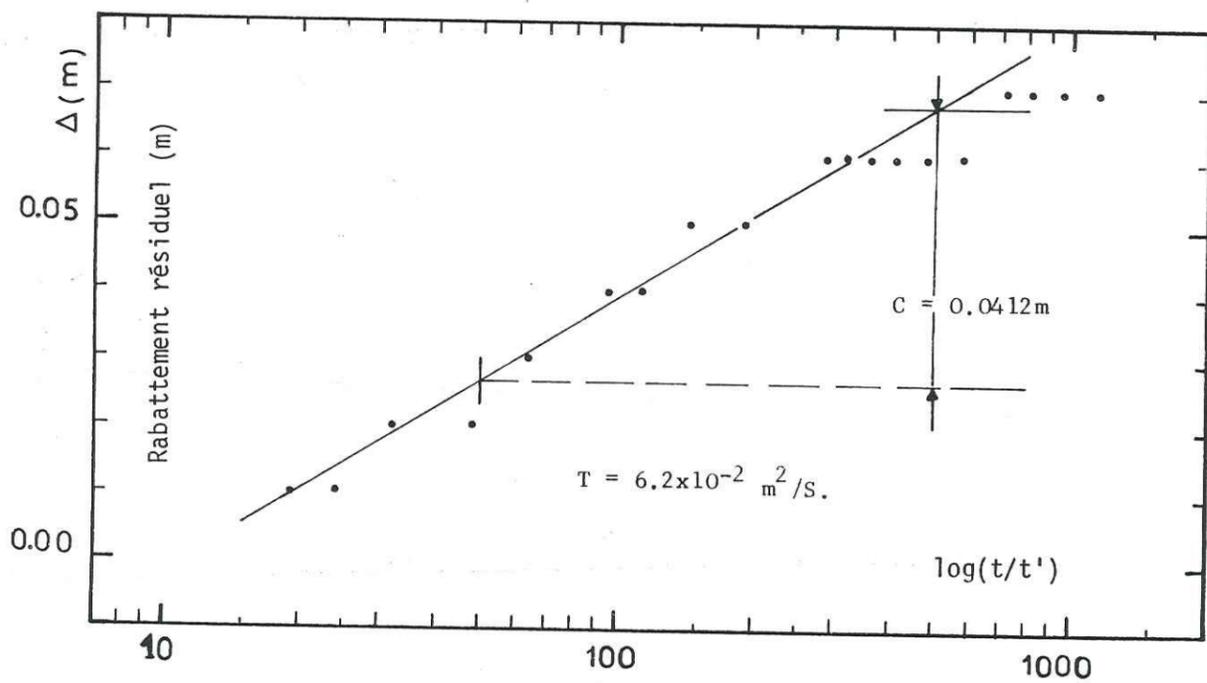


Fig.84 . Essai de longue durée
 Courbe de remontée
 Forage (15-2)

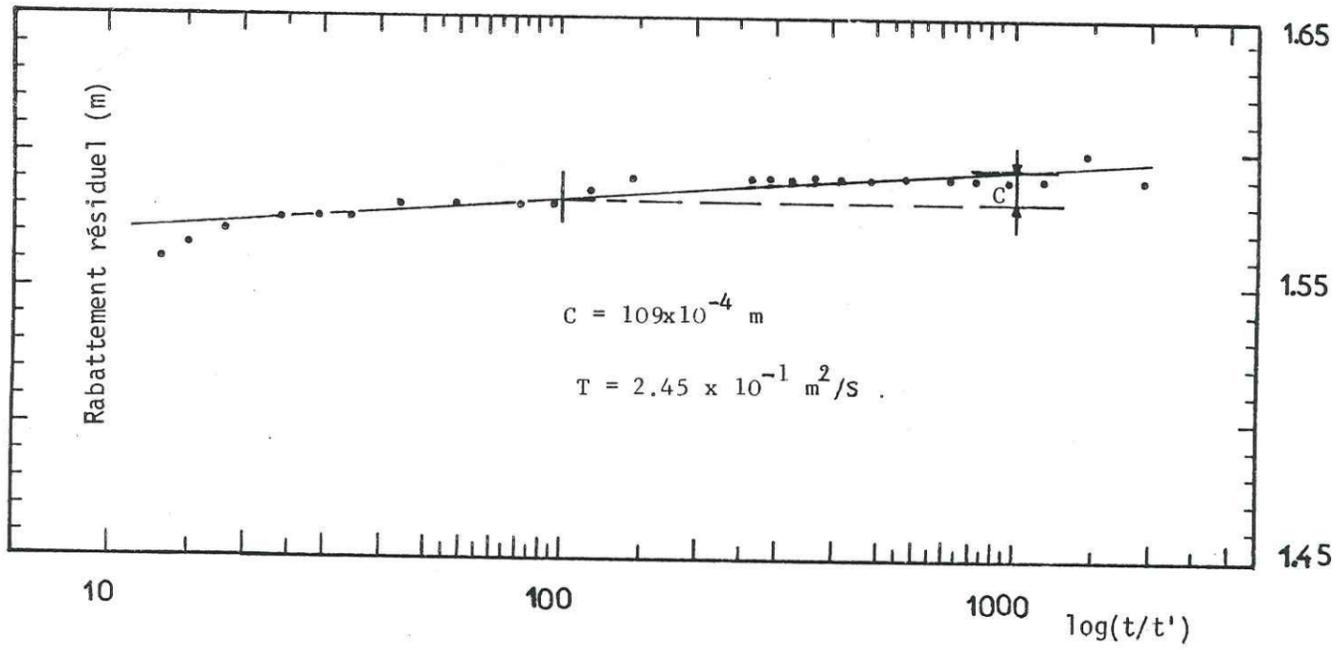
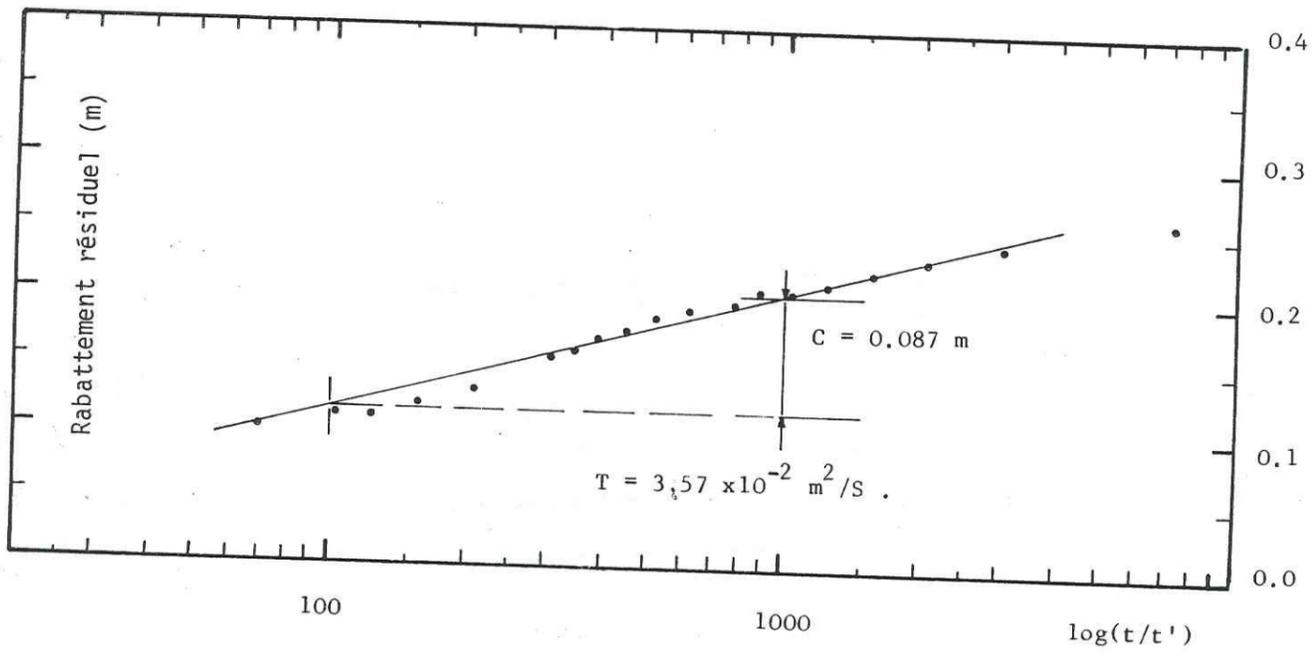
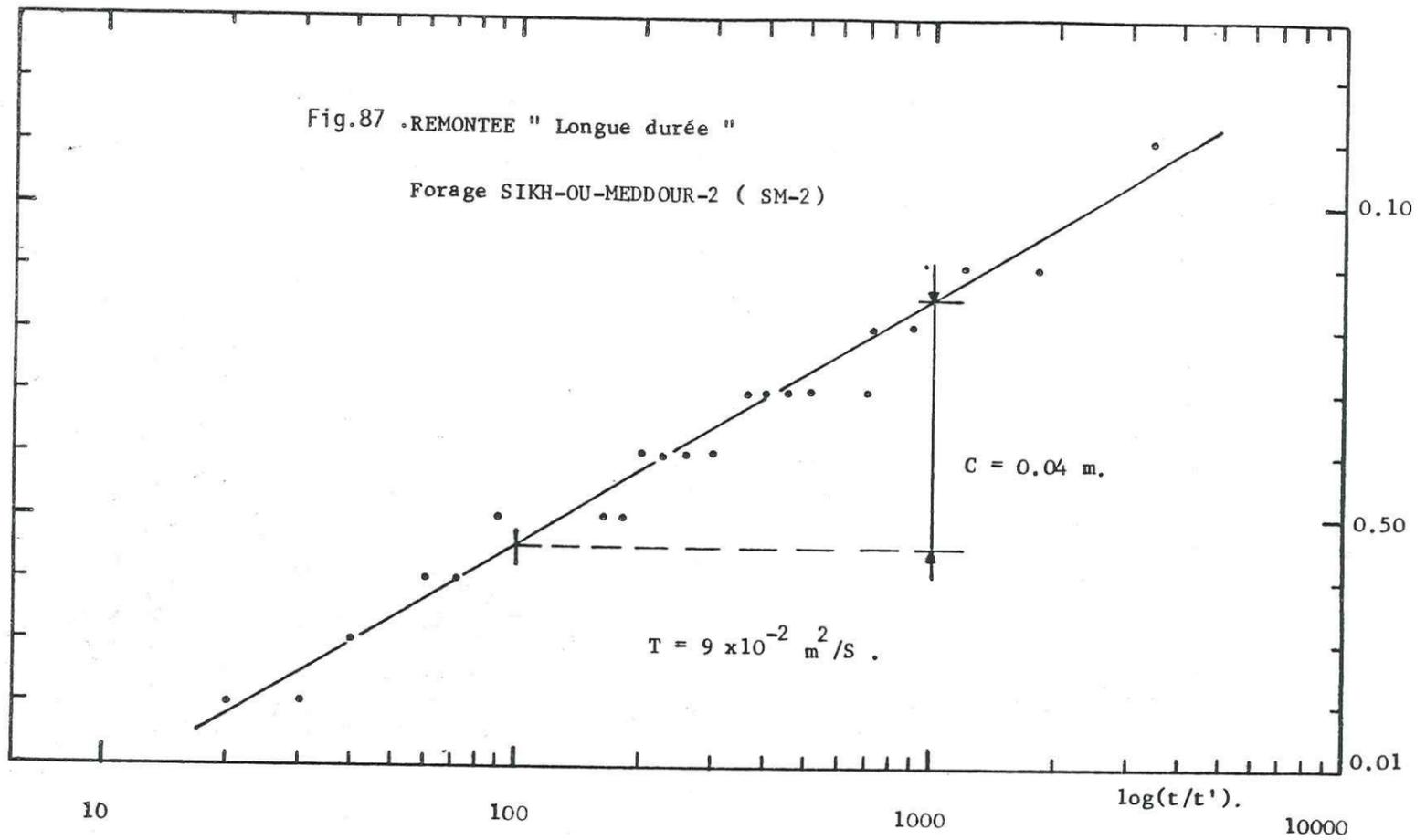
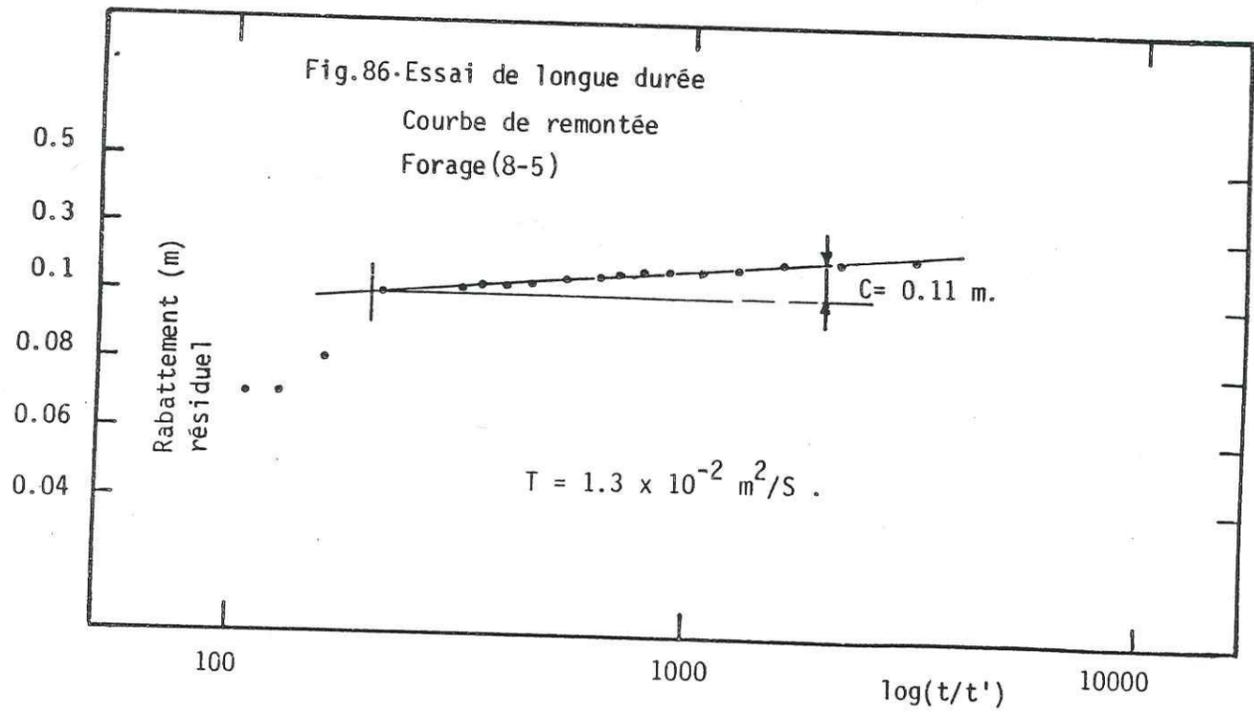


Fig.85. Essai de longue durée
 Courbe de remontée
 Forage (11-1)





4 - MÉTHODES D'ESTIMATION DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT "S"

4.1 - DETERMINATION DE LA POROSITE UTILE PAR LA METHODE D'ARCHIE

Dans le cas d'une nappe libre, le coefficient d'emménagement "S" est voisin de la porosité utile brute qui s'exprime comme le rapport entre le volume d'eau gravifique et le volume total de la roche.

Soit un terrain de porosité nulle, saturé d'eau, à seule conductibilité ionique ; si on injecte un courant électrique, on remarque que les lignes de courant suivent des cheminements continus à travers les pores remplis d'eau.

Ainsi, on a approximativement :

$$(1) \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_M} + \frac{1}{R_W} \quad \text{avec : } R_t = \text{résistance de la roche,}$$

$$R_M = \text{résistance des minéraux,}$$

$$R_W = \text{résistance de l'eau.}$$

Or, nous savons que la résistance des minéraux est très élevée, ceci implique que $\frac{1}{R_M}$ tend vers 0, nous pouvons écrire alors :

$$\frac{1}{R_t} \approx \frac{1}{R_W} \quad (2).$$

De ce qui précède, on déduit que les résistivités de la roche saturée (ρ_t) et celle de l'eau (ρ_w) saturant la roche, sont reliées par un coefficient qu'on appelle "facteur de formation" dépendant de la taille des grains d'où l'expression $\rho_t = f \rho_w$ (3).

Dans le cas d'une formation saturée, le facteur de formations et la porosité brute sont reliés par une relation d'expression suivante: $f = a \phi^{-m}$ (4) où (a) et (m) sont des coefficients différents selon les auteurs et ϕ la porosité brute. Une bonne approximation de l'équation (4) s'obtient en posant $a = 1$ et $m = 2$ d'où $f = \phi^{-2} = \frac{1}{\phi^2}$ (5).

En définitive, la combinaison des équations (3) et (5) nous donne :

$$\phi = \sqrt{\frac{\rho_w}{\rho_t}} \quad (6).$$

N° Ouvrages	Résistivités		Porosités ϕ brutes	H aquifère non argi- leux (m)	h mouillé (m)	Coef.correct h/H	Porosités utiles vraies
	ρ_w $\Omega.m$	ρ_t $\Omega.m$					
P. 180	7,74	60	36 %	15	11,48	0,76	27 %
F. 123	12,9	200	25 %	25	21,30	0,85	21 %
F. ET-4	19,35	1400	37 %	8	4,79	0,60	22 %
P. 67	11,61	200	24 %	13	10,15	0,78	19 %
P.180 bis	14,51	170	29 %	12	10,75	0,90	26 %
P. 190	14,51	120	35 %	7	5,05	0,72	25 %
F. 74	14,51	200	27 %	10	5,05	0,50	13,5 %
F. 77	14,51	200	27 %	8	3,36	0,42	11 %
P. 196	14,51	100	38 %	8	5,36	0,67	25 %
P. 539	23,22	40	76 %	4	1,30	0,32	24 %
P. 542	11,61	150	42 %	7	4,90	0,70	29 %
P. 555	8,30	160	23 %	10	8,55	0,85	19,5 %
F. ET-5	19,35	200	31 %	22	18,18	0,83	26 %
P. 14	14,51	200	27 %	12	8,20	0,68	18 %
P. 22	11,61	150	28 %	12	7,23	0,60	17 %
P. 40	10,56	140	27,5 %	18	16,00	0,90	25 %
F. 85	11,61	150	28 %	20	19,40	0,97	27 %
P. 118	14,51	120	35 %	10	6,62	0,66	23 %
P. 200	12,90	80	40 %	5	2,30	0,46	18 %
P. 108	16,58	50	57,6 %	5	2,54	0,51	29 %
P. 175	12,9	60	46 %	6	3,85	0,64	29 %
P. 129	12,9	180	27 %	10	6,46	0,65	17,5 %
Moyenne							22 %

Tableau 41 - Valeurs de la porosité utile vraie

Dans la plaine du Haut Sébaou, nous disposons d'après la prospection géophysique de la C.G.G. (1964) des épaisseurs et des résistivités de l'aquifère et des résistivités des eaux mesurées au laboratoire (campagne d'échantillonnages hautes eaux, avril 1984). Ces données nous ont permis de calculer les porosités brutes. Pour avoir une approche des porosités vraies, nous avons affecté ces dernières d'un coefficient de correction qui est le rapport entre l'épaisseur de l'aquifère saturé en eau et l'épaisseur totale de l'aquifère non argileux.

Remarque : N'ayant pas de log stratigraphique pour chaque puits ou forage utilisé, nous avons simplement estimé les hauteurs d'aquifères non argileux. Le tableau 41 p.173, donne les différentes valeurs de la porosité vraie.

4.2 - CALCUL DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT PAR LA METHODE DE RORABOUGH

Cette méthode, qui permet de connaître la diffusivité T/S d'une formation, est mise au point par M.I. RORABOUGH dans le cadre de l'étude du tarissement des aquifères.

4.2.a - Principe de la méthode

Elle consiste à considérer sur une carte pendant la période de tarissement 3 piézomètres (ou forages, ou puits) situés sur une même ligne de courant de la nappe.

Dans le cas présent, les puits utilisés sont distants les uns des autres de "c" et "d" et présentent entre eux des différences de côte piézométrique "a" et "b" (fig. 88).

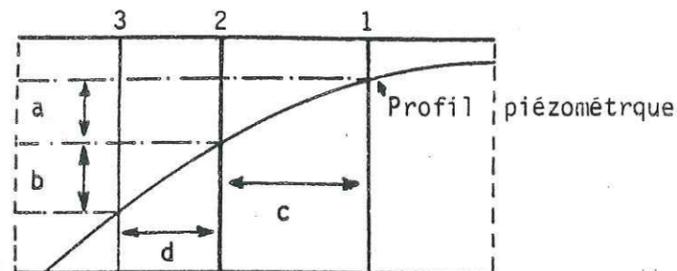


Fig.88: Calcul du coefficient d'emménagement par la méthode de RORABOUGH

La formule utilisée est la suivante :

$$\frac{T}{S} = \frac{\Delta h}{\Delta t} \times \frac{cd(c+d)}{2(bc-ad)}$$

Δt : est la durée séparant deux relevés successifs qui correspond dans notre cas au temps qui s'écoule entre hautes eaux et basses eaux, c'est à dire $\Delta t = 122$ jours (mai inclus à septembre inclus) ;

Δh est le battement moyen de la nappe entre ces deux relevés.

$$\Delta h = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3}{3}$$

Remarque : Aux endroits où l'on a pu déterminer la transmissivité au moyen d'essais de pompage, l'application de cette méthode nous permet de chiffrer le coefficient d'emménagement. Cependant, nous tenons à signaler que du fait qu'en principe cette méthode s'applique dans le cas d'aquifères étendus et épais, pour que les recharges n'influencent pas sur le maintien d'un régime permanent, il faudrait manipuler les valeurs obtenues de "S" et $\frac{T}{S}$ avec une certaine réserve.

4.2.b - Application

1 2 3
- Puits 182 → 27 → 562

Nous avons : c = 1400 mètres ; a = 4,82 mètres ;
d = 1475 mètres ; b = 6,33 mètres ;

$$\left. \begin{array}{l} \Delta h_1 = 2,15 \text{ m} \\ \Delta h_2 = 1,90 \text{ m} \\ \Delta h_3 = 2,77 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta h = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3}{3} = 2,3 \text{ m}$$

$\Delta t = 122$ jours = 105408×10^2 secondes pour :

$$T = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \rightarrow S = 5,4 \% \Rightarrow T/S = 37 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 3,7 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \rightarrow S = 10 \% \Rightarrow T/S = 37 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

1 2 3
- Puits 11 → 15 → 22

c = 1300 m ; a = 1,70 m ;

$\Delta h_1 = 4,70 \text{ m}$

d = 725 m ; b = 2,81 m ;

$\Delta h_2 = 3,42 \text{ m}$

$\Delta h_3 = 2,81 \text{ m}$

$$\Delta H = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3}{3} = 3,64 \text{ m.}$$

$$T = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \longrightarrow S = 15 \% \implies T/S = 13 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 0,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \longrightarrow S = 2 \% \implies T/S = 15 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s.}$$

- Puits $\overset{1}{129} \longrightarrow \overset{2}{27} \longrightarrow \overset{3}{562}$

$$\left. \begin{array}{l} c = 3250 \text{ m} ; a = 3,18 \text{ m} ; \\ d = 1500 \text{ m} ; b = 5,67 \text{ m} ; \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Delta h_1 = 2,15 \\ \Delta h_2 = 1,90 \\ \Delta h_3 = 2,77 \end{array} \implies \Delta H = \frac{\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3}{3} = 2,27 \text{ m.}$$

$$T = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \longrightarrow S = 11 \% \longrightarrow T/S = 18 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$T = 0,3 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s} \longrightarrow S = 1,6 \% \approx 2 \% \implies T/S = 15 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s.}$$

4.3 - CALCUL DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT PAR LA METHODE DE LEBEDEV (1961)

Cette méthode permet de suivre la déformation lente de la surface piézométrique. LEBEDEV parvient, en 1961, par un artifice de calcul à éliminer l'influence d'une recharge verticale pendant la période d'observation. Comme pour la méthode de RORABOUGH, le dispositif de mesure se compose de trois (3) piézomètres (qui sont dans notre cas des puits) disposés le mieux possible sur une ligne de courant (fig.89).

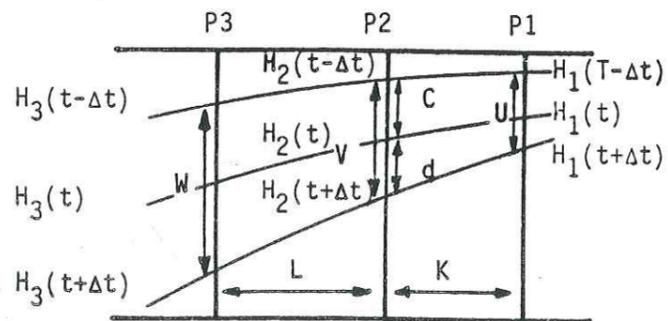


Fig.89: Calcul du coefficient d'emménagement par la méthode DE LEBEDEV

L'application de la méthode nécessite au minimum 3 relevés piézométriques. Pour notre part, ces derniers ont été effectués en avril, juillet et septembre 1983. Le choix de cette période traduisant ainsi le tarissement naturel de la nappe des hautes eaux vers les basses eaux.

La formule utilisée est la suivante :

$$\frac{T}{S} = \frac{2 \times K \times (c - d) \times L}{\Delta t \times (U - 2V + W)} \quad \text{avec :}$$

- L et K : distances séparant les puits d'observation les uns des autres;
- U, V et W : différences de niveaux piézométriques enregistrées sur chacun des puits entre le premier et le dernier relevé ;
- c et d : différences de niveaux enregistrées au puits central au cours de trois relevés successifs et respectivement entre le premier et le deuxième d'une part, le deuxième et le troisième d'autre part ;
- Δt : intervalle de temps séparant deux relevés successifs ;
- la quantité (C - D) caractérise la forme du profil piézométrique au puits central.

En reprenant les exemples considérés dans la méthode de RORABOUGH, nous avons pour cette méthode de LEBEDEV les résultats suivants :

- Puits $\overset{1}{182} \longrightarrow \overset{2}{27} \longrightarrow \overset{3}{562}$

- Puits $\overset{1}{11} \longrightarrow \overset{2}{15} \longrightarrow \overset{3}{22}$

- Puits $\overset{1}{129} \longrightarrow \overset{2}{27} \longrightarrow \overset{3}{562}$

Pour $\Delta t = 122 \text{ js} = 105408 \text{ Sec.}$
les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous. (Tableau 42)

Tableau 42: Valeurs du coefficient d'emménagement calculées par la méthode LEBEDEV

Puits d'observation	Paramètres	L(m)	K(m)	U(m)	V(m)	W(m)	c(m)	d(m)	T/S m ² /s	T m ² /s	S %
1 2 3 182 — 27 — 562		1475	1400	2,15	1,90	2,77	1,30	0,60	24,5 · 10 ⁻²	2 · 10 ⁻²	8
										3,7 · 10 ⁻²	15
1 2 3 11 — 15 — 22		725	1300	4,70	3,42	2,81	2,30	1,12	31,5 · 10 ⁻²	2 · 10 ⁻²	6
										0,3 · 10 ⁻²	1
1 2 3 129 — 27 — 562		1500	3250	2,15	1,90	2,77	1,10	0,80	25 · 10 ⁻²	2 · 10 ⁻²	8
										0,3 · 10 ⁻²	1,2

4.4 - AUTRE METHODE D'APPROCHE DE CALCUL DU COEFFICIENT "S"
(méthode combinée VIGUIER - THEIS-JACOB)

La méthode consiste en la combinaison de deux autres, à savoir:

1. La méthode de VIGUIER qui consiste à calculer le rayon fictif d'un cylindre assimilé au cône de dépression engendré par un pompage. Sachant qu'à un instant t_0 , on pompe avec un débit q_0 et le rabattement induit est Δ_0 , on obtient la formulation suivante.

Le volume d'eau extrait du puits est $V_0 = q_0 \times t_0$. Ce volume est sans grande erreur égal à celui du cylindre (Fig.90.)

$$V_0 = \Delta_0 \pi R_e^2 \quad \text{d'où} \quad R_e = \sqrt{\frac{V_0}{\pi \Delta_0}}$$

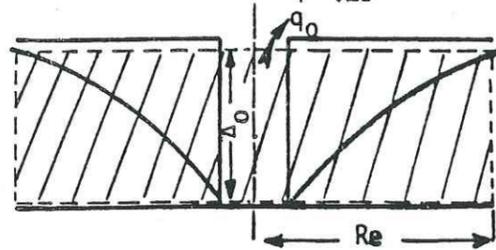


Fig.90 . Calcul du coefficient d'emmagasinement par la méthode combinée de VIGUIER-THEIS-JACOB

2. Une fois le rayon fictif connu, nous utiliserons la formule d'approximation de THEIS-JACOB pour calculer le coefficient d'emmagasinement "S". Pour ce faire, nous avons utilisé le premier palier de chaque essai interprété (chaque essai de longue durée est précédé d'essais par paliers de courte durée). Pour ce palier, nous avons pris $t_0 = 1$ heure, temps pour lequel on atteint généralement le niveau d'équilibre de la nappe. Au-delà de ce temps, on risque de prendre en compte un phénomène de recyclage du débit pompé. L'application consiste donc à remplacer Δ_0 , T , q_0 et R_e par leurs valeurs respectives dans la formule :

$$\Delta_0 = 0,183 \frac{q_0}{T} \log \frac{2,25 T t_0}{R_e^2 S} \quad \text{et à calculer les valeurs}$$

respectives du coefficient d'emmagasinement "S". Les résultats obtenus sont les suivants :

Paramètres	t_0 (h)	o (m)	q_0 (m^3/h)	R_e (m)	T ou T_{moy}^* ($10^{-2} m^2/s$)	S %	T/S ($10^{-2} m^2/s$)
Ouvrages de pompage							
2 - 4		0,12	15	6,18	3,7	3,20	116
SM - 2		0,15	18	6,18	8,15*	2,00	408
ET - 6		0,30	15	5,64	3,73*	3,50	107
12 - 3	une	0,21	20	5,50	25,0	0,70	3571
11 - 1		0,18	15	5,15	3,49*	3,80	92
4 - 2	heure	0,18	14	4,97	2,0	6,80	29
15 - 5		0,84	15	2,40	4,1*	6,85	60
15 - 2		0,54	17	3,16	2,0	10,00	0,2
Valeur moyenne						4,6 %	

Tableau 43: Valeurs du coefficient d'emmagasinement obtenues par la méthode combinée de VIGUIER-THEIS-JACOB

4.5 - CRITIQUES DES RESULTATS OBTENUS PAR LES DIFFERENTES METHODES

Par de là les difficultés d'interprétations imposées par les conditions d'applications de certaines méthodes analytiques, nous avons tenté de quantifier le coefficient d'emmagasinement dans l'optique de visualiser les caractéristiques hydrodynamiques les plus plausibles de l'aquifère.

Ainsi, par la méthode d'ARCHIE, nous obtenons des valeurs de "S" assimilées à la porosité vraie allant de 11 % à 29 %. La surestimation des valeurs proviendrait en partie du manque de précision sur les épaisseurs des lentilles argileuses.

Les méthodes de RORABOUGH, LEBEDEV et VIGUIER - THEIS-JACOB donnent des valeurs respectivement de : 1,6 % à 15 % Moy. = 7,5%; 1 % à 15 % Moy. = 6,5 % ; 2 % à 10 % Moy. : 4,6 %.

Nous remarquons que les ordres de grandeur des valeurs obtenues par les 3 dernières méthodes sont semblables surtout pour les moyennes.

Cet ordre de grandeur confirmerait la surestimation énoncée plus haut et confirmerait la plausibilité de l'emmagasinement de notre aquifère.

CONCLUSION

L'emploi de plusieurs méthodes afin d'appréhender la solution d'un problème, en maniant quelques approximations des conditions de validité, nous paraît très efficace du fait qu'il permet de cerner

le domaine du concret. Pour notre part, cette diversité de raisonnement nous a permis d'aboutir à des valeurs moyennes du coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 4,6 à 7,5 % qui nous paraissent très vraisemblables.

5 - MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE LA PERMÉABILITÉ

Pour les différents essais de pompage que nous avons interprétés, nous disposons de la coupe tubage et donc de la longueur crépinée et du log stratigraphique et donc de l'épaisseur réelle de l'aquifère mouillé non argileux.

Ainsi, nous allons tenter de chiffrer la perméabilité de deux manières différentes, à savoir :

1er cas : En considérant la longueur crépinée.

Nous savons que les transmissivités déterminées par les essais peuvent s'écrire : $T = K H \implies K = \frac{T}{H}$ (Si le temps de pompage est suffisamment court).

Dans ce cas : $H = L_c$: longueur crépinée.

2ème cas : $H = h$: hauteur mouillée de l'aquifère non argileux.

Dans le tableau ci-après, sont groupés les résultats des deux méthodes :

N° S ouvrages	T 10^{-2} m ² /s	K _{Lc} 10^{-2} m ² /s	K _h
F. 12-3	0,25	2,50	2,77 . 10 ⁻² m/s
F. SM - 2	7,30	1,50	1,20 . 10 ⁻² m/s
F. 4 - 2	2,00	22,00	25,00 . 10 ⁻² m/s
F. 15 - 5	2,00	/	4,5 . 10 ⁻³ m/s
F. 15 - 2	1,00	/	1,5 . 10 ⁻³ m/s
F. 11 - 1	7,00	/	1,6 . 10 ⁻³ m/s
F. 2 - 4	3,70	/	2,50 . 10 ⁻³ m/s
F. ET - 6	0,30	/	24,0 . 10 ⁻³ m/s

Tableau 44: Valeurs estimées de la perméabilité

6 - ESTIMATION DU RAYON D'ACTION (rayon d'action fictif)

Lors d'un pompage, le cône de dépression (ou de rabattement) évolue plus ou moins vite avec le temps selon qu'on se trouve en nappe captive ou libre.

D'une manière générale, il existe même pour des temps de pompage assez longs, des points de la nappe exploitée qui ne sont pas influencés et où donc le rabattement est nul. L'équation de JACOB, en ces points, s'écrira :

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

$$\text{comme } 0,183 \frac{Q}{T} \neq 0 \implies \log \frac{2,25 T t}{r^2 S} = 0$$

$$\frac{2,25 T t}{r^2 S} = 1 \implies R = 1,5 \sqrt{\frac{T t}{S}}$$

En remplaçant "T" et "S" par leurs valeurs respectives calculées d'une part par la méthode graphique de THEIS-JACOB pour T, et d'autre part par la méthode de VIGUIER - THEIS-JACOB pour "S", nous obtenons des rayons d'action (ou d'influence) suivants :

N° Forages	t (sec.)	T.(10 ⁻² m ² /s)	S %	R(m) = 1,5 $\sqrt{\frac{T t}{S}}$
F. SM - 2	108.10 ³	7,3	2,0	942
F. 11 - 1	187,2.10 ³	17,0	3,8	1373
F. 2 - 4	82,8.10 ³	3,7	3,2	464
F. 15 - 2	172,8.10 ³	2,0	10,0	279
F. 15 - 5	172,8.10 ³	2,0	6,85	337
F. ET - 6	108.10 ³	0,3	3,5	144
F. 12 - 3	111,6.10 ³	0,25	0,7	299
F. 4 - 2	187,2.10 ³	2,0	6,8	352

Tableau 45: Valeurs estimées du rayon d'action dû aux pompages

CONCLUSION

Les valeurs des rayons d'action (ou rayon d'influence) calculées nous semblent assez élevées pour les raisons suivantes :

- Les forages étant implantés trop près du lit de l'oued, on pourrait se demander si l'oued lui-même ne constitue pas une limite à charge constante. Donc, le rayon d'influence ne serait valable que dans le sens parallèle au cours de l'oued.

- Nous pouvons dire aussi que ce sont les transmissivités qui sont fortes, et qu'avec des valeurs de "T" environ de 10^{-3} (faible pour des alluvions), nous aurons des rayons d'influence petits pouvant justifier le phénomène du recyclage.

Toujours est-il que seul un pompage avec un réseau de piézomètres de surveillance peut confirmer ou infirmer l'une ou l'autre de nos hypothèses.

7 - CRITIQUE DES VALEURS DES PARAMÈTRES HYDRODYNAMIQUES (T, S, K)

Dans l'interprétation des essais de pompage, nous avons utilisé la méthode d'approximation logarithmique de THEIS-JACOB qui nous paraît la plus appropriée pour déterminer la transmissivité en "descente" et en "remontée" vue la façon dont se sont effectués les essais. L'absence de relevés piézométriques dans les piézomètres durant les pompages nous a incité à employer d'autres méthodes pour estimer le coefficient d'emmagasinement. Pour des raisons d'absence d'analyses granulométriques, nous avons essayé de chiffrer la perméabilité par le biais des transmissivités en considérant d'une part l'épaisseur de l'aquifère et d'autre part la longueur crépinée.

7.1 - LES TRANSMISSIVITES

L'interprétation graphique des courbes $\Delta = f(\log t)$ et $\Delta'' = f(\log \frac{t}{t_1})$ nous donne des valeurs $T \approx 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$.

Elles nous semblent correctes pour une nappe alluviale libre constituée de sable, graviers et galets.

7.2 - LES COEFFICIENTS D'EMMAGASINEMENT

Les méthodes de calcul appropriées nous ont permis d'aboutir à des ordres de grandeur du coefficient d'emmagasinement plus ou moins vraisemblables. Les valeurs qui nous paraissent vraisemblables vont de 1 à 10 % et ont pour moyenne 6 %. Les autres, très fortes (10 à 29 % ; Moy. = 22 %), sont à notre avis entachées d'erreurs dans la détermination par la méthode d'ARCHIE. Cette source provient en partie de l'imprécision sur les épaisseurs des niveaux (ou lentilles) argileux (argileuses).

7.3 - LES PERMEABILITES

Comme nous l'avons souligné plus haut, le calcul a été basé sur la formule $T = K e$ et $T = K.L$. Les valeurs sont de 10^{-2} à 10^{-3} m/s . Ce sont des valeurs correctes dont la fiabilité reste conditionnée par celle des transmissivités.

CONCLUSION

Lorsqu'on projette de faire un essai de pompage dans une formation donnée, théoriquement, par les buts escomptés, nous pouvons énumérer les suivants :

- le test de l'aquifère qui consiste à déterminer ses caractéristiques hydrodynamiques : T, S et K ;
- le test de l'ouvrage ou la détermination de ses caractéristiques, à savoir : effet de puits, indice de MOGG, 1969, efficacité du puits, colmatage du puits.

Pour notre part, nous n'avons pas réussi à travailler dans ces conditions idéales. C'est pourquoi nous nous sommes contentés d'exploiter des essais déjà réalisés avec des rabattements observés dans l'ouvrage de pompage.

En particulier, cette carence en renseignements précis relatifs à la réaction de l'aquifère et à sa granulométrie nous a conduit à estimer l'ordre de grandeur du coefficient d'emmagasinement et de la perméabilité.

Enfin, les transmissivités déterminées sont à notre avis entachées d'erreurs ; car, pour chaque essai, nous remarquons une stabilisation du niveau dynamique dû vraisemblablement à un recyclage des eaux pompées. En effet, le refoulement s'effectue généralement en de ça du rayon d'action atteint lors du pompage de longue durée.

CHAPITRE 6

ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAU DE L'AQUIFERE DU HAUT SEBAOU

INTRODUCTION

1 - DEFINITIONS DES RESERVES

2 - BILAN HYDROGEOLOGIQUE

2.1. Equation générale

2.2. Equation simplifiée - Estimation des réserves régulatrices

3 - COMPARAISON : BILAN HYDROLOGIQUE - BILAN HYDROGEOLOGIQUE

4 - VALIDITE DES RESULTATS OBTENUS

CONCLUSION

ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAU

DE L'AQUIFERE DU HAUT SEBAOU

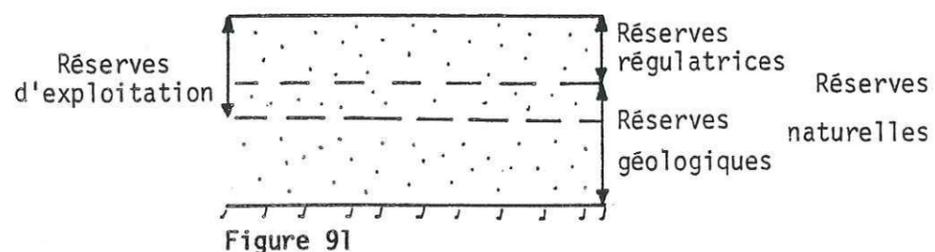
INTRODUCTION

Dans une étude hydrogéologique d'une ou d'un ensemble de formations aquifères, on s'intéresse tout d'abord selon les moyens d'investigation à :

- l'étude du comportement de la nappe (sens d'écoulement, caractéristiques hydrodynamiques, apports ou fuites éventuelles);
- la détermination de la potabilité chimique et bactériologique de l'eau ;
- enfin, à la capacité offerte par le réservoir, une fois soumis à l'exploitation.

Dans notre étude, c'est le plan suivi. Au terme de ce chapitre, nous allons d'abord définir les différents types de réserves.

1 - DÉFINITIONS DES RÉSERVES (fig. 91)



D'après la figure ci-dessus, nous voyons qu'il existe deux grands types de réserves:

- 1/ les réserves naturelles comprenant les réserves régulatrices et géologiques ;
- 2/ les réserves d'exploitation.

- Les réserves régulatrices représentent la quantité d'eau libre emmagasinée par l'aquifère au cours d'une recharge importante par alimentation naturelle. Elles sont contrôlées par le rythme saisonnier ou interannuel des précipitations.

- Les réserves géologiques sont à attribuer au cycle pluriannuel des précipitations. Elles permettent d'entretenir une exploitation régularisée sur plusieurs années. A la limite, elles peuvent être des eaux "fossiles" comme au Sahara.

- Les réserves d'exploitation : C'est le volume d'eau maximal d'eau libre qui peut être soutiré d'un horizon aquifère. Ce volume peut correspondre en plus des réserves régulatrices à une partie des réserves géologiques (fig. 91).

Dans la plaine du Haut Sébaou, le schéma des réserves visualisé ci-dessus (fig. 91) nous semble bien adapté à la configuration de l'aquifère qui comporte bien un seuil de vidange qui est la cluse du Belloua-Aissa-Mimoun. Cependant, la faible puissance de l'aquifère et l'irrégularité de la réalimentation par les précipitations (surtout ces dernières années), nous laissent à penser que les réserves géologiques ne pourraient être excessives.

2 - BILAN HYDROGÉOLOGIQUE

2.1 - EQUATION GENERALE

L'équation théorique d'un bilan hydrogéologique est:

$$q_E + q_{pp} + q_i + q_a + q_{ri} = q_s + q_d + q_p + q_f + \Delta q \text{ avec:}$$

- q_E = débit entrant ; q_{ri} = débit réinfiltré ; q_f = débit des fuites
- q_{pp} = débit précipité ; q_s = débit sortant ;
- q_a = débit des apports ; q_d = débit drainé ; Δq = variation des réserves
- q_i = débit infiltré ; q_p = débit pompé ;

Dans la pratique, il n'est pas souvent facile de chiffrer chaque terme du bilan. C'est pourquoi nous proposons l'ajustement suivant afin de palier aux carences des données.

2.2 - EQUATION SIMPLIFIEE - ESTIMATION DES RESERVES REGULATRICES

Au seuil de sortie des gorges du Belloua, nous pouvons écrire l'équation suivante:

$$Q = q_E = q_V + q_p + \Delta W \quad (1)$$

Dans cette équation, nous connaissons le débit annuel moyen transitant au seuil du Belloua, soit $Q = 478.10^6 \text{ m}^3$ (débit déduit de la régression linéaire pluies-débits).

Le débit extrait de la nappe est de l'ordre de $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (pour l'A.E.P. et l'A.E.I.). Une partie de ce volume (environ 50 %) passe sous forme d'eau usée aux gorges de Belloua, soit $Q_2 \approx 5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Finalement, le débit annuel moyen $Q_s \approx Q_1 + Q_2 \approx (478 + 5) \cdot 10^6 \text{ m}^3 \approx 483 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ au seuil de sortie du Belloua.

Connaissant ce qui sort de l'aquifère, il nous reste à chiffrer les entrées (Q_E), les apports (Q_V) et l'impluvium (Q_P) que reçoit directement l'aquifère par le biais des précipitations.

1. Q_E est le débit d'entrée. Nous l'avons estimé en amont de l'aquifère à travers une section perpendiculaire à la ligne de courant, soit $Q_E = K \cdot S \cdot i$, pour :

$$S = 7 \cdot 10^3 \text{ m}^2 \quad \text{on obtient:}$$

$$i = 10^{-2} \quad Q_E = 9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$K = 4 \cdot 10^{-2}$$

2. Q_V est l'apport des versants. Pour une pluviosité de 927 mm et une E.T.R. de l'ordre de 65 %, la lame d'eau ruisselée sur les versants imperméables est : $Q_V = A' \times P'$, soit pour :

$$A' = \text{surface des versants non aquifères} = 1392 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$P' = P - \text{E.T.R.} = 324 \text{ mm,}$$

$$\text{d'où } Q_V = 1392 \cdot 10^6 \times 324 \cdot 10^{-3} = 451 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = Q_V.$$

3. Sachant que l'E.T.R. est de l'ordre de 60 % dans la vallée, la lame d'eau (Q_P) précipitée sur l'aquifère est :

$$Q_P = A'' \times P'' \text{ soit pour :}$$

$$A'' = \text{surface de l'aquifère} = 40 \cdot 10^6 \text{ m}^2$$

$$P'' = P - (\text{E.T.R.})' = 371 \cdot 20^{-3} \text{ m.}$$

$$Q_P = 40 \times 10^6 \times 371 \cdot 10^{-3} = 15 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = Q_P.$$

En reportant les valeurs de chacun des termes dans l'équation (1), nous obtenons :

$$483 \cdot 10^6 = (9 + 451 + 15) \cdot 10^6 + \Delta W \quad \text{soit } \Delta W = 8 \cdot 10^6 \text{ m}^3.$$

c/ Nous venons de chiffrer les variations des réserves par la méthode du bilan hydrologique. Afin de vérifier la cohérence de nos résultats, nous allons calculer cette même variations des réserves par la méthode hydrogéologique. En effet, lors du tarissement naturel d'un aquifère, la variation des réserves peut s'écrire :

$$\Delta W = A \times dh \times S$$

pour $A = 40 \cdot 10^6 \text{ m}^2$
 $dh \approx 3 \text{ m}$
 $S = 6\%$

$$\Delta W = 40 \cdot 10^6 \times 3 \times 0,06 = 7,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$\Delta W = A \times dh \times S$ (2) avec :

A = surface des alluvions aquifères,
 dh = battements moyens de la nappe,
 S = coefficient d'emmagasinement

pour : $A = 40 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ nous obtenons :
 $dh \approx 3 \text{ m}$ $\Delta W = 40 \times 10^6 \times 3 \times 6 \cdot 10^{-2}$
 $S \approx 6\%$ $\Delta W = 7,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3.$

3 - COMPARAISON BILAN HYDROLOGIQUE - BILAN HYDROGÉOLOGIQUE

Dans l'établissement du bilan hydrologique, nous avons considéré qu'au seuil de Belloua traverse tout ce qui ruissèle et s'infiltré au niveau des versants de l'aquifère. En fait, dans ce bilan, les sources perrennes des versants nord et sud de la chaîne côtière et du massif du Djurdjura (dont on ne connaît pas le débit) ne sont pas prises en compte.

Il en est de même des prélèvements dans la nappe pour les besoins de l'agriculture.

De plus, l'estimation des réserves est basée sur un débit de sortie estimé à partir d'une régression ; d'où la nécessité de considérer la valeur des réserves calculée comme étant un ordre de grandeur.

Pour l'estimation des réserves par la méthode hydrogéologique, nous avons choisi la période de tarissement naturel entre hautes et basses eaux, pour laquelle nous avons des battements de la nappe allant de 2 à 4 m et un coefficient d'emmagasinement variable avoisinant 10 %. Nous avons opté pour un battement moyen de 3 m et un coefficient d'emmagasinement moyen de 6 % qui nous permettent d'obtenir une valeur des réserves de $7,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Pour conclure, nous pouvons dire que l'estimation des réserves par les deux méthodes est à 10 % près, de même ordre de grandeur. Ce résultat satisfaisant pour nous rend compte d'un bon ajustement des deux bilans et de la cohérence de nos données.

4 - VALIDITÉ DES RÉSULTATS OBTENUS

Le débit d'exhaure de la nappe pour l'AEP et l'AEI, est de $9,754.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, soit un débit d'exploitation de 310 l/s.

Sachant que les productivités provisionnelles pour l'agriculture suivant les qualités des ouvrages (Document DHW...T.o) sont de 971 l/s, soit un débit de 10.10^6 m^3 pour 4 mois, nous obtenons un débit d'exploitations dans la nappe d'environ $20.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ soit 635 l/s.

Or, les réserves calculées n'excèdent pas $8.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$, c'est pourquoi nous estimons que le débit de sortie au seuil du Belloua est sous-estimé. Il devrait être au moins de l'ordre de $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ au lieu de $478 \times 10^6 \text{ m}^3$, ceci d'une part ; d'autre part, pour aboutir au même ordre de grandeur par la formule $\Delta W = Ax dh \times S$, il faudrait admettre un rabattement minimum de la nappe de l'ordre de 5 m et un coefficient d'emmagasinement de 10 %.

Nous pensons qu'avec ces ordres de grandeur, nous pouvons dire que l'exploitation de la nappe peut demeurer correcte si la moyenne pluviométrique annuelle ne fait pas défaut. Signalons qu'avec un rabattement de 5 m, l'amont de la nappe est presque vidangé. Cependant, en aval on n'exploite que 1/5 de l'épaisseur totale de l'aquifère.

CONCLUSION

Vus les débits exploités actuellement pour l'AEP, l'AEI et l'agriculture, l'ordre de grandeur des réserves déterminé nous semble cohérent; si on estime qu'au seuil de Belloua transite un débit annuel moyen de l'ordre de 500.10^6 m^3 pour une pluviométrie annuelle moyenne de 927 mm. Ces réserves permettraient de faire face à une exploitation de l'ordre de 635 l/s imposant ainsi un rabattement minimum de l'ordre de 5 m et un coefficient d'emmagasinement voisin de 10 %. Dans le cas d'un changement brutal ou progressif de ces conditions (chute de la pluviométrie en particulier), la réalimentation serait compromise. C'est pourquoi il faudrait envisager la réalisation des retenues collinaires à l'étude sur les oueds Aissi et Dis afin de répondre aux besoins futurs qui se font pressentir.

CHAPITRE 7

ETUDE HYDROCHIMIQUE

INTRODUCTION : GENERALITES ET PRESENTATION DES ANALYSES CHIMIQUES

1 - LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

1.1. Les conductivités - Carte des conductivités en points

2 - LES ELEMENTS CHIMIQUES

2.1. Tableau récapitulatif

2.2. Origine des éléments chimiques

3 - REPRESENTATION DES ANALYSES SUR LES DIAGRAMMES VERTICAUX ET LOSANGIQUES

3.1. Les diagrammes verticaux ou diagrammes SCHOELLER - BERKALOFF

3.2. Les diagrammes losangiques ou diagrammes PIPER

4 - CLASSIFICATION DES EAUX

4.1. Classification selon la conductivité

4.2. Classification d'après le titre hydrotimétrique total (T.H.T.)

4.3. Classification selon le pH d'équilibre

4.4. Classification d'après les formules caractéristiques

4.5. Classification des eaux pour l'irrigation

5 - NOTION D'INDICES D'ECHANGES DE BASES

5.1. Généralités

5.2. Interprétation des résultats

5.3. Evolution des indices d'échanges de bases entre hautes eaux et basses eaux

6 - LES CARTES DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES ET DES FACIES CHIMIQUES

6.1. Introduction

6.2. Interprétation de la carte des équi-rapports HCO_3/SO_4

6.3. Interprétation des cartes d'isoteneurs en HCO_3 et SO_4 et de la carte des $\text{rHCO}_3/\text{rSO}_4$

6.4. Interprétation de la carte des équi-rapports rMg/rCa

6.5. Interprétation des cartes d'isoteneurs en Mg et Ca et de la carte des rapports rMg/rCa

6.6. Interprétation de la carte des faciès chimiques

ETUDE HYDROCHIMIQUE

INTRODUCTION - GÉNÉRALITÉS ET PRÉSENTATION DES ANALYSES CHIMIQUES

En Kabylie, comme ailleurs en Algérie, au rythme des années, les besoins en eau ne cessent de s'accroître vus le développement des industries de l'agriculture et l'évolution de la démographie.

Satisfaire la demande est déjà une préoccupation, mais encore faut-il que la ressource soit de bonne qualité, c'est-à-dire qu'elle réponde aux normes de potabilité chimique et surtout bactériologique.

Dans le cadre de l'étude que nous avons entreprise dans la plaine alluviale du Haut Sebaou, en collaboration avec la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Tizi-Ouzou (D.H.W.T.O.), nous avons échantillonné un certain nombre de puits et forages bien répartis sur toute la plaine.

Pour mieux rendre compte de l'évolution de la nature chimique des eaux, nous avons effectué deux campagnes d'échantillonnage, à savoir:

- en basses-eaux: Septembre-Octobre;
- en hautes-eaux: Avril-Mai.

Les analyses chimiques ont été effectuées au Laboratoire des Eaux de l'Institut National de Recherche en Hydraulique (I.N.R.H.) (ex. D.E.M.R.H.). Ces analyses ont porté sur le dosage des éléments chimiques classiques, à savoir:

- calcium (Ca); magnésium (Mg); sodium (Na) et potassium (K);
- chlorures (Cl); sulfates (SO₄); bicarbonates (HCO₃) et nitrates (NO₃).

Comme nous n'avons pas effectué de mesures "in-situ" des paramètres physico-chimiques, en particulier la conductivité et le Ph (faute de matériel), ces derniers ont été mesurés au Laboratoire. Les résultats des analyses, après traitement, nous permettent de cerner la nature chimique des eaux, les faciès chimiques dominants. ainsi que l'élaboration des cartes des rapports caractéristiques: rMg/rCa; rHCO₃/rSO₄ et des ions correspondants.

Les paramètres physiques, en particulier, la conductivité qui va de pair avec la minéralisation totale, nous permettra d'établir la carte des conductivités.

1 - LES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

1.1 - LES CONDUCTIVITES - CARTE DES CONDUCTIVITES EN POINTS

1.1.a) Définition

La conductivité est l'inverse de la résistivité ou résistance spécifique d'un corps (Dictionnaire technique de l'eau et des questions annexes: 1968).

Autre définition: La conductivité d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1cm² de surface, espacées l'une de l'autre de 1cm. L'unité de mesure est le mhos/cm/cm².

1.1.b) Interprétation de la carte des conductivités (fig.92)

Nous avons subdivisé les conductivités exprimées en 1/10e de m.mhos/cm en six (06) classes. Chaque classe est identifiée par un symbole. Les classes sont les suivantes:

1/ conductivité	$\sigma < 6$ m.mhos/cm;
2/	$6 < \sigma < 8$ m.mhos/cm;
3/	$8 < \sigma < 10$ m.mhos/cm;
4/	$10 < \sigma < 12$ m.mhos/cm;
5/	$12 < \sigma < 14$ m.mhos/cm;
6/	$14 < \sigma < 28$ m.mhos/cm.

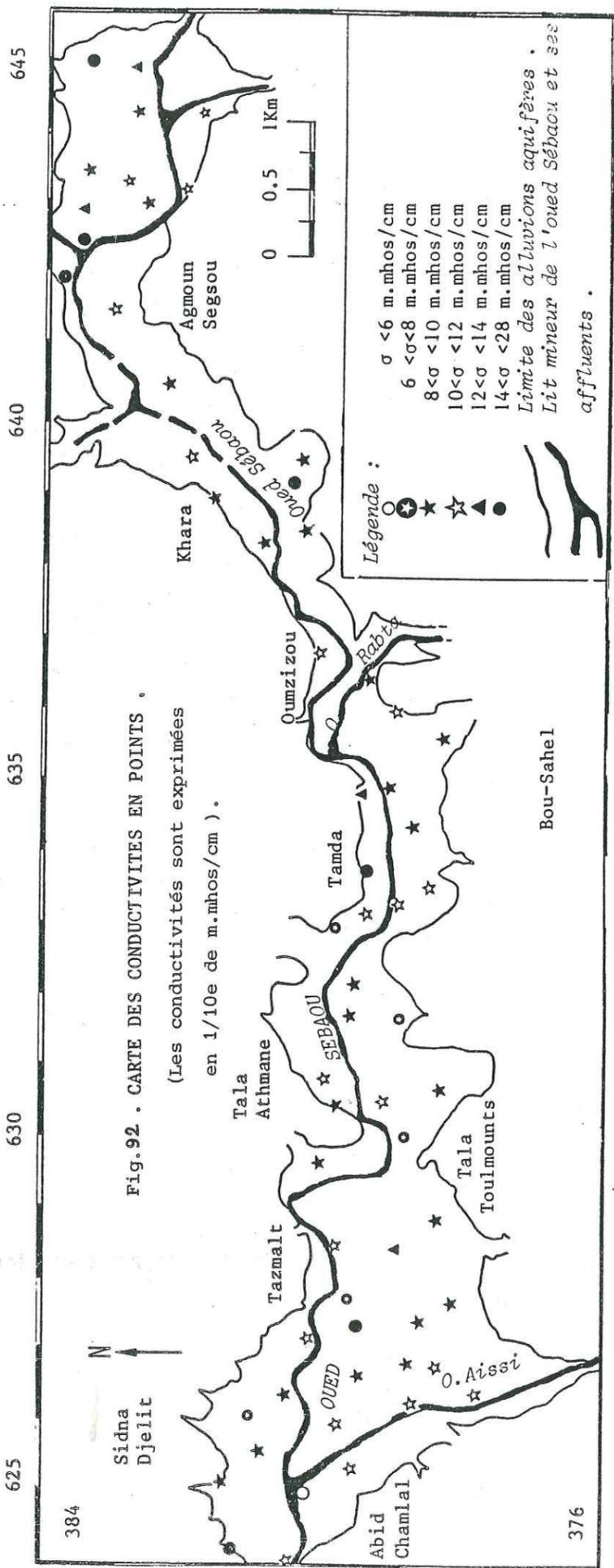
L'examen de la carte montre que la classe des $8 < \sigma < 10$ m.mhos/cm est dominante; puis vient la classe des $6 < \sigma < 8$ m.mhos/cm.

Les classes 4 et 5 se rencontrent à peu près dans les mêmes proportions et enfin la lère qui est très particulière n'est pas représentative.

Dans l'ensemble, les classes ne s'identifient pas spécifiquement à une partie déterminée de la nappe; ceci nous conduit à faire les remarques suivantes:

- 1- soit que le réseau de mesure n'ait pas été suffisamment dense pour que l'on puisse dégager la limite de variabilité des conductivités.
- 2- soit que, sous l'effet de l'évaporation, on ait des minéralisations très différentes d'un point à un autre et donc des conductivités différentes.

En conclusion, nous pouvons dire que la variation de la conductivité d'amont en aval de la nappe n'est pas mise en évidence. De même que n'est pas mise en évidence la différence entre les conductivités des eaux de bordure et celles du centre de la vallée.



1.1.c) Validité des résultats

A l'I.N.R.H., les valeurs des conductivités sont exprimées en 1/10e m.mhos/cm. Les valeurs obtenues sur nos échantillons s'échelonnent entre 6 et 12 m.mhos/cm. Les eaux de certains puits présentent des conductivités élevées, cela peut provenir du fait qu'en basses-eaux, celles-ci ne sont pas renouvelées, et du fait de l'évaporation importante, il y a concentration des éléments chimiques. Pour cette raison, nous ne tiendrons pas compte de ces cas particuliers, car nous estimons qu'ils ne reflètent pas la minéralisation réelle de l'eau de la nappe phréatique.

1.1.d) Relations salinités - conductivités (fig.93 et 94)

Sur un diagramme à échelles arithmétiques, nous avons représenté en basses et hautes-eaux, les résidus secs en fonction des conductivités, en portant en ordonnées les conductivités en micro-mhos/cm et en abscisses les résidus secs en mg/l. Nous obtenons une bonne corrélation (coefficients de corrélation $r_{BE} = r_{HE} = 0.99$) les équations des droites de regressions sont les suivantes:

B.E. Equation : conductivité = 0.02 salinité - 0.16
 H.E. Equation : conductivité = 1.47 salinité + 35.50

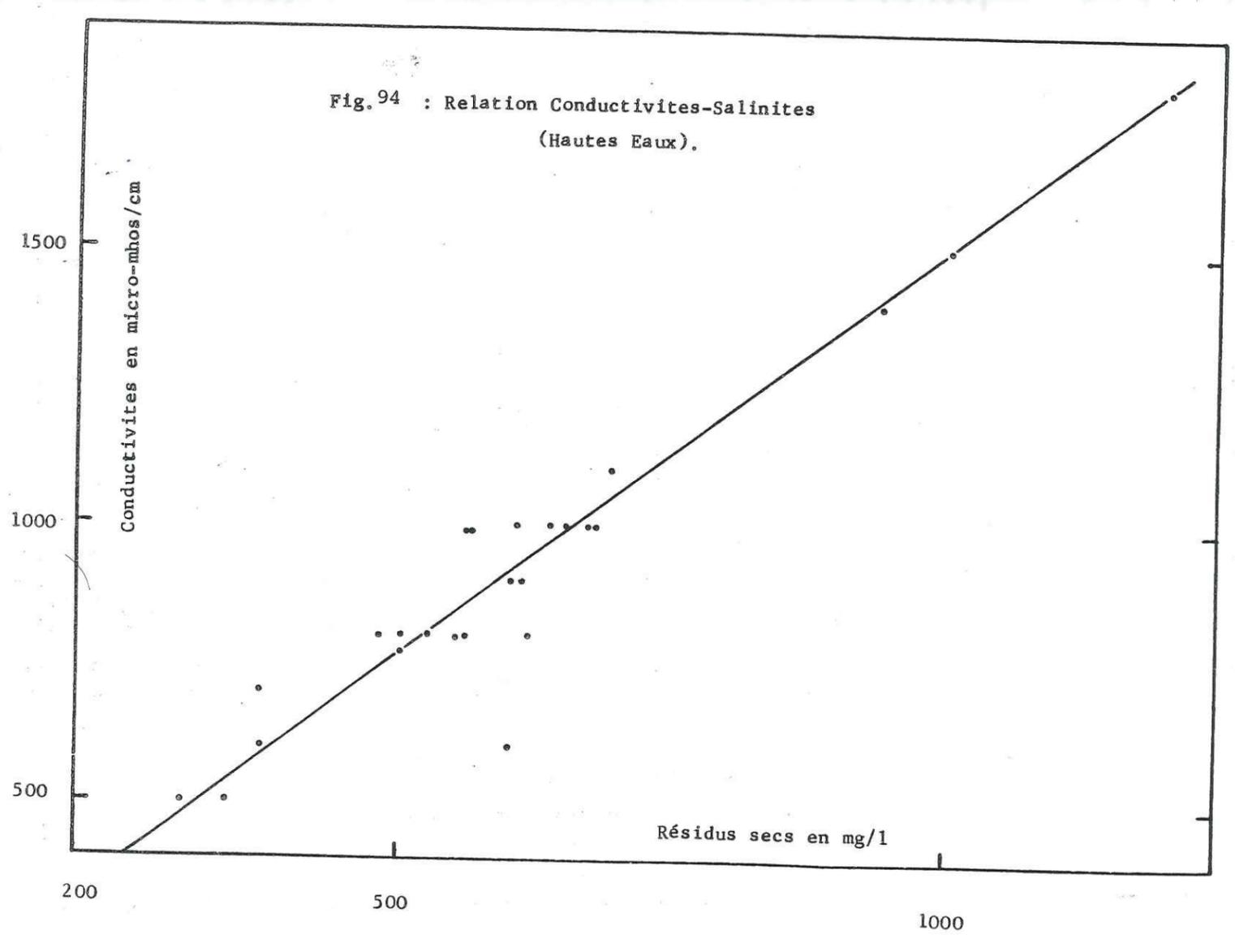
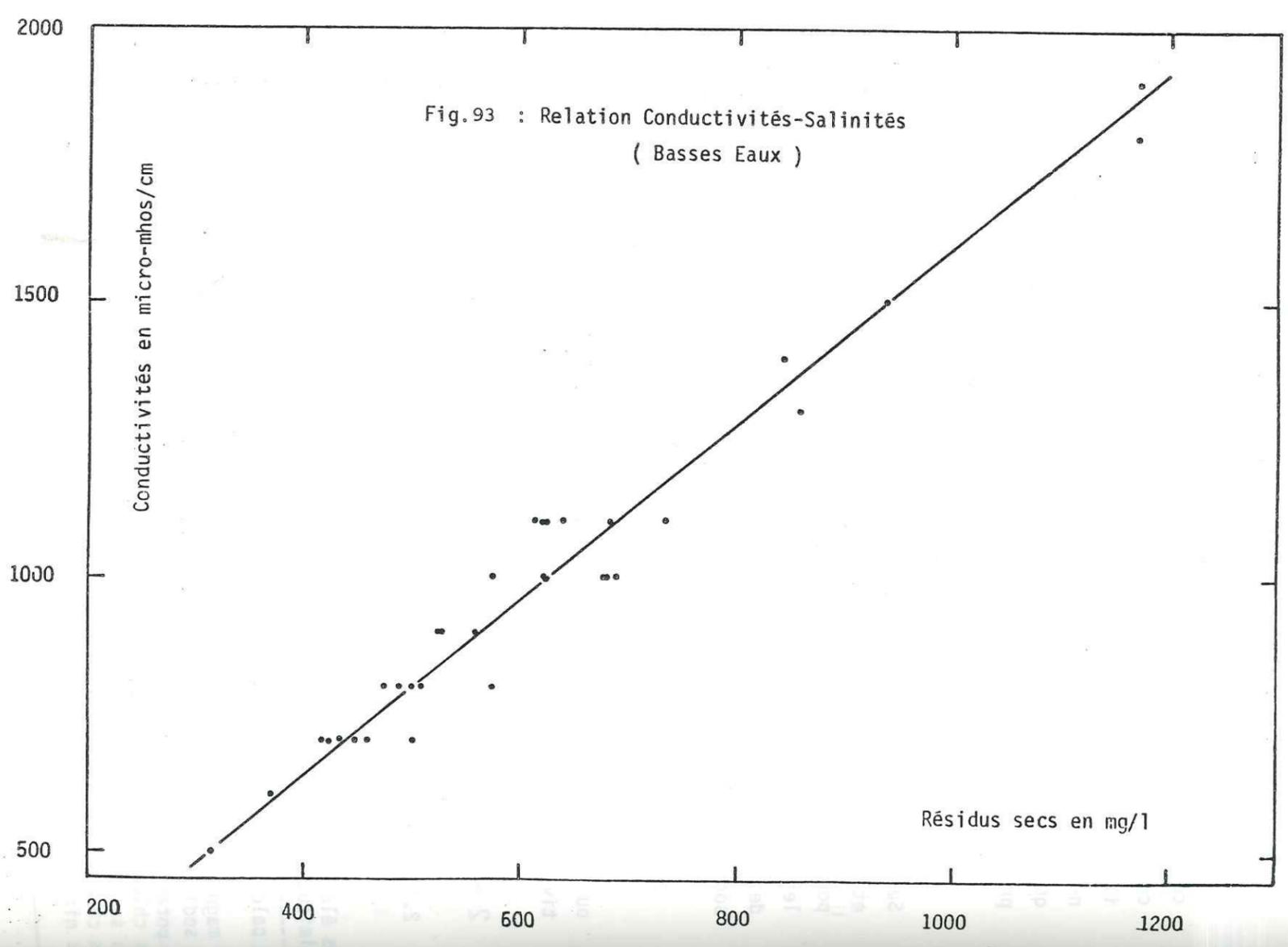
Cette corrélation nous permettra pour une eau donnée de salinité ou de conductivité connue de déduire (sans faire de mesures) la conductivité ou la salinité sans trop de risques d'erreur.

2 - LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

2.1 - TABLEAU RECAPITULATIF (fig.46)

Les éléments chimiques	Min. et Max. Concentration Hautes-eaux-mg/l	Min. et Max. Concentration Basses-eaux-mg/l	Observations Comparaison des deux périodes
Le calcium	16-150	50-79	Augmentation de la concentration pour la majorité des échantillons
Le magnésium	14-70	50-79	"
Le sodium	15-120	13-178	"
Le potassium	1-52	1-125	"
Les chlorures	25-140	20-290	"
Les sulfates	0-125	13-375	"
Les carbonates	140-525	171-561	"
Les nitrates	3-100	1-67	"

Tableau 46: Concentrations minimales et maximales en sels dissous



2.2. ORIGINE DES ELEMENTS CHIMIQUES

Comme nous manquons d'analyses géochimiques dans les formations géologiques constituant le bassin versant et l'aquifère, nous ne pouvons justifier ici avec certitude que tel ou tel élément provienne de tel ou tel type de roche. Cependant on peut dire que d'après SCHOELLER: les eaux souterraines, 1962, p. 351 :

- le sodium et le potassium peuvent provenir des gneiss et des micaschistes; ceci en raison surtout dans les micaschistes de l'abondance des micas;
- le sodium peut en partie provenir des roches sédimentaires;
- le calcium et le magnésium seraient issus des roches à amphibole du socle kabyle, et aussi des roches sédimentaires;
- les chlorures et les sulfates pourraient être issus des eaux de pluies et des lentilles de gypses que l'on rencontre dans les marnes du Miocène.

3 - REPRÉSENTATION DES ANALYSES SUR LES DIAGRAMMES VERTICAUX ET LOSANGIQUES

3.1 - LES DIAGRAMMES VERTICAUX OU DIAGRAMMES SCHOELLER-BERKALOFF (fig.95 à 102)

Reportés sur ce type de diagramme, les résultats des analyses nous montrent que les eaux présentent généralement deux pôles de minéralisations, à savoir: Ca^{++} et HCO_3^- . Ce type de minéralisation représente la grande majorité de nos échantillons. D'autres pôles de minéralisation, moins représentatifs sont mis en évidence. Il s'agit des pôles: (SO_4^{--} et Mg^{++}) et Cl^- et ($Na^+ + K^+$).

A partir de ces représentation sur les diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF nous avons déduis le pH d'équilibre qui est dans la majorité des cas inférieur ou égal au pH mesuré au Laboratoire (tableau 47).

3.2 - LES DIAGRAMMES LOSANGIQUES OU DIAGRAMMES PIPER (fig.103)

La représentation des analyses chimiques sur ce type de diagramme est à notre avis très efficace, car elle permet d'avoir une approche vraie de la composition chimique d'une eau.

Le principe consiste à reporter dans chaque triangle réservé à cet effet les r% de chaque cation et anion.

Dans chaque triangle, on obtient un point triple soulignant la dominance ou (la non dominance) d'un cation et d'un anion donné. Ces deux points triples nous donnent un point unique dans le losange qui représente la nature chimique de l'échantillon considéré.

Fig. 95 ; Diagramme d'analyse des eaux .

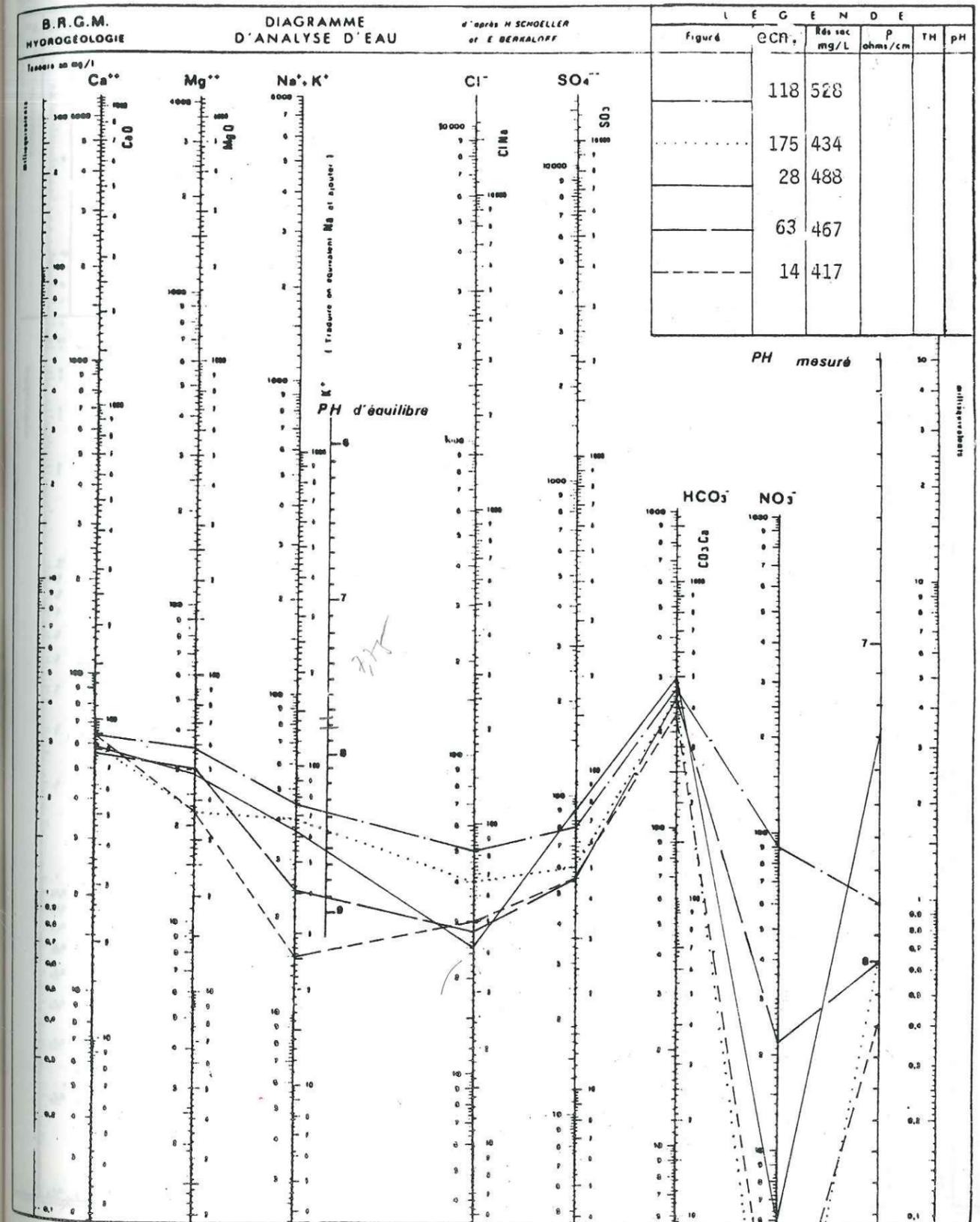


Fig.96 : Diagramme d'analyse des eaux.

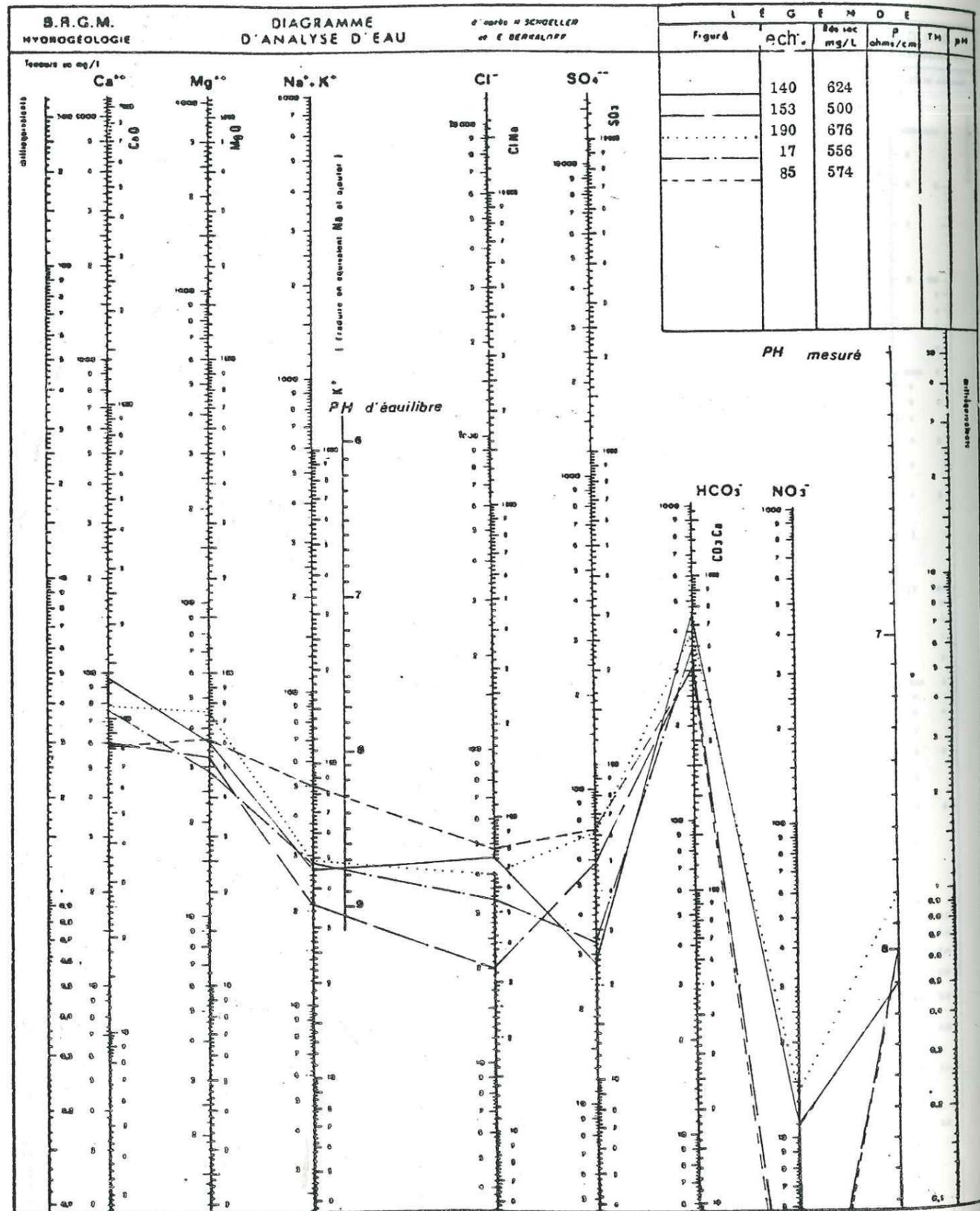


Fig.97 : Diagramme d'analyse des eaux .

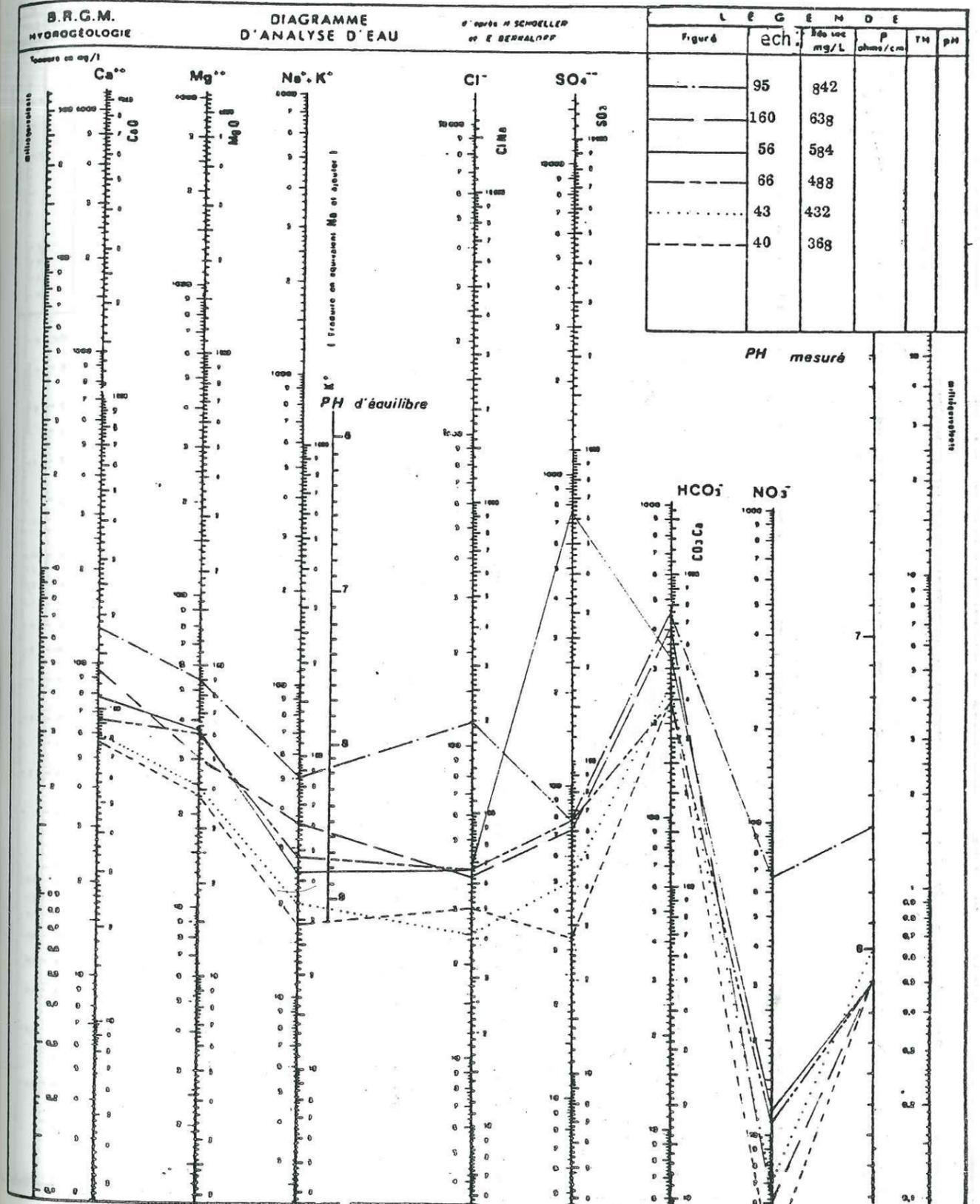


Fig. 98 : Diagramme d'analyse des eaux .

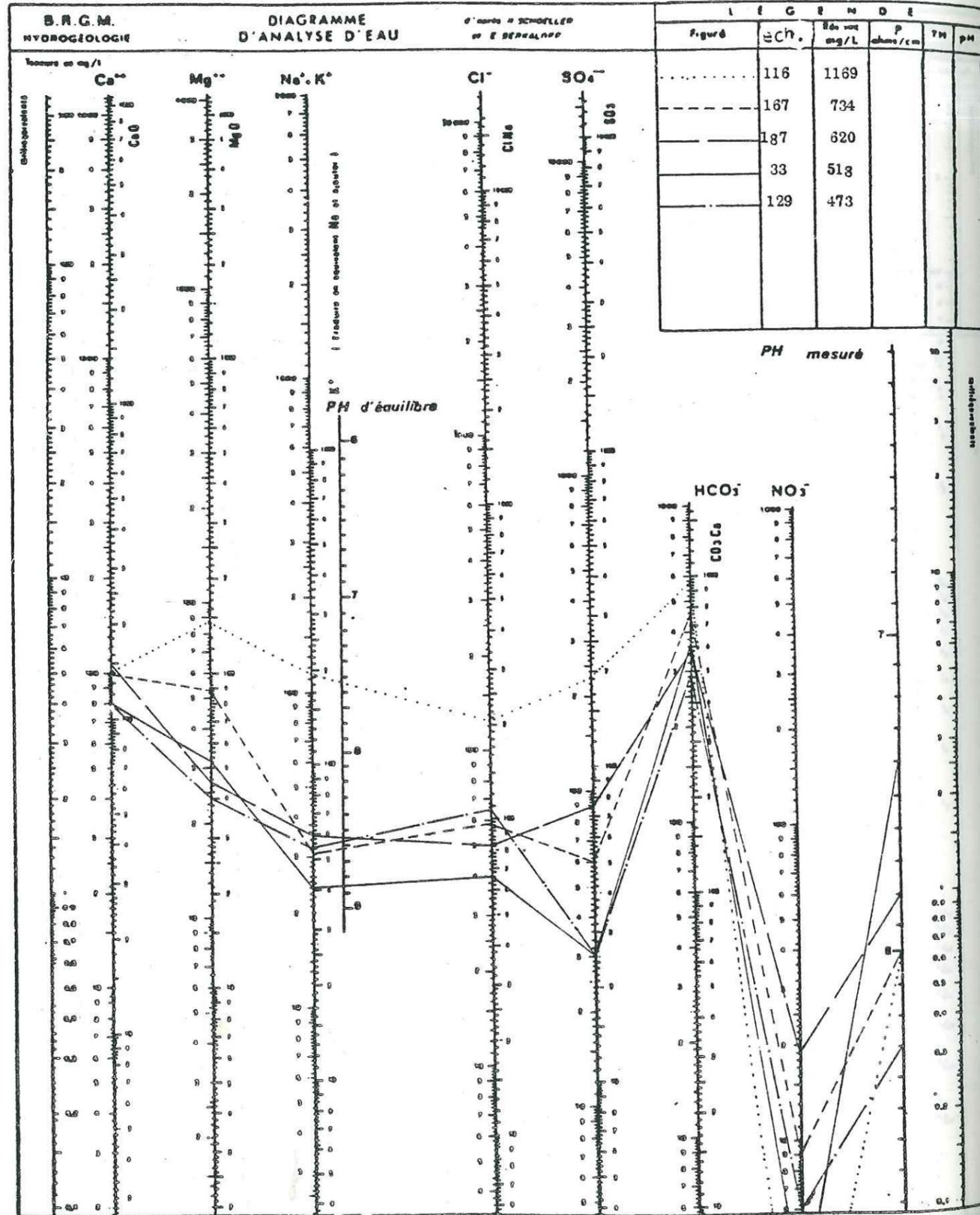


Fig. 99 : Diagramme d'analyse des eaux .

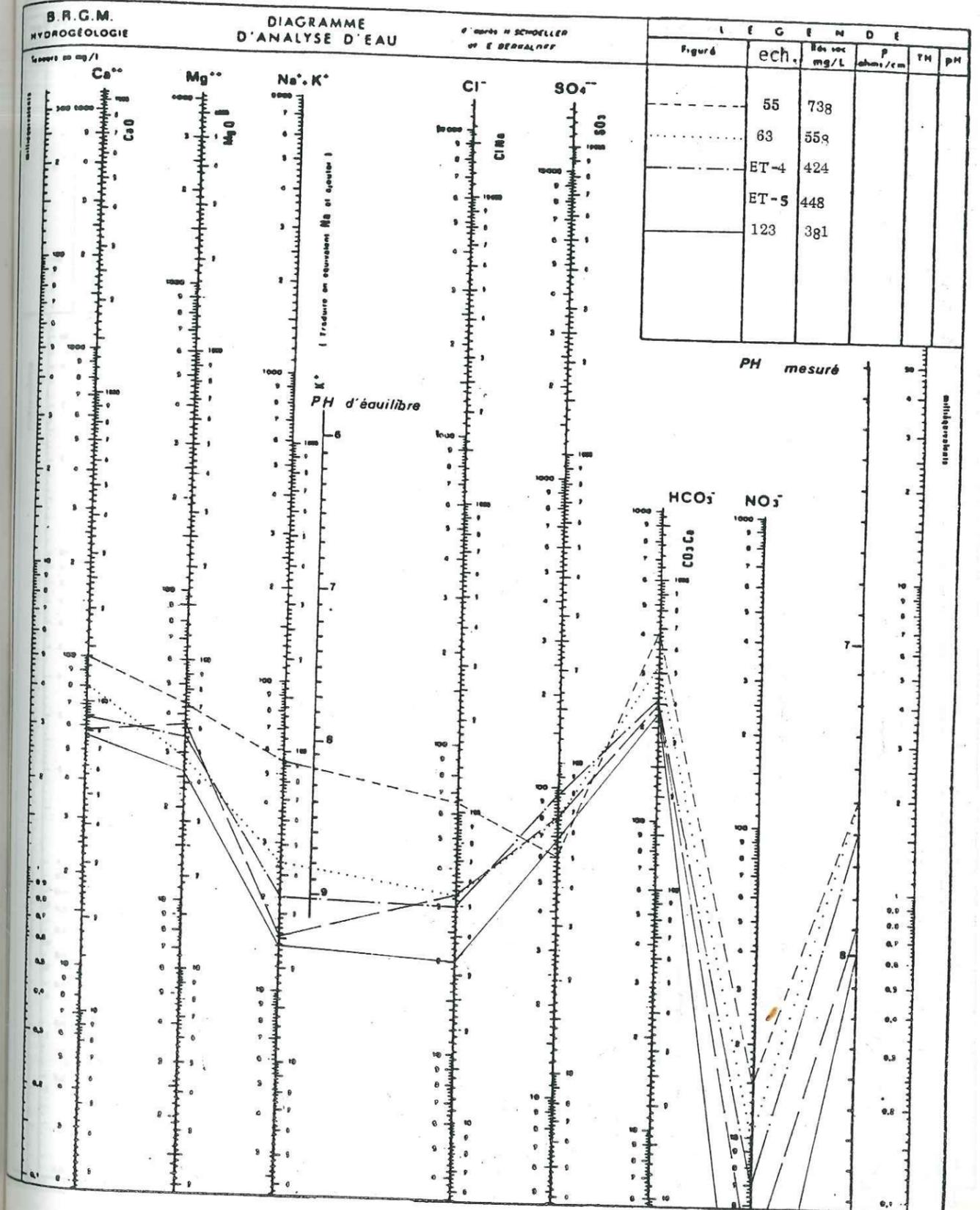


Fig.100: Diagramme d'analyse des eaux .

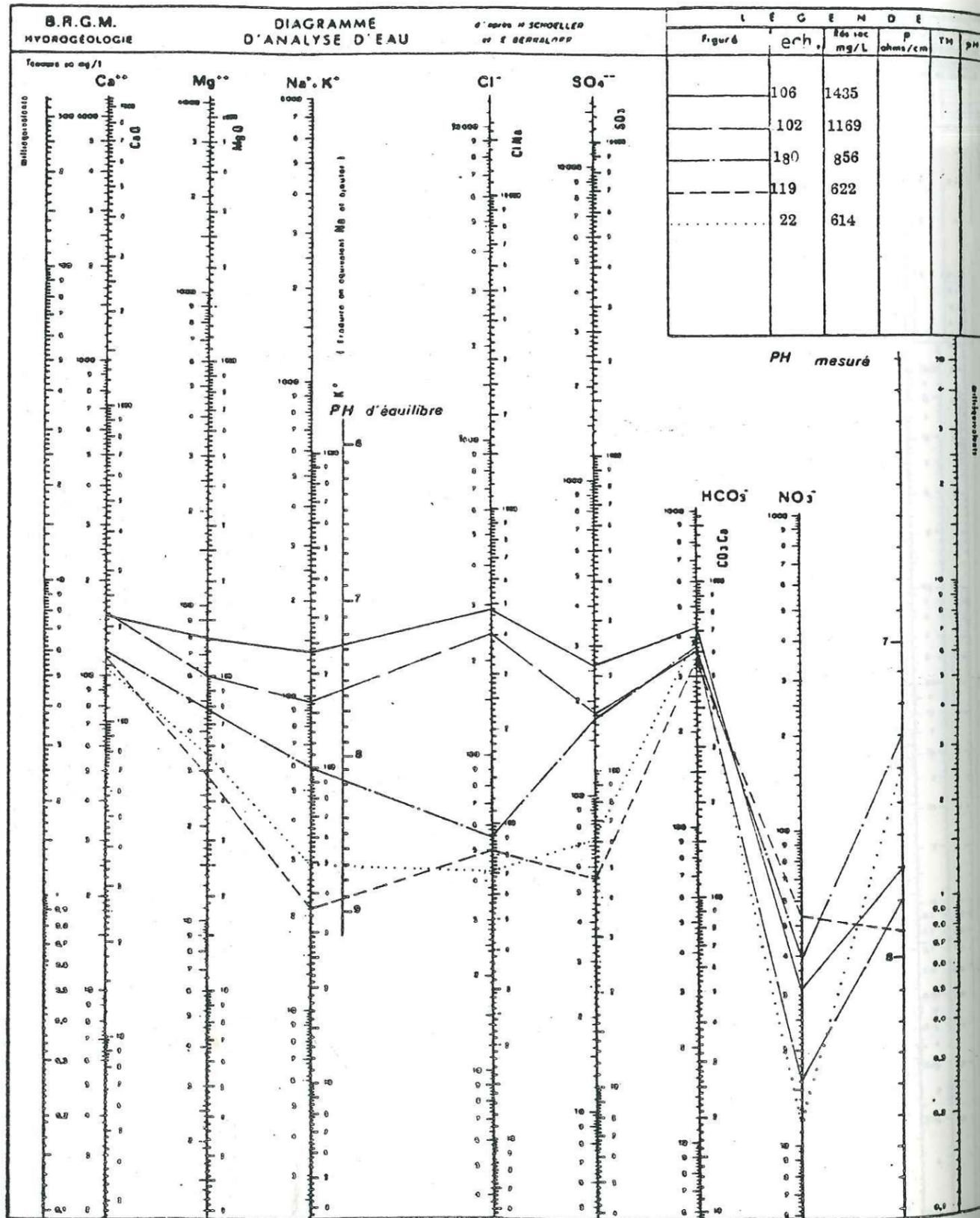


Fig.101: Diagramme d'analyse des eaux .

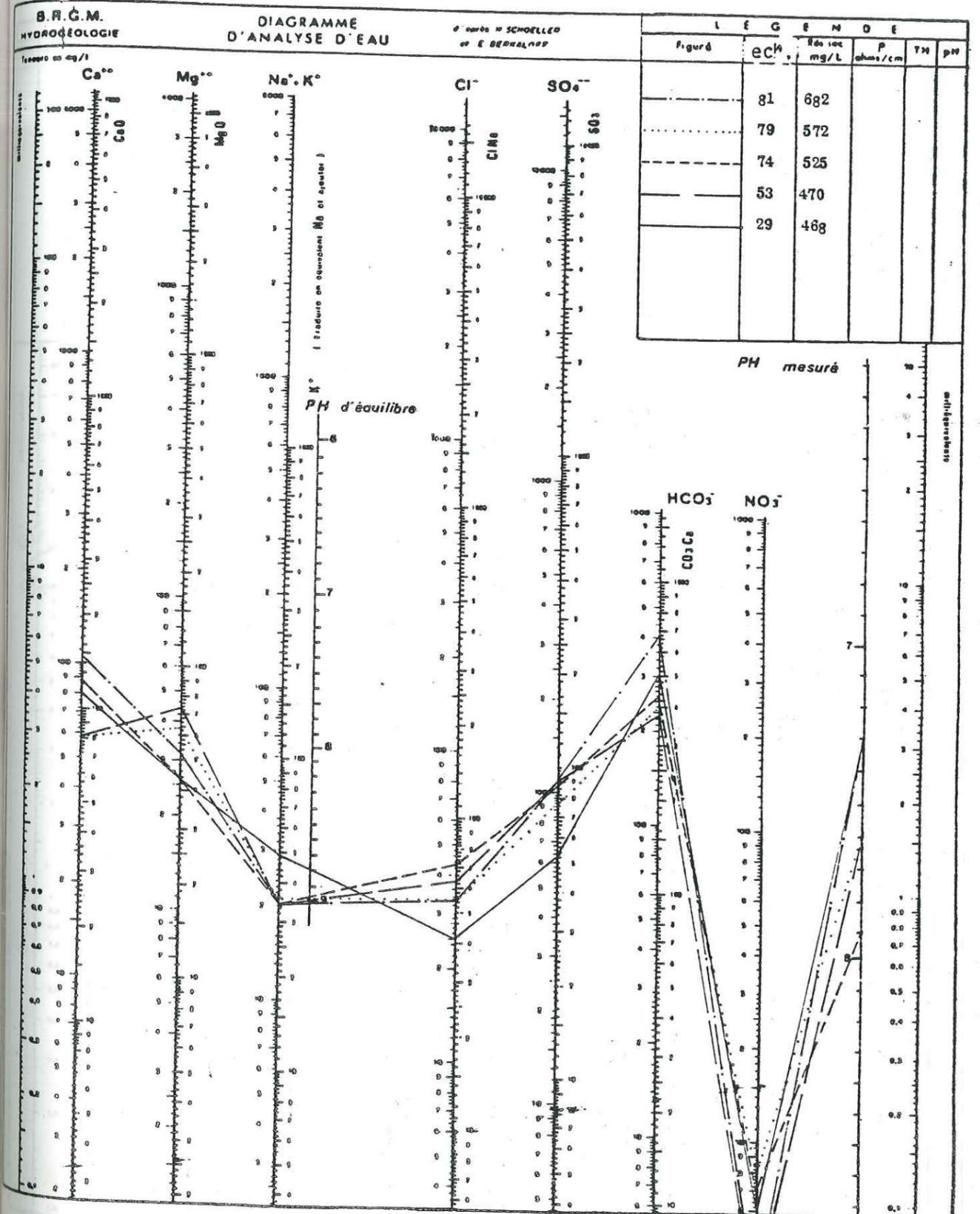


Fig. 102: Diagramme d'analyse des eaux.

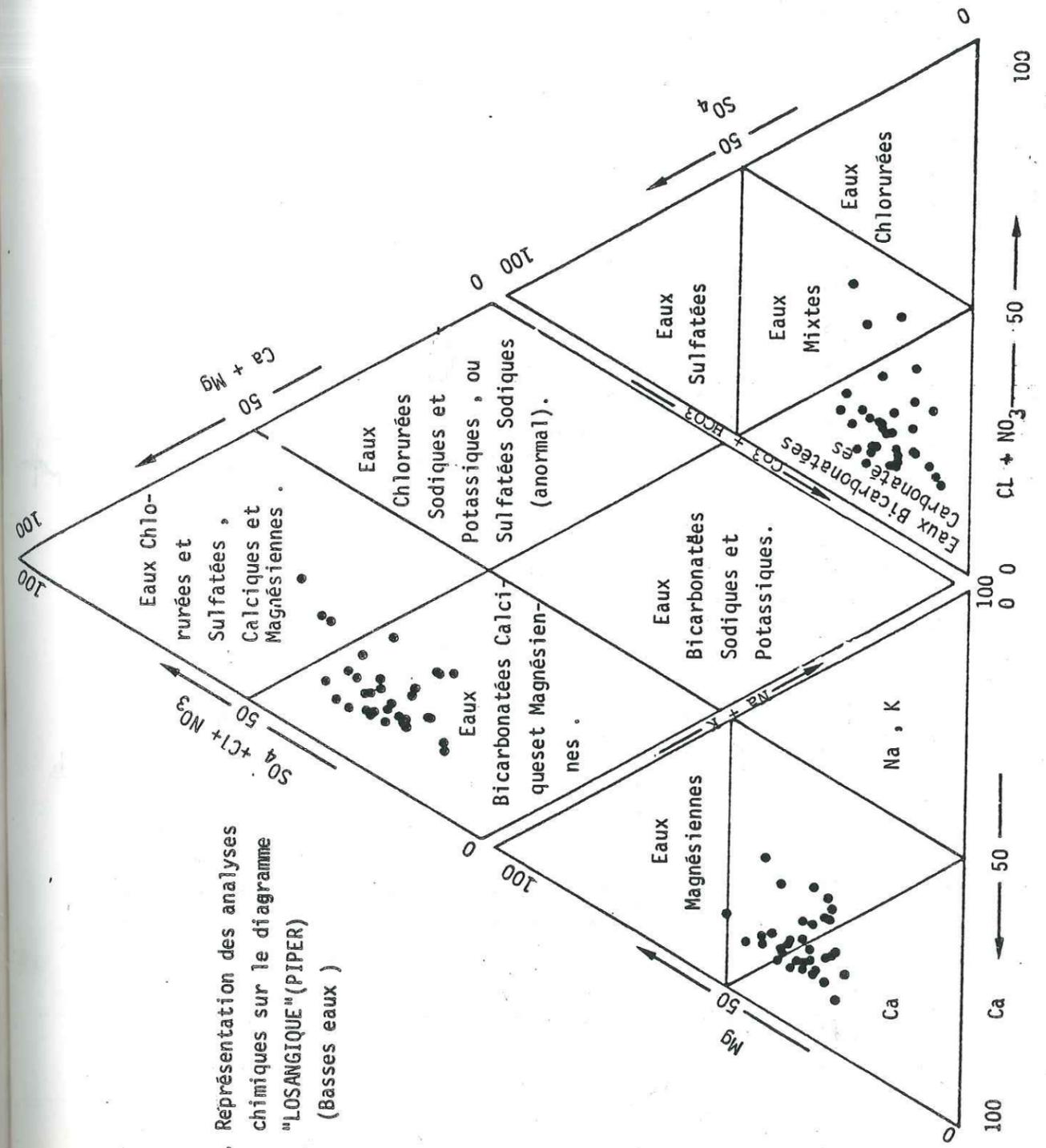
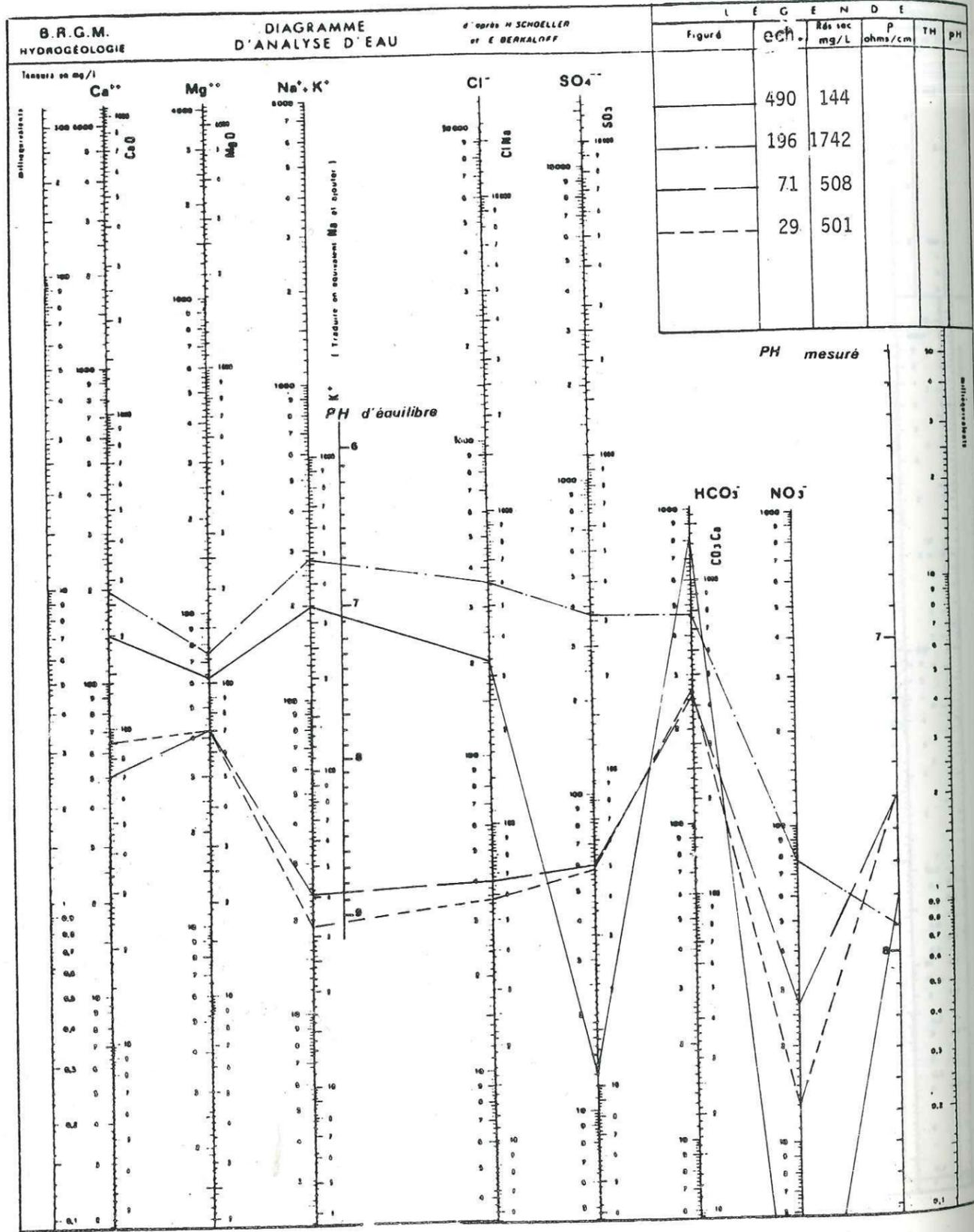


Fig.103. Représentation des analyses chimiques sur le diagramme "LOSANGIQUE"(PIPER) (Basses eaux)

Dans notre cas, représentés sur ce diagramme, les résultats des analyses montrent que nous avons affaire à deux catégories d'eau. En effet, nous avons des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes et des eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes. En fait, ces deux catégories ne se distinguent pas bien, car le nuage de points représentatif des analyses se situe entre ces deux pôles (fig.103)

4 - CLASSIFICATION DES EAUX

4.1 - CLASSIFICATION SELON LA CONDUCTIVITE

La conductivité est un critère de classification des eaux très appréciable car elle permet de quantifier la minéralisation. En effet, une eau très conductrice est une eau très chargée (et vice-versa), donc impropre à la consommation, voir même autre utilisation.

D'après les valeurs obtenues sur nos échantillons, nous distinguerons:
500 μmhos/cm < σ < 1000 μmhos/cm: Minéralisation moyenne
1000 μmhos/cm < σ < 1500 μmhos/cm: Minéralisation importante
1500 μmhos/cm < σ < 2000 μmhos/cm: Minéralisation excessive

NB: Signalons que - σ eau pure = 0,05 μ mhos/cm
σ eau distillée = 1 μ mhos/cm

4.2 - CLASSIFICATION D'APRES LE TITRE HYDROTOMETRIQUE TOTAL (T.H.T)

- Le titre hydrotimétrique total (T.H.T.) d'une eau, correspond à la somme des concentrations en ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺.

- Autre définition (CEBEDEAU) s'intéressant au côté pratique:

. La dureté d'une eau est la propriété de cette eau à requérir une quantité de savon supérieure à celle exigée par l'eau distillée pour former par agitation une mousse persistante. D'après nos résultats d'analyse, nous avons classé nos eaux en deux catégories:

- a) celles dont le T.H.T. ≤ 30° Français: Eaux dures;
- b) celles dont le T.H.T. ≥ 30° Français: Eaux très dures. (voir annexe)

4.3 - CLASSIFICATION SELON LE pH D'EQUILIBRE

Définition: Le pH d'une solution varie en fonction de la concentration en ions (H₃O⁺) ou H⁺. Pour le calculer on utilise la formule:

H₂O = 900 mhos/cm

$$pH = \log \frac{1}{(H_3O)^+}$$

*log 1/40
p = 3,40 - 4 [H₃O⁺]*

Certains milieux présentent des pH caractéristiques comme par exemple:

- milieu acide : pH < 7
- milieu neutre: pH = 7
- milieu basique: 7 < pH < 14

*p = 7 = -log [H⁺]
H⁺*

Les pH d'équilibre dont nous disposons sont déduits directement des représentations des analyses sur les diagrammes verticaux, nous remarquons qu'une partie de leurs valeurs sont inférieures à celles des pH mesurés au laboratoire, ce qui nous conduit à dire que les eaux sont incrustantes (dépôts de carbonates de calcium).

Pour le reste des valeurs, les pH d'équilibre sont supérieurs au pH du laboratoire dont les eaux sont agressives (dissolution de carbonates de calcium). (Tableau 47).

4.4 - CLASSIFICATION D'APRES LES FORMULES CARACTERISTIQUES (Tableaux 48 et 49)

Pour cette campagne d'étiage, les formules ioniques ou caractéristiques obtenues à partir des analyses sont de deux types d'après la classification de STABLER.

a) Premier type: $rCa > rMg > r(Na+K)$
 $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl + NO_3)$

Ce type de formule représente dans le cas des basses-eaux 52% (sur 42 échantillons analysés) et 61% pour les hautes-eaux (sur 28 échantillons analysés).

D'après ce premier type de formule qui est dominant, nous pouvons dire que nos eaux sont hydrogène-carbonatées calciques.

b) Le deuxième type: $rCa > rMg > r(Na + K)$
 $rHCO_3 > r(Cl + NO_3) > rSO_4$

En faisant le même raisonnement que précédemment, nous dirons que ce type représente 31% dans le premier cas et 18% dans le deuxième cas.

Les eaux sont toujours hydrogène-carbonatées calciques, mais pour les anions, r (Cl+NO₃) devient plus important que r SO₄ - nous verrons plus loin dans ce chapitre s'il y a une relation qui pourra mettre en évidence ce changement.

N°échantillon PH	PH d'équilibre	PH mesuré au Laboratoire	N°échantillon PH	PH d'équilibre	PH mesuré au Laboratoire
43	7,78	8,00	119	7,37	7,90
40	7,86	8,10	22	7,35	7,40
95	7,19	7,60	140	7,36	8,10
160	7,40	8,10	17	7,56	8,30
56	7,56	8,10	153	7,74	8,00
275	7,78	8,10	F 85	7,76	8,00
55	7,50	7,37	190	7,50	7,80
63	7,50	7,58	200	7,60	7,70
ET-5	7,90	7,85	77	7,50	7,70
123	7,90	8,10	27	7,53	7,40
75	7,80	7,60	265	7,50	7,90
74	7,6	7,90	562	7,58	7,70
81	7,35	7,30	28	7,77	7,30
79	7,85	7,60	63	7,85	8,00
F 29	7,59	7,30	118	7,75	7,80
53	7,86	7,60	14	7,82	8,20
116	7,25	8,00	175	7,80	8,00
167	7,35	8,00	490	6,95	7,80
187	7,40	7,80	71	7,90	7,50
33	7,54	7,40	196	6,96	7,90
129	7,62	8,30	29	7,75	7,50
106	7,12	7,70			
102	7,16	7,80	180	7,20	7,30

Ce tableau regroupe les pH d'équilibre déduits des diagrammes d'analyse (diagrammes verticaux) et les pH mesurés au laboratoire).

D'une manière générale, nos eaux présentent un pH d'équilibre inférieur au pH mesuré au Laboratoire d'où leur caractère incrustant.

Quand le pH d'équilibre est supérieur au pH mesuré au laboratoire les eaux sont agressives (Ex: Ech.55, ET.5, 75, 81, 53,33, 27 et 71).

Tableau 47 - Comparaison pH d'équilibre - pH mesuré au laboratoire

Tableau 48 - FORMULES IONIQUES OU FORMULES CARACTERISTIQUES (BASSES EAUX)

N°Echant.	Formules	N°Echant.	Formules
5098	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	5905	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
F.43		P.167	
5899	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	6015	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
F.56		P.22	
5904	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	6016	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
P.77		P.562	
5902	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$	6017	$rMg > rCa > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
F.40		6018	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5913	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	P.14	
F.123		6019	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5909	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	P.157	
P.265		6020	$rMg > rCa > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5914	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	F.85	
P.222		6021	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
5910	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$	P.140	
P.106		6022	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+Na) > rSO_4$
5918	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$	P.129	
P.119		6023	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5906	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	P.118	
P.175		6024	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5915	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$	P.62	
P.63		6028	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
5916	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	P.29	
P.116		6029	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5917	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	F.74	
P.190		6030	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
5901	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$	P.17	
P.95		6031	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
5912	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	P.27	
P.153		6032	$rMg > rCa > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
5907	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$	P.71	
P.108		6033	$rMg > rCa > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5903	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$	P.79	
P.200		6034	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
5900	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	F.81	
P.160		6360	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
6035	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	P.28	
P.180		6361	$rNa+K > rCa > rMg$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
6038	$r(Na+K) > rCa > rMg$ $r(Cl+NO_3) > rSO_4 > rHCO_3$	P.490	
P.196		6362	$rCa > rNa+K > rMg$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
6359	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$		
P.29			

Tableau 49- FORMULES CARACTERISTIQUES (HAUTES-EAUX)

N° Echant.	Formules caractéristiques	N° Echant.	Formules caractéristiques
2086 - P.40	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	2077 P.75	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
2080 P.539	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	2071 P.17	"
2095 P.193	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	2073 P.190	"
2079 P.510	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	2085 F.85	"
2083 F.ET-5	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	2070 P.67	"
2075 P.77	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	2085 P.22	"
2076 P.196	$rCa > rMg > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$	2072 F.53	$rMg > rCa > r(Na+K)$ $rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3)$
2084 P.14	"	2078 P.490	$r(Na+K) > rMg > rCa$ $r(Cl+NO_3) > rSO_4 > rHCO_3$
2091 P.118	"	2074 F.74	$rMg > rCa > r(Na+K)$ $rSO_4 > rHCO_3 > r(Cl+NO_3)$
2092 P.200	"	2090 P.129	$rCa > r(Na+K) > rMg$ $rHCO_3 > r(Cl+NO_3) > rSO_4$
2094 P.175	"	2096 P.180	$rCa > r(Na+K) > rMg$ $r(Cl+NO_3) > rHCO_3 > rSO_4$
2087 P.569	"	2069 F.123	$rCa > r(Na+K)$ rMg $rSO_4 > r(Cl+NO_3) > rHCO_3$
2093 P.108	"		
2088 P.116	"		
2081 P.542	"		
2082 P.555	"		

c) Troisième type de formule

Ce sont des formules variables (deuxième cas). Elles représentent 7 et 5 % dans le premier cas, et à peu près 4% pour chacune d'elles dans le deuxième cas.

- Pour le premier cas, les formules sont de type:

$$\left. \begin{array}{l} rMg > rCa > r(Na+K) \\ rHCO_3 > rSO_4 > r(Cl+NO_3) \end{array} \right\} 7\%$$

C'est pourquoi nous pouvons dire que cette catégorie d'eau est de type hydrogénocarbonaté magnésienne.

Conclusion

De cette classification, d'après les formules caractéristiques, nous retiendrons que les eaux du Haut Sébaou se présentent sous forme de mélange de deux types d'eau, à savoir:

- des eaux hydrogénocarbonatées
- calciques et magnésiennes

4.5 - CLASSIFICATION DES EAUX POUR L'IRRIGATION

La qualité des eaux pour l'irrigation est conditionnée principalement par la salinité et le risque d'alcalinisation des sols. Le diagramme basé sur leur conductivité électrique et la relation d'adsorption du sodium (S.A.R.) nous permet de dresser une classification. Nous avons calculé le S.A.R. par la formule:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Mg+Ca}{2}}} \text{ meq.}$$

Les valeurs obtenues sont les suivantes: (tableaux 50 et 51). Nous remarquerons que d'une manière générale, la valeur du S.A.R. augmente avec la conductivité, autrement dit avec la minéralisation totale.

Sur un graphique semi-ligarithmique, nous avons reporté chaque échantillon selon sa conductivité et sa valeur du S.A.R. Ce graphique comprend aussi des classes de conductivité et du S.A.R.

Tableau 50 - VALEURS DU SAR ET CONDUCTIVITES CORRESPONDANTES (BASSES EAUX)

N°ech.	Conduc. mhos/cm	SAR meq.	N°ech.	Conduc. mhos/cm	SAR meq.	N°ech.	Conduc. mhos/cm	SAR meq.
P.180	1300	0.85	P.140	1100	0.51	P.27(AV)	1000	1.10
F.81	1100	0.44	P.119	1000	0.45	P.562	800	0.38
F.79	800	0.52	P.28	800	0.82	P.108	1800	1.61
F.74	900	0.44	P.63	800	0.52	P.75	700	0.52
F.ET.5	700	0.35	P.118	900	0.86	P.116	1900	1.98
F.40	600	0.46	P.14	700	0.38	P.129	800	0.35
P.95	1400	0.94	P.175	700	1.10	P.569	800	1.00
P.160	1000	0.68	P.490	2200	3.10	P.22	1100	0.54
F.56	900	0.53	P.71	800	0.58	P.275	800	0.62
P.187	1000	0.67	P.196	2800	2.40	F.53	800	0.50
P.167	1100	0.56	P.28(AV)	700	0.44	P.59	900	0.50
P.29(AM)	800	0.62	P.190	1000	0.61	P.222	700	0.47
F.55	1200	0.63	F.85	900	1.10	P.96	800	0.38
P.62	900	0.56	P.153	800	0.48	P.77	1000	0.81
P.106	2300	2.10	P.200	1100	1.11	P.17	900	0.62
F.43	700	0.49	F.123	600	0.42	P.265	1000	0.72

Tableau 51 - VALEURS DU SAR ET CONDUCTIVITES CORRESPONDANTES (HAUTES EAUX)

N°ech.	Conduct. mhos/cm	SAR meq.	N°Ech.	Conduct. mhos/cm	SAR meq.
F.123	900	0.98	F.ET.5	600	0.43
P.67	1000	0.95	P.14	800	0.56
P.17	900	0.93	P.22	1000	0.47
F.53	800	0.50	P.40	1100	0.68
P.190	800	0.60	P.569	1000	0.62
F.74	800	0.56	P.116	1800	2.02
P.77	800	0.71	F.85	1000	1.17
P.196	800	0.61	P.129	900	0.66
P.75	600	0.44	P.119	800	0.63
P.490	500	1.31	P.200	900	0.56
P.510	1000	0.50	P.108	700	0.53
P.539	500	0.57	P.175	900	0.45
P.542	1000	0.70	P.180	1500	1.12
P.555	1400	0.85	P.193	1000	0.57

N.B. : AV. = Aval ; AM. = Amont.

- Pour les conductivités (à 25°C), les classes sont les suivantes:

C₁ = σ < 250 μmhos/cm : eau de faible salinité

C₂ = 250 < σ < 750 μmhos/cm: eau de salinité moyenne

C₃ = 750 < σ < 2250 μmhos/cm: eau à forte salinité

C₄ = 2250 < σ < 5000 μmhos/cm: eau à très forte salinité

- La classification relative au taux d'adsorption du sodium (SAR) est la suivante:

S₁ = SAR < 10 : eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols;

S₂ = SAR = 10 à 18 : eaux utilisées avec danger appréciable d'alcalinisation des sols

S₃ = SAR = 18 à 26 : eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation des sols

S₄ = SAR > 26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort

A travers les résultats du SAR obtenus, et les conductivités correspondantes, nous remarquons que les eaux de l'aquifère du Haut Sébaou peuvent être utilisées avec peu de dangers pour l'alcalinisation des sols. Ceci se justifie par le fait qu'elles présentent un SAR < 10, malgré des conductivités parfois élevées.

Ce résultat est illustré par la figure (fig.104), sur laquelle nous remarquons en effet que les échantillons se situent à 80% dans la classe C₃S₁.

5 - NOTION D'INDICE D'ÉCHANGE DE BASES (I.E.B)

5.1 - GENERALITES

Les argiles n'étant pas les seules substances des roches susceptibles d'échanger les cations, les échangeurs minéraux seront appelés Permatolites (SCHOELLER, "Les eaux souterraines" 1962, p.351).

Dans des eaux renfermant principalement les cations Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ et H⁺, nous pourrions avoir les échanges de bases suivantes:

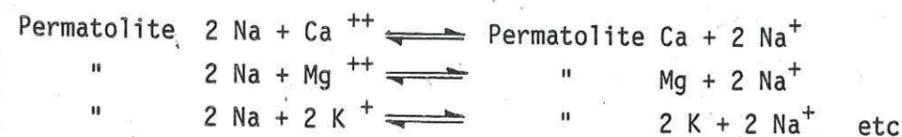
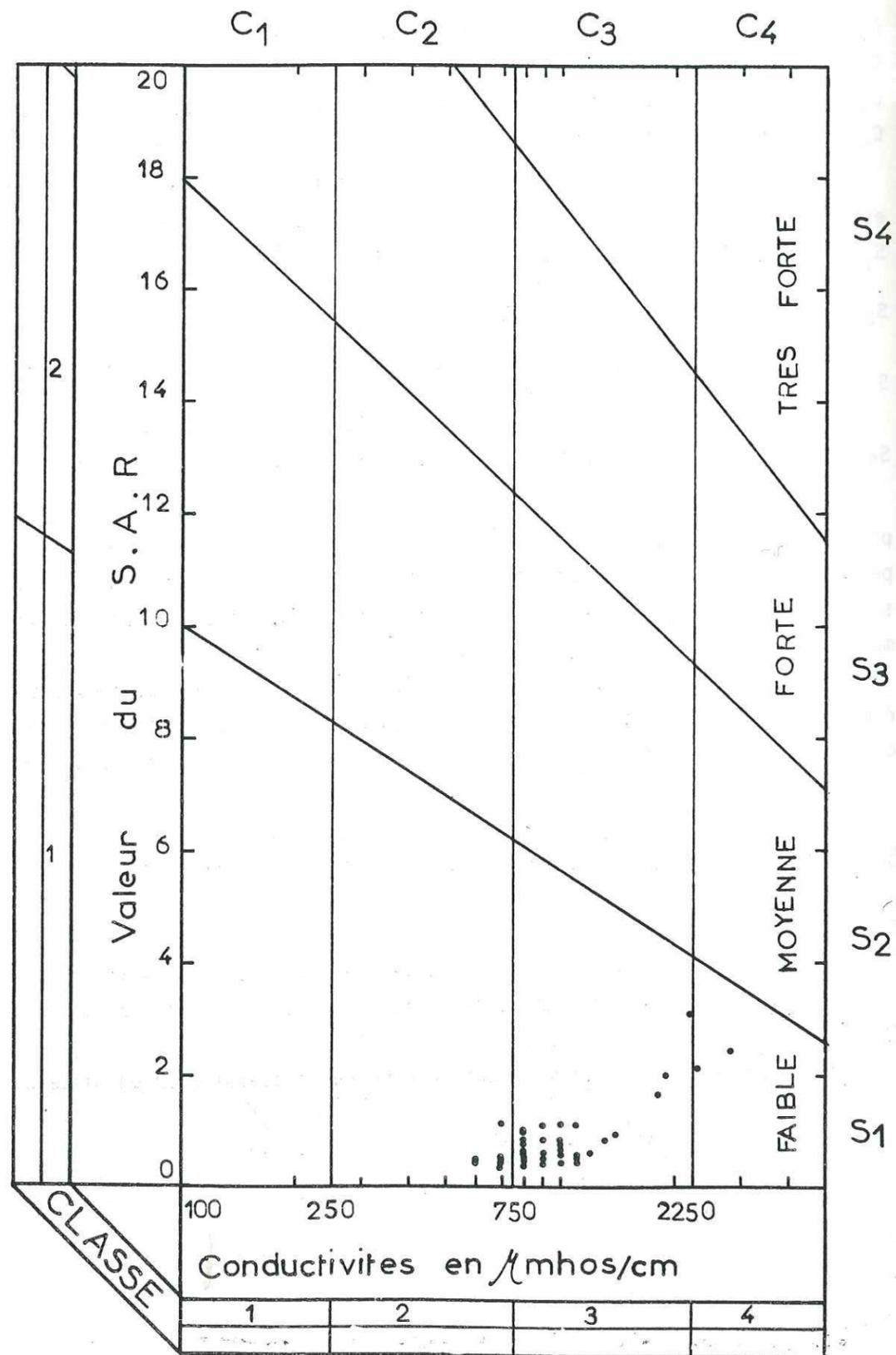


FIG 104 CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION



Les échanges de bases peuvent donc modifier complètement les rapports des cations dans les eaux, en particulier:

K/Na, Na/Ca, Na/Mg et Mg/Ca

Selon SCHOELLER (1934), l'indice d'échange de bases est le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants.

Si on admet qu'initialement l'eau renferme autant de rCl que de r (Na+K), alors deux cas d'échange de bases sont susceptibles de se réaliser.

1/ Echange des alcalins de l'eau contre les alcalino-terreux des permatolites, ainsi

$$I.E.B = r \frac{Cl - (Na+K)}{Cl}$$

2/ Echange des alcalins-terreux de l'eau contre les alcalins des permatolites et l'I.E.B. sera:

$$I.E.B. = r \frac{Cl - (Na + K)}{SO_4 + HCO_3 + NO_3}$$

5.2 - INTERPRETATION DES RESULTATS

Pour notre part, nous avons considéré en basses et hautes eaux les deux échanges possibles. Nous obtenons des I.E.B. positifs et négatifs (tableaux 52 et 53).

Les valeurs négatives de l'I.E.B. attestent vraisemblablement d'une alimentation de la part des roches cristallophylliennes (socle kabyle). Le lessivage de ces formations, en effet, libère une part importante de Na⁺ et K⁺.

Pour les valeurs positives, nous avons un déséquilibre en chlore. L'origine des chlorures pourrait être soit de source atmosphérique, soit par lessivage de traces de gypse que l'on rencontre dans les marnes du Miocène.

Au niveau de l'aquifère les échanges de bases se seraient produits au niveau de la couche pédologique de surface, et des lentilles argileuses. Les mécanismes d'échange de bases pourraient se résumer ainsi.

- 1/ I.E.B. = 0 Il y a équilibre entre la composition chimique de l'eau et de l'encaissant
- 2/ I.E.B. < 0 L'encaissant libère le sodium et le potassium et fixe le calcium
- 3/ I.E.B. > 0 L'encaissant libère le calcium et fixe le sodium et le potassium

Tableau 52 - COMPARAISON DES INDICES D'ECHANGE DE BASES CALCULES

N°Ech.	I.E.B.		N°Ech.	I.E.B.	
	$\frac{Cl-(Na+K)}{Cl}$	$\frac{Cl-(Na+K)}{SO_4+HCO_3+NO_3}$		$\frac{Cl-(Na+K)}{Cl}$	$\frac{Cl-(Na+K)}{SO_4+HCO_3+NO_3}$
F.43	-0.14	-0.54	P.562	0.00	0.00
F.56	0.09	0.71	F.ET5	0.22	0.04
P.77	-0.25	-0.04	P.14	0.13	0.50
F.40	0.13	0.50	P.187	0.00	0.00
F.123	0.00	0.00	F.85	-0.50	-0.11
P.265	0.00	0.00	P.140	0.15	0.03
P.222	0.00	0.00	P.129	0.22	0.07
P.106	0.28	0.18	P.118	-0.28	-0.63
P.119	0.35	0.07	P.62	-0.22	-0.02
P.175	-0.54	-0.11	P.29(AV)	0.20	0.03
P.116	-0.40	-0.10	F.74	0.25	0.04
P.190	-0.09	-0.01	P.17	-0.33	-0.04
P.95	0.33	0.11	P.27(AV)	0.13	0.05
P.153	-0.50	-0.04	P.71	0.09	0.02
P.108	0.40	0.30	F.79	-0.11	-0.02
P.200	0.26	0.13	F.31	-0.11	-0.01
P.160	-0.36	-0.05	P.28(AM)	-1.14	-0.12
P.180	-0.53	-0.02	P.490	-0.41	-0.20
P.196	0.02	0.01	P.63(AM)	0.25	0.03
P.29(AM)	-0.71	-0.08	P.569	-0.51	-0.10
P.167	0.19	0.03	P.22	0.00	0.00

(Hautes eaux)

Tableau 53

N°Ech.	I.E.B.		N°Ech.	I.E.B.	
	$\frac{Cl-(Na+K)}{Cl}$	$\frac{Cl-(Na+K)}{SO_4+HCO_3+NO_3}$		$\frac{Cl-(Na+K)}{Cl}$	$\frac{Cl-(Na+K)}{SO_4+HCO_3+NO_3}$
F.123	0.02	-0.60	P.22	0.04	0.21
P.75	0.02	-0.14	P.40	0.01	0.06
P.67	0.06	0.17	P.116	-0.10	-0.38
P.17	0.09	0.21	F.85	-0.11	-0.79
F.53	0.03	0.17	P.118	-0.03	-0.20
P.190	0.02	0.08	P.200	-0.03	-0.20
F.74	0.03	0.17	P.108	-0.05	-0.43
P.77	0.02	-0.08	P.175	0.01	0.09
P.196	0.06	-0.50	P.129	-0.04	-0.30
P.490	0.05	-0.05	P.569	0.01	0.07
P.510	0.04	0.21	P.193	-0.00	0.00
P.539	0.03	0.09	P.180	0.09	-0.49
P.542	0.00	-0.00			
P.555	0.03	0.15			
F.ET.5	0.00	-0.00			
P.14	0.02	0.10			

(Basses eaux)

Conclusion

Nous venons de mettre en évidence le phénomène d'échange de bases qui peut-être à l'origine de la modification du chimisme de l'eau. Mais ces résultats sont à considérer avec soins, car on ne peut négliger le rôle de l'évaporation qui peut engendrer la précipitation des éléments comme les sels de calcium et de sodium.

5.3 - EVOLUTION DES INDICES D'ECHANGE DE BASES ENTRE HAUTES ET BASSES EAUX (Tableau 54)

L'examen de ce tableau, nous montre que la chimie de l'eau subit des modifications entre hautes et basses eaux. En effet, nous avons des endroits où l'eau continue à fixer du calcium et le permatolite à libérer du sodium et du potassium.

Ce sont les exemples des ouvrages: P 116, P 77, P 180, F 85 et P 490.

En d'autres, la libération du calcium par le permatolite se poursuit parallèlement à la fixation par l'eau du sodium et du Potassium. C'est l'exemple du forage 74.

La troisième modification de la composition chimique de l'eau se caractérise par un passage d'un I.E.B. négatif à positif et inversement, et aussi par un passage d'un état d'équilibre à un I.E.B. (négatif à positif).

Dans le premier cas, nous pouvons dire que l'état d'équilibre se réalise probablement avec la recharge de la nappe par les précipitations et que progressivement la concentration en chlorure augmente en hautes eaux. Ce sont les exemples des points d'eau: P 175, P 190, P 108, P 200, P 196, P 140 et P 129.

Enfin, le dernier cas consiste en une évolution vers un état d'équilibre (F. ET-5) ou une rupture de cet état d'équilibre, ex: F 123, P 22.

N°Ech.	I.E.B. = $\frac{Cl-(Na+K)}{Cl}$	
	Basses eaux	Hautes eaux
P.77	-0.25	-0.02
P.123	0.00	-0.02
P.175	-0.64	0.01
P.116	-0.40	-0.10
P.190	-0.09	0.02
P.108	0.40	-0.05
P.200	0.26	-0.03
P.180	-0.53	-0.09
P.196	0.02	-0.06
F.ET.5	0.22	0.00
P.14	0.13	-0.02
F.85	-0.50	-0.11
P.129	0.22	-0.04
F.74	0.25	0.03
P.22	0.00	0.04
P.490	-0.41	-0.05

Tableau 54. Evolution des indices d'échange de bases entre hautes et basses eaux.

6 - LES CARTES DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES ET DES FACIES CHIMIQUES

6.1 - INTRODUCTION

Vus les faciès chimiques: Bicarbonatés, calciques, sulfatés et magnésiens des eaux, fournis par les analyses chimiques, nous avons opté pour l'étude des rapports caractéristiques

$$\frac{r \text{ Mg}}{r \text{ Ca}} \quad \text{et} \quad \frac{r \text{ HCO}_3}{r \text{ SO}_4}$$

Avant d'entamer les commentaires des cartes de ces rapports, nous voudrions signaler que l'exploitation des résultats nous a permis de faire les remarques suivantes:

1/ 20 % des échantillons ont un rapport rMg/rCa en basses eaux supérieur à celui des hautes eaux et les 80% restant présentent un rapport rMg/rCa plutôt inférieur à celui des hautes eaux.

2/ A partir de ces deux remarques, nous pouvons déduire que les concentrations en Ca et Mg sont plus importantes en hautes eaux qu'en basses eaux.

3/ S'agissant du rapport rHCO3/rSO4 nous avons 30% des échantillons dont la valeur du rapport en basses eaux est inférieur à celle en hautes eaux, et donc les 70% restant présentent des valeurs en basses eaux supérieures à celles en hautes eaux.

4/ Comme précédemment, nous pouvons déduire qu'en basses eaux, les teneurs en HCO3 et SO4 sont les plus importantes.

Conclusion. Sous réserve de nouvelles analyses, nous pouvons dire:

- qu'en basses eaux les concentrations en sulfates et carbonates sont prédominantes

- et qu'en hautes eaux ce sont les teneurs en magnésium et en calcium, qui sont les plus élevées.

En fait dans un cas comme dans l'autre, cette prédominance n'est peut être que qualitative, car nous avons essayé de la mettre en évidence au moyen des corrélations successives des deux rapports caractéristiques avec la conductivité, et nous n'avons obtenu aucune relation.

De même que la corrélation des deux rapports entre eux ne nous conduit pas à un résultat dans ce sens.

Pour chaque représentation, nous obtenons un nuage de points assez confus témoignant peut être d'une minéralisation peu variable pour ces deux périodes d'échantillonnage comparativement à la minéralisation totale.

6.2 - INTERPRETATION DE LA CARTE DES EQUI-RAPPORTS HCO3/SO4

(Fig; 105) .

En examinant cette carte, nous remarquons tout d'abord que les équi-rapports varient de 2 à 8, ce qui veut dire que la concentration en carbonates est au moins double, sinon huit fois supérieur à celle des sulfates.

Au niveau de la confluence oued Aissi - oued Sébaou, les équi-rapports passent de 3 à 5 matérialisant un apport des eaux de l'oued Aissi riches en HCO3 et pauvres en SO4.

Cet enrichissement en HCO3 est aussi visible sur l'oued Sébaou, avant la confluence avec l'oued Aissi avec des équirapports passant de 2 à 5.

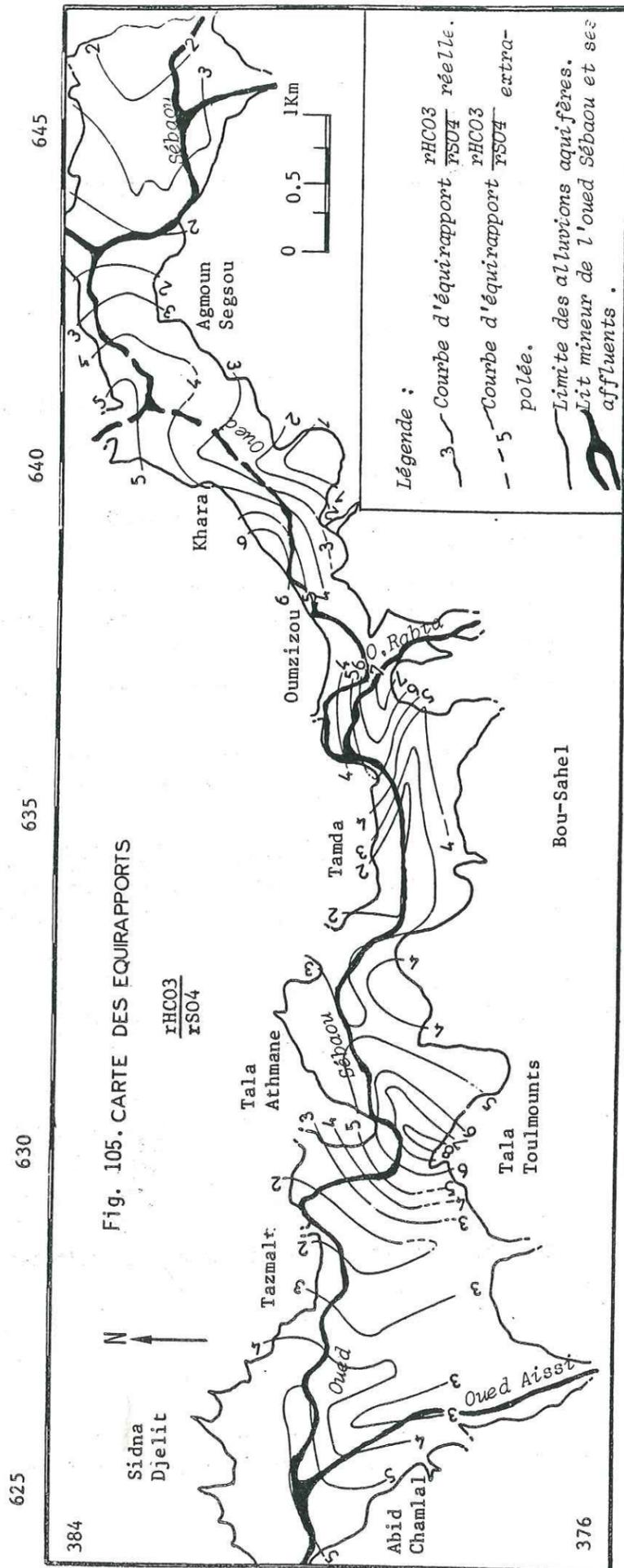
Au niveau du forage 81, la teneur en HCO3 est très importante, celle-ci s'atténuant dans l'axe de la vallée, et à l'Est comme à l'Ouest de ce point d'eau par le phénomène de dilution. Cette atténuation des équirapports pourrait s'expliquer aussi, soit par la constance de SO4 et la diminution de HCO3, soit par la constance de HCO3 et l'augmentation de SO4. Ces deux hypothèses ne peuvent être confirmées ou infirmées qu'avec l'établissement des cartes de chacun des ions séparément.

La même particularité se retrouve au niveau de l'oued Aissi et de l'oued Rabta (puits 17). Au niveau des puits 167 et 196, les équirapports sont respectivement de 6 et 1. Dans cette zone l'explication plausible serait que les eaux traversant les argiles grises ou bleues à passées gréseuses (carte géomorphologie) s'enrichissent en HCO3. A la confluence oued Imdoussen - oued Sebaou, nous notons la même remarque que précédemment.

Conclusion

La part des bicarbonates dans les eaux provient essentiellement des affluents (Aissi, Rabta, Imdoussen et Dis). Pour le reste des versants, on note un apport de sulfates et une diminution des bicarbonates dans le sens versant — axe de la vallée. Ce phénomène pourrait s'expliquer par le transit des eaux dans des terrains différents.

Dans l'ensemble de la vallée, nous n'avons pas d'évolution particulière. Ceci étant dû peut être à ces perturbations latérales. Afin de lever les hypothèses précédentes, nous avons entrepris de tracer les cartes d'isoteneurs en HCO3 et SO4.



6.3 - INTERPRETATION DES CARTES D'ISOTENEUR EN HCO_3 ET SO_4 ET DE LA CARTE DES $rHCO_3/SO_4$ (fig.105, 106 et 107)

D'une façon générale, les teneurs en HCO_3 sont plus fortes sur les versants (exemple: valeurs de 360 mg/l à 500 mg/l et plus), que dans le centre de la vallée (240 à 360 mg/l).

Ces concentrations décroissent dans le sens versants-centre de la vallée. Dans la région de Sikh-ou-Meddour on a le phénomène inverse à savoir que les teneurs décroissent dans le sens centre de la vallée - versants.

La comparaison des deux cartes (rapports caractéristiques $rHCO_3/rSO_4$ et isoteneur en HCO_3) montre que:

- les croissances ou les décroissances du rapport ou des teneurs dans le sens considéré plus haut, ne se superposent pas, mais en raisonnant localement on peut dire que:
 - autour de la région de Sikh-ou-Meddour, nous avons deux tendances:

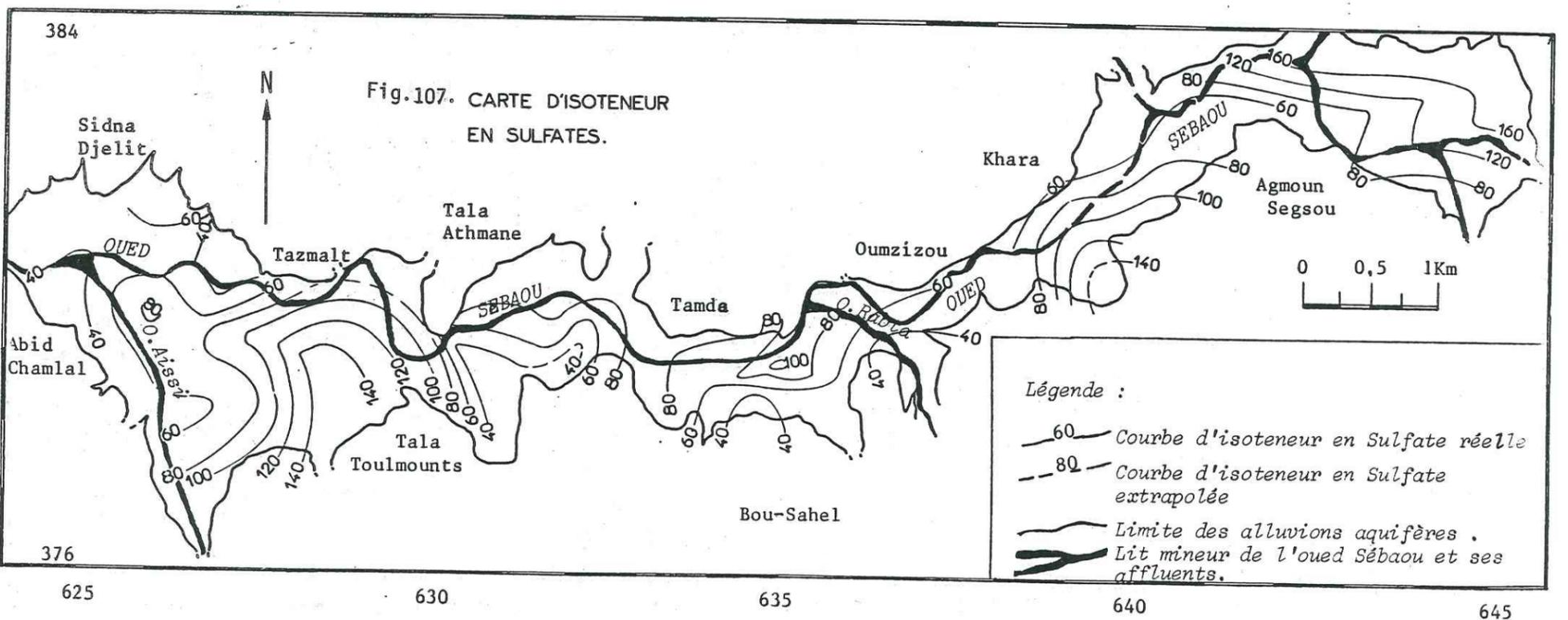
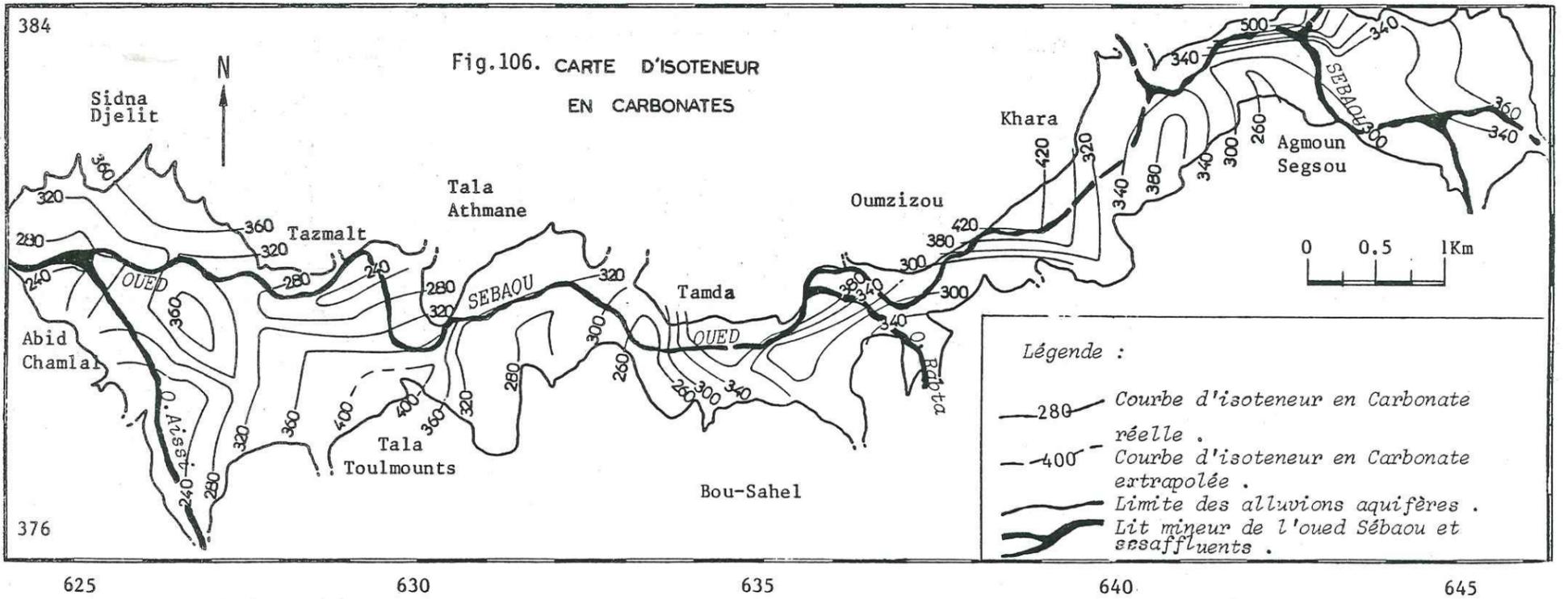
- d'amont en aval, une augmentation des teneurs en HCO_3 correspondant à une augmentation du rapport $rHCO_3/rSO_4$ confirmant ainsi l'apport des bicarbonates.
- d'aval en amont (Toujours/Sikh-ou-Meddour), nous avons une croissance des teneurs en SO_4 et HCO_3 . Cependant comme le rapport $rHCO_3/SO_4$ diminue, nous pouvons conclure que l'augmentation de la teneur en SO_4 se fait rapidement par rapport à celle de HCO_3 .

- Au Sud de Tala-Athmane à la décroissance du rapport $rHCO_3/rSO_4$ correspond une décroissance de la teneur en HCO_3 , et donc dans cette région on a plutôt un apport en sulfate, ceci est aussi confirmé sur la carte de SO_4 .

- A Tamda, nous avons deux zones de croissance et décroissance de $rHCO_3/rSO_4$ correspondant à une décroissance et une croissance de HCO_3 , donc à une croissance du rapport correspond une augmentation simultanée de HCO_3 et SO_4 , et à la diminution du rapport correspondrait une décroissance des bicarbonates et une croissance des sulfates des versants vers le centre de la vallée.

Cette même particularité se retrouve entre Khara et oued Imoussou où l'on a à partir des versants, un appauvrissement en HCO_3 et un enrichissement en SO_4 .

Dans la partie tout à fait amont, nous avons une diminution des sulfates et des bicarbonates qui traduisent bien la diminution du rapport $rHCO_3/rSO_4$.



6.4 - INTERPRETATION DE LA CARTE DES EQUIRAPPORTS rMg/rCa (fig.108)

La première constatation qui ressort de cette carte est qu'il n'y a pas d'évolution apparente d'amont en aval. Cette absence d'évolution étant certainement perturbée par les apports latéraux.

Cependant, l'analyse détaillée nous permet de noter les particularités suivantes:

- Au niveau de l'oued Aissi, la valeur du rapport est forte en amont et diminue vers la confluence avec le Sébaou; laquelle diminution peut signifier soit la baisse de la concentration en magnésium, soit la baisse simultanée des concentrations en magnésium et en calcium, ou enfin une augmentation de calcium, le magnésium restant constant.

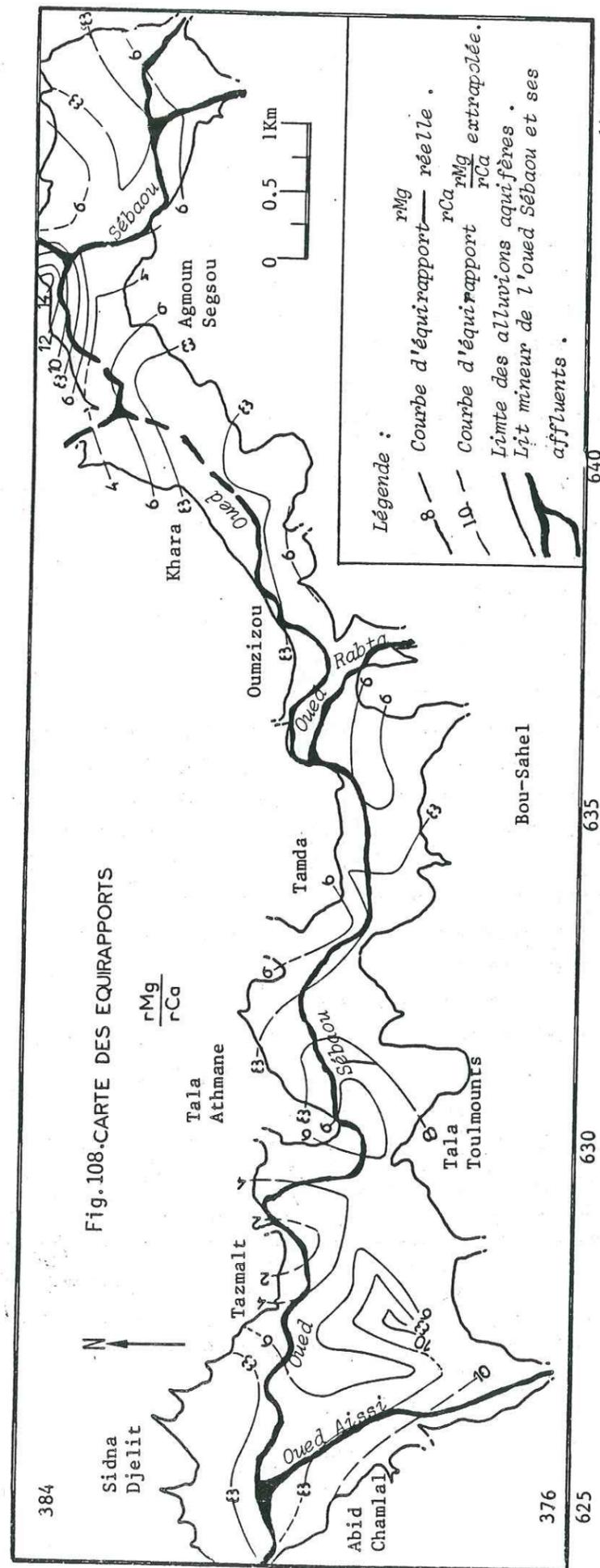
- La même particularité peut être signalée au niveau de Sikh-ou-Meddour, dans la mesure où l'on observe une diminution du rapport dans le sens versant — Axe de la vallée.

- De Tazmalt jusqu'à Khara, on a un phénomène tout à fait inverse aux deux précédents, à savoir que le rapport augmente des versants vers l'axe de la vallée. Cette augmentation peut signifier soit une augmentation de Mg et Ca restant constant, soit une diminution du calcium, et le magnésium restant constant, soit enfin une augmentation du calcium et du magnésium.

Après Khara, sur la rive gauche de l'oued Dis, au puits 116 on a un rapport anormalement élevé, celui-ci peut être dû à un apport important de magnésium par l'oued Dis. Cet apport s'atténue d'ailleurs au droit de la confluence avec le Sébaou.

- Dans la deuxième partie amont, nous retrouvons le même processus que pour l'oued Aïssi.

Conclusion: Deux types de phénomènes évoluent parallèlement, d'une part le rapport rMg/rCa décroît dans le sens versants-plaine (Abid-Chamlal - Sikh-ou-Meddour) et d'autre part rMg/rCa croît des versants-vers la plaine (Tazmalt-Sikh-ou-Meddour). La mise en évidence de ces deux caractéristiques nous incite, vu les possibilités discutées plus haut à représenter les cartes d'isoteneurs en Magnésium et Calcium pour apporter des éclaircissements quant aux apports ou non déjà cités.



6.5 - INTERPRETATION DES CARTES D'ISOTENEUR EN Mg et Ca ET DE LA CARTE DES RAPPORTS rMg/rCa (fig. 108, 109, 110)

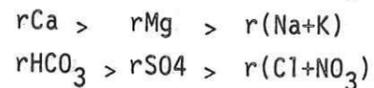
La considération de ces trois cartes à la fois nous permet une fois de plus de lever l'hypothèse sur l'apport ou non de Ca ou Mg, depuis les affluents ou les versants. Ainsi, nous constatons, que comme pour les commentaires des trois premières cartes, la diminution du rapport rMg/rCa traduit un apport de calcium, et une augmentation de ce dernier, un apport de magnésium. Notons aussi qu'on peut avoir un apport simultané de magnésium et de calcium, c'est le cas de l'amont de Tamda et de la confluence de l'oued Dis.

6.6 - INTERPRETATION DE LA CARTE DES FACIES CHIMIQUES (fig.111)

A partir des résultats d'analyses des échantillons recueillis en basses eaux, nous avons tenté de caractériser les faciès chimiques des eaux. Ainsi, nous obtenons trois types de faciès que nous avons reportés sur une carte.

L'interprétation de cette carte, nous montre bien qu'on peut considérer trois domaines différents.

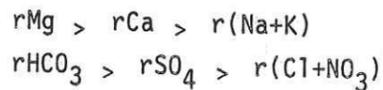
L'amont de la vallée représenté plutôt par le faciès :



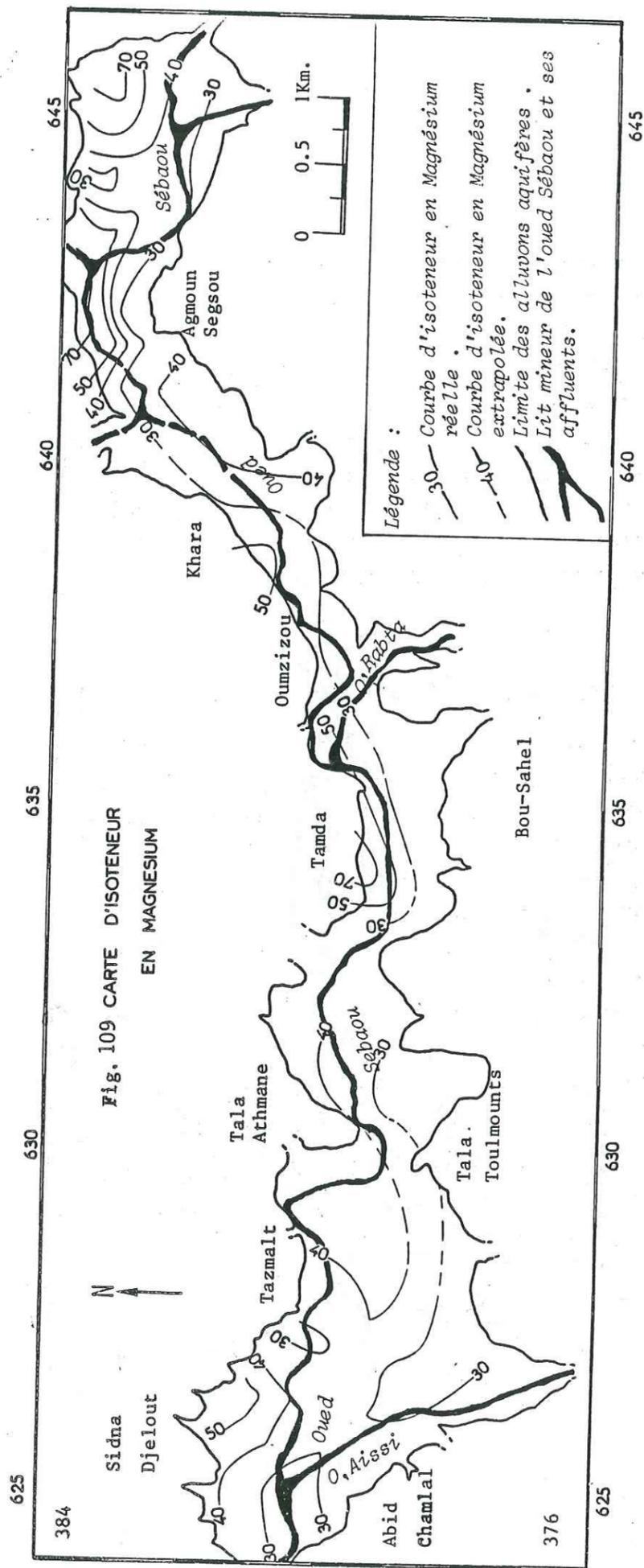
Le centre de la vallée par

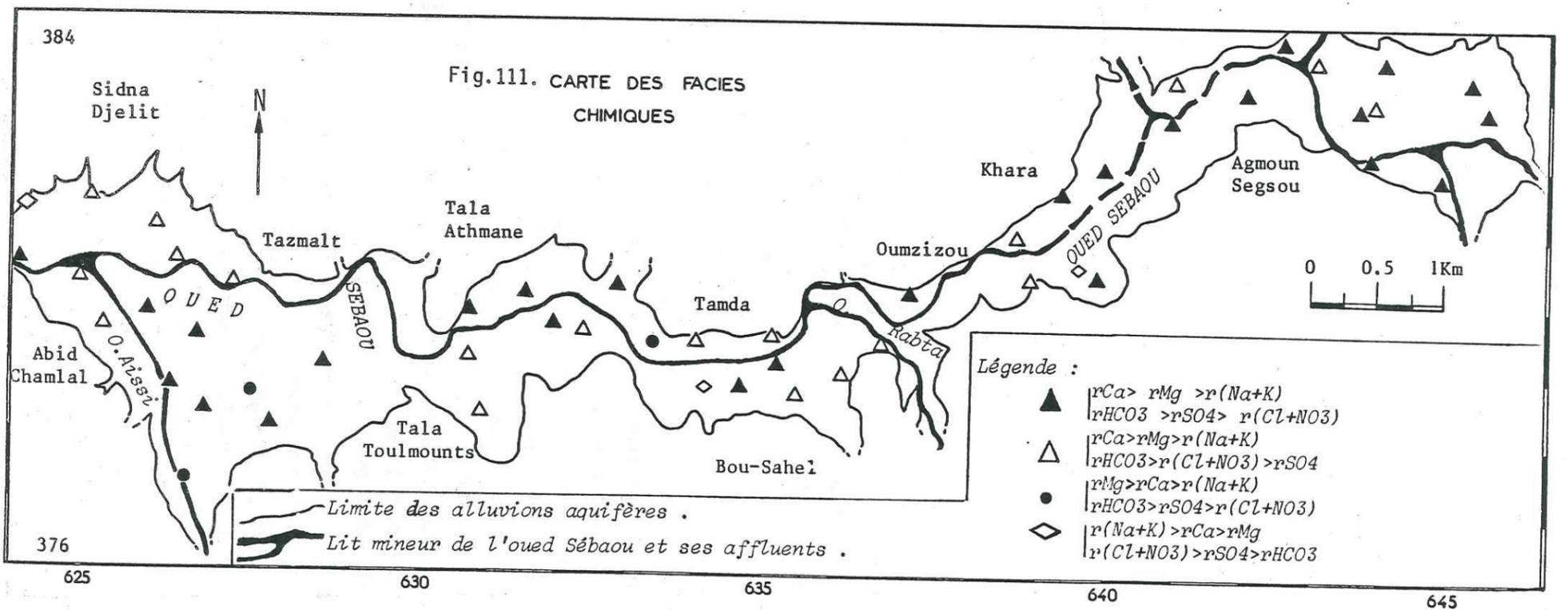
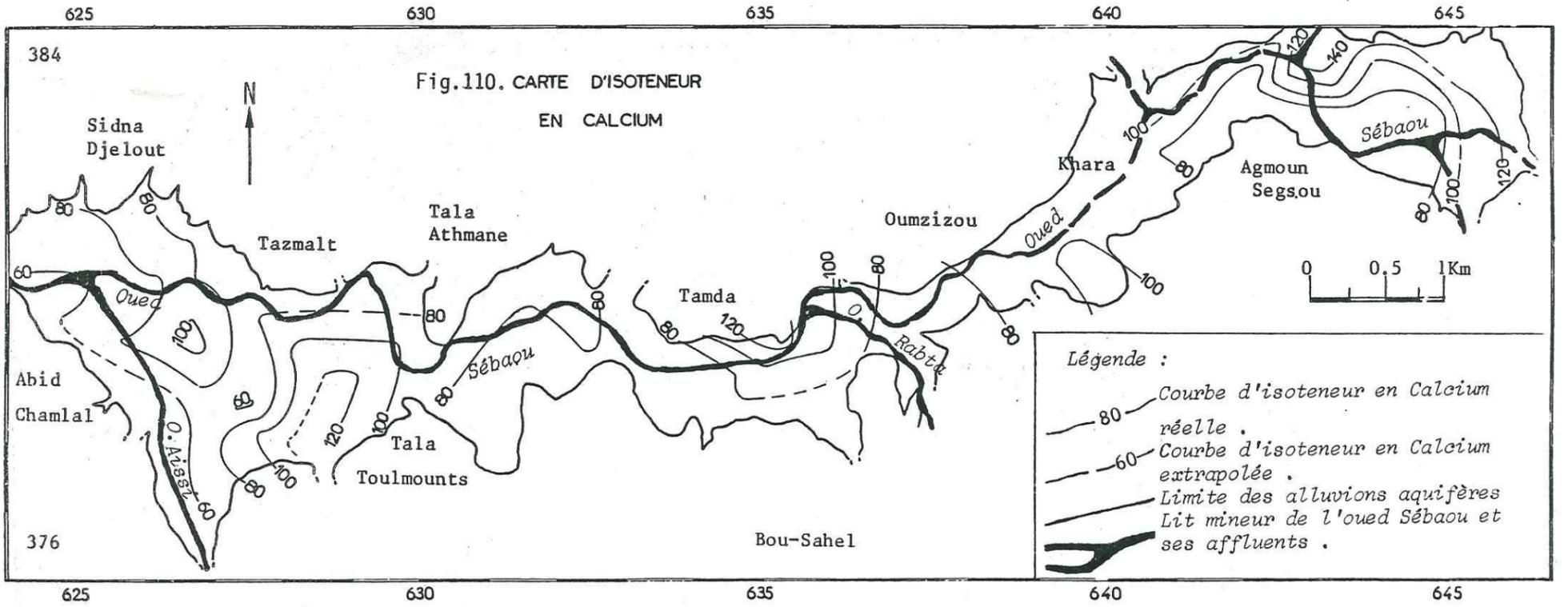


en proportion importante, et enfin l'aval avec les deux faciès précédents en proportions équivalentes. Signalons qu'un troisième faciès de type



rencontré au centre, se retrouve en aval.





Mis à part le problème statistique, c'est-à-dire de représentativité des échantillons, on peut supposer qu'en amont les eaux sont du type 1er faciès, au centre les eaux, par les apports latéraux s'enrichissent en chlorure et nitrates, d'où le 2ème faciès, et qu'en aval nous nous retrouvons avec les deux faciès en présence.

L'évolution de la composition chimique de l'eau existe vraisemblablement, mais une seule campagne n'est peut être pas suffisante pour la confirmer.

CONCLUSION

De cette étude hydrochimique, nous retiendrons que les eaux de la plaine alluviale du haut Sèbaou présentent des conductivités comprises généralement entre 600 et 1000 mhos/cm, distribuées régulièrement sur l'ensemble de l'aquifère. Ces valeurs assez élevées impliquent une minéralisation importante.

Le faible écart qui existe entre les valeurs des conductivités, atteste à notre avis de l'existence d'un seul type d'eau dont la composition chimique et parallèlement la conductivité évoluent en fonction du temps de séjour au contact de l'encaissant.

Cette évolution parallèle de la composition chimique et de la conductivité, nous avons réussi à la mettre en évidence au moyen de la relation "conductivités-salinités" en basses et hautes eaux.

La composition chimique des eaux est influencée d'une part par les apports des versants (lessivage) et d'autre part par les modifications susceptibles de se produire dans l'aquifère lui-même (échanges de bases).

Malgré les teneurs élevées (en basses eaux) des différents éléments, les normes de l'OMS* pour l'eau potable sont respectées.

L'exploitation des résultats des analyses nous a permis de classer les eaux, d'une part dans le faciès bicarbonaté calcique sulfaté et magnésien (pour la majorité des eaux), et d'autre part dans le faciès bicarbonaté calcique chloruré et magnésien.

Enfin, malgré leurs caractères incrustants et durs, les eaux restent propices à l'irrigation.

* Organisme Mondial de la Santé

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Au terme de cette étude hydrogéologique menée sur la plaine alluviale du haut Sébaou, nous ne pouvons omettre de souligner d'une part, l'apport et l'acquisition de nouvelles méthodes d'investigation, aussi bien théoriques que pratiques, d'autre part, notre modeste contribution pour une meilleure maîtrise des ressources en eaux superficielles et souterraines dans cette région.

Situé en moyenne à une vingtaine de kilomètres de la Méditerranée, entre la chaîne côtière au Nord et le versant nord du Djurdjura (Lala Khédidja : 2308 m) au Sud, qui fait écran aux vents humides de la Méditerranée, le bassin versant bénéficie d'une pluviosité importante. En effet, malgré l'irrégularité des précipitations (surtout ces dernières années), la région reçoit annuellement en moyenne 900 mm de pluies qui se répartissent selon deux périodes : septembre-octobre et février-avril, l'indice saisonnier étant automne, hiver, printemps, été (A.H.P.E). Quoique l'altitude moyenne du bassin versant soit de l'ordre de 656m, les variations locales de la pluviométrie s'identifient plutôt à une caractéristique climatique de l'Algérie du Nord, à savoir l'augmentation de la pluviosité d'Ouest en Est.

En dépit d'une pluviosité appréciable, la température annuelle moyenne reste élevée (de l'ordre de 19° C), vus les minimums hivernaux (7° C) et les maximums estivaux (30° C). De ce fait, l'évapotranspiration estimée à plus ou moins 2/3 des précipitations (environ 65 %) amoindrit considérablement les possibilités d'une régulation naturelle des ressources de l'aquifère.

Partie intégrante du Tell septentrional, le bassin versant présente une géologie assez complexe tant à l'échelle continentale qu'intercontinentale (orogène alpin périméditerranéen) que régionale (orogénèse alpine de l'Algérie du Nord).

Dans le contexte actuel des connaissances et des hypothèses sur la géologie de la région, l'éventail chronologique s'identifie aux faciès suivants :

- Paléozoïque (LLANVIRN) : socle kabyle ;
- Mésozoïque (Trias, Jurassique et Crétacé) : flyschs, marnes, calcaires et calcaires dolomitiques ;

- Cénozoïque : (Oligocène et Miocène) : flyschs, grès-micacés, calcaires, calcaires silicifiés (Oligo-miocène kabyle); grès et marnes (Miocène post-nappe) ;
- Quaternaire : dépôts alluvionnaires sous forme de terrasses emboîtées et étagées.

Le schéma structural actuel : structure en écaillés de la chaîne calcaire, position des unités charriées (flyschs) et la tectonique souple et cassante sont en grande partie les conséquences de l'orogénèse alpine.

Certes, la tectonique fini-miocène n'est pas de même ampleur que celle de l'orogénèse alpine anté-miocène, mais les déformations induites et la surrection des chaînons côtiers et du Belloua-Aissa-Mimoun, soulèvent des hypothèses d'antécédance ou de surimposition du réseau hydrographique. Dans cette optique, l'ouéd Sébaou aurait été jusqu'au Pliocène un affluent de l'oued Isser.

Parmi les formations géologiques du bassin versant, il en est essentiellement trois qui jouissent de propriétés hydrogéologiques importantes. Il s'agit de formations jurassiques et crétacées constituant le karst du Djurdjura et des marnes du Langhien-Serravalien, assurant l'étanchéité du réservoir aquifère alluvionnaire exploité actuellement.

L'extension de cet aquifère se limite aux terrasses alluviales 5,6 et le lit majeur actuel de l'oued Sébaou.

Les terrasses plus anciennes (1 à 4) sont à une côte topographique plus élevée que les précédentes et ont des épaisseurs faibles. De ce fait, elles se vidangent dans l'aquifère principal.

L'exploitation des données de la géophysique et des sondages mécaniques a montré que le remplissage alluvial est constitué par des sables, graviers et galets.

L'épaisseur des alluvions est plus importante en aval (environ 20 m) qu'en amont (7 à 8 m). Elle décroît aussi latéralement par rapport à l'axe de la vallée.

L'étude piézométrique a montré qu'aussi bien en hautes qu'en basses eaux, l'oued Sébaou draine la nappe.

D'ailleurs, l'axe d'écoulement des eaux souterraines principal (axe de drainage) coïncide avec l'écoulement superficiel de l'oued.

Les gradients hydrauliques sont assez forts sur les versants ($i = 10^{-1}$) et moyens dans l'axe de la vallée ($i = 10^{-2}$). Enfin, les battements naturels de la nappe vont de 2 à 4 m.

L'interprétation des essais de débits par des méthodes appropriées nous ont permis d'estimer les caractéristiques hydrodynamiques. Ainsi, nous obtenons des transmissivités de l'ordre de $10^{-2} m^2/s$, un coefficient d'emménagement moyen voisin de 6 % et des perméabilités de l'ordre de $10^{-3} m/s$.

La connaissance du tarissement naturel de la nappe et de ses caractéristiques hydrodynamiques, nous a permis de chiffrer les réserves régulatrices. Ce résultat, confronté à celui obtenu par la méthode du bilan hydrologique, justifie la confiance et la logique de la démarche des méthodes d'études employées.

Dans les conditions actuelles, nous avons donné un ordre de grandeur de 635 l/s pour une meilleure exploitation de la nappe.

Malgré leur caractère d'eau dure et incrustante, les eaux du Sébaou présentent les normes d'une eau de bonne qualité. Les faciès chimiques dominants sont: bicarbonaté calcique, sulfaté et magnésien, bicarbonaté calcique, chloruré et magnésien. Elles sont très bonnes pour l'agriculture, malgré leur importante minéralisation.

D'amont en aval de la vallée, il est mis en évidence une évolution du faciès chimique allant du bicarbonaté calcique sulfaté et magnésien en amont au bicarbonaté calcique enrichi en chlorures et nitrates à mi-parcours de la vallée (entre Tamda et Oumzizou) et enfin en aval à la présence simultanée de ces deux faciès précités.

L'interprétation des cartes des rapports caractéristiques $\frac{rHCO_3}{rSO_4}$ et $\frac{rMg}{rCa}$ montre que l'enrichissement des eaux en sels dissous s'effectue depuis les versants.

Les échanges de base témoignent de la variabilité de la composition chimique due à des apports d'eaux de faciès chimiques différents ou au phénomène d'évapotranspiration.

635 l/s → 20.10⁶ l/s

Dans le souci de préserver la ressource de toute pollution et d'en assurer la gestion rationnelle, il serait souhaitable de veiller à l'entretien des stations d'épuration et de traitement des eaux déjà existantes et de réaliser, dans les meilleurs délais, les retenues collinaires en projet sur les oueds Aissi et Dis.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

AIGOUN Ch. (1982).- Etude hydrogéologique de la plaine alluviale du bas Sébaou. Mémoire d'Ingénieur. Alger.

ALGED (Société Algérienne de Géophysique) (1979).- Etude géoélectrique des alluvions de l'oued Dis, au Sud-Est de Fréha. Algérie.

BENHASSAINE M. (1980).- Recherche sur les modèles du relief et les formations superficielles dans la vallée de l'oued Sébaou.

BESBES M. (1971).- Ressources en eau de la Tunisie. Thèse de 3e cycle.

B.I.R.H. (1974).- Bureau de Réalisation des Infrastructures Hydrauliques. Etude hydrogéologique de la nappe alluviale du Sébaou. Enquête sur les débits. Alger.

BOIS Ph. (1979-1980).- Hydrogéologie générale. Manuel E.N.S.H. Grenoble.

BOSSIERE G. (1974).- Etat actuel des connaissances sur l'évolution du massif cristallophyllien de Grande Kabylie. 2ème réunion annuelle des Sciences de la Terre. Nancy.

BOUZAR I. (1980).- Hydrogéologie du haut Sébaou. Mémoire d'Ingénieur. Alger.

CASTANY G. (1967).- Traité pratique des eaux souterraines. Edition DUNOD, Paris.

CASTANY G. (1968).- Prospections et exploitations des eaux souterraines. Edition DUNOD-Paris.

CEBEDEAU (1966).- Le livre de l'eau. Guide pratique à l'usage des Ingénieurs et Techniciens. 2ème Edition revue et complétée, vol. n°5.

COLAS R., CABAUD R., VIVIER P. (1968).- Dictionnaire de l'eau et des questions annexes.

COLLIN J.J. (1976).- Les eaux souterraines de la plaine Saône-Doubs (gisement hydrodynamique hydrochimie, pollution, gestion et sauvegarde). Thèse Docteur es-Sciences. Université Cl.Bernard. Lyon.

CONSTANTINIDIS D., SARROT-REYNAULD J. (1978).- "Comparaison des méthodes de détermination des coefficients d'emmagasinement des nappes aquifères". Extrait des comptes-rendus du 103e Congrès National des Sociétés Savantes. Fasc.IV. Nancy.

CHOUTEAU A.F. (1982).- Contribution de l'hydrochimie aux études hydrogéologiques d'une nappe alluviale en exploitation. La nappe de Jouchy dans la vallée de la Romanche. Isère (France). Thèse Docteur es Sciences Naturelles. Grenoble.

COUTELLE A. (1979).- Géologie du Sud-Est de la Grande Kabylie et des bords d'Akbou. Thèse de Doctorat es Sciences Naturelles. Université de Bretagne occidentale.

C.G.G. (Compagnie Générale de Géophysique) (1964).- Prospection électrique. Plaines alluviales des oueds Sebaou, Isser, Acif El Hammam (Algérie).

CHADRINE Y. (1972).- Prospection des eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable. I.N.R.H. Alger.

CHADRINE Y. (1974).- Etude hydrogéologique de l'oued Sebaou - Document D.H.W.T.O. - Algérie

CHAUMONT M. (1971).- La classification génétique des régions hydroclimatiques: Franc Espagne et Afrique du Nord (carte pluviométrique).

COUTELLE A. (1971).- Existence d'une nappe à matériel tellien dans les flyschs du versant sud du Djurdjura. Un nouvel argument en faveur de l'allochtonie complète du massif de Grande Kabylie. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord, t.62, fasc.3,4.

COUTELLE A. (1976).- Les grands traits stratigraphiques et structuraux du Djurdjura (Grande Kabylie, Algérie).

DEGREMONT (1963).- Mémento technique de l'eau. Société anonyme.

Lu
Vau

DELAQUAIZE B. (1979).- Etude hydrogéologique et limnologique d'une région de moyenne montagne. Le bassin versant des lacs de Laffrey et de Petichet (Isère). Thèse 3e cycle. Grenoble.

DJEMAI M. (1982).- Hydrogéologie du moyen Sébaou. Mémoire d'Ingénieur. Alger. X

DERRAU M. (1974).- Précis de géomorphologie. 6ème Edition. Masson et Cie. Paris. X

DUBREUIL P. (1974).- Initiation à l'analyse hydrologique. Masson et Cie. Orstom. ← hydrologique.

DURAND-DELGA M. et MATTAUER M. (1960).- Sur l'origine ultra-rifaine de certaines nappes du Rif septentrional. C.R.somm. Soc. Geol. Fr., p.22, Paris.

DURAND-DELGA M. et MATTAUER M. (1959).- Existence dans le Rif d'une nappe supérieure à matériel "numédien" (nappe du J. Sougna). Ibid., p.225, Paris.

DURAND-DELGA M. (1963).- Essai sur la structure des domaines émergés autour de la Méditerranée occidentale. Geol. Rundsch., Bd. 53, p.534-535, Paris.

FOURNEAUX J.C., SARROT-REYNAULD J. (1977).- "Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord". Extrait des comptes-rendus du 102ème Congrès National des Sociétés Savantes. Fasc.II, Limoges.

FOURNEAUX J.C. (1968).- Hydrogéologie du Grésivaudan. Thèse 3e cycle, Grenoble.

GAUSSEN H. (1948).- Carte des précipitations annuelles en Algérie. I.G.N., Paris.

HANNACHI A. (1981).- Relations entre aquifères profonds et superficiels. Hydrogéologie de la vallée de l'oued Mzi à l'Est de Laghouat, Algérie. Thèse 3e cycle, Grenoble.

HIRSCH F. (1959?).- Méthode de prévision des débits des cours d'eau par l'analyse morphométrique des réseaux fluviaux. Centre de Géographie Appliquée. Université de Strasbourg.

HUMBERT J., PAUL P. (1982).- Structure et fonctionnement du milieu naturel en moyenne montagne (bassin de la Petite Fecht et du Ringelbade-Vosges (France).

I.N.R.H. (1974).- Institut National de Recherches en Hydraulique. Carte géologique des formations alluviales et des bordures de l'oued Sébaou (Alger). Ech.1/25000e.

ISSAADI A. (1981).- Etude hydrogéologique des massifs du Gueriou et Fortass (Sud constantinois). Thèse 3e cycle, Alger, Algérie.

KHEMAË Ch. (1981).- Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Kébir-ouest (W.SKIKDA), Algérie. Thèse 3e cycle. Grenoble.

LAREZGONZALEZ H. (1982).- Hydrogéologie des formations fissurées et karstifiées de la région orientale du Venezuela (Puerto-LA Cruz-Cumana). Thèse 3e cycle, Grenoble.

LARRAS J. (1972).- Prévisions et détermination des étiages et des crues. Eyrolles, 160 pages.

MARTIN B. (1967).- Variations des caractères chimiques des eaux dans les niveaux poreux du bassin de Parentis. Chronique d'hydrogéologie, B.R.G.M. n°12.

MEDINGER G. (1955).- Hauteurs de pluie. Moyenne de 40 ans. Service d'étude scientifique, Alger.

MESBAH M. (1981).- Contribution à l'étude hydrogéologique de la basse vallée de l'oued Mador (région de Tipaza). Thèse de 3e cycle, Algérie.

MEYBECK M. (1984).- Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Etat. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI.

MICHEL M. (1971).- Hydrogéologie du bassin de Theis. Thèse 3e cycle.

MONITION L. (1966).- Les graphiques à base trilineaire représentatifs de la composition chimique des eaux souterraines. Le diagramme en losange. Bull. BRGM.

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.

- PAQUIN C. (1971).- Contribution à l'étude de la pluviométrie en Algérie. Thèse 3e cycle, Paris.
- QUENEY P. (1937).- Le régime pluviométrique de l'Algérie et son évolution depuis 1850. La. Met. Paris.
- RAYMOND D. (1976).- Evolution sédimentaire et tectonique du Nord Ouest de la Grande Kabylie (Algérie) au cours du cycle alpin. Thèse Etat Sc. Nat. Paris.
- REMENIERAS G. (1976).- L'hydrologie de l'Ingénieur. 2e Edition revue et augmentée. Eyrolles Paris.
- ROCHE M.A. (1973).- Hydrologie de la Haute Saoura (Sahara occidental). Bull. n°43. Publication du Service Géologique de l'Algérie.
- RODIER J. (1966).- L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Edition DUNOD, Paris.
- ROGNON P. (1981).- les crises climatiques. La recherche n°128, vol.12.
- Revue de Géologie Dynamique et de Géographie Physique (1983).- Chaîne Tello-Rifaine, vol. 24-1983.
- RORABOUGH M.I. (1969).- Variations naturelles du niveau piézométrique. Bull. du B.R.G.M., 2e série, section III, n°2, p.83.90.
- SADI M. (1970).- Etude agropédologique des plaines alluviales du Sébaou (E.A.P., n°27), Algérie.
- S.A.T.E.C. (Société d'Aide Technique et de Coopération) (1976).- Etude des périmètres communaux d'irrigation. Etude hydrogéologique. Algérie.
- SCHOELLER H. (1962).- Les eaux souterraines. Hydrologie dynamique et chimique. Exploitation et évaluation des ressources. Edition MASSON, Paris.
- SELTZER P. (1976).- Le climat de l'Algérie. Typo-litho. Alger.
- STROJEXPORT - PRAGUE (1973-1974).- Prospection géophysique complémentaire des nappes alluviales en Grande Kabylie (Ouest Boubehir, Aissi, Pont de Takhoukht), Algérie.
- TRICART J. (1965).- Principes et méthodes de la géomorphologie. Edit. Masson et Cie. Paris.
- TRON L. (1982).- Etude hydrogéologique du bassin versant du moyen Buech, de Serres à Laragne, Hautes-Alpes, Thèse 3e cycle, Grenoble.

LISTE DES FIGURES

LISTE DES FIGURES

1	- Cadre géographique.....	3
2	- Le bassin versant hydrologique de l'oued Sébaou.....	7
3	- Courbe hypsométrique.....	11
4	- Le chevelu hydrographique	13
5	- Tracé et classification des thalwegs.....	15
6	- Détermination graphique du nombre de thalwegs.....	17
7	- Détermination graphique de la longueur totale des thalwegs.....	19
8	- Variations interannuelles des précipitations.....	24
9	- Pluviométrie annuelle moyenne (d'après G. MEDINGER).....	25
10-19	- Variations mensuelles de la pluviométrie (diagrammes en échelon (1982-1983)	28-37
20-21	- Variations mensuelles de la pluviométrie (diagrammes en échelon (1982-1983)	42-43
22-23	- Relation pluviométrie - altitude	44-45
24	- Températures annuelles moyennes (P. SELTZER).....	47
25-27	- Diagrammes annuels des températures mensuelles moyennes (1969-1983, 1913-1937).....	52-54
28	- Directions et forces des vents à Tizi-Ouzou (P. SELTZER).....	55
29	- Directions et fréquences des vents à la station de Boukhalfa (1982-1983)...	56
30	- Diagramme pluviothermique du bassin versant du haut Sébaou (1982-1983).....	59
31-33	- Diagrammes pluviothermiques (stations Tizi-Ouzou, L.N.Irathen, Aghrigs) (P. SELTZER, 1913-1937)	60-62
34	- Climatogramme du bassin versant.....	63
35	- Méthode des polygones de THIESSEN (1982-1983).....	65
36-37	- Méthode des isohyètes (1973-1983) et (1982-1983).....	67-68
38	- Le diagramme de Wundt (1913-1937) (1973-1983) (1982-1983)	70
39	- Abaque de calcul de l'ETP de THORNTHWAITE (1973-83 et 1982-83).....	75
40	- Bilans hydriques de C.W. THORNTHWAITE (1913-37 et 1982-83).....	82
41	- Profil en long de l'oued Sébaou	85
42	- Corrélation pluies/débits évacués.....	90
43	- Situation de la zone d'étude dans l'orogène alpin méditerranéen.....	96
44	- Rapport entre les grandes unités structurales sur le méridien de la Grande Kabylie.....	96
45	- Hypothèses sur l'origine des flyschs kabyles.....	98
46	- Schéma structural de la Grande Kabylie d'après la carte au 1/500.000e (1951)	101
47	- Schéma structural du NW de la Grande Kabylie.....	104
48	- Principales structures "post-nappes".....	105
49	- Essai de reconstitution paléogéographique (évolution dynamique locale).....	107
50 bis	- Carte géomorphologique du haut Sébaou. Etagement des terrasses alluviales..	114
51	- Etagement des terrasses alluviales.....	115
52	- " " "	116
53	- " " "	117
54	- Carte du toit du substratum conducteur (zone de Sikh-ou-Meddour).....	121
55	- Carte du toit du substratum conducteur (zone de Tazazraït-Khara).....	123
56	- Sondages électriques étalons 4A et 4B (forages ou M-Zizou 1 et 3).....	124
57	- Carte du toit du substratum conducteur (zone de Fréha).....	125
58	- Sondage électrique étalon A2 (forage Fréha 4).....	126
59	- Carte des isopques des alluvions.....	128
60-65	- Les coupes géoélectriques suivant les profils des sondages électriques.....	129-134
66	- Coupes hydrogéologiques d'après les longs de forages.....	135
67	- Carte d'inventaire des points d'eau	139
68	- Carte piézométrique (Hautes eaux).....	141
69	- Carte piézométrique (Basses-eaux).....	143
70	- Carte des battements de la nappe	145
71	- Courbe standard de C.V. THEIS.....	150

72	- Exemples de courbes expérimentales interprétées par la méthode de la de la courbe standard C.V. THEIS.....	152
73-81	- Essais de pompage "longue durée" (courbe de "descente").....	156-164
82-87	- Essais de pompage "longue durée" (courbe de "remontée").....	166-171
88	- Calcul du coefficient d'emménagement par la méthode de RORABOUGH.....	174
89	- Calcul du coefficient d'emménagement par la méthode de LEBEDEV.....	176
90	- Calcul du coefficient d'emménagement par la méthode combinée de VIGUIER- THEIS-JACOB	178
91	- Définitions des réserves	185
92	- Carte des conductivités en points	193
93	- Relations conductivités-salinités (Basses eaux).....	195
94	- Relations conductivités-salinités (Hautes-eaux).....	196
95-102	- Diagrammes d'analyses des eaux (ou diagrammes verticaux).....	198-205
103	- Diagrammes losangiques ou diagramme PIPER	206
104	- Classification des eaux d'irrigation.....	215
105	- Carte des équirapports rHCO3/rSO4	221
106	- Carte d'isoteneuren carbonates	223
107	- Carte d'isoteneur en sulfates	224
108	- Carte des équirapports rMg/rCa	226
109	- Carte d'isoteneur en magnésium	228
110	- Carte d'isoteneur en calcium	229
111	- Carte des faciès chimiques	230

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

N° Tableaux	Page
1 - Calcul de l'altitude de moyenne du bassin versant du haut Sébaou.....	12
2 - Ordres et nombres de talwegs.....	18
3 - Stations pluviométriques du bassin versant du haut Sébaou.....	21
4 - Périodes de fonctionnement des stations pluviométriques et caractéristiques correspondantes.....	21
5 - Données pluviométriques relatives aux stations Azazga-Ecole, Aghrims, A. el. Hammam (1910-1983).....	23
6 - Caractéristiques des séries ajustées.....	26
7 - Période de retour (T = 1/P) sèches et humides.....	26
8 - Homogénéisations des données pluviométriques-"corrélations double-masse"...	38
9 - Comparaison des pluviosités moyennes inter-annuelles.....	38
10 - Pluviométrie interannuelle moyenne (1973-1983).....	39
11 - Pluviométrie mensuelle moyenne (année 1982-1983).....	40
12 - Les précipitations saisonnières.....	41
13 - Données de températures (d'après P. SELTZER).....	46
14 - Températures mensuelles et annuelles moyennes (station de Boukhalfa).....	49
15 - Fréquence de la force des vents à la station de Tizi-Ouzou (P. SELTZER)....	50
16 - Fréquence de la force des vents: station de Boukhalfa).....	51
17 - Humidité relative P. SELTZER (1913-1937).....	58
18 - Résultats de la méthode des isohyètes pour les années 1973-1983 et l'année 1982-1983.....	66
19-20 - Evapotranspirations potentielles de L. TURC d'après les données de P. SELTZER.....	71-72
21 - Valeurs mensuelles de "i" correspondant aux températures moyennes.....	76
22 - Durée moyenne possible d'ensoleillement.....	78
23-24-25-26 - Bilans hydriques de C.W. THORNTHWAITE.....	79-81
27-28 - Récapitulations des valeurs de l'ETR et de l'ETP obtenues par les différents méthodes.....	83
29 - Les stations de jaugeage.....	86
30 - Débits transitants à la station de Fréha (ouest-Dis).....	87
31-32 - Débits transitants à la station des gorges du Belloua (ex.: Pont de Bougie).....	88
33 - Corrélations débits précipités - débits de sortie aux gorges du Belloua....	91
34 - Série du Pont de Michelet.....	118
35 - Série de Takorabt bouachbatzène.....	119
36 - Série de Tadmaït.....	119
37 - Série de Baghlia.....	119
38 - Résultats de S.E. au niveau de Sikh-ou-Medour-Tamda.....	120
39 - Valeurs des transmissivités (courbes de descente).....	155
40 - Valeurs des transmissivités (courbes de remontée).....	165
41 - Valeurs de la porosité utile vraie.....	173
42 - Valeurs du coefficient d'emmagasinement obtenues par la méthode LEBEDEV....	179
43 - Valeurs du coefficient d'emmagasinement obtenues par la méthode combinée VIGUIER-THEIS-JACOB.....	179
44 - Valeurs estimées de la perméabilité.....	180
45 - Valeurs estimées des rayons d'action dûs aux pompages.....	181
46 - Concentrations minimales et maximales en sels dissous.....	194
47 - Comparaison pH d'équilibre - pH mesuré au Laboratoire.....	209
48 - Formules ioniques ou formules caractéristiques (basses-eaux).....	210
49 - Formules ioniques ou formules caractéristiques (hautes-eaux).....	211
50 - Valeurs du S.A.R. et conductivités correspondantes (basses-eaux).....	213
51 - Valeurs du S.A.R. et conductivités correspondantes.....	213
52-53 - Comparaison des indices d'échange de bases calculés (hautes et basses eaux) et basses eaux).....	217
54 - Evolution des indices d'échange de base.....	218

ANNEXES

DONNEES PLUVIOMETRIQUES (mm.)

AIN-EL-HAMMAM (02-17-03)		AZAZGA - Ecole (02.15.04)		AGHRIBS (02.16.01)	
Année	Totaux annuels	Année	Totaux annuels	Année	Totaux annuels
1916-17	1134.3	1921-22	935.0	1954-55	909.2
1917-18	998.9	1922-23	1417.7	1955-56	992.6
1918-19	926.9	1923-24	994.5	1956-57	672.4
1919-20	754.2	1924-25	898.4	1957-67	LACUNE
1920-21	1315.6	1925-26	906.0	1968-69	1004.4
1921-22	806.4	1926-27	743.6	1969-70	971.9
1922-23	1366.2	1927-28	1158.0	1970-71	858.1
1923-24	1148.2	1928-29	1158.4	1971-72	1459.0
1924-25	914.0	1929-30	884.7	1972-73	1457.8
1925-26		1930-31	1094.8		
1926-27	1169.1	1931-32	817.3		
1927-28	1494.6	1932-33	731.3		
1928-29	1452.8	1933-34	1577.7		
1929-30	1269.	1934-35	790.2		
1930-31	1327.9	1935-36	926.2		
1931-32	1007.8	1936-37	658.2		
1932-33	930.8	1937-38	847.4		
1933-34		1938-39	1570.1		
1934-35		1939-40	1031.2		
1935-36	1485.3	1940-41	855.7		
1936-37	768.2	1941-42	990.5		
1937-38	1044.4	1942-43	786.5		
1938-39	1679.9	1943-44	841.4		
1939-40	979.0	1944-45	844.9		
1940-41	804.0	1945-46	888.0		
1941-42	702.0	1946-47	758.4		
1942-43	423.7	1947-48	1140.5		
1943-68	LACUNE	1948-49	933.8		
1968-69	483.3	1949-50	877.5		
1969-70	1422.6	1950-51	943.6		
1970-71	432.9	1951-52	1178.8		
1971-72	998.0	1952-53	1190.8		
1972-73	882.0	1953-54	886.3		

DONNEES PLUVIOMETRIQUES (mm) .

Larba-N'ath-Irathen			
Années	Totaux ann.(mm).	Années	Totaux ann.(mm).
1910-1911	1026	1945-1946	1983
1911-1912	857	1946-1947	718
1912-1913		1947-1948	1149
1913-1914	1078	1948-1949	1023
1914-1915	1065	1949-1950	819
1916-1917	1177	1950-1951	874
1917-1918	1032	1951-1952	1015
1918-1919	914	1952-1953	745
1919-1920	1273	1953-1954	779
1920-1921	703	1954-1955	627
1921-1922	1174	1955-1956	917
1922-1923	768	1956-1957	732
1923-1924	1250	1957-1958	1517
1924-1925	1022	1958-1959	1341
1925-1926	901	1959-1960	1275
1926-1927	1059	1960-1961	804
1927-1928	832	1961-1962	803
1928-1929	1469	1962-1968	/ /
1929-1930	1236	1968-1969	839
1931-1932	1070	1969-1970	1198
1932-1933	1139	1970-1971	733
1933-1934	1017		
1934-1935	780		
1935-1936	1262		
1936-1937	938		
1937-1938	1073		
1938-1939	747		
1940-1941	816		
1941-1942	1477		
1942-1943	1080		
1943-1944	820		
1944-1945	1448		

Djema Saharidj			
Années	Totaux ann. (mm)	Années	Totaux ann. (mm)
1949-1950	857	1957-1958	1235
1950-1951	882	1958-1959	1137
1951-1952	1250	1959-1960	1147
1952-1953	897	1960-1961	686
1953-1954	807	1969-1970	597
1954-1955	845	1970-1971	664
1955-1956	793	1970-1971	786
1956-1957	645	1971-1972	1205
1957-1958	1235		

Relevés piézométriques de la alluviale
du Haut Sébaou (Année : 1982 - 1983.)

Points d'eau	Altitudes (m)	Niv.Piéz. H.E(m)	Niv.Piéz. B.E(m)	Battements (m)
P 570	72.219	68.97	65.77	3.20
F 40	100.450	98.45	95.18	3.27
P 557	74.797	68.95	66.75	2.20
P 562	76.282	71.13	68.36	2.77
P 22	78.441	73.67	70.86	2.81
P 15	81.093	77.09	73.67	3.42
P 13	87.385	84.19	80.29	3.90
P 14	89.282	85.48	81.51	3.97
P 11	83.819	75.37	75.37	4.71
P 10	87.893	77.99	77.99	5.20
P 27	78.480	74.04	74.03	1.90
P 187	93.763	91.21	87.06	4.15
P 186	83.825	79.98	77.86	2.12
P 172	98.500	95.40	91.30	4.10
P 162	98.205	95.11	91.75	3.36
P 182	84.452	81.00	78.85	2.15
P 181	78.112	73.21	71.46	1.75
P 135	79.600	73.70	70.70	3.10
P 137	108.595	102.80	101.86	3.20
P 129	83.060	79.52	77.21	2.15
F 123	96.866	97.17	90.12	3.47
P 118	87.962	84.68	83.23	1.22
P 92	86.270	82.76	80.89	2.17
P 75	93.994	90.78	88.12	2.15
P 72	112.000	108.28	104.47	4.68
P 67	96.524	93.67	88.12	2.75
P 66	131.052	125.40	123.60	3.65
P 62	116.677	112.88	109.79	3.25
P 43	112.000	108.36	105.09	3.27
P 44	146.043	142.09	139.84	2.25
P 32	128.200	124.25	123.45	3.15
P 29	133.730	129.63	124.71	3.75

Relevés piézométriques de la plaine alluviale
du Haut Sébaou (Année : 1982-1983)(Suite.)

Points d'eau	Altitudes (m)	Niv.Piéz. H.E (m)	Niv.Piéz. B.E(m)	Battements (m)
P 17	101.180	95.91	94.37	5.17
212	99.200	97.56	92.67	3.13
207	104.985	101.59	99.49	2.85
P 196	106.900	104.25	102.80	1.45
P 190	112.000	110.05	108.70	1.35
P 191	114.200	112.35	110.10	2.25
P 184	114.434	113.18	76.07	1.10
P 175	116.900	112.95	114.10	1.65
P 173	119.700	117.18	114.90	2.28
P 28	126.810	124.01	121.85	2.16
P 29	133.730	129.63	127.38	2.25
P 31	144.100	139.88	136.43	3.45
P 41	148.400	143.20	139.70	3.50
P 74	153.688	140.15	146.49	2.25
P 76	145.100	149.17	138.00	2.58
P 68	129.242	125.44	123.84	1.60
P 44	146.048	142.95	101.90	1.75
F 84	128.154	125.69	124.27	1.42
P 108	123.300	120.84	119.56	1.28
P 116	119.600	115.10	112.70	2.40
P 119	117.400	115.50	112.53	2.97
P 131	127.920	123.72	121.59	2.13
P 160	107.400	104.25	102.28	1.97
P 167	102.900	100.00	97.80	2.20
P 218	110.964	107.66	105.72	1.94
P 222	99.930	96.68	95.13	1.55
P 95	92.300	88.74	88.75	3.12
P 106	91.700	90.85	109.84	2.10
P 231	114.163	111.26	109.21	1.42
P 236	113.613	110.96	93.67	1.75
P 242	102.100	96.82	87.57	3.15

Relevés piézométriques de la plaine alluviale
du Haut Sébaou (Année : 1982- 1983)(suite).

Points d'eau	Altitudes	Niv.Piéz.	Niv.Piéz.	Battements.
	(m)	H.E.(m)	B.E.(m)	
P258	87.650	83.75	87.57	2.18
P265	91.147	88.05	86.70	1.35
P275	95.203	89.90	87.80	2.10
P555	72.310	70.86	68.01	2.85
P542	76.010	74.91	72.26	2.65
P540	87.707	85.90	81.70	4.20
P539	81.490	79.79	75.49	3.30
P518	73.642	67.84	65.94	1.90
P517	74.580	71.68	69.54	2.14
P549	89.815	86.52	81.12	5.40
P510	76.735	75.74	71.34	4.40
P508	76.078	74.93	69.18	5.75
P490	72.606	69.66	64.96	4.70

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES.(basses eaux)

POINTS D'EAU	ELEMENTS CHIMIQUES (mg/l)								CONDUCT. mhos/cm
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	
P.490	143	62	178	20	205	13	811	1	2200
P.562	80	34	15	2	30	83	311	5	800
P.118	64	35	35	10	50	80	275	9	900
P.265	86	40	33	3	55	85	342	11	1000
P.95	130	54	50	1	118	78	445	67	1400
P.160	95	30	30	6	38	73	403	0	1000
P.167	96	53	23	3	58	60	445	9	1100
P.79	58	38	18	3	33	93	238	8	800
P.81	106	36	18	3	33	108	403	3	1100
P.29 (AM)	80	26	25	4	25	63	305	6	800
P.119	114	29	20	1	50	55	336	54	1000
P.140	96	36	23	4	45	28	451	2	1100
P.71	50	42	23	1	40	60	256	27	800
P.27 (AV)	88	40	45	1	83	93	305	20	1000
P.129	80	24	30	2	65	30	287	6	800

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES.(basses eaux).(suite)

POINTS D'EAU	ELEMENTS CHIMIQUES (mg/l)								CONDUCT. mhos/cm
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	
P.17	76	29	25	3	33	33	342	20	900
F.53	58	44	18	2	38	108	226	3	800
P.190	78	45	28	1	40	73	397	14	1000
F.74	88	26	18	3	43	105	256	7	900
P.77	90	27	35	1	43	90	323	24	1000
P.196	196	75	155	125	360	375	470	78	2800
F.ET5	58	37	13	2	33	83	238	4	700
P.14	64	22	13	2	30	55	226	2	700
P.22	106	34	25	4	43	73	397	12	1100
F.40	56	23	15	2	30	33	232	4	600
P.510	80	39	37	16	55	57	326	4	1000
P.40	75	40	37	8	52	48	292	5	900
P.542	88	42	45	6	64	47	322	6	1000
P.555	65	28	26	7	52	28	296	4	800
P.539	97	50	29	4	60	62	377	3	1100
P.137	76	41	38	3	56	52	290	3	900
P.193	195	42	40	12	51	153	335	3	1200
F.43	75	42	37	5	57	51	287	4	900
P.31	118	48	46	18	59	170	370	31	1300
P.92	87	45	43	7	66	51	318	2	1000
P.75	64	34	18	2	30	93	238	7	700
P.59	80	31	20	4	40	30	360	3	900
P.187	106	27	30	5	50	88	348	19	1000
P.153	60	32	18	3	20	58	311	0	800
P.62	80	29	23	3	33	75	311	10	900
P.116	100	87	113	2	125	230	561	0	1900
F.85	58	37	43	7	48	73	305	1	900
P.200	90	31	48	5	105	68	250	55	1100
P.108	158	60	95	1	243	183	360	16	1800
P.175	60	22	39	1	40	60	256	0	700
P.222	66	29	18	1	27	60	244	0	700
P.55	100	43	30	25	65	60	403	15	1200
P.29 (AV)	64	42	18	1	35	58	268	13	700
P.28	68	29	33	4	25	90	299	6	800
P.275	66	36	25	3	40	78	244	11	800
P.96	50	42	40	3	83	95	171	0	800
F.43	60	29	18	2	25	50	263	7	700
F.56	78	37	23	2	40	75	323	12	900
P.180	120	47	43	16	55	175	372	39	1300
P.106	164	79	133	4	290	258	415	31	2300
F.123	56	26	13	1	20	68	220	0	600

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES. (hautes eaux)

points d'eau	Elements chimiques (mg/l)								Conduct. mhos/cm
	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	
P.62	76	31	40	8	80	60	226	33	1000
F.74	60	41	23	1	43	133	146	42	800
F.ET5	60	29	15	2	30	80	207	3	600
F.123	60	36	38	6	60	163	140	55	900
P.17	96	23	38	5	80	58	207	72	900
P.118	80	25	25	2	35	68	293	7	800
P.14	84	26	23	4	35	83	250	30	800
P.175	84	47	20	4	40	100	336	22	900
P.490	16	22	35	25	70	58	6	50	500
P.196	66	37	25	5	30	100	256	14	800
P.190	96	23	25	2	45	55	250	78	800
F.85	84	35	50	3	50	95	262	100	1000
P.200	100	31	25	2	35	138	299	7	900
P.77	86	29	30	3	45	98	256	10	800
P.108	80	22	20	4	25	55	287	3	700
P.75	70	18	15	4	25	30	220	7	600
P.116	150	70	120	6	140	255	525	15	1800
P.129	110	14	28	2	75	0	415	10	900
P.180	134	48	60	52	80	235	323	100	1500
P.22	126	31	23	4	50	73	360	30	1000
F.53	60	41	20	4	43	95	214	33	800
P.510	120	24	23	4	50	40	390	3	1000
P.542	100	45	33	17	65	100	317	15	1000
P.555	134	40	43	17	70	108	512	3	1400
P.539	50	18	18	8	40	50	165	4	500
P.193	110	40	28	4	45	88	360	20	1000

Résultats des analyses chimiques

Points d'eau	Eléments chimiques (meq/l)										Rapports Caractéristiques	
	D.H.T	Cations					Anions			rNO ₃	rCa/rMg	rHCO ₃ /rSO ₄
		rCa	rMg	rNa	rK	rCl	rHCO ₃	rSO ₄				
F56	35.0	3.9	3.1	1.0	0.0	1.1	5.3	1.6	0.2	0.79	3.31	
P160	36.5	4.8	2.5	1.3	0.2	1.1	6.6	1.5	0.0	0.89	4.40	
P95	55.0	6.5	4.5	2.2	0.0	3.3	7.3	1.6	1.1	0.69	4.56	
F40	23.5	2.8	1.9	0.7	0.0	0.8	3.8	0.7	0.1	0.69	5.3	
P200	35.5	4.5	2.6	2.1	0.1	3.0	4.1	1.4	0.9	0.58	2.93	

Résultats des analyses chimiques (suite),

Points d'eau	Eléments chimiques (meq/l)										Rapports Caractéristiques	
	D.H.T	Cations					Anions			rNO ₃	rCa/rMg	rHCO ₃ /rSO ₄
rCa		rMg	rNa	rK	rCl	rHCO ₃	rSO ₄					
P77	34.0	4.5	2.3	1.5	0.0	1.2	5.3	1.9	0.4	0.51	2.79	
P167	46.5	4.8	4.5	1.2	0.1	1.6	7.3	1.2	0.1	0.94	6.08	
P175	24.0	3.0	1.8	1.7	0.0	1.1	4.2	1.2	0.0	0.33	3.50	
P108	64.5	7.9	5.0	4.1	0.0	6.8	5.9	3.8	0.3	0.63	1.55	
F43	27.0	3.0	2.4	0.8	0.0	0.7	4.3	1.0	0.1	0.80	4.30	
P265	38.0	4.3	3.3	1.4	0.1	1.5	5.7	1.8	0.2	0.77	3.16	
P106	74.0	8.2	6.6	5.8	0.0	8.2	6.8	5.4	0.5	0.80	1.26	
F123	25.0	2.8	2.2	0.6	0.0	0.6	3.6	1.4	0.0	0.79	2.57	
P63	29.0	3.3	2.5	1.0	0.0	0.8	4.3	1.1	0.4	0.76	3.90	
P116	61.5	5.0	7.3	4.9	0.0	3.5	9.2	4.8	0.0	1.46	1.88	
P190	38.5	3.9	3.8	1.2	0.0	1.1	6.5	1.5	0.2	0.97	4.30	
P119	40.5	5.7	2.4	0.9	0.1	1.4	5.5	1.1	0.9	0.42	5.00	
P22	41.0	5.3	2.9	1.1	0.1	1.2	6.5	1.5	0.2	0.55	4.33	
P562	34.0	4.0	2.8	0.7	0.1	0.8	5.1	1.7	0.1	0.70	3.00	
FET5	30.0	2.9	3.1	0.6	0.1	0.9	3.9	1.7	0.1	1.07	2.29	
P14	25.0	3.2	1.8	0.6	0.1	0.8	3.7	1.1	0.0	0.56	3.36	
P187	37.0	5.2	2.2	1.3	0.2	1.4	5.7	1.8	0.3	0.42	3.17	
F85	30.0	2.9	3.1	1.9	0.1	1.4	5.0	1.5	0.0	1.07	3.33	
P140	39.0	4.8	3.0	1.0	0.1	1.3	7.4	0.6	0.0	0.62	12.33	
P129	30.0	4.0	2.0	1.3	0.3	1.8	4.7	0.6	0.1	0.50	7.83	
P118	30.5	3.2	2.9	1.5	0.1	1.4	4.5	1.7	0.1	0.90	2.64	
P62	32.0	4.0	2.4	1.0	0.1	0.8	5.1	1.6	0.2	0.70	3.18	
P43	33.0	4.0	2.6	0.9	0.1	1.1	5.9	0.6	0.0	0.65	9.83	
F74	33.0	4.4	2.2	0.8	0.1	1.2	4.2	2.2	0.1	0.56	1.90	
P17	31.0	3.8	2.4	1.1	0.0	0.9	5.6	0.7	0.3	0.63	8.00	
P27	38.5	4.4	3.3	2.0	0.0	2.3	5.0	1.9	0.3	0.75	2.63	
P71	30.0	2.5	3.5	1.0	0.0	1.1	4.2	1.2	0.4	1.40	3.50	
F81	41.5	5.3	3.0	0.9	0.1	0.9	6.6	2.2	0.0	0.57	3.00	
P180	49.5	6.0	3.9	1.0	0.4	1.6	4.1	3.6	0.6	0.65	1.69	
P29	31.0	4.0	2.2	1.1	0.1	0.7	5.0	1.3	0.1	0.55	3.84	
P28	29.0	3.4	2.4	1.4	0.1	0.7	4.9	1.9	0.1	0.70	2.59	

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
1. Cadre géographique.....	3
2. Buts de l'étude.....	4
3. Méthodes d'études.....	4
3.1. Etude hydroclimatique.....	4
3.2. Etude géologique.....	4
3.3. Etude piézométrique.....	5
3.4. Etude des caractéristiques hydrodynamiques.....	5
3.5. Etude hydrochimique.....	5
3.6. Estimations des ressources exploitables.....	5

CHAPITRE 1 : ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE

A - CLIMATOLOGIE

INTRODUCTION.....	8
1. Les facteurs météorologiques en Algérie.....	8
2. Les facteurs géographiques.....	8
3. Situation de la vallée de l'oued Sébaou.....	9
4. Le bassin versant de la région étudiée.....	9

1 - ETUDE DES PARAMETRES PHYSIQUES ET MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT.....	9
1.1. Les paramètres physiques.....	9
1.1.a. La lithologie.....	9
1.1.b. La végétation.....	9
1.2. Les paramètres morphologiques.....	9
1.2.a. Les paramètres de forme.....	9
1.2.a.1. Indice de compacité de Gravelius.....	9
1.2.a.2. Dimensions du rectangle équivalent.....	10
1.2.b. Les paramètres de relief.....	10
1.2.b.1. La répartition des altitudes.....	10
1.2.b.2. Etablissement de la courbe hypsométrique.....	12
1.2.b.3. Calcul de l'indice de pente globale.....	14
1.2.c. Les paramètres morphométriques.....	14
1.2.c.1. Le chevelu hydrographique.....	14
1.2.c.2. Calcul de la densité de drainage.....	18
1.3. Conclusion.....	20

2 - LES PARAMETRES CLIMATIQUES.....	20
2.1. La pluviométrie.....	20
2.1.a. Equipement du bassin versant.....	20
2.1.b. Périodes de fonctionnement des postes pluviométriques - les données existantes.....	22
2.1.c. Traitement des données anciennes.....	22
2.1.c.1. Variations interannuelles de la pluviosité.....	22
2.1.c.2. Variations mensuelles de la pluviosité.....	22
2.1.d. Homogénéisation des données pluviométriques.....	22
2.1.d.1. Ajustement des séries pluviométriques à la loi normale ou loi de G auss.....	22
2.1.d.2. Corrélations "double-masse" entre différentes stations "régression linéaire".....	27
2.1.2. Traitement des données récentes.....	38
2.1.2.1. Pluviométrie annuelle moyenne (période 73-74 - 82-83)..	38
2.1.2.2. Variations annuelles.....	41

2.1.2.3. Variations mensuelles (1982-1983).....	41
2.1.2.4. Variations saisonnières.....	41
2.1.2.5. Relation pluviométrique - altitude.....	41
2.1.2.6. Influence de l'éloignement par rapport à la mer sur les précipitations.....	46
2.2. La température.....	46
2.2.a. Les données anciennes.....	46
2.2.b. La station de Boukhalfa.....	48
2.3. Le vent.....	48
2.4. L'humidité relative.....	48
2.5. Les diagrammes pluviothermiques.....	57
2.6. Le climatogramme du bassin versant.....	57
2.7. Régime thermique.....	64
2.8. Méthode ombrothermique.....	64

3 - DETERMINATION DE LA LAME D'EAU PRECIPITEE.....	64
3.1. Méthode arithmétique.....	64
3.2. Méthode des polygones de THIESSEN.....	64
3.3. Méthode des isohyètes.....	66
CONCLUSION.....	66

4 - ETUDE DE L'EVAPOTRANSPIRATION.....	69
4.1. L'évapotranspiration réelle (E.T.R.).....	69
4.1.a. Année 1982-1983.....	69
4.1.b. Périodes 1973-1983 et 1913-1938.....	69
CONCLUSION.....	73
4.2. L'évapotranspiration potentielle (E.T.P.).....	73
4.2.a. Formule de L. TURC.....	73
4.2.b. Méthode du bilan de C.W. THORNTWAITE.....	74
4.2.c. Application de la méthode du bilan hydrique de C.W. THORNTWAITE pour le calcul de l'ETR et de l'ETP.....	77
4.2.d. Analyse des résultats du bilan hydrique.....	83
4.3. Critiques des résultats de l'ETR et de l'ETP obtenus par différentes méthodes.....	83

5 - ESTIMATION DE LA LAME D'EAU RUISSELEE PAR LA METHODE DE TIXERON-BERKALOFF.....	84
CONCLUSION.....	84

B - HYDROLOGIE DE SURFACE

INTRODUCTION.....	85
1. Généralités.....	85
2. Directions et profil en long de l'oued Sébaou.....	85
3. Equipement du bassin versant.....	85

1 - APPORTS ET SORTIES.....	87
1.1. Les apports.....	87
1.1.a. La station de Fréha (oued Dis).....	87
1.1.b. La station du Pont de Takhouknt (oued Aissi).....	87
1.2. Les sorties : station des gorges du Belloua (ex.: pont de Bougie).....	87
1.3. Relations pluies/débits évacués.....	89
1.4. Corrélation débits précipités - débits évacués.....	89

2 - ESSAI DE BILAN HYDROLOGIQUE.....	92
CONCLUSION.....	93

CHAPITRE 2 : ETUDE GEOLOGIQUE

INTRODUCTION..... 95

SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE DANS L'OROGENE ALPIN PERIMEDITERRANEEN

1 - GEOLOGIE REGIONALE DE L'ALGERIE DU NORD..... 95

 1.1. Le domaine de l'Atlas tellien..... 95

 1.1.a. Le Tell septentrional..... 97

 1.1.a.1. Les massifs primaires kabyles..... 97

 1.1.a.2. La chaîne calcaire (ou dorsale kabyle)..... 97

 1.1.a.3. L'oligo-miocène kabyle..... 97

 1.1.a.4. Les flyschs..... 97

 a.4.1. Hypothèse d'origine "ultra" kabyle..... 97

 a.4.2. Hypothèse d'origine "infra" kabyle..... 98

 1.1.b. Le Tell méridional..... 98

 1.1.b.1. Les unités autochtones ou para-autochtones..... 98

 1.1.b.2. Les nappes telliennes (ou masses allochtones)..... 99

 1.2. Les domaines de hautes plaines..... 99

 1.3. Le domaine de l'Atlas saharien..... 99

 1.4. La plateforme saharienne..... 99

2 - CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA ZONE ETUDIEE..... 100

 2.1. Chronologie des dépôts..... 100

 2.1.a. Le Paléozoïque..... 100

 2.1.b. Le Mésozoïque..... 103

 2.1.c. Le Cénozoïque..... 103

 2.1.d. Le Quaternaire..... 103

 2.2. Esquisse tectonique..... 104

 2.2.a. Tectonique souple (déformations)..... 104

 2.2.a.1. Tectonique du socle..... 104

 2.2.a.2. Tectonique du Miocène "post-nappes"..... 104

 2.2.b. Tectonique cassante (fracturation)..... 104

 2.2.b.1. Accidents N 70..... 104

 2.2.b.2. Accidents N 140..... 104

 2.2.b.3. Les accidents nord-sud..... 106

3 - ESSAI DE RECONSTITUTION PALEO GEOGRAPHIQUE..... 106

ROLE HYDROGEOLOGIQUE DES DIFFERENTES FORMATIONS..... 110

CONCLUSION..... 111

CHAPITRE 3 : ETUDE DU REMPLISSAGE ALLUVIAL

INTRODUCTION..... 113

1 - GEOMORPHOLOGIE DE LA VALLEE DU HAUT SEBAOU..... 113

 1.1. Interprétation de la carte géomorphologique..... 113

 1.2. Les terrasses alluviales - descriptions..... 115

 1.2.a. La série du Pont de Michelet..... 115

 1.2.b. La série de Takornabt bou Achbatzène..... 115

 1.2.c. Caractéristiques des terrasses de l'oued Sebaou..... 122

2 - LA PROSPECTION ELECTRIQUE..... 120

 2.2.a. La zone Kikh-ou-Meddour-Tamda..... 120

 2.2.b. La zone de Tazazraït-Khara..... 122

 2.2.c. La zone de Fréha..... 122

3 - LE RESERVOIR UTILE - INTERPRETATION DE LA CARTE DES ISOPAQUES DES ALLUVIONS

 3.1. Les cartes du toit du substratum - Interprétation de la carte des isopaques des alluvions..... 122

 3.2. Les coupes géoélectriques..... 127

 3.3. Les coupes hydrogéologiques..... 127

 3.4. Interprétation de la carte des isopaques des alluvions..... 136

CONCLUSION..... 136

CHAPITRE 4 : ETUDE PIEZOMETRIQUE

INTRODUCTION..... 138

1 - INVENTAIRE DES POINTS D'EAU..... 138

 1.1. Caractéristiques des puits et forages utilisés..... 138

 1.2. Le choix de l'utilisation des puits..... 138

2 - LA PIEZOMETRIE..... 140

 2.1. Les hautes eaux..... 140

 2.2. Les basses eaux..... 142

3 - FLUCTUATIONS DE LA NAPPE..... 142

 3.1. Profondeur des eaux..... 142

 3.2. Battement de la nappe..... 142

4 - LA RECHARGE DE LA NAPPE..... 142

 4.1. La recharge..... 144

 4.2. Conséquences sur l'exploitation..... 144

CONCLUSION..... 144

CHAPITRE 5 : ETUDE DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES

INTRODUCTION..... 148

1 - DEFINITIONS DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES..... 148

 1.1. Le coefficient d'emmagasinement "S"..... 148

 1.2. La transmissivité "T"..... 148

 1.3. La perméabilité "K"..... 148

2 - LES ESSAIS DE DEBITS REALISES..... 148

3 - DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES..... 149

 3.1. Méthode de la courbe standart de C.V. THEIS..... 149

 3.1.a. Principe de la méthode..... 151

 3.1.b. Application..... 151

 3.2. Méthode de la courbe de descente de C.V. THEIS et C.E. JACOB..... 154

 3.2.a. Principe de la méthode..... 154

 3.2.b. Applications..... 155

 3.3. Méthode de la remontée de THEIS-JACOB..... 155

 3.3.a. Principe de la méthode..... 165

 3.3.b. Applications..... 165

4 - METHODES D'ESTIMATION DU COEFFICIENT D'EMMAGASINEMENT "S"..... 172

 4.1. Détermination de la porosité utile par la méthode d'ARCHIE..... 172

 4.2. Calcul du coefficient d'emmagasinement par la méthode de RORABOUGH..... 174

 4.2.a. Principe de la méthode..... 174

 4.2.b. Application..... 175

4.3. Calcul du coefficient d'emmagasinement par la méthode de LEBEDEV 176
 4.4. Autre méthode d'approche du calcul du coefficient d'emmagasinement "S"
 (méthode combinée VIGUIER - THEIS - JACOB)..... 178
 4.5. Critiques des résultats obtenus par les différentes méthodes..... 179

5 - METHODES DE DETERMINATION DE LA PERMEABILITE..... 180

6 - ESTIMATION DU RAYON D'ACTION..... 180

CONCLUSION..... 181

7 - DISCUSSION DES VALEURS DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES (T, S, K)..... 182
 7.1. Les transmissivités..... 182
 7.2. Les coefficients d'emmagasinement..... 182
 7.3. Les perméabilités..... 183

CONCLUSION..... 183

CHAPITRE 6 - ESTIMATION DES RESSOURCES EN EAU DE L'AQUIFERE DU HAUT SEBAOU

INTRODUCTION..... 185

1 - DEFINITIONS DES RESERVES..... 185

2 - BILAN HYDROGEOLOGIQUE..... 186
 2.1. Equation générale..... 186
 2.2. Equation simplifiée - estimation des réserves régulatrices..... 186

3 - COMPARAISON BILAN HYDROLOGIQUE - BILAN HYDROGEOLOGIQUE..... 188

4 - VALIDITE DES RESULTATS OBTENUS..... 189

CONCLUSION..... 189

CHAPITRE 7 - ETUDE HYDROCHIMIQUE.

INTRODUCTION : GENERALITES ET PRESENTATION DES ANALYSES CHIMIQUES..... 191

1 - LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES..... 192
 1.1. Carte des conductivités en points..... 192
 1.1.a. Définitions..... 192
 1.1.b. Interprétation de la carte des conductivités..... 192
 1.1.c. Validité des résultats..... 194
 1.1.d. Relations salinités-conductivités..... 194

2 - ELEMENTS CHIMIQUES..... 194
 2.1. Tableau récapitulatif 194
 2.2. Origine des éléments chimiques..... 197

3 - REPRESENTATIONS DES ANALYSES SUR LES DIAGRAMMES VERTICAUX ET LOSANGIQUES..... 197
 3.1. Les diagrammes verticaux ou diagrammes SCHOELLER-BERKALOFF..... 197
 3.2. Les diagrammes losangiques ou diagramme PIPER..... 197

4 - CLASSIFICATION DES EAUX..... 207
 4.1. Classification selon la conductivité..... 207
 4.2. Classification d'après le titre hydrotimétrique total (D.H.T.)..... 207

4.3. Classification selon le pH d'équilibre..... 207
 4.4. Classification d'après les formules caractéristiques..... 208
 4.5. Classification des eaux pour l'irrigation..... 212

5 - NOTION D'INDICE D'ECHANGE DE BASE (I.E.B.)..... 214
 5.1. Généralités..... 214
 5.2. Interprétation des résultats..... 216
 5.3. Evolution des indices d'échange de bases entre hautes et basses eaux..... 218

6 - LES CARTES DES RAPPORTS CARACTERISTIQUES ET DES FACIES CHIMIQUES..... 219
 6.1. Introduction..... 219
 Conclusion..... 219
 6.2. Interprétation de la carte des équi-rapports HCO₃/SO₄..... 220
 Conclusion..... 220
 6.3. Interprétation des cartes d'isoteneur en HCO₃ et SO₄ et de la carte
 des rHCO₃/rSO₄..... 222
 6.4. Interprétation de la carte des équi-rapports rMg/rCa..... 225
 Conclusion..... 225
 6.5. Interprétation des cartes d'isoteneur en Mg et Ca et de la carte des
 rapports rMg/rCa..... 227
 6.6. Interprétation de la carte des faciès chimiques..... 227

CONCLUSION..... 231

CONCLUSION GENERALE..... 233

BIBLIOGRAPHIE..... 237

LISTE DES FIGURES..... 241

LISTE DES TABLEAUX..... 244

ANNEXES..... 246

TABLE DES MATIERES..... 255

THESE de DOCTEUR INGÉNIEUR
Géologie appliquée (Hydrogéologie)

Titre de l'ouvrage :

**HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU HAUT SÉBAOU
HYDROGÉOLOGIE DES FORMATIONS ALLUVIALES**

Nom de l'auteur : Mohammed DJEMAI

Établissement : Université Scientifique et Médicale de Grenoble

UNIVERSITE DE GRENOBLE I
INSTITUT DE GEOLOGIE
DOCUMENTATION
RUE MAURICE-GIGNOUX
B 38031 GRENOBLE CEDEX
TEL (79) 87.46.43

1 JUL. 1985

RÉSUMÉ

La plaine alluviale du Haut Sébaou, dépression synclinale à cœur miocène, d'orientation est-ouest est bordée au nord par les chaînons côtiers d'AFir et au sud par la chaîne calcaire du Djurdjura.

Elle fait partie intégrante du Tell septentrional. Les faciès géologiques portent l'empreinte de l'orogénèse alpine.

Les reconstitutions paléogéographiques révèlent l'antécédence au Pliocène du réseau hydrographique.

Le remplissage alluvial est formé de six terrasses emboîtées et étagées d'extension et d'épaisseur réduite réparties symétriquement sur les deux rives de l'oued.

L'étude géophysique, complétée par les sondages mécaniques, définit un aquifère homogène de résistivités moyennes.

L'étude hydroclimatologique confirme le type de climat méditerranéen du bassin versant.

L'évaluation des paramètres : Pluviométrie/Évapotranspiration/Ruissellement, a permis de proposer un essai de bilan hydrologique.

L'étude piézométrique met en évidence la superposition des écoulements souterrains et superficiels : l'Oued Sebaou draine les eaux de la nappe alluviale.

L'estimation des paramètres hydrodynamiques (T,S,K) au moyen d'essais de pompage a permis de sélectionner les zones propices à l'exploitation.

L'utilisation conjointe des variations naturelles du niveau de la nappe, des paramètres hydrodynamiques et des débits de sortie au seuil du Belloua, nous a permis d'estimer les réserves régulatrices et de fixer un ordre de grandeur du débit d'exploitation rationnelle de l'aquifère.

L'étude physico-chimique a mis en évidence deux types de faciès hydro-chimiques : bicarbonaté calcique-sulfaté et magnésien et bicarbonaté calcique-chloruré et magnésien.

Les eaux ont une minéralisation moyenne homogène quoiqu'elles soient le siège d'échange de bases sous l'influence d'apports des versants. Elles présentent une bonne potabilité chimique, malgré leurs caractères d'eaux dures et incrustantes.

MOTS-CLÉS

Vallée de l'Oued Sébaou ; W. Tizi-Ouzou ; Grande Kabylie (Algérie) ; Quaternaire ; Paléogéographie ; Réseau hydrographique ; Géomorphologie ; Terrasses alluviales ; Réservoir aquifère ; Prospection électrique ; Bilan hydrologique ; Caractéristiques hydrodynamiques ; Bilan hydrogéologique ; Ressources en eau souterraine ; Physico-chimie des eaux ; Faciès hydro-chimiques.