



**HAL**  
open science

# Hydrogéologie de la dorsale calcaire du Rif (Maroc septentrional)

Allal Amraoui

► **To cite this version:**

Allal Amraoui. Hydrogéologie de la dorsale calcaire du Rif (Maroc septentrional). Géologie appliquée. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1988. Français. NNT : . tel-00785579

**HAL Id: tel-00785579**

**<https://theses.hal.science/tel-00785579>**

Submitted on 6 Feb 2013

**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.

AMRAOUI (A.)

THESE

Ex. n° 1

Présentée par

Allal AMRAOUI

21 NOV. 1988

Pour obtenir le titre de DOCTEUR 3ème cycle

DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER - GRENOBLE I

(Arrêté ministériel du 5 juillet 1984)

Spécialité : Géologie Appliquée  
(Option hydrogéologie)

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

HYDROGEOLOGIE DE LA DORSALE CALCAIRE DU RIF

Maroc septentrional

Date de soutenance : 31 octobre 1988

Composition du Jury :

M.	R. BARBIER	Président
	Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I	
M.	M.J. SARROT - REYNAULD	Rapporteur
	Professeur à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I	
M.	J. PERRIAUX	Examineur
	Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I	
M.	J-C. FOURNEAUX	Examineur
	Maître de conférences à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I ; Chargé de cours I.N.P.G.	

# THESE

Présentée par  
Allal AMRAOUI

21 NOV. 1988

Pour obtenir le titre de DOCTEUR 3ème cycle

DE L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER - GRENOBLE I

(Arrêté ministériel du 5 juillet 1984)

Spécialité : Géologie Appliquée  
(Option hydrogéologie)

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

---

HYDROGEOLOGIE DE LA DORSALE CALCAIRE DU RIF

Maroc septentrional

---

Date de soutenance : 31 octobre 1988

Composition du Jury :

M.	R. BARBIER	Président
	Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I	
M.	M.J. SARROT - REYNAULD	Rapporteur
	Professeur à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I	
M.	J. PERRIAUX	Examineur
	Professeur émérite à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I	
M.	J-C. FOURNEAUX	Examineur
	Maître de conférences à l'Université Joseph Fourier - Grenoble I ; Chargé de cours I.N.P.G.	

NNB 10072909

## TABLE DES MATIERES

Résumé	2
Abstract	3
 Introduction générale	 5
 Première partie : géologie	 7
 Ch. I : Contexte géologique	 9
1. Introduction	9
2. Rif septentrional	9
2.1. La zone paléozoïque	9
2.2. Chaines calcaires	11
2.2.1. La chaîne du Haouz	11
2.2.2. La dorsale calcaire	11
2.2.3. Les Bokoyas	11
2.3. Nappes de flyshs	12
2.3.1. La nappe de Chouamat - Melloussa	12
2.3.2. La nappe de Tizerene - Beni Ider	12
2.3.2.1. Nappe de Beni Ider	12
2.3.2.2. Nappe de Tizerene	12
2.3.3. La nappe numidienne	12
3. Domaine externe	15
 Ch. II : Géologie de la dorsale calcaire	 17
 Ch. III : Etude stratigraphique	 25
1. Stratigraphie des unités de la dorsale externe	25
1.1. Dolomies à stromatolithes et les membres marno-calcaires du trias moyen et supérieur	25
1.2. Les alternances calcaréo-dolomitiques du Rhétien	29
1.2.1. Nappe de Jbel Tazoute	29
1.2.2. Nappe de Jbel Lakraa	30
1.2.3. Nappe de Jbel Tissouka	30
1.2.4. Nappe de la Hafa En Nator	30

1.3. Formations carbonatées massives de l'Hettangien	32
1.3.1. Nappe de Jbel Lakraa	32
1.3.2. L'Hettangien de la nappe de Jbel Tazoute	33
1.3.3. Hettangien de la nappe de Tissouka	33
1.3.4. Unités sud de Tetouan	35
1.4. Formations de calcaires à silex et les membres des brèches à silex	36
1.4.1. Nappe de Jbel Lakraa	36
1.4.1.1. Unité de l'Oued Asaki	36
1.4.1.2. Unité d'Adeldal	36
1.4.1.3. Unité de Jbel Bouslimane	36
1.4.1.4. Unité de Jbel Lakraa	38
1.4.1.5. Unité d'Ifahsa	38
1.4.2. Nappe de Jbel Tazoute	38
1.4.2.1. Unité de Jbel Tazoute	38
1.4.2.2. Unité de Majjou	39
1.4.3. Nappe de Jbel Tissouka	39
1.4.4. Le reste des unités de la dorsale externe	40
1.5. Séries condensées (Toarcien à Crétacé)	41
1.6. Formations tertiaires de la dorsale externe	43
2. Stratigraphie de la dorsale interne	45
2.1. Formation du Permo-Werfénien (au Trias moyen ?)	45
2.2. Dolomies grises du Trias moyen à supérieur	46
2.3. Les calcaires massifs blancs du Sinémurien	47
2.4. Séries condensées du Pliensbachien au Crétacé	47
2.5. Le tertiaire de la dorsale interne	48
Ch. IV : Etude tectonique	49
Deuxième partie : hydrogéologie	
1. Introduction	55
2. Climatologie et évaluation des paramètres du bilan hydrogéologique	55
2.1. Climatologie	55

2.1.1. Pluviométrie	56
2.1.2. Précipitations mensuelles et saisonnières	56
2.1.3. Précipitations interannuelles	57
2.2. Evaluation des paramètres du bilan hydrogéologique	69
2.2.1. Evaluation des précipitations	69
2.2.2. Evaluation de l'évaporation	70
2.2.3. Les données hydrométriques	70
2.2.4. Evaluation des apports souterrains	74
2.3. Validité des formules d'évaluation des précipitations et de l'évaporation pour la période (1955-1963)	74
3. Régions sud de l'Oued Lao	75
3.1. Compartiment est du linéament de Jbel Lakraa	76
3.1.1. Sources du compartiment	76
3.1.1.1. Sources de l'unité de Jbel Tazoute	76
3.1.1.2. Sources des écailles d'Abou Bnar	77
3.1.1.3. Sources de l'unité de Beni M'Hamed	77
3.1.1.4. Sources de l'unité de Jbel Talasemtane	78
3.1.1.5. Sources de l'unité de l'Oued Asaki	78
3.1.1.6. Sources de l'unité de Jbel Achefaha	79
3.1.1.7. Sources de l'unité d'Amettrasse	79
3.2.1. Ecoulement de la nappe	79
3.2. Compartiment ouest du linéament de Jbel Lakraa	84
3.2.1. Sources de l'unité de Jbel Tissouka	84
3.2.2. Sources de l'unités de la nappe de Jbel Lakraa	86
4. Régions nord de l'Oued Lao	90
4.1. Zone sud de Dar Chouaker	90
4.1.1. Sources de la bordure ouest de la dorsale	91

## REMERCIEMENTS

4.1.1.1. Unité de Bettara	91
4.1.1.2. Unité d'Arifane	94
4.1.2. Le reste des sources inventoriées	95
4.1.2.1. Sources de la bordure est de la Hafa del Ferkenix	95
4.1.2.2. Sources de l'unité de Majjou	95
4.1.2.3. Sources de l'unité d'Ifahsa	96
4.1.2.4. Sources de l'unité d'Imourassine	96
4.1.2.5. Sources de l'unité d'Abjiouene	96
4.2. Régions nord de Dar Chouaker	97
4.2.1. Sources de la Hafa del Ferkenix	99
4.2.2. Sources de la Hafa En Nator	99
4.2.3. Sources de l'écaille de Saaden	100
4.2.4. Sources de l'unité d'Arifane	100
5. Bassin versant de l'Oued Lao	100
6. Bassin versant de l'Oued Farda	106
7. Bassin versant de l'Oued Kaala	111
8. Bassin versant de l'Oued El Had	114
9. Nappe de Jbel Tissouka	120
10. Hydrochimie	133
10.1. Définition de différents types d'eau de la dorsale	133
10.2. Région nord de l'Oued Lao	135
10.2.1. Faciès bicarbonaté magnésien	138
10.2.2. Faciès bicarbonaté calcique	139
10.3. Hydrochimie au sud de l'Oued Lao	141
10.4. Conclusion	148
11. Hydrodynamisme des nappes	151
11.1. Réponse des aquifères aux précipitations	151
11.2. Tarissement des aquifères	155
11.3. Conclusion	163
12. Conclusion générale	172
Bibliographie	179
Annexes	183
Liste des figures	207

Au terme de cette étude, je tiens à remercier les personnes qui, au Maroc comme en France, m'ont aidé à sa réalisation.

Mr Jellali Mohamed, directeur de la D.R.P.E. de Rabat qui m'a confié ce travail et qui a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour le réaliser.

Tous les ingénieurs et employés de la D.R.H. de Tetouan sous la direction de Mr Bouguenouch Ben Daoud qui m'a réservé avec patience un grand temps pour suivre mon travail au Maroc.

Mr MoudenMustapha, directeur de la formation professionnelle à Rabat, pour ses conseils et sa sympathie.

Les responsables de la D.A.F.P. du Ministère de l'équipement au Maroc.

Mr Sarrot Reynauld qui m'a accueilli à l'Institut Dolomieu, a dirigé mes travaux.

Mr Barbier qui m'a fait l'honneur de présider le Jury.

Mr Perriaux et Mr Fourneau pour avoir accepté de faire partie du Jury.

Tous les amis à Grenoble.

Mes remerciements vont également au personnel de l'Institut Dolomieu.

Enfin, je dédie ce travail à ma mère, mes soeurs et à tous les membres de ma famille qui m'ont été d'une grande aide morale et financière.

## ABSTRACT

The "dorsale", one of the Rif structural zones, is the most important aquifer. This importance is related to its extended area, the copious rain fall received and the abundance of perennial springs and washes fed by this zone.

The drastic summer low level and abundance of avens, cave and lapiaz prove that it is a karstic water-bearing system.

The "dorsale" is made up of several thrust units highly altered and fractured. These units form the elements of different thrust sheets defined on stratigraphic and tectonic criteria. In addition to their vertical and horizontal facies variations, they show a large degree of complexity.

The climatic study shows that the rain distribution is highly heterogeneous on monthly scale but obeys altimetric gradient on yearly scale.

Using mathematical models, some groundwater components of the hydrologic balance were estimated for several aquifers and basins.

The inventory of springs was completed and the chemistry of water analysed for some of them. Thus it was possible to classify aquifers and to investigate their horizontal extension and some hydrologic relationships. These results were confirmed by hydrodynamic studies, also showing the extension of the groundwater basins of some washes and defining the alimentation belt in south of Oued Lao.

The combination of the different methods of study allows us to define several aquifers, to determine the relation between them and to demonstrate the independence between the tectonic position of the units and the distribution of aquifers.

According to exurgences flow rate, the main discharge directions and the potential drill sites areas were determined.

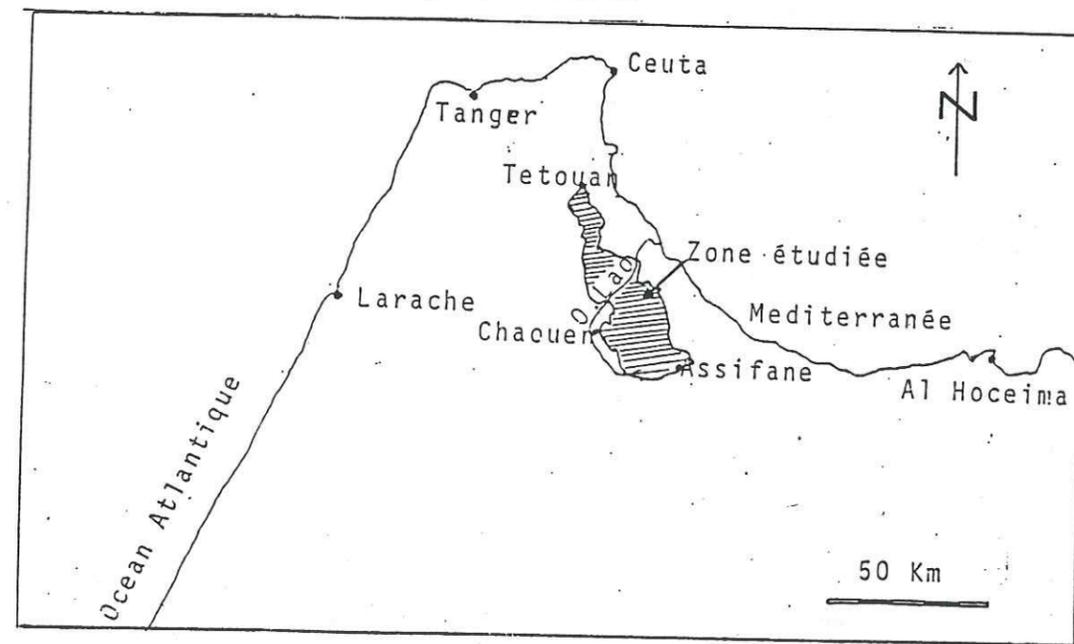
### INTRODUCTION GENERALE

Le secteur dont nous avons entrepris l'étude hydrogéologique se situe dans la partie septentrionale du Maroc et plus précisément dans une partie de la chaîne montagneuse du Rif située au sud de Tetouan. Ce secteur compris entre les villes de Tetouan, Chaouen et Assifane comporte plusieurs massifs d'altitude élevée (jbel Lakraa 2159m, jbel Tissouka 2122m, jbel Tazoute 1855m et jbel Kelti 1926m). Il est drainé pour sa majeure partie par l'oued Lao ( Voir figure ci-dessous) qui a plusieurs affluents qui sont en rive droite oued Talembote et oued Sarem et en gauche oued Tassikeste, oued Talagamine et oued Abyati.

Du point de vue géologique, la chaîne du Rif est subdivisée en trois domaines: Le domaine interne, le domaine externe et les nappes de flyschs.

Dans le domaine interne, si les schistes paléozoïques sont hydrogéologiquement stériles, les chaînes calcaires sont le siège de plusieurs aquifères. Ces chaînes présentent des discontinuités qui les subdivisent en trois tronçons: La chaîne du Haouz, la Dorsale calcaire et les Bokkoyas.

Parmi ces trois tronçons, vue la superficie de la Dorsale et compte tenu du nombre et de l'importance aussi bien des sources que des oueds, le tronçon central est le seul structuralement capable de comporter un aquifère profond. L'importance de cet aquifère est due à l'épaisseur des bancs calcaires qui atteint plusieurs milliers de mètres à cause des plissements et des redoublements de séries par charriage. De plus, on ignore actuellement l'extension de ces calcaires en profondeur dont dépend le volume d'eau en réserve de façon permanente.



La position structurale de ce domaine et surtout le plongement des masses calcaires sous les nappes paléozoïques qui forment une couverture peu perméable à imperméable laissent penser que cet aquifère est en charge et même jaillissant dans les points bas. De plus, la couverture paléozoïque imperméable protège le réservoir contre les invasions d'eau salée. En effet, on admet actuellement que la Dorsale calcaire est chevauchante vers l'Ouest au dessus des flyschs crétacés et elle-même chevauchée par les terrains primaires situés plus à l'Est.

De nombreuses sources sourdent au pied de la Dorsale au contact des calcaires et des couches imperméables. Ces contacts sont presque toujours d'origine tectonique. Des sources mêmes voisines sourdent à des altitudes différentes ce qui semble démontrer l'existence de nombreux réseaux karstiques peu ou pas connectés entre eux.

L'aspect superficiel des calcaires prouve qu'il s'agit d'un aquifère karstique. En effet les formations sont fortement tectonisées et même broyées et sont le siège de plusieurs grottes, de lapiaz et de cavernes.

En matière de bilan, et d'après J.P. TAUVIN (1964, Etude sur les chaînes du Jbel Dersa du Nord de Tetouan) le débit des sources correspond grosso modo aux infiltrations. Il faut également signaler celui établi par M. MOREL sur l'oued Smir en 1981 ; il ressort de ce bilan effectué sur les 18,5 km<sup>2</sup> de la superficie en zone calcaire que le débit spécifique moyen annuel est de 11,7 l/s/km<sup>2</sup> (3,8 l/s/km<sup>2</sup> en période d'étiage) pour des précipitations de 840 mm/an. Certes ces régions sont situées dans la chaîne du Haouz, mais les conclusions peuvent être en partie extrapolées à la Dorsale calcaire. Pour cette dernière et d'après J.P. TAUVIN :

- le débit total des exutoires connus serait compris entre 5 et 6 m<sup>3</sup>/s.
- la superficie est de 750 km<sup>2</sup>.
- les précipitations moyennes sont de 1000 mm/an.
- le coefficient d'infiltration de 30 à 35 %.

Ce qui laisserait penser qu'un débit occulte non négligeable part à la mer soit directement dans les calcaires en profondeur soit par abouchement avec la couverture paléozoïque.

En réalité il est impossible d'établir un bilan hydraulique précis car on connaît mal les débits des oueds et ceux des sources.

PREMIERE PARTIE

-----  
GEOLOGIE  
-----

## CHAPITRE I : CONTEXTE GEOLOGIQUE , d'après A. MICHARD (1976)

### 1. Introduction

Située dans le nord du Maroc, la chaîne du Rif est considérée comme une entité étrangère par rapport au craton africain dont elle est séparée par la meseta marocaine et le domaine atlasique (Moyen et Haut Atlas). En effet cette chaîne à style et âge alpins, présente des caractères d'orogénèse géosynclinale. Ceci est prouvé par les mouvements orogéniques répétés et enchaînés et par les manifestations magmatiques tardives et post tectoniques ; à cela s'ajoutent des plissements intenses accompagnés de métamorphismes et des mouvements de charriage d'ampleur variable. Par conséquent, si les cordillères bétiques représentent la branche septentrionale de la chaîne alpine, le Rif représente lui la branche méridionale de l'extrémité occidentale.

En ce qui concerne la paléographie du Rif, la forme du géosynclinal et le déplacement des nappes de charriage ne sont pas définitivement établis et restent sujets de discussions et d'hypothèses.

Pour la subdivision structurale du domaine, on distingue trois grandes unités concentriques qui forment un arc dont la concavité est tournée vers la Méditerranée. Du cœur de l'arc vers la périphérie on a :

- une zone paléozoïque littorale
- une zone moyenne jurassique de hautes montagnes calcaires dite chaînes calcaires. Ces deux premières zones constituent le domaine interne du Rif ou Rif Septentrional
- enfin une zone périphérique de flysch (voir fig. n° 1).

### 2. Rif Septentrional

#### 2.1. La zone paléozoïque

Limitée à l'Est par la Méditerranée et bordée à l'Ouest par les reliefs de la dorsale calcaire et du chaînon du Haouz, cette zone est constituée par trois nappes dites Ghomarides à déversement vers l'Ouest, qui reposent en contact anormal sur un substratum métamorphique "Sebtide".

Ce substratum apparaît en demi fenêtre en plusieurs points ; le plus important est le massif de Beni Bouchera où on trouve un noyau de péridotites entouré de gneiss, de micachistes et de sericitoschistes associés à des quartzites sericiteux et des cipolins. Ces séries se terminent localement par des dolomies métamorphiques du Trias.

Pour les Ghomarides on a essentiellement trois nappes :

- . la nappe supérieure de Beni Hozmar
- . la nappe supérieure de Beni Hozmar
- . la nappe moyenne de Koudiet Tizian

Au sein de la nappe de Beni Hozmar, on a la succession stratigraphique suivante :

- . des schistes et phanites siluro-dévonien
- . des conglomérats et flyschs carbonifères
- . un Permien sous faciès de conglomérats, grès psammites et marnes gréseuses.

Pour la nappe de Koudiet Tizian, on trouve des faciès schisteux à conglomérats et phanites et des calcaires emsiens.

La nappe d'Akaili, relativement plus étendue est composée essentiellement de schistes, grès et grauwackes dévono-dinantiens, de calcaires et conglomérats carbonifères et d'un Permien analogue à celui de la nappe de Beni Hozmar.

Par ordre chronologique, la série stratigraphique de la zone paléozoïque comporte :

- des formations métamorphiques
- des schistes phylliteux de couleur gris-fumé d'âge cambro-ordovicien
- un complexe allant du Gothlandien au Carbonifère comportant des schistes, grauwackes, des quartzites, des conglomérats verdâtres ou blancs des schistes argileux violacés, des calcaires noirs ou roses un conglomérat à galets blancs et ciment rouge marqué sur cet ensemble la transgression Permo-triasique.
- la série est couronnée par des grès violacés et lie de vin et exceptionnellement par des marnes à gypse, niveaux attribués au Werfenien.

Enfin, deux éléments particuliers s'ajoutent localement aux nappes de cette zone et qui sont :

- le lambeau de Jbelzem-zem à faciès numidien (voir nappes de flyschs),
- la série de Federico qui précède parfois la nappe inférieure d'Akaili et qui se caractérise par des phyllades rouge-violet du Trias.

## 2.2. Chaines calcaires

Dans le domaine interne, si la zone paléozoïque est altimétriquement basse, les chaînes calcaires forment les culminations les plus importantes du Rif. Ces chaînes sont constituées de formations généralement carbonatées et d'âge post-werfenien. Ces chaînes présentent des discontinuités de relief qui les divisent en trois tronçons alignés entre Ceuta et AL Hoceïma. Du Nord au Sud, on a :

### 2.2.1. La chaîne du Haouz

Située au Nord de Tetouan, ce chaînon, avec des nappes superposées et des écaillés redressées, a une structure relativement simple.

### 2.2.2. La Dorsale calcaire

C'est la plus importante portion des chaînes calcaires qui s'étend de la cluse de Tetouan à Jebha. Elle possède une structure très complexe avec un empilement de nappes de charriage, des écaillés tectoniques et des lineaments.

Selon, le sens de déversement des nappes, si cette dorsale chevauche la zone des flyschs, elle se trouve chevauchée à l'Est par les formations paléozoïques qui s'étendaient au moins jusqu'à la région de Talembote où existe une klippe à semelle paléozoïque et qui se continue par les formations les plus anciennes de la dorsale. Ceci prouve que les séries de la Dorsale calcaire constituent la suite verticale des formations paléozoïques décrites précédemment.

### 2.2.3. Les Bokoyas

Située au Nord-Est du Maroc, cette chaîne se compose de deux nappes à matériel secondaire carbonaté. Pour la nappe supérieure, celui-ci repose sur un paléozoïque de type Ghomaride constituant ainsi l'élément basal de la nappe. Quant aux termes tertiaires, ils sont représentés aussi bien pour la nappe inférieure que pour la nappe supérieure par un faciès détritique.

### 2.3. Nappes de flyschs

Ces nappes, chevauchées par les chaînes calcaires sont à leur tour charriées sur le domaine externe. Ces nappes "ultra" sont au nombre de trois. De bas en haut on a :

2.3.1. - la nappe de Chouamat-Melloussa : elle renferme une série du Néocomien au Paléocène. Du bas vers le haut la suite stratigraphique est la suivante :

- des marno-calcaires Néocomiens
- un flysch argilo-quartzitique albo-aptien
- des marno-calcaires du Crétacé moyen
- des marnes, des marnes à boules, à microbrèches et à interbanes de calcaires fins du Crétacé sup.
- enfin des calcaires à microcodium du paléocène.

#### 2.3.2. La nappe de Tizerene-Beni Ider

##### 2.3.2.1. Nappe de Beni Ider

Cette nappe est formée par une série marno-gréseuse d'âge oligocène dont l'épaisseur est supérieure à mille mètres, qui surmonte une puissante formation composée essentiellement d'un ensemble marneux à intercalations de grès calcaires et de microbrèches calcaires d'âge Senonien.

##### 2.3.2.2. Nappe de Tizerene

Cette nappe est formée par la suite verticale de la série composant la nappe de Beni Ider. En effet, elle renferme :

- des marno calcaires violacés à radiolarites, des marno-calcaires et des marnes grises du Malm inférieur et moyen
- des flyschs, constituant les termes sommitaux de la nappe, datés du Tithonique supérieur à la base et de l'Aptien au sommet.

Pour la nappe Tizerene-Beni Ider, la continuité stratigraphique des formations laisse penser à un double décollement.

- le premier à la base du Cénomaniens pour donner naissance à la nappe de Beni Ider.
- le second au Malm pour la formation de la nappe de Tizerene.

#### 2.3.3. La nappe numidienne

Cette nappe, à l'état de lambeaux, repose sur les nappes précédentes, sur le domaine externe et particulièrement à Jbel zem-zem sur le domaine interne.



Ce dernier lambeau, le plus oriental, témoigne de l'origine ultra des nappes de flyschs.

En ce qui concerne les faciès, les nappes numidiennes sont caractérisées par des grès à gros grains de quartz à ciment souvent ferrugineux et à intercalations d'argiles schisteuses à petits lits gréseux fins. Leur partie basale est constituée soit de marnes sableuses rougeâtres à lits de calcaires gréseux probablement de l'Eocène supérieur (à l'Ouest de Chaouene) soit sur des argilites colorées d'âge Oligocène (région de Tanger).

### 3. Domaine externe

Ce domaine se subdivise en trois zones para-autochtones qui sont :

- la zone intrarifaine
- la zone mésorifaine
- la zone péririfaine

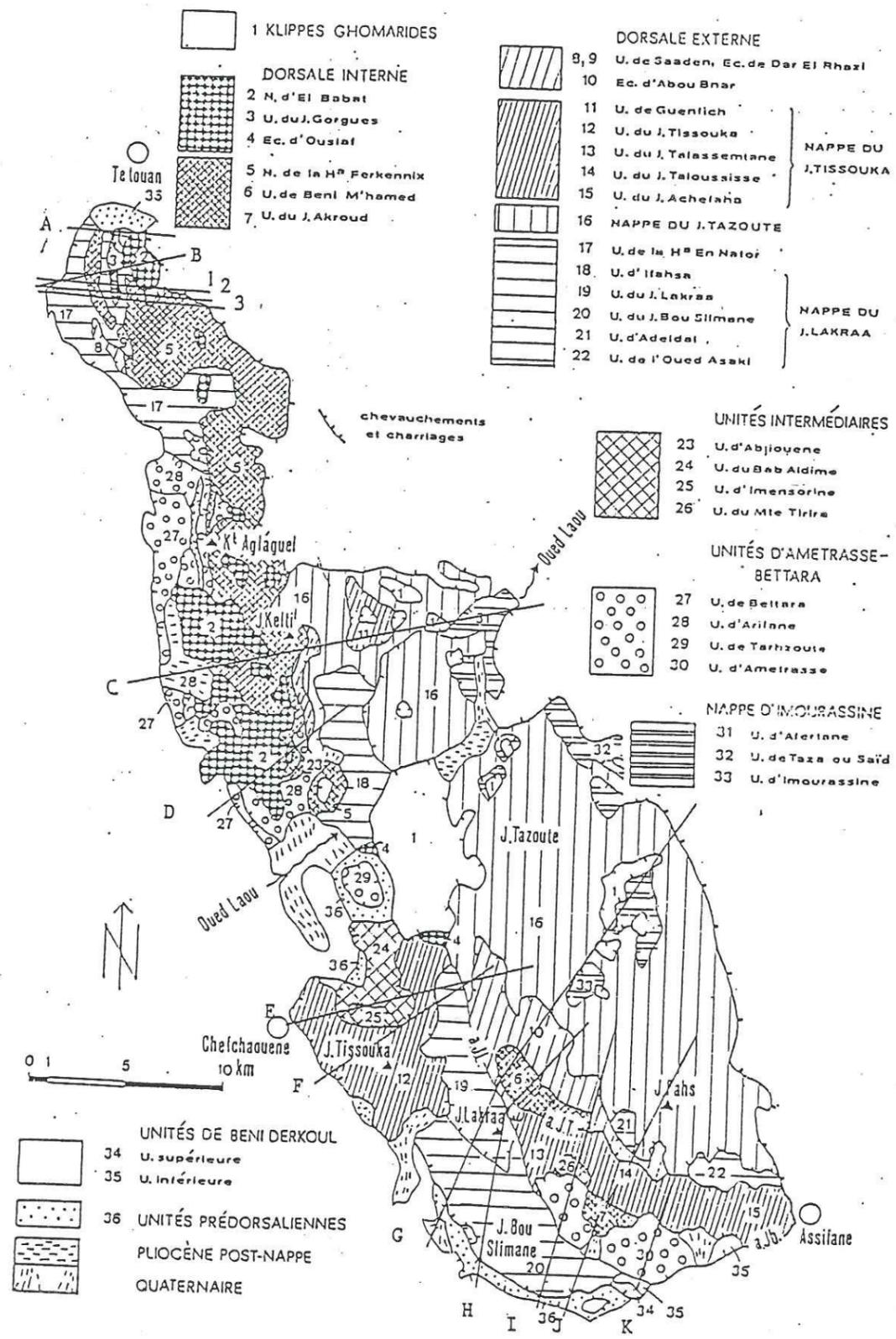


FIG. 2: Schéma structural de la Dorsale calcaire d'après Nold, Uttinger et Wildi (1981)

CHAPITRE II : GEOLOGIE DE LA DORSALE CALCAIRE d'après Nold, Uttinger et Wildi (19

L'étude structurale de la dorsale montre la présence de plusieurs unités charriées (voir fig. 2). Les plus représentatives et qui couvrent la majeure partie de la surface sont de deux sortes. Leur série stratigraphique renferme des termes mésozoïques et tertiaires. Selon l'ordre d'importance, on a :

- un premier type qui couvre presque la totalité des zones sud de l'oued Lao où affleurent les unités les plus importantes de la dorsale et qui couvre en partie la zone septentrionale. Dans ces unités, les séries typiques sont :

- des dolomies à stromatolithes : il s'agit de formations basales dont la puissance varie de quelques dizaines de mètres à 900 m. Elles renferment des intercalations calcaires et marneuses.

- des alternances de calcaires, de dolomies et de marnes du Rhétien dont l'épaisseur varie de 80 à 300 m.

- des formations massives calcaires et/ou dolomitiques selon, l'unité considérée. Cette formation n'est pas paléontologiquement datée mais par encadrement elle est attribuée à l'Hétangien.

- des calcaires lités à silex et des brèches intraformationnelles sont datés du Sinumerien et du Pliensbachien. Le Toarcien ne se trouve que dans le secteur septentrional (unité de la Hafa en Nator).

- des séries condensées du Dogger au Crétacé inférieur avec des calcaires à filaments, des radiolarites et des calcaires à Aptychus.

- des brèches, des calcaires gris et des argiles sombres du Paléocène.

- des poudingues, des calcaires organogènes, des arénites, des marnes et des marnes à blocs représentent le Tertiaire.

Les variations de la succession stratigraphique d'une unité à l'autre sont représentées sur les figures 3 et 4.

- Le second affleure essentiellement au Nord de l'oued Lao. Les unités existant dans le secteur Sud de la dorsale sont représentées par des klippes de faible importance.

Dans ces unités on trouve la succession stratigraphique suivante :

- des formations détritiques rouges du Pero-werfénien avec des argiles, des grès, des conglomérats et du gypse au Col de El Babat.

- des dolomies grises à intercalations arénitiques et conglomératiques du Trias moyen à supérieur avec des dolomies massives au sommet

représentant partiellement l'Hettangien.

- des calcaires massifs blancs, souvent algaïres attribués au Sinumerien et dont la base peut inclure une partie de l'Hettangien.
- des séries condensées avec des calcaires à silex du Lias moyen.

Ces unités présentent des variations d'une unité à l'autre et même au sein de la même unité (voir fig. 5 et 6).

Du point de vue structural, ces unités se trouvent charriées sur les précédentes et sont groupées sous le terme d'unités de la Dorsale interne, alors que les autres, qualifiées comme autochtones par certains auteurs sont nommées : unités de la dorsale externe.

Pour ces deux types d'unités, il est à remarquer qu'il y a deux critères de distinction :

- Le premier est d'ordre chronologique : en effet, si les séries basales de la dorsale externe sont du Trias supérieur basal (ou du Trias moyen élevé ?), celles de la dorsale interne sont d'âge Permo-Werfenien.

- Le second est d'ordre sédimentaire puisque les alternances calcaréo-dolomitiques du Rhétien sont caractéristiques de la dorsale externe alors que la dorsale interne est caractérisée par les calcaires massifs blancs du Lias inférieur.

Le second critère a permis de classer certaines unités comportant aussi bien des alternances calcaréo-dolomitiques que des calcaires massifs blancs (ex : unité de Bab Aïdeme) ou qui sont totalement dépourvues de formations typiques (ex : unité de Mte Trira). Ces unités sont regroupées sous le nom d'unité intermédiaire car certaines d'entre elles (unité d'Abjiouene) sont placées entre les unités de la dorsale interne et celles de la dorsale externe.

Pour le reste des unités, si les unités d'Imourassim et de Beni-Derkoul constituent des unités particulières, les unités d'Amettrasse-Bettara se caractérisent par leurs formations essentiellement tertiaires. Ce Tertiaire est formé par :

- des marnes roses et jaunes d'âge éocène supérieur-oligocène constituant la formation basale.

FIG. 3

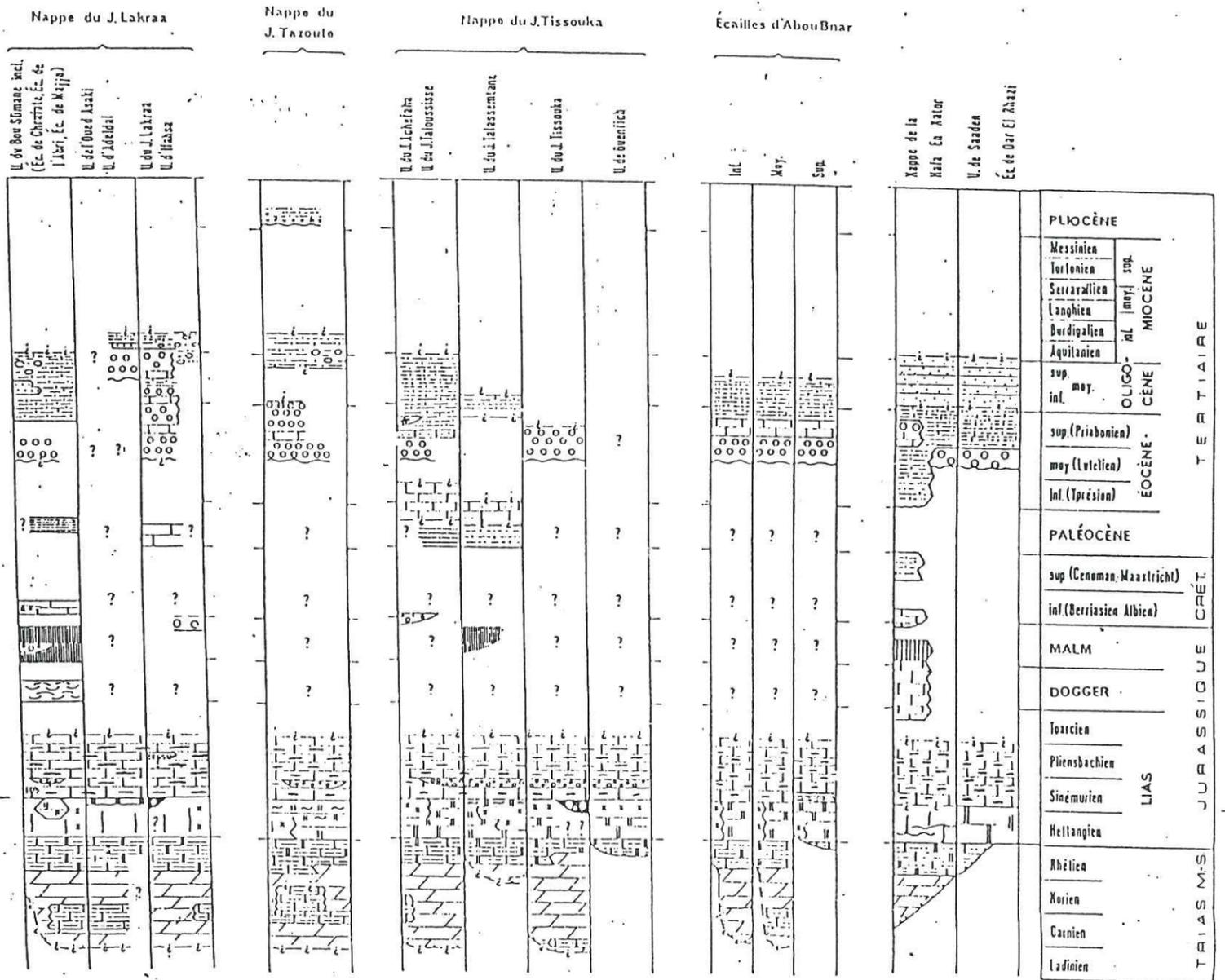


FIG. 4

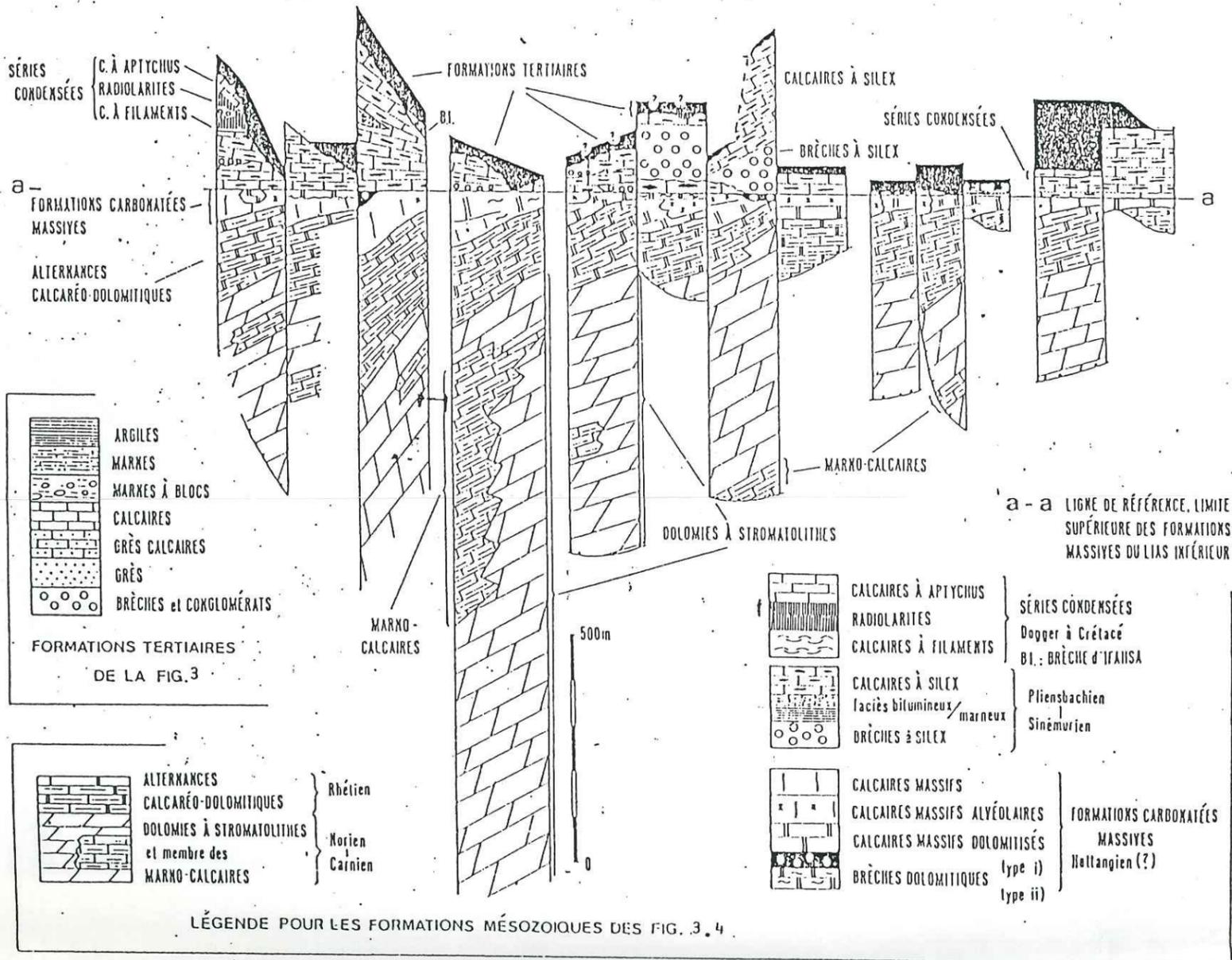


FIG. 3 et 4: Stratigraphie des unités de la Dorsale externe

(Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

NW

SE

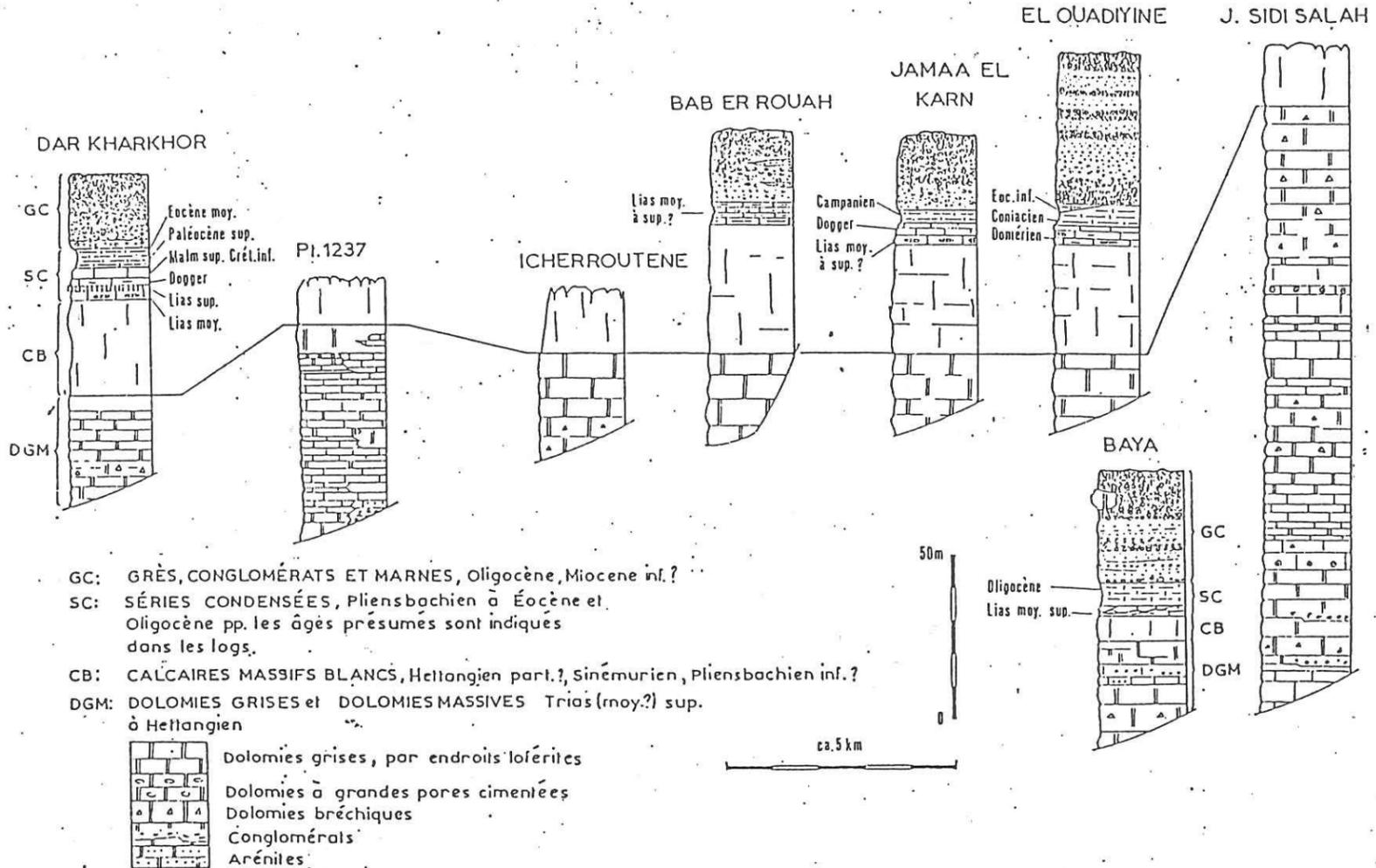


FIG. 5: Variations latérales des séries de la nappe de la Hafa del Ferkennix (Nold, Uttinger et Wildj, 1981)

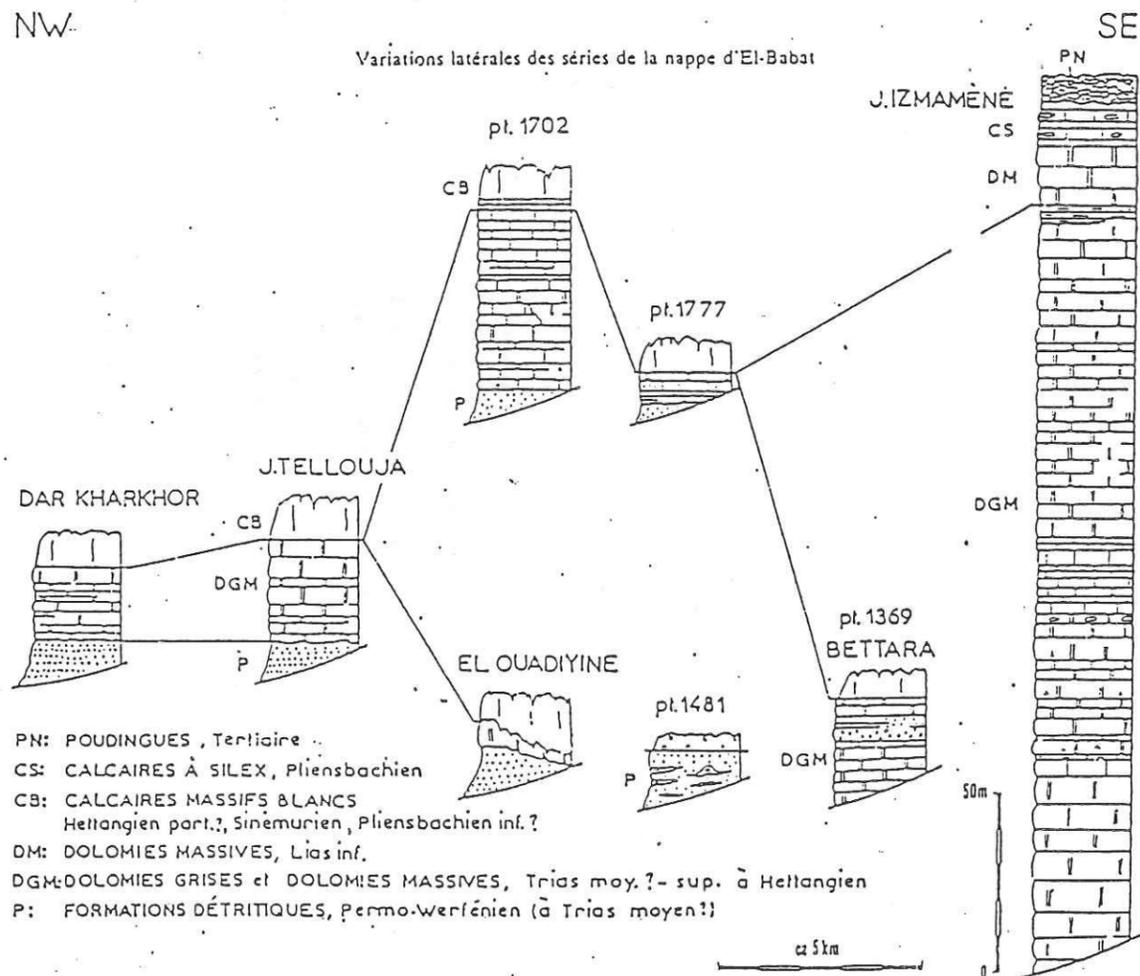
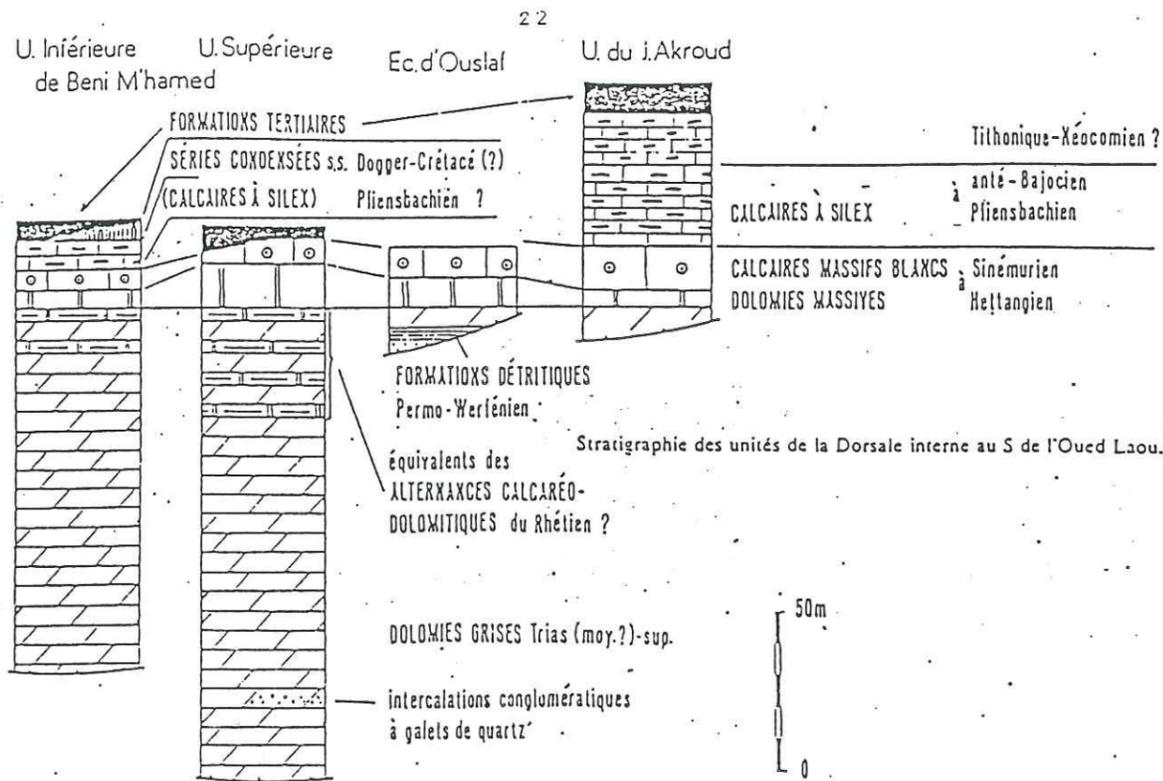


FIG. 6: Stratigraphie des unités de la Dorsale interne au Sud de l'oued Lao et variations latérales des séries de la nappe d'EL Babat (Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

- des grès et conglomérats constitués de grès micasés, de grès et d'arénites calcaires à intercalations conglomératiques comportant des galets de provenance dorsaliennne mais aussi des schistes paléozoïques et des gneiss L'âge de cette formation n'est pas encore défini.

La stratigraphie des unités intermédiaires, des unités d'Ametrasse-Bettarra et celle des unités d'Imourassine et de Beni Derkouf est résumée dans les figures 7, 8 et 9.

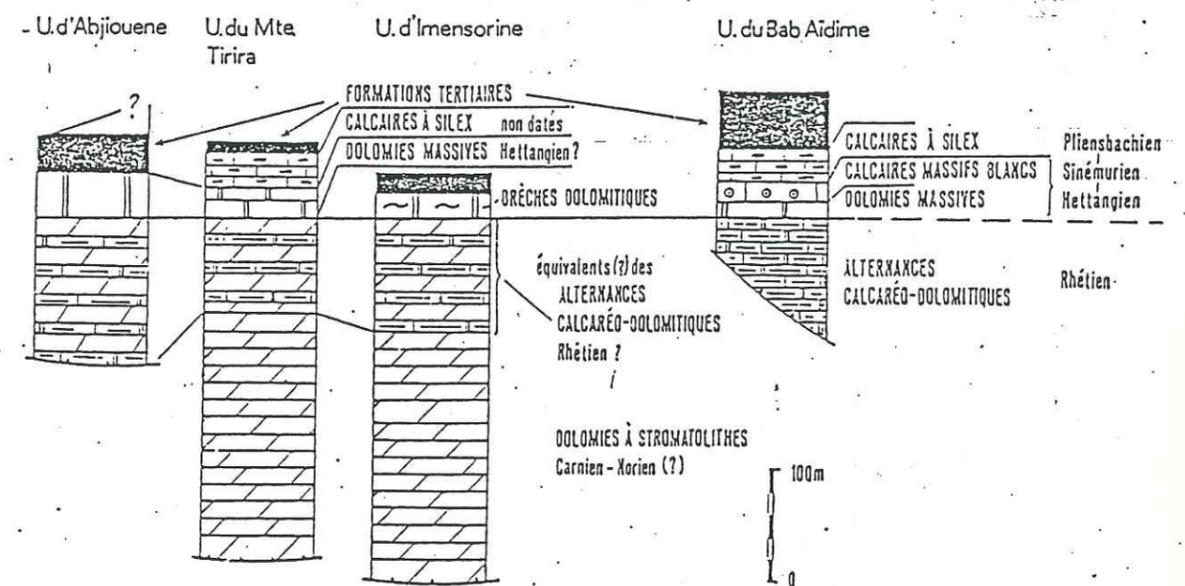


FIG.7: Stratigraphie des unités intermédiaires de la Dorsale (Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

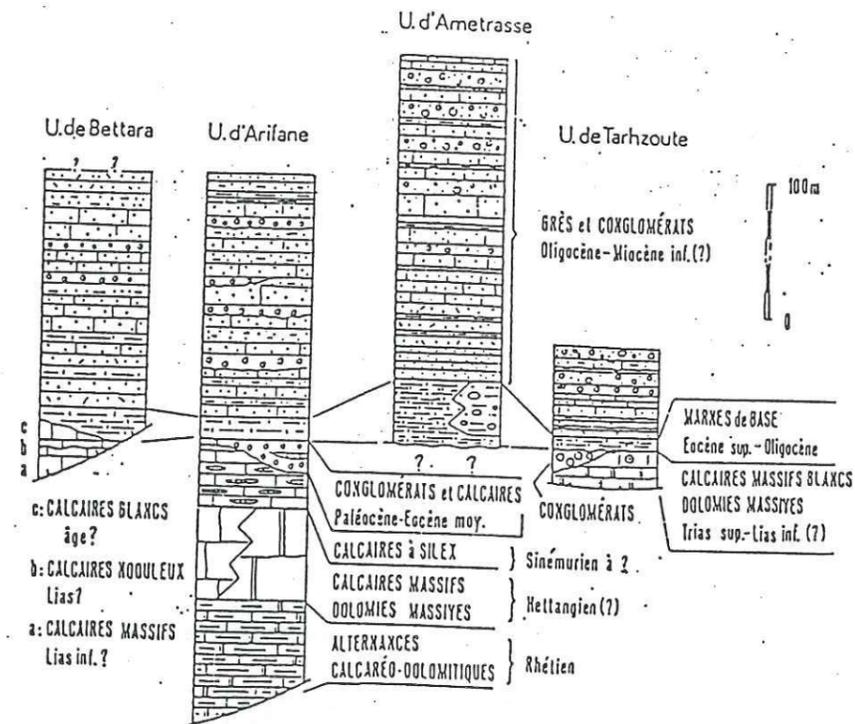


FIG. 8: Stratigraphie des unités d' Ametrasse-Bettara (Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

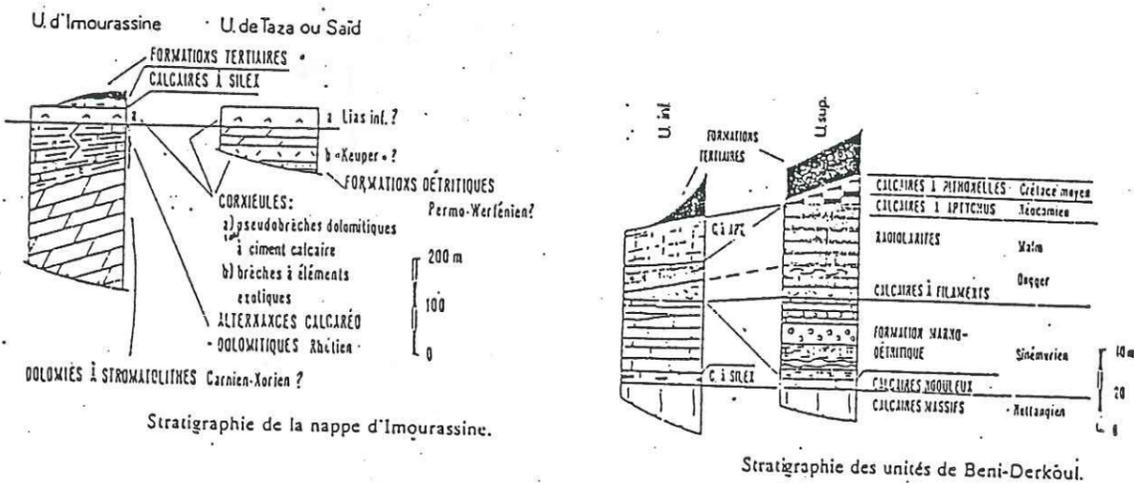


FIG.9: Stratigraphie des unités d'Imourassine et de Beni Derkoul (Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

CHAPITRE III : ETUDE STRATIGRAPHIQUE d'après Nold, Uttinger et Wildi (1981)

Dans cette étude, et tenant compte de l'importance des unités, seules les unités de la dorsale externe et celles de la dorsale interne seront traitées. Parmi ces unités, la description des séries, des colonnes stratigraphiques et des variations latérales ou verticales qui peuvent exister sera plus précise pour les unités de grande extension.

1. Stratigraphie des unités de la dorsale externe.

1.1. Dolomies à stromatolithes et les membres marno-calcaires du Trias moyen et supérieur

Représentant la couche la plus ancienne des unités de la dorsale externe, cette formation est constituée par des dolomies grises souvent macrocristallines. Ces dolomies sont litées en bancs dont l'épaisseur varie de 2 à 100 cm. Les membres marno-calcaires, interstratifiés, se trouvent à des niveaux variables selon l'unité. Ces calcaires sont micritiques avec une teneur élevée en bitume ce qui prouve que leur sédimentation s'est faite dans un milieu euxinique.

Pour les dolomies, si certains bancs sont sans structures sédimentaires, d'autres en renferment plusieurs. Parmi ces structures, on a :

- des laminations ondulées et plans parallèles d'origine algaire.
- des laminations entrecroisées preuves d'une accumulation détritique.
- des vidès (dessiccation des pores) dus à des phénomènes de dessiccation.
- des brèches intraformationnelles.

D'une unité à l'autre plusieurs variations peuvent être décelées.

Pour les nappes de Jbel Lakraa, si cette formation est constituée par de gros bancs de dolomies ou les structures sédimentaires sont rares dans l'unité de Jbel Bouslimane, dans l'unité de Jbel Lakraa on reconnaît de nombreuses structures avec des laminations parallèles, des stratifications entrecroisées et des brèches dont la genèse ne peut s'expliquer que par l'action de courants de marées et de tempêtes. Par conséquent même ces deux unités appartiennent à la même nappe, mais cette formation s'est déposée dans un milieu de plus haute énergie pour l'unité de Jbel Lakraa.

Pour la nappe de Jbel Tazoute, vu le bouleversement tectonique, on ne peut reconstituer la succession des séries. Selon les régions, on a : des cycles de 2 à 5 m d'épaisseur de dolomies cavernueuses, grises et à laminations ondulées et des dolomies à laminations en plans parallèles et entrecroisés au Sud du village d'Adeldal ; des dolomies marneuses, des calcaires marneux et des marnes intercalés dans les dolomies à stromatolithes dans la vallée de l'oued Adeldal ; des dolomies à gros bancs dans la vallée de l'oued Tijidda et au Nord-Est du village d'Azarhar.

Au contact des alternances calcaréo dolomitiques du Rhétien, on trouve des dolomies massives mégacristallines tant dans la vallée de l'oued Tijidda qu'au Nord-Est du village d'Azarhar (voir fig. 10).

Pour les unités de la nappe de Jbel Tissouka, la partie basale de la formation est représentée par des dolomies isotropes sans structures sédimentaires et dont la puissance est de 500 à 700 m, puis on passe à des rythmes de dolomies bréchiques et à laminations en plans ondulés et des dolomies à laminations parallèles.

Pour les unités d'Achefaha et de Jbel Taloussisse, si le Trias est représenté par une couche de 300 m d'épaisseur de dolomies suivie par des termes marno-calcaires dans l'unité d'Achefaha, le Trias de l'unité de Jbel Taloussisse est la continuation vers le Nord de la précédente unité. Il est formé par des dolomies spathiques en gros bancs. Si les structures sédimentaires sont rares dans la partie inférieure, la partie sus-jacente se caractérise par une abondance de laminations en plans parallèles et entrecroisés et des pores de dessiccation. Cette zone est constituée de rythmes de dolomies à stromatolithes composés de 2 à 3 m de dolomies brun clair à grains fins et de 1 à 2 m de dolomies spathiques.

Dans la partie sommitale, les laminations sont rares et on note une interstratification de calcaires et de dolomies calcaires dans les dolomies.

Dans l'unité de la Hafa en Nator, cette formation est composée de dolomies grises à grains moyens à lamination algaire et de brèches dolomitiques. Ces dolomies se présentent en gros bancs séparés par des dolomies marneuses à grains fins.

Il y a donc des variations non seulement d'une nappe à une autre mais au sein de la même nappe il existe certaines variations d'une unité à l'autre.

Coupe 1: Au NE du village d'Azarhar

Coupe 3: Au NE de jbel Bouhalla  
(Unité de jbel Bôu Slimane)

X=525 100

Y=500 850

Z=1490 m

X=525 900

Y=516 900

Z=1 355 m

X=525 100

Y=516 850

Z=1 350 m

membre des MARNO-CALCAIRES

MARNO-CALCAIRES

100m  
50m  
0m

100m  
50m  
0

Coupe 2: Dans la vallée de  
l'oued Tijjida

X=527 150

Y=508 950

Z=685 m

X=524 300

Y=516 250

Z=900 m

-  marne
-  calcaires marneux/ dolomies marneuses
-  calcaires
-  calcaires dolomiques
-  dolomies calcaires
-  dolomies
-  roches cavernueuses
-  roches spathiques
-  roches riches en bitumes
-  oolites, oncolites
-  stromatolites
-  biolithes à Polypiers et Algues
-  nodons de silex
-  roches brayées

FIG 10 : Dolomies à stromatolithes du Norien-Carnien de la nappe de jbel Tazoute (coupe 1 et 2) et dans la nappe de jbel Lakraa. (coupe 3) (Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

Pour l'âge de ces formations, la rareté des faunes rend difficile la datation. Mais la présence d'un moule interne de pectinidae *Praeclamys transdanubialis* dans la partie supérieure des dolomies de l'unité de Jbel Bouslimane indique un âge carnien. Il semble que le milieu sédimentaire, était inter à supratidal. Mais les changements rapides de faciès, la pauvreté de faunes et la richesse en phénomènes de dessiccation indiquent que ces sédiments se sont déposés dans de petites dépressions mal aérées établies sur la plateforme de dolomies à stromatolithes.

### 1.2. Les alternances calcaires-dolomitiques du Rhétien

Cette formation est constituée par des cycles comportant des séquences. La séquence virtuelle fréquemment rencontrée est la suivante, du bas vers le haut :

- des marnes, en partie à interbancs calcaires,
- des calcaires,
- des calcaires dolomitiques et dolomies avec surfaces à fentes de dessiccation.

Pourtant plusieurs variations existent :

Dans l'échelle moyenne d'Abou Bnar, il a dix cycles presque parfaits. A l'échelle de la formation, trois parties inégales peuvent être distinguées. Une partie moyenne à prédominance dolomitique, des parties inférieure et supérieure riches en calcaires. L'importance de ces divers termes lithologiques varie aussi bien à l'intérieur d'une même unité que d'une unité à une autre. Si le milieu de dépôt des calcaires est infratidal, les dolomies sont inter ou supratidales et par conséquent il y a des variations rythmiques dans les conditions de dépôt. La présence de *Avicula Contorta* dans les premiers bancs de cette formation dans l'unité de Jbel Lakraa montre qu'il s'agit du Rhétien.

#### 1.2.1. Nappe de Jbel Tazoute

Si cette formation débute par des séries calcaires et marneuses litées en bancs de 5 à 50 cm d'épaisseur, sa partie basale est représentée par des stromatolithes calcaires, des calcaires à coraux puis des dolomies à fentes de dessiccation entre Adeldal et Beni M'hamed. Au Nord de l'accident de Jbel Kabba-Abad, ce niveau est formé par des séries de calcaires sombres dont la matrice renferme des micrites calcaires et des intraclastes dolomitiques alternant avec des marnes. Dans le versant Nord de l'oued Adelmane, cette série est constituée essentiellement de calcaires lités et de marnes.

1.2.2. Nappe de Jbel Lakraa (fig. 11)

Dans l'unité de Jbel Bouslimane, cette série présente également des variations. En effet, à Jbel Chrafate cette série est formée par des calcaires lités et séparés par des zones marneuses représentant ainsi le niveau inférieur de la formation. Le niveau moyen et supérieur est constitué par une succession de diverses roches carbonatées. A Jbel Bouslimane, cette formation débute par des calcaires et des calcaires oolithiques partiellement dolomitisés, rarement à intercalations marneuses. La partie moyenne et supérieure est essentiellement formée par des calcaires fossilifères à lamellibranches. Dans l'unité de Jbel Lakraa, ces alternances débutent par des marno-calcaires, des dolomies marneuses et des marnes. Ensuite, viennent des alternances de calcaires et de marnes, puis, des calcaires dolomitiques et des dolomies calcaires et marnes. La partie supérieure se compose essentiellement de calcaires à intercalations de marnes.

1.2.3. Nappe de Jbel Tissouka (fig. 11)

Dans l'unité de Jbel Taloussisse, cette série débute par des calcaires spathiques, à interbanes marneux. La partie moyenne et supérieure est représentée par des calcaires à intercalations dolomitiques ou des calcaires. Dans l'unité de Jbel Tissouka, la partie inférieure est composée d'une alternance irrégulière de dolomies et de marnes. La partie moyenne est formée par des alternances de dolomies et de calcaires dolomitiques. La partie supérieure est calcaire. Pour ces deux unités, les alternances calcareo dolomitiques sont particulièrement riches en dolomies et dolomies calcaires alors que dans l'unité de Jbel Talassemtane cette formation est plus calcaire.

1.2.4. Nappe de la Hafa En Nator

Dans cette unité, le Rhétien débute par des alternances de dolomies sombres et de calcaires lités. Ensuite, ces alternances se développent en séquences dont le cycle renferme des calcaires gris bleuâtres en petits bancs qui passent en continuité à des dolomies. En effet, dans la zone supérieure de cette séquence, on ne trouve plus de calcaires et les cycles renferment des alternances de dolomies grises massives et de dolomies sombres à grain fin.

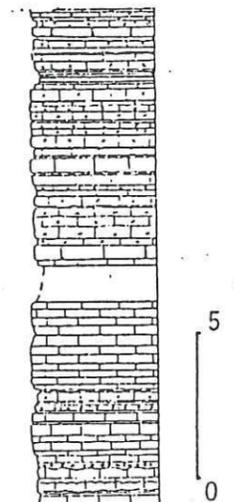
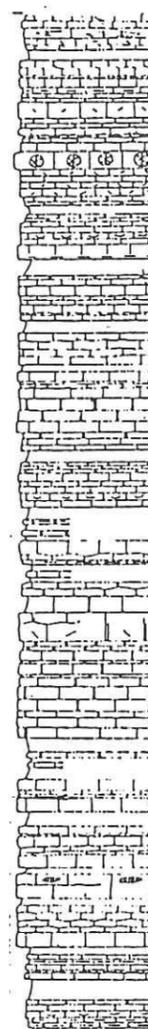
Pour les autres unités, dans l'échelle de Dar Ghazi, on a des alternances de calcaires et de dolomies. Cette formation est riche en calcaires et les bancs sont épais vers le sommet alors qu'ils ne dépassent pas les 10 cm à la base. De plus, si ces calcaires sont finement marneux à grains sublithographiques à la base, ils sont formés de grains de plus en plus grossiers en

Coupe 4: Jbel Lakraa    Coupe 5: Jbel Chrafate    Coupe 6: Jbel Talassemtane

X=523600  
Y=504600  
Z=1660 m

X=528800  
Y=497900  
Z=900 m

X=524100  
Y=504250



Echelle moyenne d'Abou Bnar

Coupe 8: X=525300    Coupe 9: X=527950  
Y=507820    Y=504900  
Z=1080 m    Z=1200 m

Echelle supérieure d'Abou Bnar

Coupe 7: X=528100  
Y=505100  
Z=1210 m

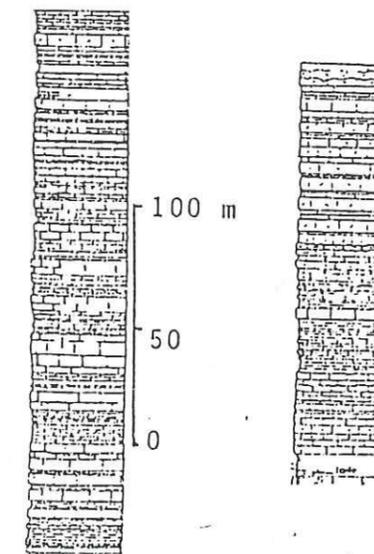
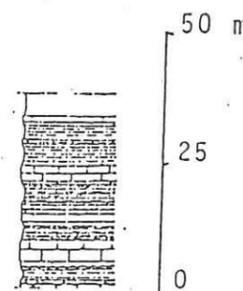


FIG 11: Alternances calcareo-dolomitiques du Rhétien

(Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

allant vers la partie sommitale de la couche.

Les dolomies sont homogènes, microbréchiques ou laminaires.

Dans les écaillés d'Abou Bnar cette formation a une dominance calcaire et une épaisseur qui varie de 110 à 150 m, mais atteint 225 m d'épaisseur dans l'écaillage moyenne où alternent calcaires et marnes.

### 1.3. Formations carbonatées massives de l'Hettangien (fig. 12)

#### 1.3.1. Nappe de Jbel Lakraa

Si l'Hettangien est représenté par une formation de 50 à 70 m d'épaisseur de calcaires massifs alvéolaires dans l'unité de l'oued Asaki, il est constitué d'une formation massive carbonatée dans l'unité d'Adelal. Au-dessus des alternances calcaréo-dolomitiques, on a des calcaires brun sale, à microfaciès grumeleux et non stratifiés suivis d'une formation de mêmes caractéristiques mais litée qui passe vers le haut à des calcaires à styolithes dolomités.

Pour l'unité de Jbel Bouslimane, les calcaires massifs qui dominent la route entre Chrafate et Ametrasse sont composés de calcaires sombres, fins, relativement bitumineux et dont l'épaisseur varie de 30 à 50 m. La partie sommitale de la formation admet par endroits des pseudobrèches dolomitiques.

En suivant la piste qui monte de Bab Taza, la partie affleurante du Lias inférieur, est constituée par une barre de dolomies. Dans cet affleurement, la formation est entièrement dolomitisée.

Pour l'unité de Jbel Lakraa, une coupe levée sur le versant Nord-Est de la partie Sud de ce jbel, montre au-dessus des alternances calcaréo-dolomitiques des calcaires massifs. Il s'agit de calcaires grumeleux qui peuvent être partiellement dolomités secondairement. Ces calcaires passent à des dolomies jaunâtres. L'épaisseur de la formation est de 60 m. Les couches calcaires sont brun sombre à patine blanchâtre ; les dolomies sont brun sale et jaunâtres, il s'agit de biomicrites calcaires à grains de dolomies et de bitumes, qui représentent moins de 1% ; riches en faunes et surtout en *Ghomospirella friedli*. Il existe pourtant des dismicrites calcaires qui forment un banc de 6 cm d'épaisseur intercalé entre deux couches de dolomies et plus riches en grains arrondis de dolomies. Puisque les dolomies et calcaires sont peu mélangés à l'intérieur de la roche et que les dolomies ne montrent aucun signe de genèse tardive, leur introduction est périodique sous forme de vases dans un bassin à fond calcaire non encore consolidé.

A 500 m au Nord-Ouest du sommet principal du Jbel Lakraa, l'Hettangien est représenté par des brèches dolomitiques dont les éléments anguleux de taille centimétrique sont constitués de dolomies emballées dans une matrice de dolomie jaune.

Dans l'unité d'Ifahsa, la formation carbonatée massive de l'Hettangien constitue des falaises le long de la pente septentrionale de l'oued Lao. Son épaisseur est de 100 à 150 m. Ce sont des calcaires gris à patine bleuâtre, renfermant des bandes minces de dolomies qui ne dépassent pas 15 cm d'épaisseur et qui disparaissent vers le haut. La couche se termine par des calcaires rouges noduleux qui renferment une faune à *Scholtheima angulata* de l'Hettangien.

#### 1.3.2. L'Hettangien de la nappe de Jbel Tazoute

Au sein de cette formation et dans l'unité de Jbel Tazoute, il existe également des variations de faciès. En effet, si cette formation est représentée par des calcaires massifs alvéolaires dont l'épaisseur varie de 20 à 100 m au sommet de Jbel Fahs, elle est représentée par une formation carbonatée massive qui débute avec 5 m de calcaires bruns lités au-dessus desquels on a 30 m de calcaires alvéolaires également lités en gros bancs dans la montagne située entre les douars Adelal et Beni M'hamed. Dans cette zone, les dolomies représentent 10 à 20 % du volume de la roche. Au Nord-Ouest de l'oued Adelmane, cette formation est plus puissante : son épaisseur atteint 120 m. La moitié inférieure est représentée par des alternances de couches calcaires et dolomitiques où les bancs dolomitiques ont une épaisseur de 5 cm. La partie supérieure, entièrement dolomitisée, se termine par des brèches dolomitiques grises.

Si cette formation est calcaire et/ou dolomitique au Sud de l'oued Lao, elle est entièrement dolomitique dans l'unité de Majjou.

#### 1.3.3. Hettangien de la nappe de Tissouka

Dans l'unité d'Achefaha, cette formation est représentée par des calcaires massifs alvéolaires presque entièrement dolomités.

Pour les unités de Jbel Taloussisse et Talassemtane, on a une succession verticale analogue sauf que dans la dernière unité cette formation est plus importante avec une épaisseur de 80 à 100 m alors qu'à Jbel Taloussisse celle-ci est de 20 à 30 m. Cette couche est formée de 15 m de dolomies-

Coupe 10: Région d'Adeldal  
 Coupe 11: Sommet Sud de jbel Lakraa  
 Coupe 12: Unité de jbel Lakraa à Azilane

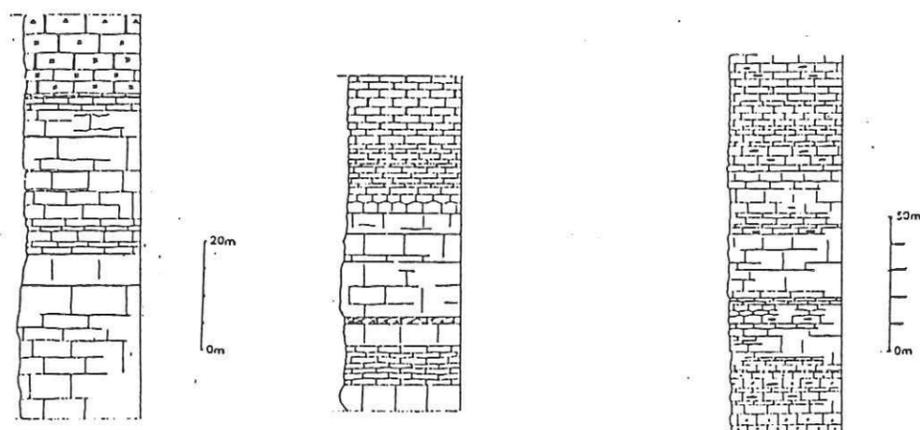
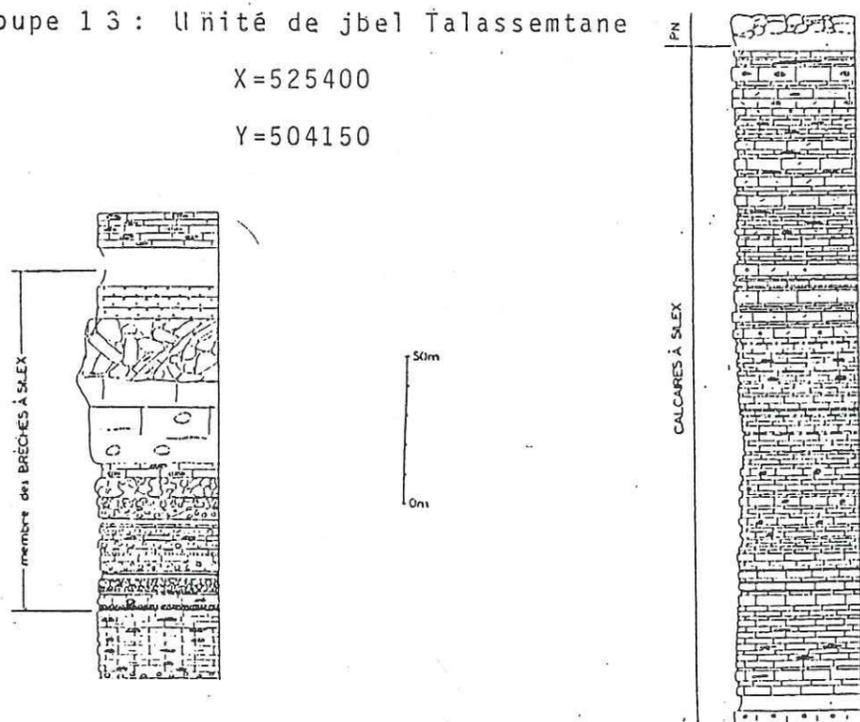


FIG 12: Calcaires massifs Hëttangien

Coupe 13: Unité de jbel Talassemtane

X=525400

Y=504150



Coupe 14: Unité de jbel Tissouka

FIG 13: Calcaires à silex de la nappe de jbel Tissouka  
 (Nold, uttinger et Wildi, 1981)

calcaires non lités : ce sont des micrites calcaires dolomités avec des cristaux de dolomites contenant des enclaves de micrite calcaire. Leur font suite des calcaires alvéolaires à aspect conglomératique avec des galets centimétriques à décimétriques de calcaires dans une matrice dolomitique qui affleurent dans le versant Ouest de Jbel Taloussisse. Cette formation se termine par des dolomies.

Dans l'unité de Jbel Tissouka, cette formation est composée de dolomies massives grises (micrites) auxquelles font suite des calcaires alvéolaires lités en blocs. La puissance de la couche est de 70 à 90 m. Dans la zone Nord-Ouest de l'unité, la partie sommitale qui existe uniquement dans la vallée de Ras El Ma est composée d'une brèche dolomitique jaune.

Dans l'unité de Guenfich, cette formation est caractérisée par une dolomitisation progressive du Sud vers le Nord. Elle est alvéolaire à la base et purement calcaire au sommet.

Dans les écailles d'Abou Bnar, cette formation présente des affleurements isolés. Dans l'écaille inférieure elle est représentée par des dolomies dans les affleurements Nord alors que dans les crêtes Sud l'Hëttangien se présente sous forme de calcaires alvéolaires.

Dans l'écaille moyenne, la majeure partie des affleurements est constituée par des calcaires dolomitiques au dessus desquels on trouve des calcaires alvéolaires à passages conglomératiques constitués de galets calcaires dans une matrice dolomitique. Ces derniers alternent avec des calcaires à lentilles de dolomies.

Pour l'écaille supérieure, la formation à faciès alvéolaire passe à des dolomies plus au Nord-Ouest. La partie sommitale est constituée par des marnes jaunes.

#### 1.3.4. Unités du Sud de Tetouan

Dans ces unités, si le Lias inférieur est purement dolomitique en bancs épais dans l'unité de Saaden et dolomitique ou calcaire dans les écailles de Dar Ghazi, il est représenté par une formation composée de calcaires gris, lités ou massifs à patine claire avec localement des lentilles dolomitiques à la base dans l'unité de la Hafa En Nator.

Par conséquent, les formations carbonatées massives existent sous quatre faciès qui peuvent se relayer horizontalement ou verticalement et qui sont

- les calcaires massifs
- les calcaires massifs alvéolaires
- les calcaires massifs dolomitisés
- des brèches dolomitiques.

#### 1.4. Les formations de calcaires à silex et les membres des brèches à silex

##### 1.4.1. Nappe de Jbel Lakraa (fig. 14)

###### 1.4.1.1. Unité de l'oued Asaki

D'après GUTNIC (1969), il s'agit d'une formation de 150 m d'épaisseur qui débute par des calcaires massifs à floccules de silex. Leur font suite des calcaires marneux à rognons de silex dans la partie inférieure et à couches de silex dans la partie supérieure. Le terme sommital est constitué également par des couches de calcaires légèrement marneux à couches de silex riches en faune permettant d'attribuer cette couche au Sinemurien supérieur Lotharingien. Pour NOLD et UTTINGER, la couche basale est rattachée à l'Hettangien.

###### 1.4.1.2. Unité d'Adeldal (coupe 13)

Dans cette unité, cette formation d'une épaisseur de 40 à 60 m est formée par :

- des calcaires lités à joints de stratifications marneux et à lentilles de silex micritiques noirs.
- des calcaires lités à mouchetures et à rognons de silex
- des alternances de calcaires en petits bancs et de calcaires en bancs de l'ordre de 50 cm;

La partie sommitale est recouverte par des poudingues nummulitiques, qui se sont déposés sur une surface d'érosion.

###### 1.4.1.3. Unité de Jbel Bou Slimane

Au dessus de l'Hettangien, on trouve les termes suivants :

- 10 à 15 cm de calcaires finement lités, marneux alternant avec des calcaires en petits bancs.
- 15 à 20 m de calcaires lités à rognons de silex noirs.

Ces termes affleurent dans la montagne entre Amettrasse et Chrafate. Mais dans l'oued Chrafate, la base de cette formation est constituée par des

Coupe 15:

Coupe 16:

Coupe 17:

Région d'Adeldal

Sommet Sud de  
jbel Lakraa

Unité de jbel Lakraa  
à Azilane

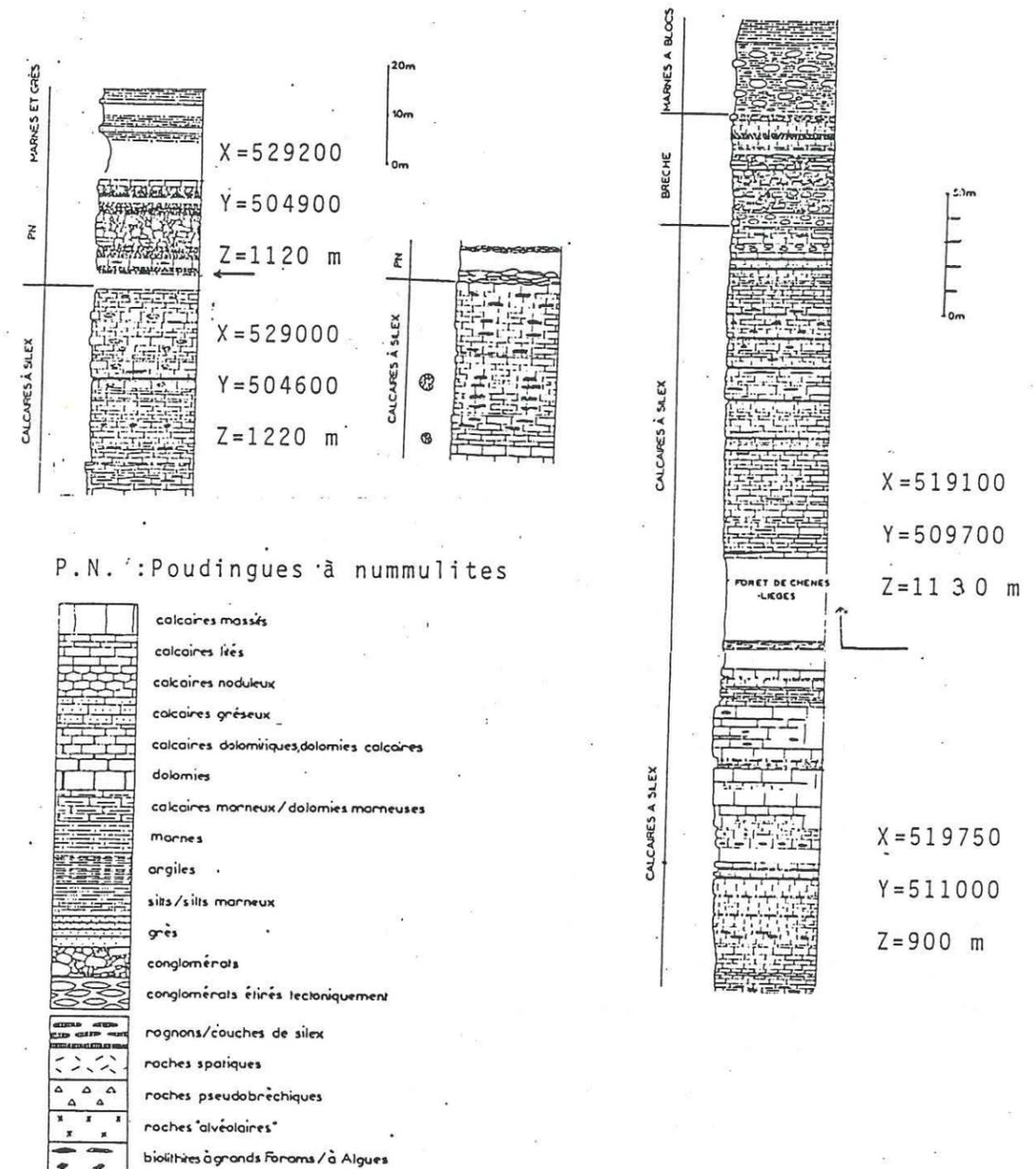


FIG 14: Calcaires à silex et tertiaire des unités d'Adeldal et de jbel Lakraa (Nold, uttinger et Wildi, 1981)

alternances de couches noires de silex laminés et de calcaires jaunâtres marneux et légèrement dolomitiques. Dans l'oued, cette formation renferme des brèches intraformationnelles qui affleurent également au Sud-Ouest de Jbel Bou Slimane.

#### 1.4.1.4. Unité de Jbel Lakraa

Dans cette unité, la formation de calcaires à silex débute par des calcaires lités, d'aspect noduleux à joints de stratification marneux et qui renferment des petits brachiopodes et des *Entolium sp.* Cette couche se continue par des calcaires qui ont livré une faune caractéristique du Pliensbachien supérieur (Domérien). Il s'agit de *Tétrarhychia sp.* Au dessus, on trouve des calcaires en gros bancs suivis par des schistes bruns fétides (siltites bitumineuses très poreuses) d'une épaisseur de 50 m au maximum qui se trouvent au dessous des calcaires lités à grains fins. Cette formation se termine par des alternances de calcaires lités en bancs centimétriques à décimétriques et à structure micritique renfermant des rognons et des couches de silex et de calcaires microlités en bancs millimétriques.

#### 1.4.1.5. Unité d'Ifahsa

Cette formation d'une épaisseur de 20 à 50 m, est généralement représentée par des calcaires noduleux, lités à rognons et à couches de silex. Parfois on trouve des calcaires rouge brique à pellicules argileuses.

### 1.4.2. Nappe de Jbel Tazoute

#### 1.4.2.1. Unité de Jbel Tazoute

Dans cette unité, la formation des calcaires à silex repose, soit sur les formations du Lias inférieur, soit sur des formations plus anciennes. Parfois, elle se trouve séparée de la formation sous-jacente par des intercalations de brèches. En effet, dans les gorges de l'oued Lao, cette formation repose directement sur les alternances calcaréo-dolomitiques et est formé par des lentilles et des brèches de silex noirs qui alternent avec des calcaires d'aspect marneux contenant du quartz. Dans le secteur Sud-Est du plateau de Jbel Tazoute, des intercalations de brèches calcaires litées à matrice marneuse se trouvent entre les calcaires à silex et les calcaires massifs dolomités.

Dans cette formation, on peut observer des variations latérales de faciès et parfois des lacunes et des variations de puissance. En effet, si la forma-

tion manque au Nord-Ouest du Jbel Tazoute, on trouve des alternances centimétriques de calcaires spathiques et de silex au Sud-Est de la même montagne. Cette formation est représentée par des bancs calcaires de 20 à 30 cm de puissance comportant des couches lenticulaires de silex noirs au niveau de Jbel Fahs. A Jbel Kobba Abad, ce faciès change et la formation est plus puissante et atteint 60 m. Au dessus des dolomies du Lias, on a :

- 10 m de calcaires dolomitiques en bancs de 5 à 20 cm
- 5 m de calcaires marneux d'aspect noduleux contenant du quartz
- 10 m de calcaires lités à galettes de silex et à niveaux bréchiques
- 5 m de conglomérats à éléments de dolomies et de calcaires
- 30 m de calcaires marneux suivis de calcaires lités en petits bancs de 3 à 30 cm contenant jusqu'à 90 % de silex.

#### 1.4.2.2. Unité de Majjou

Cette formation affleure dans l'unité de l'oued Tassikeste où elle est représentée par des bancs minces de calcaires gris noduleux. Les bancs de la base renferment des rognons de silex qui disparaissent dans les bancs sommitaux. Généralement ce sont des calcaires à grain fin qui renferment des intercalations à grain grossier. Parfois on trouve des microbrèches granoclassées à matrice micritique.

### 1.4.3. Nappe de Jbel Tissouka (fig. 13)

Pour cette nappe, des variations de faciès et d'épaisseur de la formation sont nettes d'une unité à une autre et même au sein d'une même unité. En effet, si l'épaisseur de cette formation atteint 150 m dans l'unité d'Achefaha, elle n'est que de 30 à 40 m dans l'unité de Jbel Taloussisse, où on trouve une intercalation de brèches de 15 à 20 m d'épaisseur entre la formation carbonatée massive et les calcaires lités à silex uniquement dans la partie Est alors que les calcaires massifs alvéolaires de l'Hettangien supportent directement la formation à silex dans l'unité d'Achefaha.

Les unités de Tissouka et Jbel Talasemtane présentent une stratigraphie très proche. Dans la dernière unité, la série est composée du bas vers le sommet des termes suivants :

- des brèches à éléments dolomitiques et à matrice de dolomies
- des calcaires lités à rognons de silex
- une alternance de calcaires marneux lités interstratifiés de minces couches de silex et de brèches litées à éléments abondants

- un conglomérat d'aspect chaotique
- des calcaires lités sombres
- des bancs conglomératiques
- des bancs métriques et décimétriques de microbrèches à matrice marneuse
- des calcaires lités à rognons de silex

Au sein de l'unité de Jbel Tissouka, la succession lithologique présente des variations d'un endroit à un autre. Dans la région de Chefchaouen et au dessus des pseudobrèches dolomitiques (équivalentes de la formation carbonatée massive du Lias inférieur) la base de la formation est représentée par des conglomérats. Ensuite viennent des brèches plus ou moins stratifiées et la série se termine par des blocs décamétriques de dolomies grises.

Au Sud de la vallée de Ras El Ma, on a la succession suivante :

- un bloc d'oolithes de 3 à 5 m contenant 10 % de grains (oolithes, pellets et coprolithes) dolomitisés
- des brèches à silex partiellement dolomitisées
- des calcaires lités en bancs de 20 à 50 cm qui sont également dolomitisés en partie
- des bancs de calcaires à interbancs de marnes.

Au Sud-Est de Ras El Ma, cette formation est représentée de la façon suivante :

- des bancs décimétriques de calcaires contenant des arêtes silicifiées de poissons.
- des calcaires lités en bancs de 5 à 30 cm à joints de stratification marneux
- des calcaires en petits bancs à cassure noire qui alternent avec de gros bancs de calcaires bruns à cassure spathique.

#### 1.4.4. Le reste des unités de la dorsale externe

Dans la nappe de la Hafa En Nator, cette formation est constituée par des calcaires lités qui, selon les affleurements, contiennent des termes différents : au Sud de Tetouan, on a des bandes et des rognons de silex qui disparaissent vers le Sud et dans les affleurements orientaux, des calcaires également pauvres en silex renfermant des interbancs clastiques.

Dans l'unité de Saaden, on trouve également des calcaires lités où seuls les horizons supérieurs contiennent des silex. Vers le Sud, cette couche diminue

graduellement jusqu'à sa disparition.

Dans les écailles d'Abou Bnar, les affleurements de calcaires à silex sont rares. Dans l'écaille moyenne, on a des calcaires lités à rognons de silex, parfois dolomitisés. Dans l'écaille supérieure la série débute par des argiles noires suivies de marnes puis de calcaires.

#### 1.5. Séries condensées (Toarcien à crétacé)

On désigne sous le nom de séries condensées les termes qui font suite aux calcaires à silex liasiques et anté-tertiaires. Cette formation à sédiments pélagiques n'affleure que dans certaines unités qui sont :

- Unité de Jbel Bou Slimane (Nappe de Jbel Lakraa)

La composition lithologique des séries est résumée dans la figure 15, coupe 17, il s'agit d'une coupe levée près de l'Abri. Dans la même unité, cette formation présente un faciès différent dans un affleurement près de Chrafate (coupe 16).

- Unité d'Ifahsa (Nappe de Jbel Lakraa)

Au dessus de la formation des calcaires à silex, on a une série clastique du Tithonique composée de :

- micro conglomérats à galets calcaires dont le diamètre est de 1 à 2 cm
- des calcaires lités argileux
- des brèches carbonatées à éléments de taille variable (0,05 à 4 m) qui par des interbancs calcaires passent à une microbrèche à matrice de calcaires noduleux
- des brèches à éléments grossiers
- et des marnes à blocs
- Unité de Jbel Tissouka

Dans l'unité de Jbel Taloussisse, cette formation est datée par encadrement vu le manque de fossiles. Elle est composée de 3 à 5 m de brèches litées en bancs de 10 à 50 cm auxquelles font suite des argiles vert sombre à galets de silex. La puissance des brèches atteint 10 m.

Dans l'unité de Jbel Talassemtane, cette formation est composée de radiolarites (qui peuvent contenir jusqu'à 20 % de radiolaires) et d'argiles siliceuses à intercalations de microbrèches. Par endroits, on trouve des intercalations de brèches entre cette formation et les calcaires à silex.

FIG 15: Séries condensées (Malm-Dogger) de l'unité de Jbel Bou Slimane (Nold, Uttinger et Wildi, 1981)

Coupe 18: Région de Chrafate

X=526600

Y=496200

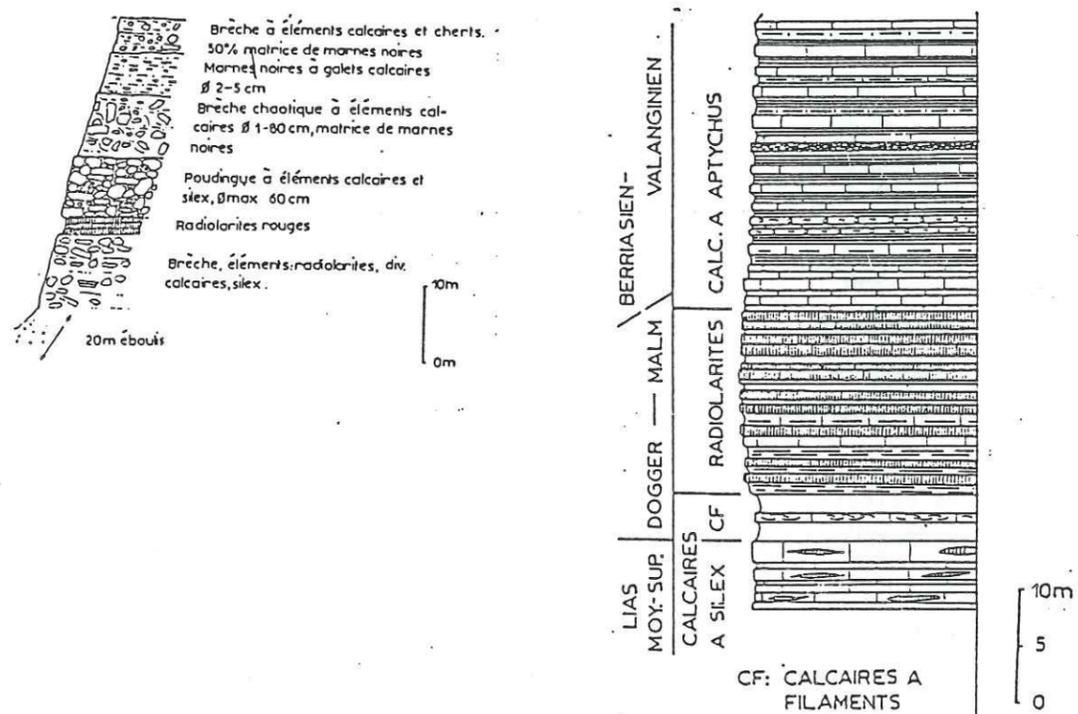
Coupe 19:

Base X=522250

Y=498250

Sommet X=522000

Y=498450



- Unité de la Hafa En Nator

Dans cette unité, l'épaisseur de cette formation ne dépasse pas 5 m. Au-dessus, des calcaires à silex on a :

- des calcaires fins en petits bancs
- des calcaires argileux à intercalations de radiolarites. Ces deux séries sont attribuées au Dogger-Malm
- des calcaires argileux rouge brique à intercalations de radiolarites silicifiées du Malm supérieur
- des intercalations de petits bancs argileux et de marnes jaunes
- des marnes jaunâtres du Crétacé supérieur.

1.6. Formations tertiaires de la dorsale externe

Deux séries à faciès nettement distincts constituent le Tertiaire des unités de la dorsale externe.

- Les séries basales sont constituées de marnes et d'argiles dans l'unité de Jbel Lakraa ou de calcaires gris lités en petits bancs. Elles sont d'âge Paléocène à Eocène inférieur.

- Les séries de l'Eocène moyen au Miocène inférieur sont des formations transgressives constituées par des conglomérats suivis de calcaires organogènes de microbrèches et de poudingues. Pourtant des variations latérales de faciès peuvent exister ainsi que des variations dans la succession lithologique des séries.

Dans l'unité de Jbel Bou Slimane, cette formation est constituée de poudingues qui reposent sur des radiolarites. Le reste du Tertiaire est représenté par des marnes jaunes à intercalations de grès. Si ce faciès affleure à l'Est de Jbel Chrafate, entre Jbel Setsou et Jbel Bou Slimane la série renversée renferme la succession suivante :

- des argiles légèrement calcaires épaisses de 10 m attribuées au Paléocène moyen
- des poudingues lenticulaires de 0 à 2 m d'épaisseur
- des marnes silteuses jaunes de 3 m d'épaisseur de l'Oligocène inférieur
- des marnes roses de 10 m d'épaisseur
- des marnes jaunes de 4 m d'épaisseur de l'Eocène supérieur à l'Oligocène.

Dans l'unité d'Adelal au-dessus des poudingues à nummulites on a des marnes et des grès (fig. 14, coupe 13).

Dans la majorité des affleurements de l'unité de Jbel Lakraa, le Tertiaire est formé de poudingues suivis de calcaires organogènes mais dans la région d'Azilane et sous la nappe de Jbel Tissouka, il est formé de bancs conglomératiques à matrice marneuse, auxquels font suite des calcaires fins lités à intercalations de silex puis des séries conglomératiques attribuées à l'Eocène moyen à supérieur. En continuité, on trouve des schistes calcaires fins, des calcaires fins lités et des microbrèches. La formation se termine par des marnes à blocs d'une trentaine de mètres dont la matrice représente 70 % du volume de la roche et qui sont recouvertes d'une série plastique de marnes de 10 à 20 m d'épaisseur.

Dans la nappe de Jbel Tazoute et dans l'unité de Jbel Tazoute, on trouve des conglomérats à ciment calcaires et des calcaires à éléments détritiques au Jbel Fahs. Dans l'oued Tijidda, on a des conglomérats fins, des calcaires organogènes, des grès calcaires et des calcaires microlités. La partie sommitale des conglomérats est composée par des éléments plus fins riches en dolomies et la série se termine par une quinzaine de mètres de grès calcaires et dolomitiques suivis de marnes. Enfin, sur le versant Nord de Jbel Tazoute on trouve des marnes roses, rouges et jaunes renfermant souvent des blocs et parfois des lentilles ou des galets de calcaires organogènes et qui reposent sur des poudingues grossiers d'épaisseur réduite (moins de 20 mètres).

Au sein de la même nappe, dans l'unité de Majjou et dans la vallée de l'oued Tassefete, la série débute par des brèches granoclassées à interbancs de calcarénites. Ces brèches contiennent des mégablocs qui peuvent atteindre 2 m de diamètre et sont datées du Paléocène supérieur-Eocène moyen. La formation se continue par des calcarenites puis des microbrèches renfermant parfois des rognons de silex et se termine par des bancs de conglomérats.

Au Nord-Est du village d'Ifahsa, la partie basale est constituée par une brèche à aspect chaotique : des galets de 5 à 60 cm (peuvent parfois dépasser 1 m) se trouvent dans une matrice microbréchique. Cette série se termine souvent par des marnes jaunes probablement de l'Eocène moyen.

Dans la nappe de Jbel Tissouka, la base du Tertiaire de l'unité de Jbel Achefaha est formée par des calcaires gréseux du Paléocène. L'Eocène inférieur est représenté par des grès calcaires et des calcaires gréseux. Le

reste de l'Eocène est bien daté dans des marnes roses et des lentilles de calcaires organogènes interstratifiés à *Glorotalia bullbrooki*. L'épaisseur de cette formation est d'environ 100 m.

Pour les autres unités de Jbel Tissouka, si le Tertiaire est essentiellement le Paléocène moyen à supérieur est représenté par des marnes rouges et jaunes suivies de grès calcaires lités dans l'unité de Jbel Talasemtane, on trouve la succession stratigraphique suivante dans l'unité de Jbel Taloussisse :

- des conglomérats grossiers dont la puissance varie de 20 à 30 m
- des argiles vertes
- des calcaires organogènes

Dans l'unité de Tissouka, le Tertiaire en bancs épais est représenté par des poudingues grossiers et dans l'unité de Guenfich on trouve une brèche à faciès clastique qui peut passer latéralement à des microbrèches intercalées dans des marnes.

Pour les écailles d'Abou Bnar, le Tertiaire débute par des poudingues grossiers à matrice très rare et marno-dolomitique suivis de calcaires organogènes. Dans les écailles moyenne et inférieure, la formation se termine par des marnes jaunes, vertes et rouges.

Dans l'unité de la Hafa En Nator, on note des variations latérales de faciès en allant du Nord vers le Sud. Au Nord de l'unité, on a des marnes qui peuvent être localement remplacées par des bancs conglomératiques. Cette série, d'âge Eocène, est surmontée par une épaisse série d'arénite rouge. Plus au Sud, cette dernière série surmonte des microbrèches.

Dans le Sud de l'unité, on trouve une formation particulière reposant directement sur les calcaires massifs, ce Tertiaire débute par des calcaires lités, marneux de l'Eocène inférieur à moyen. Leur font suite des marnes jaunes de l'Eocène supérieur et la formation se termine par des microbrèches Oligocènes.

## 2. Stratigraphie de la dorsale interne

### 2.1. Formations du Permo-Werfénien (au Trias moyen ?)

Au-dessous des dolomies grises du Trias et seulement pour la nappe de Babat, l'unité de Jbel Gorgues et les écailles d'Ouslaf, on trouve des termes détritiques rouges caractéristiques de la dorsale interne. Cette formation

d'une épaisseur de 40 à 60 m est constituée par des conglomérats rouges à gros éléments, suivis de grès qui peuvent renfermer des lentilles d'argiles. La formation du Trias supérieur repose soit directement sur cette formation soit par l'intermédiaire de séries à gypse et à cargneulés.

### 2.2. Dolomies grises du Trias moyen à supérieur (et de l'Hettangien en partie)

Cette formation présente des variations de faciès et d'épaisseur d'une unité à l'autre et même au sein de la même unité.

Pour la nappe de la Hafa del Ferkenix, en plus des variations de puissance de la formation (fig. 5) et malgré sa monotonie on trouve parfois des variations de faciès. Cette formation comporte généralement des dolomies grises en bancs irréguliers, des dolomies jaunâtres finement argileuses et des dolomies microbrèchiques. Pourtant au Sud de Tetouan, la série est constituée par une alternance de micrites essentiellement calcaires et de pelsparites surtout dolomitiques.

Dans la région de Baya, on trouve une alternance de calcaires arénitiques microbrèchiques et brèchiques. Enfin à Sidi Salah, on a des alternances de calcaires et de dolomies à passées arénitiques et brèchiques.

Dans l'unité inférieure de Beni M'hamed, cette formation comprend des dolomies fines surperposées à des dolomies pseudobrèchiques entre Adeldal et Beni M'hamed. L'épaisseur de la série est de 60 m. Cette formation est plus puissante entre Jbel Talasemtane et Beni M'hamed où son épaisseur atteint 110 m. Elle se compose de dolomies pulvérulentes litées suivies de dolomies massives, qui se continuent par des dolomies claires pseudobrèchiques alternant avec des dolomies fines.

Dans l'unité supérieure on a :

- des dolomies en gros bancs et dont l'épaisseur est de 90 à 100 m
- des dolomies microbrèchiques à horizons conglomératiques
- des alternances de petits bancs de dolomies à grains fins, de dolomies en bancs moyens et d'argiles grises.

Dans l'unité de Jbel Akroud, cette formation est réduite à des dolomies litées macrocristallines.

Dans la nappe del Babat, des variations latérales de faciès sont nettes.

A Dar Kharkhor, superposée aux arenites du Permo-Trias, cette formation est réduite à des dolomies grises ou jaunâtres à grain fin. Cette série épaisse de 2 à 4 m à El Ouaryne est représentée par des dolomies gréseuses parfois

microbrèchiques et dans ce cas elles sont interpénétrées par des calcaires. Ces dolomies comportent des intercalations d'arenites blanches de 4 à 6 m d'épaisseur et des conglomérats de 3 à 5 m d'épaisseur à galets dolomitiques dans le flanc oriental de Jbel Myate.

Dans la pente méridionale de Jbel Izmamene, la série est constituée par des dolomies grises ou jaunes à rares intercalations de calcaires. Dans ces dolomies, on trouve parfois des cycles qui comportent des dolomies microbrèchiques à la base, puis des dolomies homogènes à grain moyen et quelques bancs de dolomicrites argileuses au sommet. Enfin et dans ce secteur, on trouve la série la plus épaisse du Trias supérieur contrairement à ce qu'on a dans l'écaïlle d'Ouslaf où on a une série représentée par des dolomies dont l'épaisseur est inférieure à 20 m.

### 2.3. Les calcaires massifs blancs du Sinémurien

Le Lias inférieur de l'unité de la Hafa del Ferkenix est constitué de calcaires blancs à patine gris-bleuâtre. Ces calcaires ont une structure micritique qui renferme des fragments d'algues, des pelotes recristallisées et des foraminifères. Ces calcaires sans stratification nette se présentent sous forme d'assises puissantes de 20 à 60 m.

Des calcaires massifs blancs affleurent également dans les unités de Beni M'hamed et l'unité de Jbel Akroud. Il s'agit d'une biopelsparite dans l'unité inférieure de Beni M'hamed où ces calcaires sont recristallisés et d'une pelbiosparite recristallisée dans l'unité supérieure de Beni M'hamed. Enfin dans la nappe del Babat on a 60 à 80 m de calcaires massifs blancs sans stratification et à structure micritique.

### 2.4. Séries condensées du Pliensbachien au Crétacé

Vue l'épaisseur réduite des calcaires à silex du Pliensbachien et puisque les sédiments du Malm renferment parfois des rognons de silex, pour simplifier la description de la série, il s'est avéré plus simple de les regrouper sous le terme de séries condensées.

Au Sud de l'oued Lao, ces séries sont séparées des calcaires massifs blancs par des calcaires noduleux rouges. Il s'agit de calcaires lités en bancs décimétriques comportant des rognons et des couches de silex dans une matrice micritique. Pourtant dans le Sud de l'unité de Beni M'hamed et en continuité

avec les calcaires à silex, on trouve des radiolarites rouges suivies de calcaires lithographique étirés.

Au Jbel Akroud, cette formation est représentée par des calcarenites à silex. Elle est remplacée par des calcaires microbrèchiques partiellement silicifiés dans l'unité de la Hafa del Ferkenix où on a la succession suivante :

- des calcaires rouges à *Harpoceratidae* du Toarcien
- des calcaires rouges à filaments
- des calcaires rouges marneux à filaments probablement du

Dogger oxfordien

- des calcaires à silex du Malm inférieur
- des calcaires sublithographiques du Tithonique-Néocimien
- des marnes vertes et grises du Sénonien supérieur.

Il est à noter que les séries condensées de la dorsale interne sont plus calcaires que celles de la dorsale externe. De plus, pour les unités de la dorsale interne, l'existence de cette couche sous forme de calcaires à filaments ou sous forme de radiolarites prouve que les sédiments se sont déposés dans des milieux de conditions très différentes.

#### 2.5. Le Tertiaire de la dorsale interne

Développée surtout au Nord de l'oued Lao et essentiellement dans la nappe de la Hafa del Ferkenix où cette formation peut atteindre 60 m d'épaisseur, le Tertiaire est formé par une série basale constituée de marnes bariolées d'âge Oligocène. Le reste de la formation étant représenté par des alternances de conglomérats, de brèches et d'arénites carbonatés.

Dans l'unité inférieure de Beni M'hamed, le Tertiaire est représenté essentiellement par des calcarénites et des microbrèches auxquelles se superposent des marnes brunes et rouges. Dans l'unité de Jbel Akroud cette formation est constituée par des calcaires organogènes biodétritiques et des grès calcaires et dolomitiques puis des marnes brunes et grises à lentilles de calcaires organogènes

Pour le Tertiaire de la nappe del Babat, on a quelques bancs bréchiques qui supportent une couche conglomératique.

Enfin cette formation affleure également à Jbel Gorgues où on trouve des conglomérats tertiaires qui reposent sur les dolomies du Trias supérieur.

#### CHAPITRE IV : ETUDE TECTONIQUE d'après Nold, Uttinger et Wildi (1981) et Griffon (1966)

Formée de plusieurs unités d'extensions variables, la dorsale calcaire se complique structuralement par l'existence de deux linéaments :

- l'accident de l'oued Lao
- le linéament de Jbel Lakraa

Pour le premier, si le flanc Nord est représenté par plusieurs unités superposées, d'extension relativement réduite et où les unités de la dorsale interne occupent une bonne partie, le flanc Sud est essentiellement formé par les unités de la dorsale externe qui par ordre d'importance sont :

- unité de Jbel Tazoute
- unités de Jbel Lakraa
- unités de Jbel Tissouka

Ces unités de grande extension représentent les culminations les plus importantes de la dorsale (Jbel Lakraa 2150 m) et sont formées de puissantes couches dont l'épaisseur peut atteindre 900 m (dolomies à stromatolithes de l'unité de Jbel Tazoute).

Ce flanc est cisailé à son tour par un linéament orienté Nord-Sud : le linéament de Jbel Lakraa. Celui-ci représente la limite ouest de l'unité de Jbel Tazoute. Le flanc Ouest est occupé par les unités de la nappe de Jbel Lakraa qui supportent la nappe de Jbel Tissouka dans la bordure Nord-Ouest (fig. 2).

Le flanc Est est essentiellement formé par l'unité de Jbel Tazoute qui supporte vers sa limite Ouest l'écaille d'Abou Bnar et dans sa partie Est certaines unités de la nappe d'Imourassine (unités d'Imourassine et unité de Taza ou Saïd) vers le Sud, cette unité est limitée par le linéament de Jbel Taloussisse qui sépare les unités Sud de la nappe de Jbel Tissouka (de l'Ouest vers l'Est, unité de Jbel Talassemtane, unité de Jbel Taloussisse et unité de Jbel Achafaha) de l'écaille d'Abou Bnar et de l'unité de l'oued Asaki. Cette dernière avec l'unité d'Adeldal sont classées parmi les unités de la nappe de Jbel Lakraa et constituent un substratum pour l'unité de Jbel Tazoute puisque elles apparaissent en fenêtre. La position tectonique de ces différentes unités est résumée dans la figure 18.

Pour le compartiment Nord de l'accident de l'oued Lao, les unités de la dorsale externe sont représentées par l'unité de la Hafa En Nator, l'unité de Majjou et l'unité d'Ifahsa. Et comme dans le flanc Sud la nappe de

Jbel Tazoute (représentée ici par l'unité de Majjou) chevauche l'unité de Jbel Lakraa (unité d'Ifahsa) qui apparait également en fenêtre et supporte l'unité d'Afertane (nappe d'Imourassine). En ce qui concerne l'unité de la Hafa En Nator, elle constitue un élément isolé dans la partie Nord-Ouest du secteur.

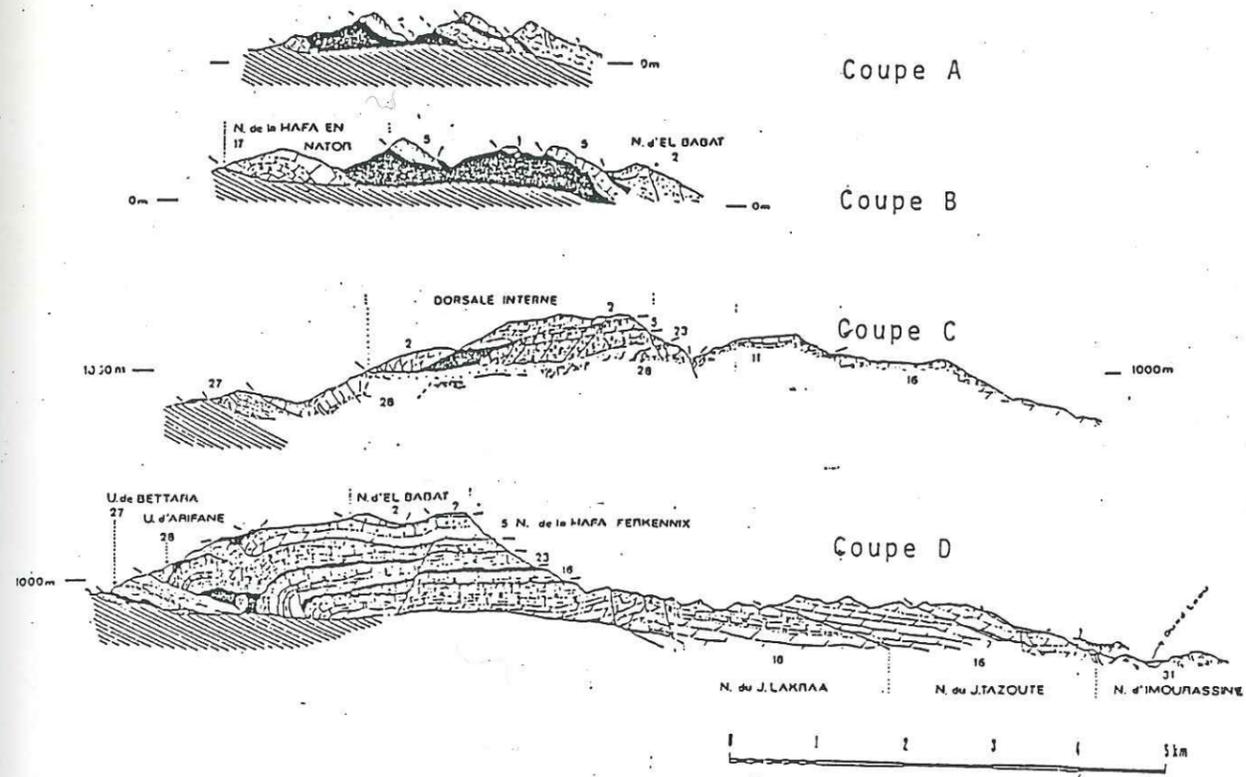
Les autres unités, sont essentiellement formées par la nappe de la Hafa del Ferkenix qui supporte la nappe del Babat et qui repose sur les unités intermédiaires. Ces dernières chevauchent l'unité de Majjou dans sa partie Ouest (fig. 16).

Dans la zone sud de Tétouan, la disposition des unités s'interprète différemment selon les auteurs du fait que la nappe de la Hafa del Ferkenix se présente sous forme de portions isolées et séparées par le Tertiaire.

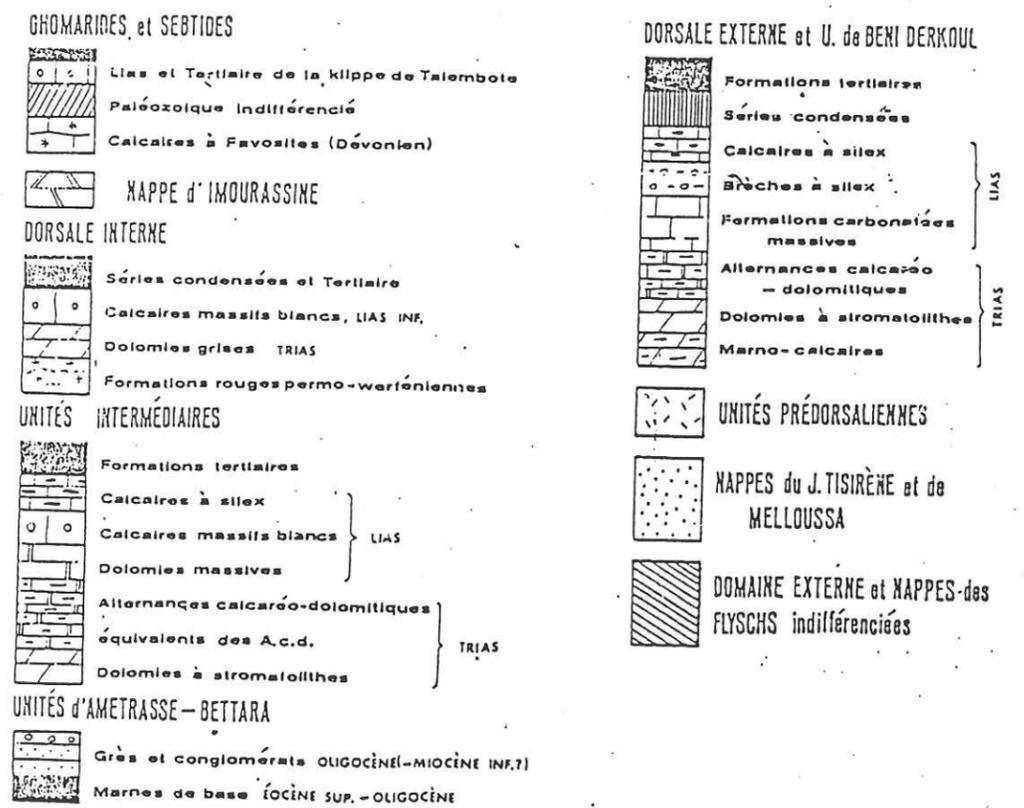
D'après NOLD UTTINGER et WILDI, ces portions sont discontinues et charriées sur le Tertiaire de la Hafa En Nator (fig. 16).

J.C GRIFFON, considère la portion centrale comme une unité n'appartenant pas à la nappe de la Hafa del Ferkenix qu'il nomme unité de Jbel Gorgues. D'après lui, l'unité de la Hafa del Ferkenix est formée par un anticlinal dont le flanc Ouest repose sur l'unité de la Hafa En Nator et le Tertiaire séparant les unités centrales appartient à l'unité de la Hafa del Ferkenix au-dessus de laquelle on a l'unité de Jbel Gorgues (fig. 17).

Dans l'unité de la Hafa En Nator, les calcaires forment un anticlinal déversé vers l'Ouest et dont l'axe est orienté N.170°. Son flanc Est constitue les trois quarts des affleurements de cette unité.



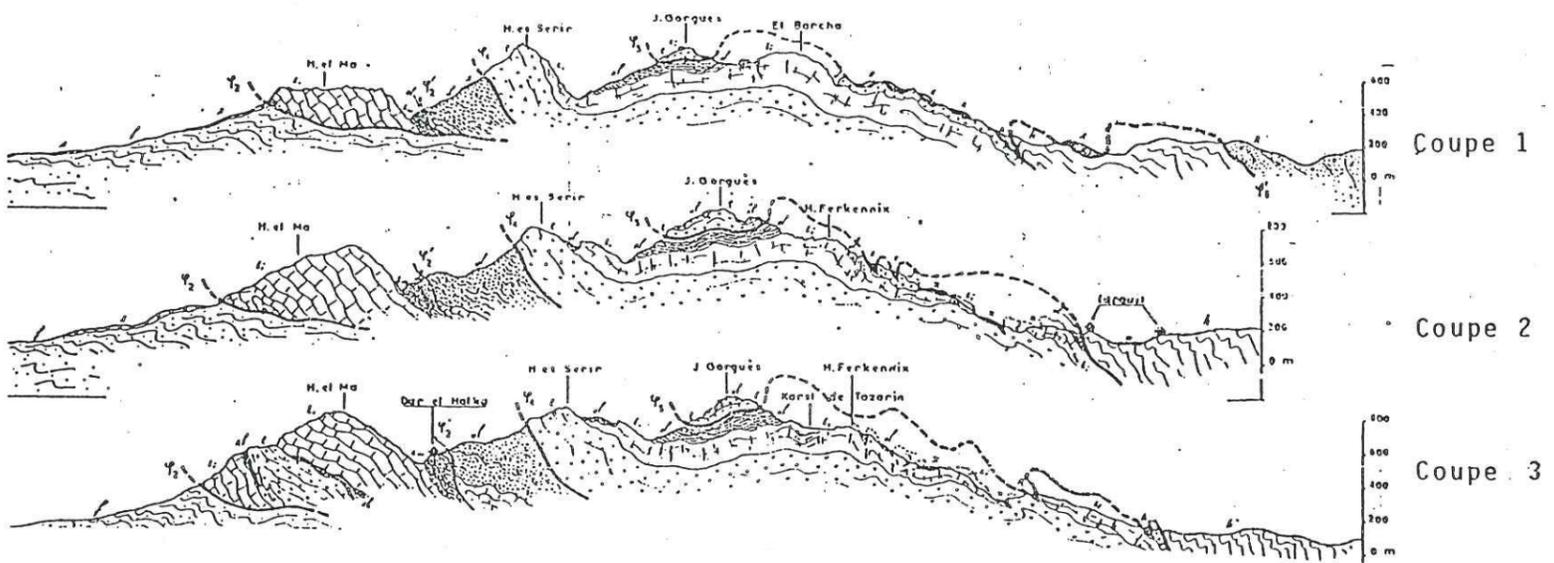
Légende des figures 16 et 18



(au sein des coupes, les épaisseurs des formations ne sont pas toujours respectées)

FIG 16: Les unités Sud de Tétouan d'après Uttinger Nold et Wildi (1981)

( Les tracés des coupes sont dans la figure 2 )



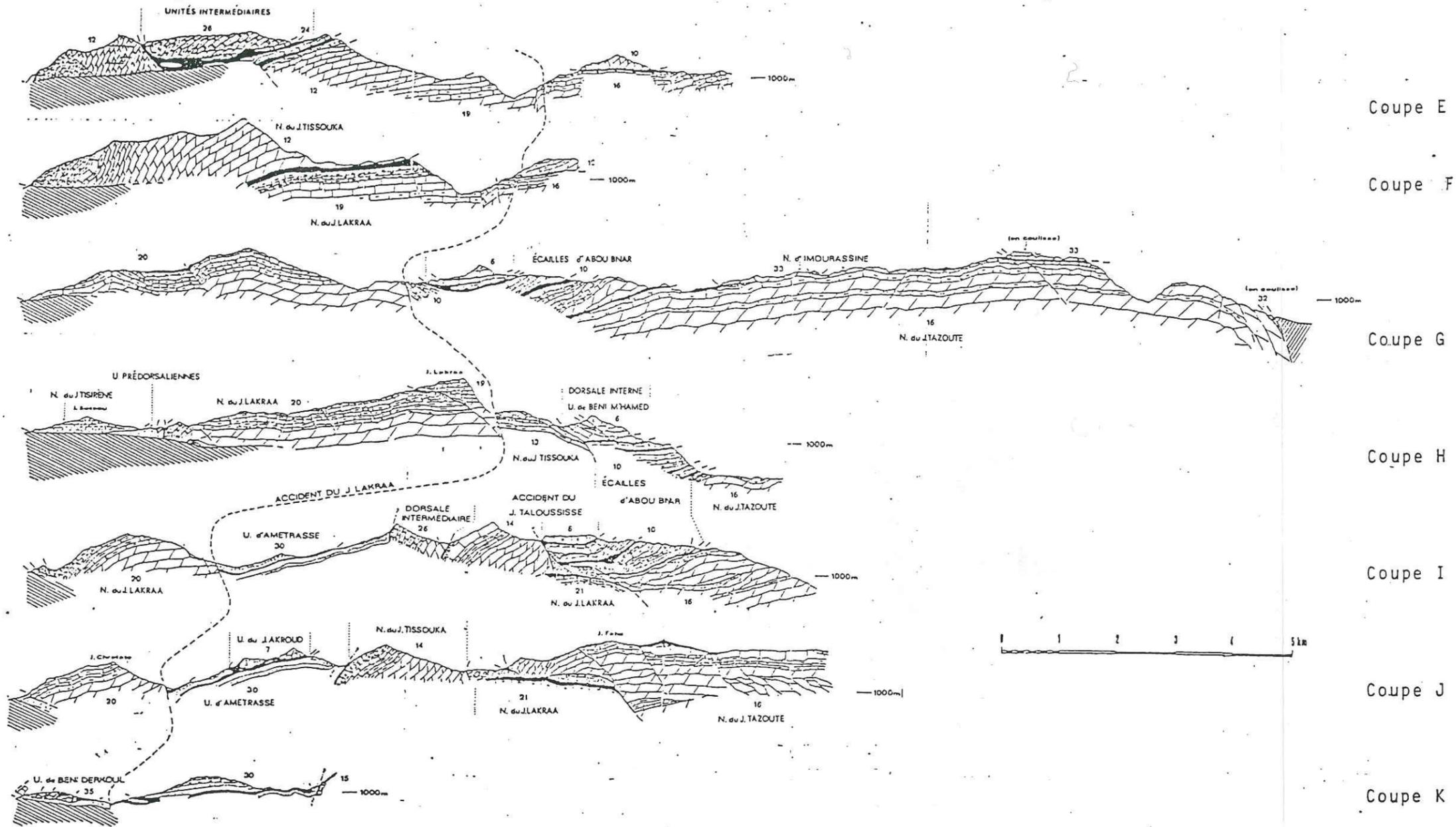
LEGENDE

- |                      |  |                 |                |                          |  |
|----------------------|--|-----------------|----------------|--------------------------|--|
| A Eboulis consolidés | Oligocène                                  | Unité Ferkennix | Lias moyen     | Trias moyen et supérieur | Chevauchement de la Dorsale sur les Flyschs externes |
| Alluvions            | Oligocène conglomératique Eocène supérieur | Unité Nator     | Lias inférieur | Permian                  | Ecaille externe                                      |
| Néogène              | Lias moyen à Paléocène inclus              |                 | Rhétien        | Paléozoïque interne      | Unité de la Hafa                                     |
| Flyschs externes     |  |                 |                |                          | Unité de la Nator                                    |
|                      |  |                 |                |                          | Pli-faille de Saaden                                 |
|                      |  |                 |                |                          | Chevauchement du Paléozoïque interne                 |

Nota: l'Echelle des hauteurs est au 1/40 000; l'Echelle des longueurs est au 1/50 000

Tracés des coupes : Voir figure 2

FIG 17: Les unités structurales au Sud de Tétouan d'après J.C. Griffon (1966)



Légende: Voir figure 16

Tracés des coupes: Voir figure 2

FIG 18: Disposition des unités au Sud de l'oued Lao d'après

Nold Uttinger et Wildi (1981)

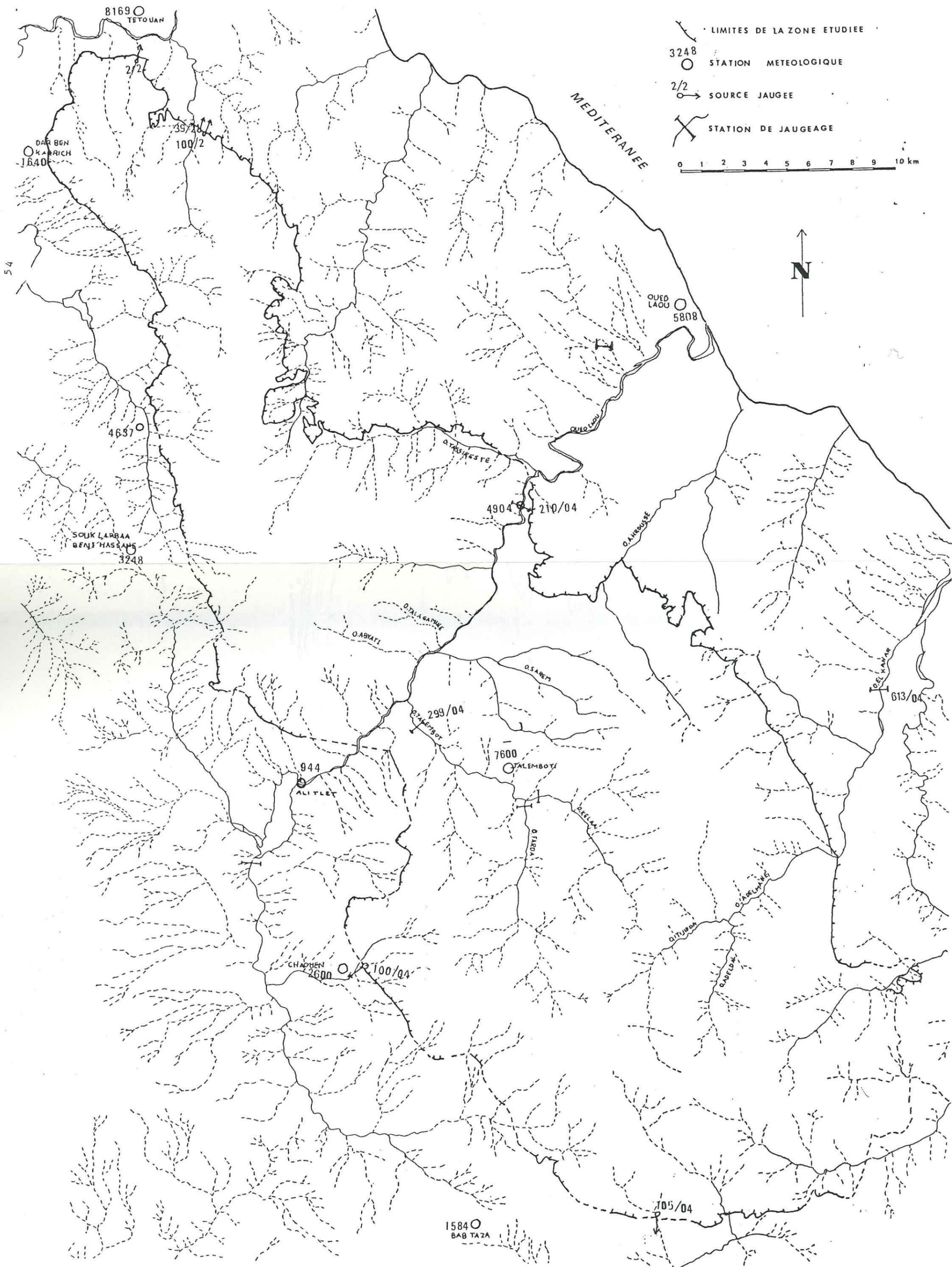


FIG 19: Localisation des stations hydroclimatologiques

## 1. Introduction

Dans cette étude, après avoir donné un aperçu sur la climatologie et défini les paramètres du bilan hydrogéologique, on essayera d'étudier certains bassins-versants (parfois des sous-bassins) et certaines nappes. Parallèlement on essayera de donner une approche du bilan de la zone concernée et de déterminer le sens d'écoulement des nappes. Enfin les études hydrochimique et hydrodynamique permettront de distinguer les différentes nappes, déterminer leurs extensions horizontales et caractériser chacune par un paramètre ou un rapport.

## 2. Climatologie et évaluation des paramètres du bilan hydrogéologique:

### 2.1. Climatologie:

Pour la climatologie de la région, la mauvaise répartition des stations météorologiques empêche la bonne connaissance de la distribution des paramètres climatiques dans la zone. Puisque l'altitude constitue un facteur déterminant dans les fluctuations de ces paramètres, on se trouve obligé d'utiliser les données d'autres stations du Rif, situées à de hautes altitudes du fait que la plus haute station existant dans la dorsale est celle de Bab Taza (N° 1584, X = 518200 Y = 495700) qui se trouve à 880 m d'altitude alors que les crêtes dépassent les 2000 m. Les autres stations sont (voir fig. 19) :

N°	nom de la station	X	Y	Z
5808	station de l'Oued Lao	527600	538000	6
8169	station de Tetouan	506150	554300	13
4904	station de Koudiet Kourirene	520080	528940	20
1640	station de Ben Karrich	495750	545625	20
0944	station de Ali Tlet	510000	516600	240
4637	station de Jbel Timezouk	502600	532500	350
7600	station de Talembot	519800	516800	500
2600	station de Chaouen	512000	507500	630
3248	station de Souk El Arbaa Beni Hassane	501800	527300	710

### 2.1.1. Pluviométrie.

Favorisée par l'altitude, et grâce aux influences de la Méditerranée et de l'Océan Atlantique, cette région est classée parmi les zones les plus arrosées du Maroc. Les précipitations, fréquemment sous forme de neige, demeurent sur les crêtes jusqu'au mois d'avril.

L'étude de la répartition des pluies aussi bien dans le temps que dans l'espace montre que malgré l'hétérogénéité climatique à l'échelle mensuelle, les précipitations obéissent au gradient altimétrique à l'échelle annuelle et une répartition uniforme à l'échelle saisonnière.

### 2.1.2. Précipitations mensuelles et saisonnières.

Pour cette étude, les données sont très fragmentaires. Pour combler les lacunes, on a essayé d'établir des corrélations entre les données des stations. Avec les précipitations moyennes mensuelles on a abouti aux résultats suivants: (voir annexe)

X	Y	équation	coeff. corrél.
P Chaouen	P Ben Karrich	$Y=1.14 X$	0.93
P Talembot	P Ben Karich	$Y=1.06 X+7.7$	0.92
P Ben Karich	P Talembot	$Y=0.94 X-7.3$	0.92
P S.L.B.H	P Talembot	$Y=1.16 X+7.4$	0.99
P Bab Taza	P Ali Tlet	$Y=1.67 X+3.63$	0.97
P Ali Tlet	P Bab Taza	$Y=0.3 X+0.57$	0.97
P Bab Beretz	P Ali Tlet	$Y=1.97 X+25.6$	0.88
P Oued Lao	P Ali Tlet	$Y=0.62 X-9.6$	0.96

On a choisi la période 1961-71 pour l'étude des précipitations mensuelles et saisonnières du fait que c'est la seule période où on a le maximum de données pour toutes les stations et les moyennes mensuelles ou saisonnières seront peu influencées par les valeurs restituées.

Pour huit stations, dont seule celle de Bab Beretz ne se situe pas dans la dorsale, la distribution des précipitations moyennes mensuelles calculées pour la période 1962-71 montre

des variations non concordantes entre les stations: (voir tableaux 1 à 8 et fig. 20, 21, 22 et 23).

- Si les stations Oued Lao, Ali Tlet, Chaouen, Bab Taza et Bab Beretz présentent un maximum et un minimum, celles de Ben Karrich, Talembot et Souk El Arbaa Beni Hassane présentent deux maximas.

- En plus, et pour les stations à un seul maximum, si février est le mois le plus arrosé à Oued Lao, Ali Tlet et Bab Taza, c'est en janvier qu'on enregistre le maximum de précipitations à Chaouen et Bab Beretz.

- Pour les stations à deux maximas, les mois les plus pluvieux sont novembre et janvier pour les stations de Ben Karrich et Souk El Arbaa Beni Hassane, décembre et février pour la station de Talembot. Le mois de décembre pour les deux premières stations et le mois de janvier pour la dernière représentent le second minimum, le premier, comme les stations à un seul maximum, s'observe lors des mois secs (juillet et aout).

Pour les précipitations saisonnières, les pluies estivales sont tellement faibles qu'on peut les négliger et si la moitié des précipitations annuelles est enregistrée pendant l'hiver, l'autre moitié est enregistrée pendant l'automne et le printemps avec des proportions égales. (voir Tableaux 1 à 8 et fig. 24)

### 2.1.3. Précipitations interannuelles

Afin de visualiser les variations interannuelles des précipitations et pour une représentation graphique, il est nécessaire d'avoir les hauteurs de pluies annuelles pour une longue période. Pour cela, on a établi des corrélations entre les données des stations suivantes et celles observées à Ali Tlet puisque cette dernière en possède le maximum. (Cf annexe)

station	équation	coeff. de corrélation
Talembot	$0.98 X+74.6$	0.98
Chaouen	$0.974 X+342$	0.92
Oued Lao	$0.755 X-68$	0.65
Bab Beretz	$2.457 X-108.3$	0.978
Ben Karrich	$0.978 X+99$	0.98

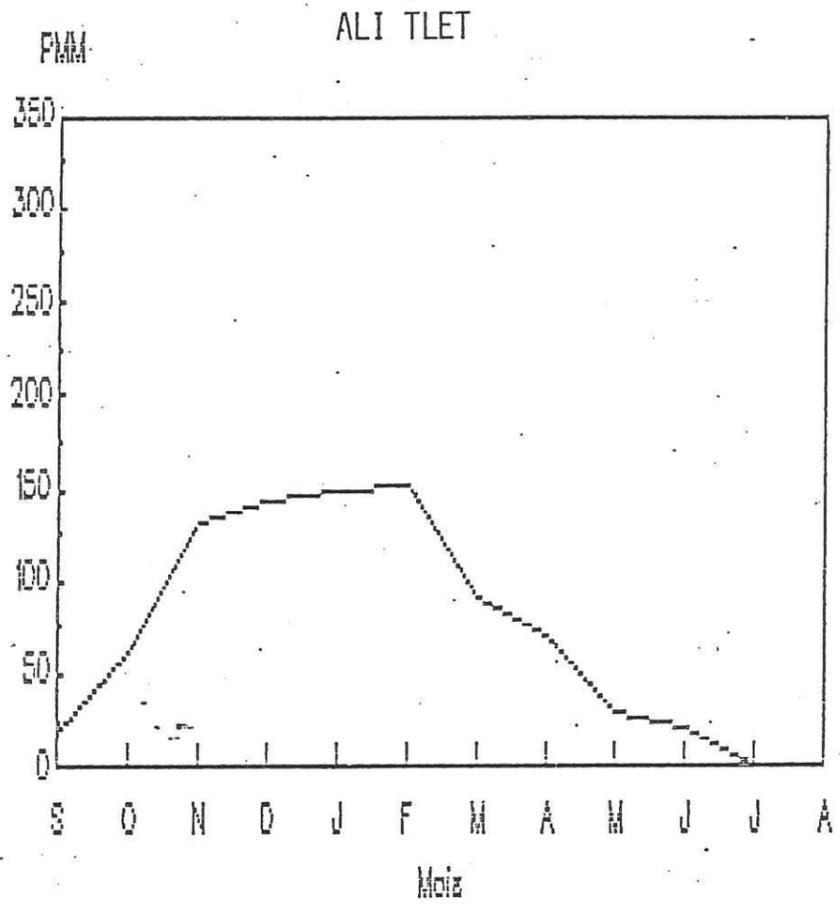
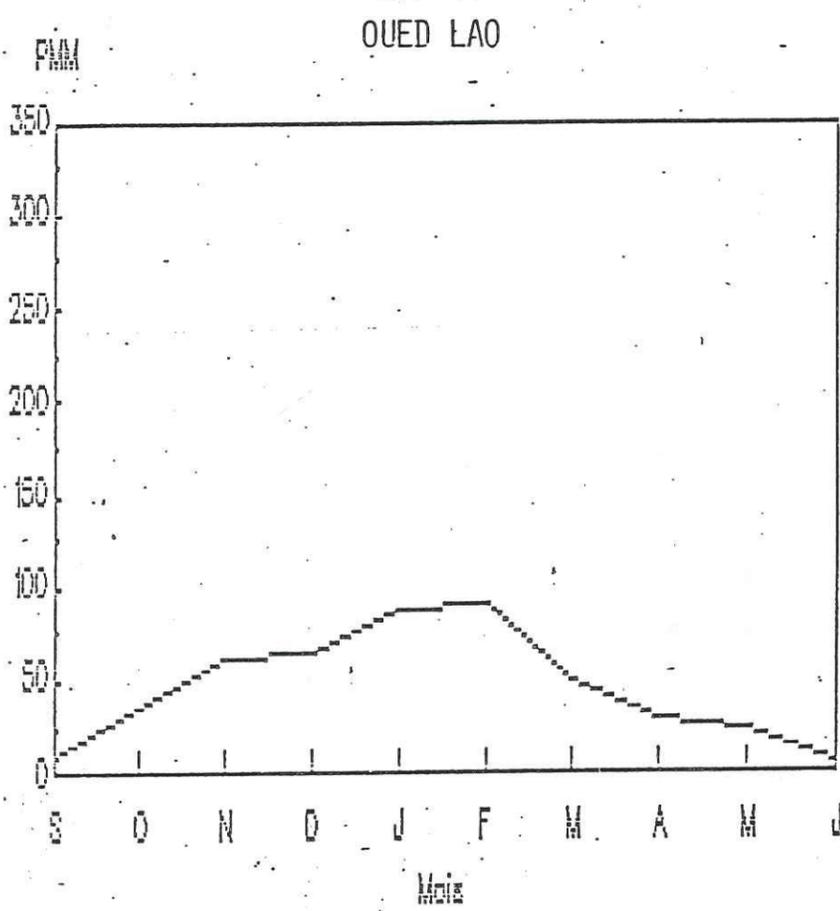


FIG 20: GRAPHIQUES DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES POUR LA PERIODE (62-71)

TABLEAU N° 1  
STATION N°:5808 OUED LAO X=527600 Y=538000 Z=6

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	18,0	34,0	134,2	59,0	16,0	7,0	68,0	38,0	58,6	0,0	0,0	0,0	432,8
62-63	2,0	43,0	94,0	86,0	135,5	85,0	9,0	29,0	49,0	0,0	0,0	0,0	532,5
63-64	0,0	0,0	36,0	178,5	164,0	142,0	25,0	32,0	25,5	0,0	0,0	0,0	603,0
64-65	11,0	0,0	40,0	86,5	47,7	46,0	51,0	24,5	0,0	19,0	1,0	0,0	326,7
65-66	17,5	136,0	38,0	8,4	15,0	100,6	57,0	11,0	8,0	0,0	0,0	0,0	391,5
66-67	27,5	39,0	9,0	0,0	16,0	168,5	25,5	38,6	10,5	29,8	0,0	0,0	364,4
67-68	0,0	44,5	67,0	33,0	24,5	139,0	84,0	33,0	0,0	20,5	0,0	0,0	445,5
68-69	0,0	12,0	72,0	55,8	79,0	218,0	82,5	47,0	43,0	0,0	0,0	0,0	609,3
69-70	13,4	22,5	87,5	45,5	319,0	0,0	34,7	25,0	3,2	0,0	0,0	0,0	550,8
70-71	0,0	20,4	26,6	80,0	65,5	0,0	61,0	119,0	45,9	0,0	0,0	0,0	418,4
P.M.M.	8,94	35,1	60,4	63,3	88,2	90,6	49,8	30,9	24,4	6,9	0,0	0,0	472,9
P.S.		103,5			242,1			105,0		6,9			
%		21,9			51,2			22,2		1,5			

TABLEAU N° 2  
STATION N°:944 ALI TLET X=51000 Y=516600 Z=240

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	21,5	28,5	238,2	183	31,9	17,9	221,5	24,3	11	8,9	0	0	786,7
62-63	9,5	91,5	131,6	233,3	335,4	259,2	15,6	100	50,6	4,2	0	0	1230,9
63-64	1,5	16,5	153,2	467,5	28	116,4	118	56	56,5	4,5	0	0	1018,1
64-65	0	1	138,5	118,8	92,5	72	77	27	0,3	42	0	0	569,1
65-66	90	139	109,2	29	92,5	216,7	32	34,7	22,5	0	0	0	765,6
66-67	25	74,5	56	5	40	186	20,1	77,5	20,3	63,5	0	0	567,9
67-68	0	127,7	127	47	15,1	225,7	89,6	29,6	16,7	30,9	0	1,8	711,1
68-69	7	22,7	122,4	105,5	192	425,2	147,2	91,2	19,5	21,5	0	0	1154,2
69-70	37	51,7	156,6	88,9	530,2	0	71,4	55,6	20,7	12	0	0	1024,1
70-71	0	48,4	58,3	144,4	121	2,5	114	207,4	89,5	7,6	0	0	793,1
P.M.M.	19,1	60,1	129,8	142,2	147,9	152,2	90,6	70,3	30,8	19,5	0,0	0,2	862,8
P.S.		209,1			442,3			191,7		19,7			
%S.		24,2			51,3			22,2		2,3			

TABLEAUX 1 ET 2 : PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES ET SAISONNIERES POUR LA PERIODE (62-71)

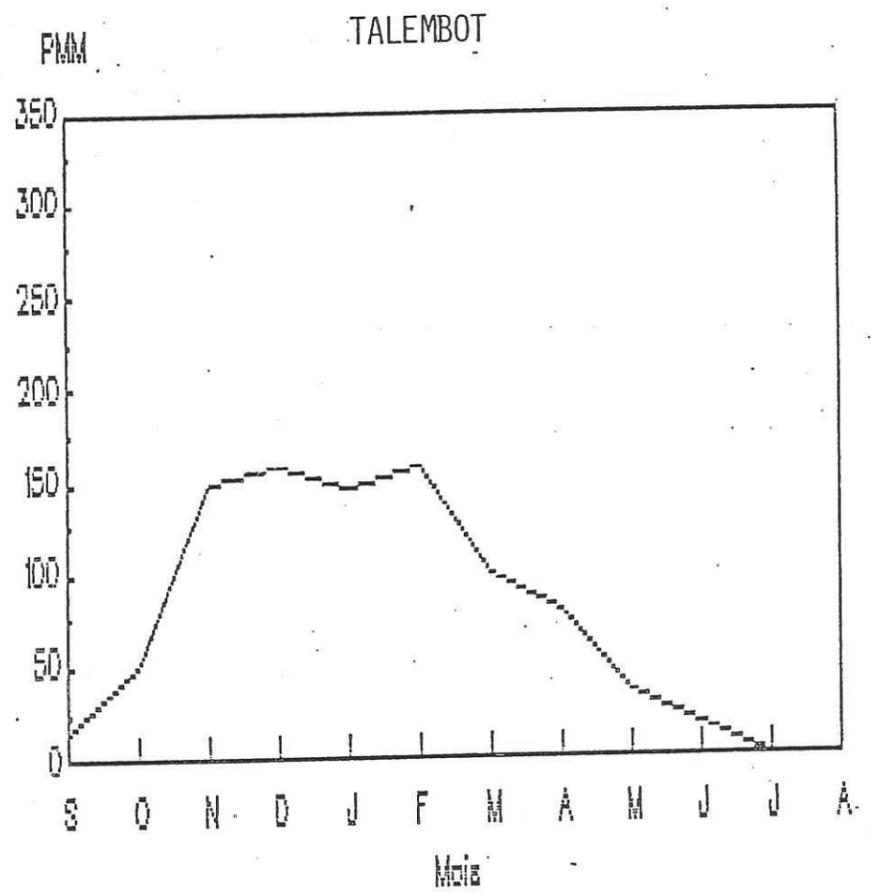
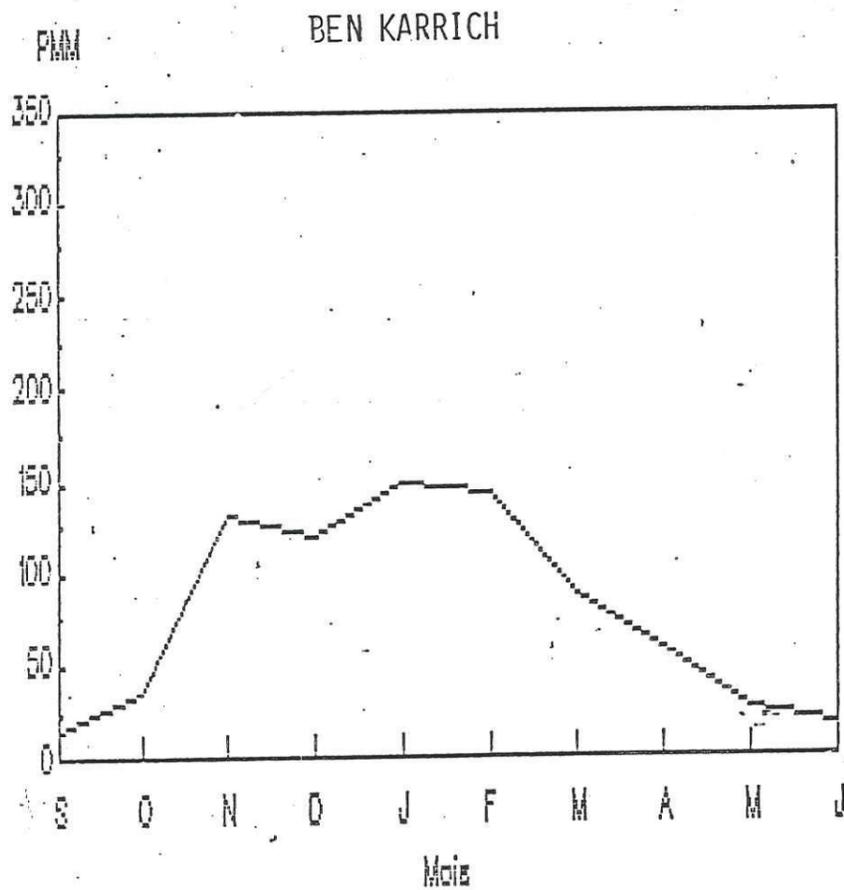


FIG 21 : GRAPHIQUES DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES POUR LA PERIODE (62-71)

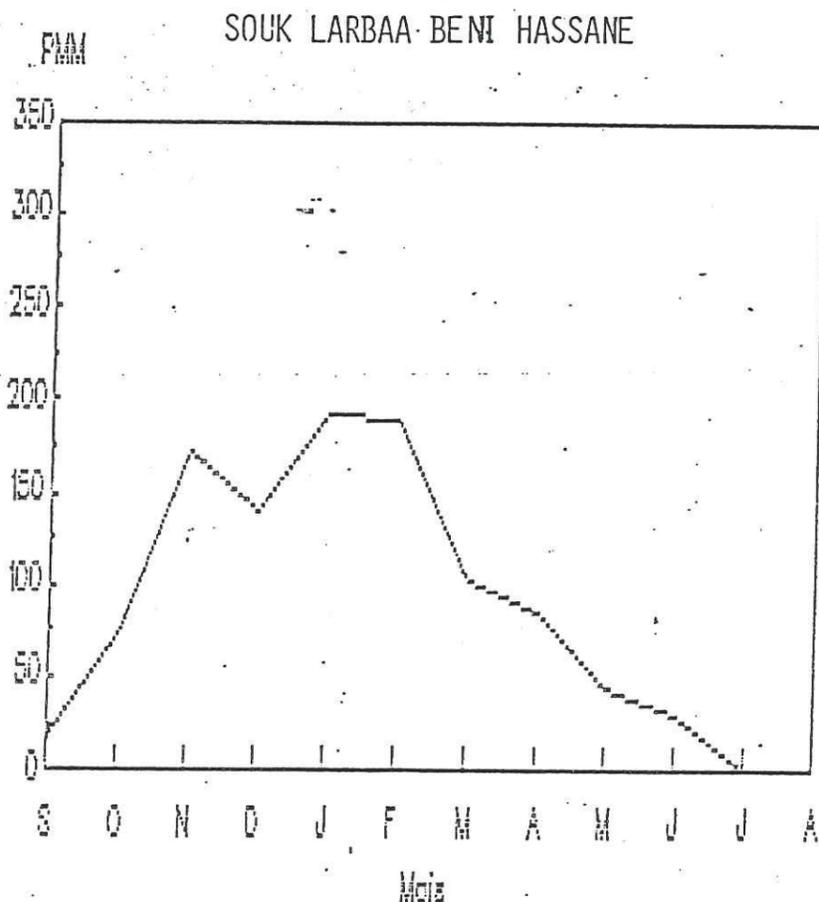
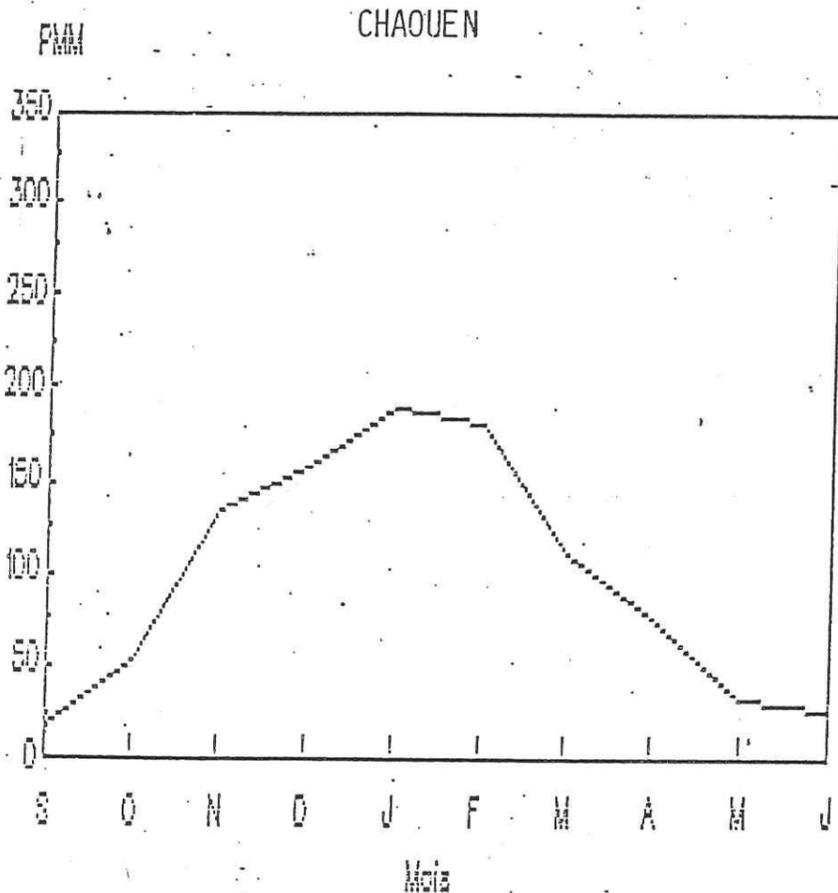
TABLEAU N° 3  
STATION N°:1640 BEN KARRICH X=495750 Y=545625 Z=230

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	29	39,3	347,7	266,5	49,6	23	195	33	3	11	0	0	997,1
62-63	5	43	176,7	202	415	181,6	23	69	71,8	10,3	0	0	1197,4
63-64	3,6	7	117,1	299,8	40,2	195,5	137,6	0	0	18,9	0	0	819,7
64-65	4,2	8,9	117,4	105,5	88,1	75,8	43	16,2	3	21,5	0	0	483,6
65-66	40,7	37,5	74	39,6	55,7	199,2	63,3	25	20	0	0	0	555
66-67	51,4	72,3	26,7	10,8	41,7	171,7	30,2	62,3	30,8	36,3	0	0	534,2
67-68	0	43,5	135	64	37	199,9	55	24,2	21	25,6	0	0	605,2
68-69	0	9,2	127	106	140	365	112	58	12,5	37	0	0	966,7
69-70	28,9	66	154,4	87,6	459	3,5	77	46,3	34,6	3,5	0	0	960,8
70-71	0	28	39,3	21,4	172,4	0	145	239	78	15	0	0	738,1
P.M.M.	16,28	35,5	131,5	120,3	149,9	141,5	88,1	57,3	27,5	17,9	0,0	0,0	785,8
P.S.		183,3			411,7			172,9		17,9			
%		23,3			52,4			22,0		2,3			

TABLEAU N° 4  
STATION N°:7600 TALEMBOT X=519800 Y=516800 Z=500

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	38,5	49,5	376	290	35,9	15,5	248,6	23,4	54,2	15,8	0	0	1147,4
62-63	22	63,7	156,2	211	287,4	202,5	24	137	100	14,5	0	0	1218,3
63-64	4	15	175,5	468,8	38,5	188	126,5	87,5	19,5	10	0	3	1136,3
64-65	0	0	111,5	124,7	206	89	74	31	1	45	0	0	682,2
65-66	42,7	88	81,7	34,9	70,6	213,9	64,5	33	15,3	4,2	0	0	648,8
66-67	13,5	113	73,5	0	18	226,7	19	62	20,5	0	0	0	546,2
67-68	0	46,9	141,5	0	16,5	223	103,5	33,5	30	35	0	4	633,9
68-69	5	17,5	143,5	120,5	157	396	127	70	21	23	0	0	1080,5
69-70	38,5	78	172	124	496,5	11,4	90	57	44,5	11,5	0	0	1123,4
70-71	0	37,5	49,5	199	121,8	0	109	262	58,5	7,5	0	0	844,8
P.M.M.	16,42	50,91	148,09	157,29	144,82	156,6	98,61	79,64	36,45	16,65	0	0,7	906,18
P.S.		215,4			458,7			214,7		17,4			
%		23,8			50,6			23,7		1,9			

TABLEAUX 3 ET 4 : PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES, ETSAISONNIERES POUR LA PERIODE (62-71)



62

FIG22 : GRAPHIQUES DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES POUR LA PERIODE(62-71)

TABLEAU N° 5  
STATION N°:2600 CHAOUEN X=512000 Y=507500 Z=630

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	21,9	40,4	290,8	286	58	43	281,3	27,4	3,4	12,5	0	0	1064,7
62-63	5,7	49	38,2	292,2	473	207	26	79	82	12	0	0	1264,1
63-64	4,1	8	133	342	46	223	157	0	0	21,5	0	0	934,6
64-65	4,8	10	133	120	100	86,4	49	18,5	3,4	24,5	0	0	549,6
65-66	46,4	156,2	138,5	66,7	143,3	231,9	21,3	52,5	23,6	6,4	0	0	886,8
66-67	58,6	93,1	79,8	7	68,3	230,8	37,5	71	15,5	43,3	0	0	704,9
67-68	0	50	154	73	42	228	63	27,5	24	29	0	0	690,5
68-69	0	10,5	145	219	238,6	536,5	218,1	130,7	38,2	42	0	0	1578,6
69-70	33	75	176	100	523	4	88	95,5	36	50	0	0	1180,5
70-71	0	31	45	54	196,5	0	165	272	89	17	0	0	869,5
P.M.M.	17,4	52,3	133,3	156,0	188,9	179,1	110,6	77,4	31,5	25,8	0,0	0,0	972,4
P.S.		203,1			523,9			219,5			25,8		
%		20,9			53,9			22,6			2,7		

TABLEAU N° 6  
STATION N°:3248 SOUK LARBAA BENI HASSANE X=501800 Y=527300 Z=710

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	12	34,7	296,5	127	77,5	45	212	29	11,5	14,8	0	0	860
62-63	24,8	108,8	196	122,5	389,7	362	28,5	166	130	8,5	0	0	1536,8
63-64	9	28,5	207	452,5	7	0	16	0	45	14,5	0	10	789,5
64-65	7,4	7,4	136	151	246	110,6	93	43,3	8,5	59,6	7,3	0	870,1
65-66	57	141	119	58,5	176,5	266	12,5	43	26,5	2,5	0	0	902,5
66-67	6	151	79	12,5	60,5	197	51,5	103,5	20,5	37,5	0	0	719
67-68	0	120	221	67	20,5	323,5	132	38	41,5	30	0	8	1001,5
68-69	0	15	256,5	114	180	554,5	180	94	33,5	48	0	0	1475,5
69-70	73,5	97,8	207	151	583	20,6	112	73,5	0	56	0	0	1374,4
70-71	0	27	2,7	145	186	7,4	183,5	259	138	26	0	0	974,6
P.M.M.	19,0	73,1	172,1	140,1	192,7	188,7	102,1	84,9	45,5	29,7	0,7	1,8	1050,4
P.S.		264,2			521,4			232,5			32,3		
%S.		25,1			49,6			22,1			3,1		

TABLEAUX 5 ET 6 : PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES ET SAISONNIERES POUR LA PERIODE (62-71)

63

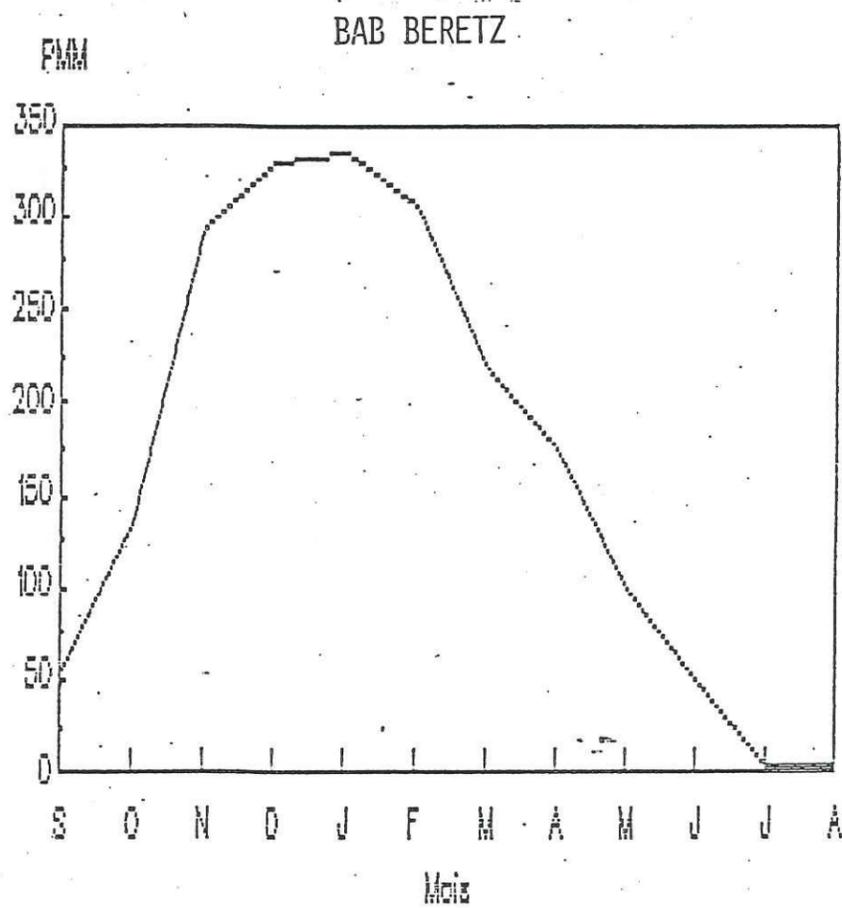
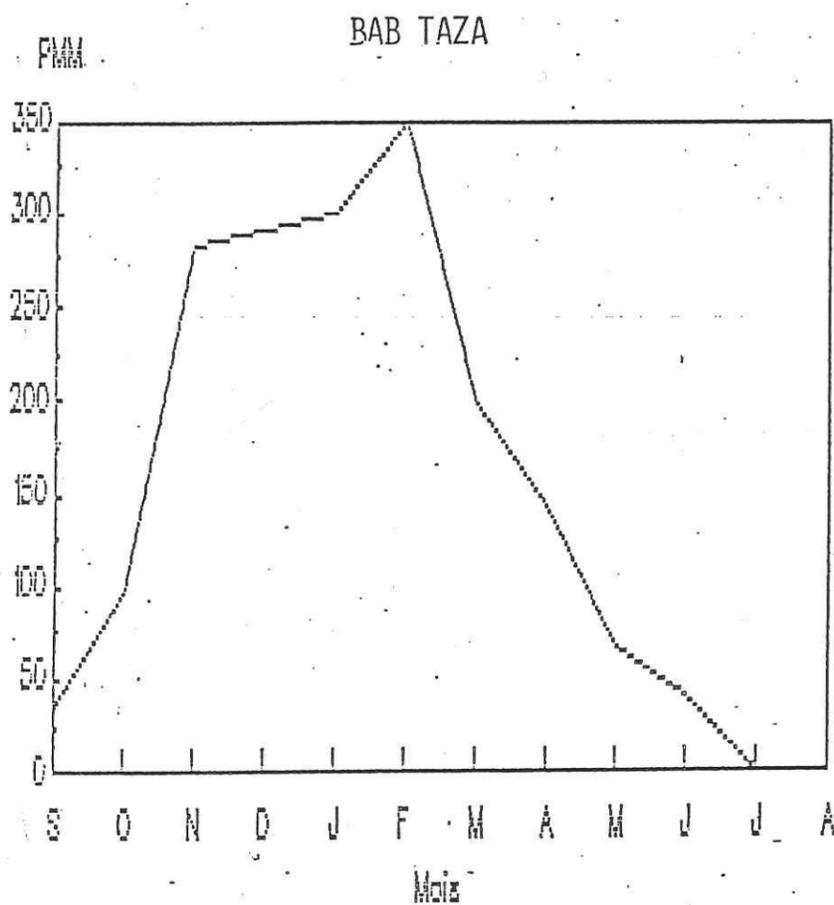


FIG 2 3: GRAPHIQUES DES HAUTEURS DE PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES POUR LA PERIODE (62-71)

TABLEAU N° 7

STATION N°:1584 BAB TAZA

X=518200

Y=495700

Z=880

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	39,5	51,2	401,4	309,2	56,9	111,8	629	43	32	12	0	0	1686
62-63	10,5	29,5	455	352	809,5	897	39	193	101	39	0	0	2925,5
63-64	30	56	427	1120	37	227,3	363,5	115	47	11	0	0	2433,8
64-65	3,6	5,3	264,4	273,9	179,9	212,7	132	29,3	8,6	47,2	0	0	1156,9
65-66	154	251,7	186	52	297,7	440,6	40,7	96,5	41,2	0	0	0	1560,4
66-67	45,4	128	133,6	12	70	293	59,1	120,7	38	65,3	0	0	965,1
67-68	0	236,6	258,3	43,7	17,9	555,2	81,4	100,8	28	50,4	0	6,6	1378,9
68-69	15,3	41,5	364,5	345,8	414,8	612,2	244,1	176	36	106,4	2,5	0	2359,1
69-70	65,5	90	265	152	836,7	143,3	129	96,5	38	23,7	0	0	1839,7
70-71	3,6	84,5	79,6	245	261,4	0	272,6	454,5	305,7	56,1	0	0	1763
P.M.M.	36,7	97,4	283,5	290,6	298,2	349,3	199,0	142,5	67,5	41,1	0,3	0,7	1806,8
P.S.		417,7			938,1			409,1			42,0		
%S		23,1			51,9			22,6			2,3		

TABLEAU N° 8

STATION N°:1512 BAB BERETZ

X=546000

Y=488800

Z=1220

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	pa
61-62	68	82	497	388	89	96	595,5	110	83	43	0	0	2051,5
62-63	48	207	365	487,5	690	539	156,5	223,6	126	33,9	25,6	25,6	2927,7
63-64	28,6	58,3	329	951	81	256	259	136,5	137,5	34,5	0	0	2271,4
64-65	25,6	27,6	300	261	209	168	178	79	26	109	0	0	1383,2
65-66	204	351,1	223,7	185,1	372	233,5	35,3	114,6	24,2	0	0	0	1743,5
66-67	2,5	281,3	136,5	12	86,4	360	45,5	116,5	63	59,5	0	0	1163,2
67-68	25,6	126	243	118,6	35,5	445,3	191	68,5	71,5	30	2,5	3	1360,5
68-69	0	39,5	435	372,2	367,6	867,5	317	206	64	68	0	0	2736,8
69-70	99	128	335,7	201,6	1075	25,6	167	135,7	189,5	87,8	0	0	2444,9
70-71	14	53	61,3	311,5	329,6	65	245,5	569	203	40,6	0	0	1892,5
P.M.M.	51,5	135,4	292,6	328,8	333,5	305,6	219,0	175,9	98,8	50,6	2,8	2,9	1997,5
P.S.		479,5			968,0			493,7			56,3		
%S.		24,0			48,5			24,7			2,8		

TABLEAUX 7 ET 8: PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES ET SAISONNIERES POUR LA PERIODE (62-71)

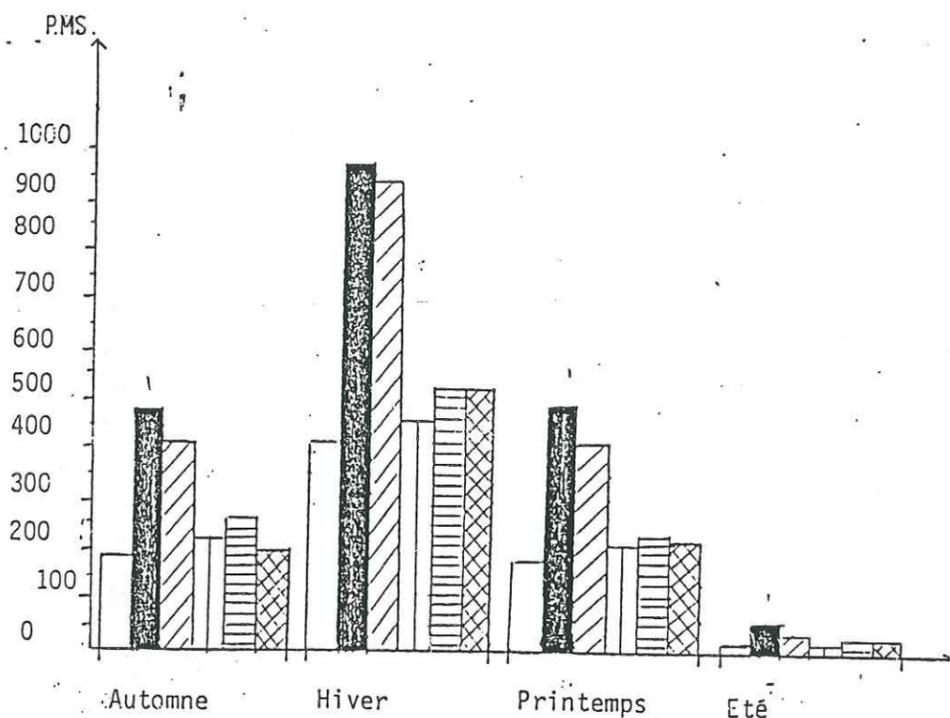
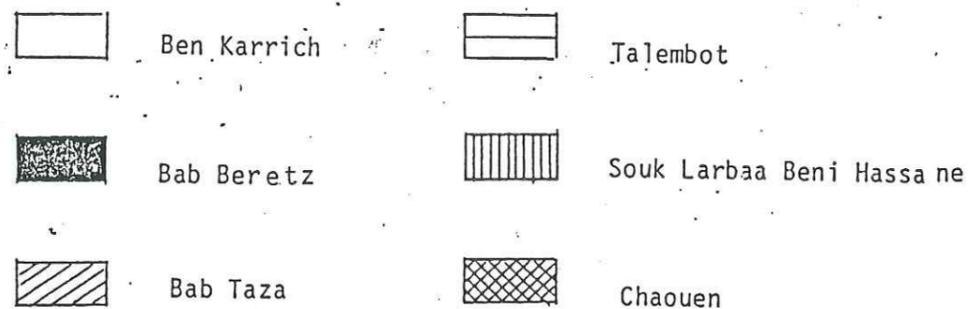


FIG 24: HISTOGRAMME DES PRECIPITATIONS MOYENNES SAISONNIERES PERIODE (62-71)

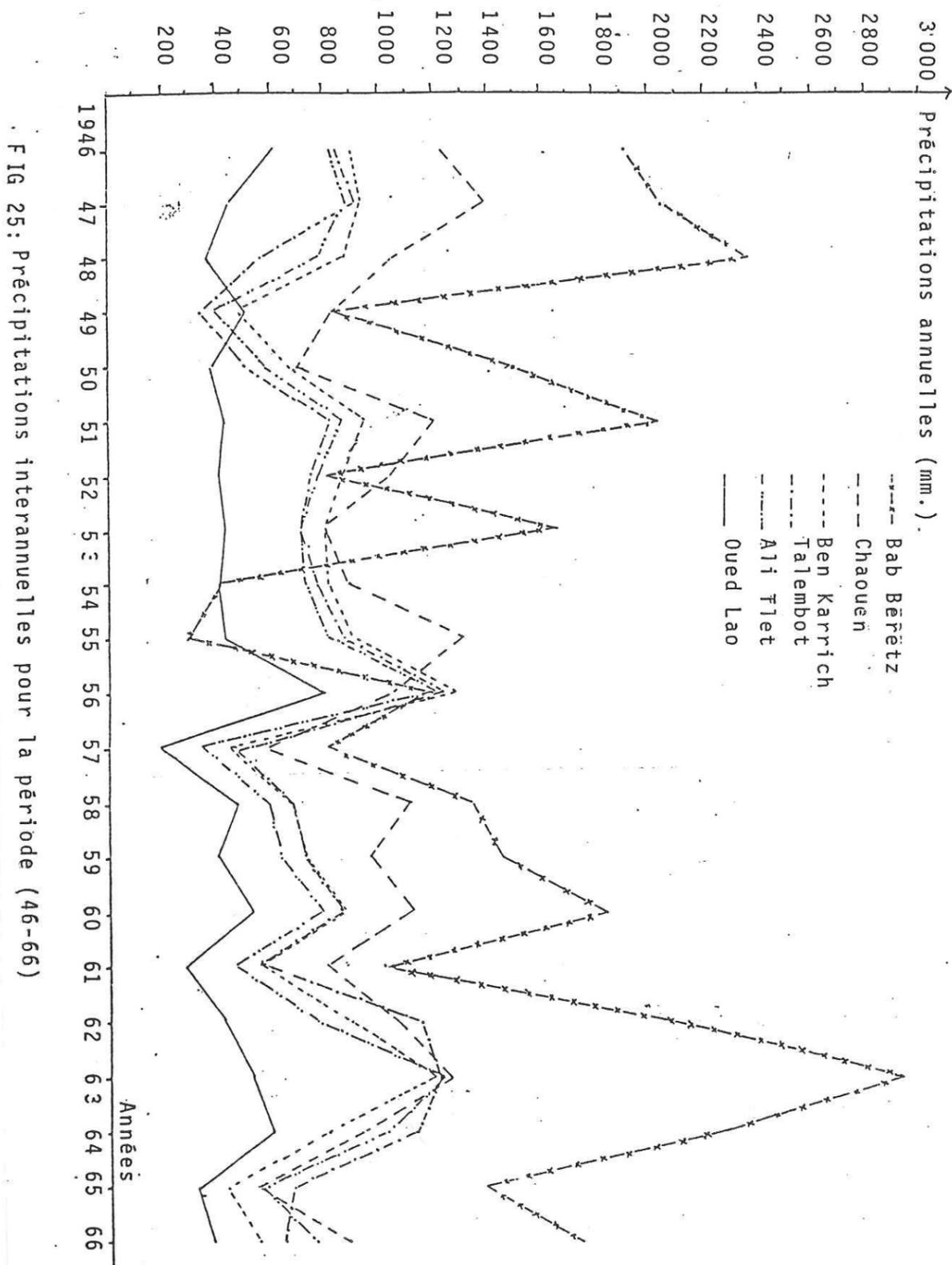
Année	A.T.	B.K.	T.	CH.	O.L.	B.B.
45-46	825	906	841	1225	618	1918.7
46-47	880	960	922	1395	451	2053.8
47-48	793	856	574	1074	376	2377.2
48-49	401	491	354	484	513	837.5
49-50	582	668	510	701	388	1485
50-51	871	951	822	1212	428	2031.7
51-52	793	874	759	1054	416	813.4
52-53	719	802	716	805	536	1650.3
53-54	738	821	776	891	417	424.2
54-55	819	900	877	1311	533	300.1
55-56	1212	1284	1242	1051	810	1168.5
56-57	356	447	468	586	192	766
57-58	594	680	683	1116	489	1351.2
58-59	642	727	726	968	417	1469.1
59-60	797	878	866	1119	534	1850
60-61	472.6	561.3	573	803	289	1052
61-62	786.7	997.1	1147.4	1064.7	432.8	2051.5
62-63	1230.9	1197.4	1218.3	1264.1	532.5	2927.7
63-64	1018.1	819.7	1136.3	934.6	603	2271.4
64-65	569.1	483.6	682.2	549.6	326.7	1383.2
65-66	765.6	555	648.8	886.8	391.5	1743.5
66-67	567.9	534.2	546.2	704.9	364.4	1163.2
67-68	711.1	605.2	633.9	690.5	445.5	1360.5
68-69	1154.2	966.7	1000.5	1578.6	609.3	2736.8
69-70	1024.1	960.8	1123.4	1100.5	550.8	2444.9
70-71	793.1	738.1	844.8	869.5	418.4	1892.5
71-72	544	671	612	872.5	343	1896.9
72-73	389	487	470	721.5	226	1020
73-74	511	628	737	840	318	1147.3
74-75	372	447	439	705	213	805.7
75-76	569	617	471	897	361.8	1289.7
76-77	632	870	716	958	409.4	1444.5
77-78	691	668	752	1121	454	1589.5
78-79	647	747	654	972.8	421	1481.4
79-80	408	633	474.5	740	306	894
80-81	422	528	488	753.6	374	928.6
81-82	400	502	466.6	760	168	874.5
82-83	393	437	460	698	169	857.3
83-84	811	803	869.5	1132.5	544.6	1884.4
84-85	569	656	632	897	361.8	1289.7

Moyennes annuelles des périodes 61-71 et 55-63

61-71	862.8	785.8	906.2	972.4	472.9	1997.5
55-63	761.4	846.5	865.5	996.5	462.0	1579.5

Tableau N°9 : Précipitations annuelles des stations :

- A.T. : Ali Tlet
- B.K. : Ben Karrich
- T. : Talembot
- C.H. : Chaouene
- O.L. : Oued Lao
- B.B. : Bab Beretz



La représentation graphique des précipitations annuelles (fig. 25) montre que les stations de l'Oued Lao et Bab Beretz présentent des variations particulières. Les autres subissent généralement les mêmes variations.

La particularité des deux premières stations est que, si Bab Beretz se trouve hors la dorsale, Oued Lao, contrairement aux autres stations qui sont dans la bordure ouest, se situe sur la cote méditerranéenne et est donc relativement plus influencée par la mer.

Pour cette dernière, la particularité de l'année 1948-49 est que l'on enregistre une augmentation remarquable des précipitations alors que pour les autres stations il y a une diminution des hauteurs de pluie. Pourtant, pour la période 1959-1966 toutes les stations subissent globalement les mêmes variations. Pour la période 1950-1955, s'il y a une certaine constance à l'Oued Lao, on enregistre des variations pour les autres stations. Pour cette période la station de Bab Beretz a une variation non concordante avec les autres.

## 2.2. Evaluation des paramètres pour le bilan hydrogéologique:

### 2.2.1 Evaluation des précipitations:

Vue la mauvaise répartition des stations pluviométriques dans l'espace, le seul moyen pour évaluer les précipitations reçues par un bassin est de chercher le gradient altimétrique des pluies. D'après J.P. Tauvin, les précipitations moyennes pour la période 1933-63 aux stations suivantes sont:

station	altitude (m)	précipitation moyenne (mm)
Oued Lao	3	440
Ben Karrich	210	785
Talembot	500	882
Chaouen	630	1072
Bab Taza	880	1386

La corrélation pluie-altitude a abouti à un modèle linéaire d'équation  $P = 0.9907 H + 472.5492$  avec un coefficient de

corrélation de 0.9774 (voir fig. 26), soit un gradient de 99 mm pour 100 m.

### 2.2.2. Evaluation de l'évaporation:

Puisque les stations de la dorsale ne sont pas équipées de bacs pour la mesure de l'évaporation, et pour appliquer les formules de calcul de ce paramètre, il est nécessaire d'avoir la mesure de température. Or ce facteur n'est mesuré que pour quelques stations. Pour évaluer l'évaporation, on a utilisé les données d'autres stations existant dans le Rif. Un essai de corrélation des précipitations moyennes annuelles avec l'évaporation calculée d'après Turc a abouti à un modèle linéaire de type  $Ev = 0.28 P + 428.53$  avec  $R = 0.85$  (fig. 27).

D'après J.P. Tauvin, les données pour la période 1933-63 sont:

station (mm)	P. moy. annuel. (mm)	Ev. d'après Turc
Tetouan	747	630
Khemiss Beni Aross	966	740
Zoumi	1285	800
Chaouen	1072	730
Taounate	904	690
Tainaste	1058	670

### 2.2.3. Les données hydrométriques:

Pour les oueds de la zone d'étude, les stations de jaugeage sont: (voir fig. 19)

N°	nom de la station			
210/04	Koudiet Kourirene	sur l'Oued Lao		
-	Ali Tlet	-	-	-
299/04	Akchour	-	-	Talembot
-	Fadra	-	-	Fadra
-	Kaala	-	-	Kaala
613/04	Assoul	-	-	El Kanar
-	Bou Ahmed	-	-	Bouhya

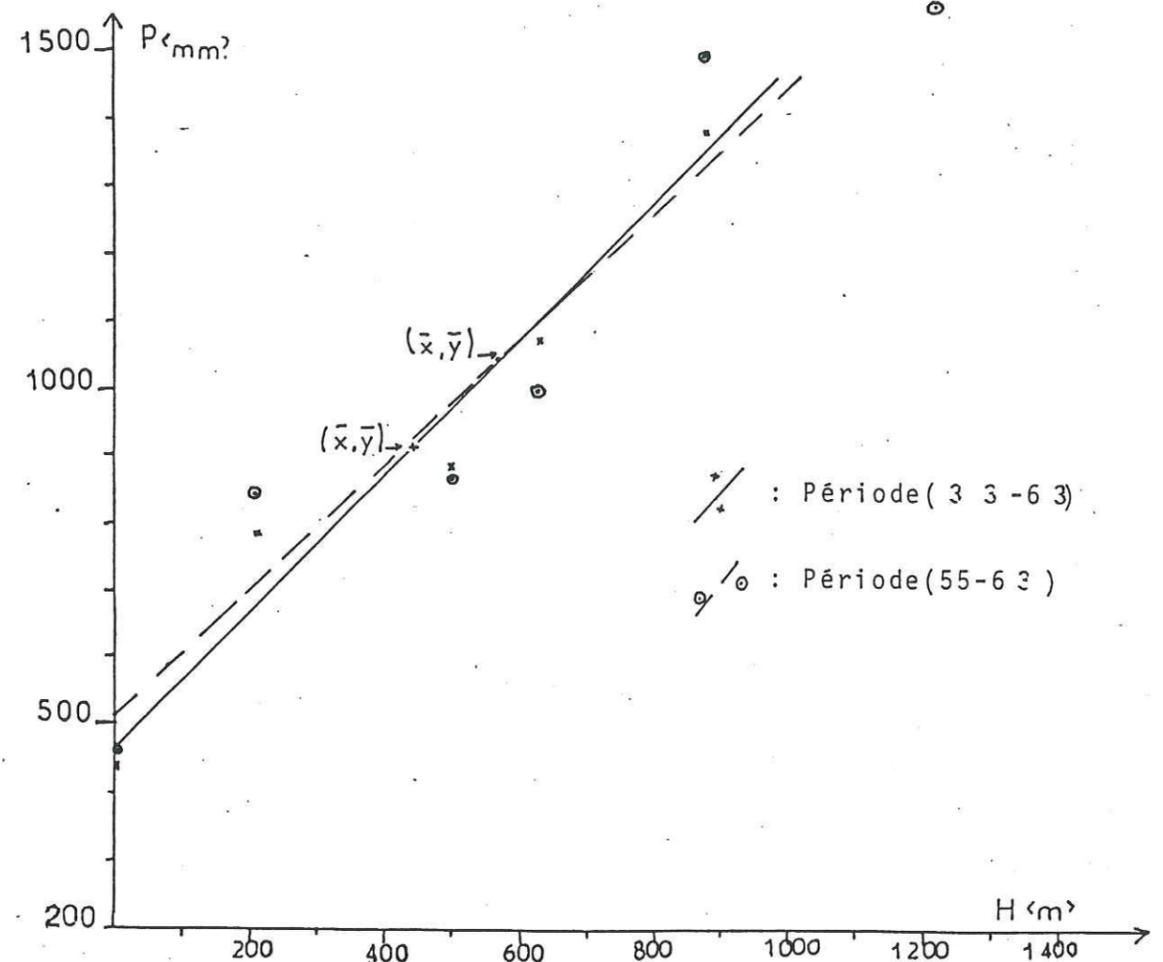


FIG 26: Graphiques des relations pluie-altitude pour les périodes (55-63) et (33-63)

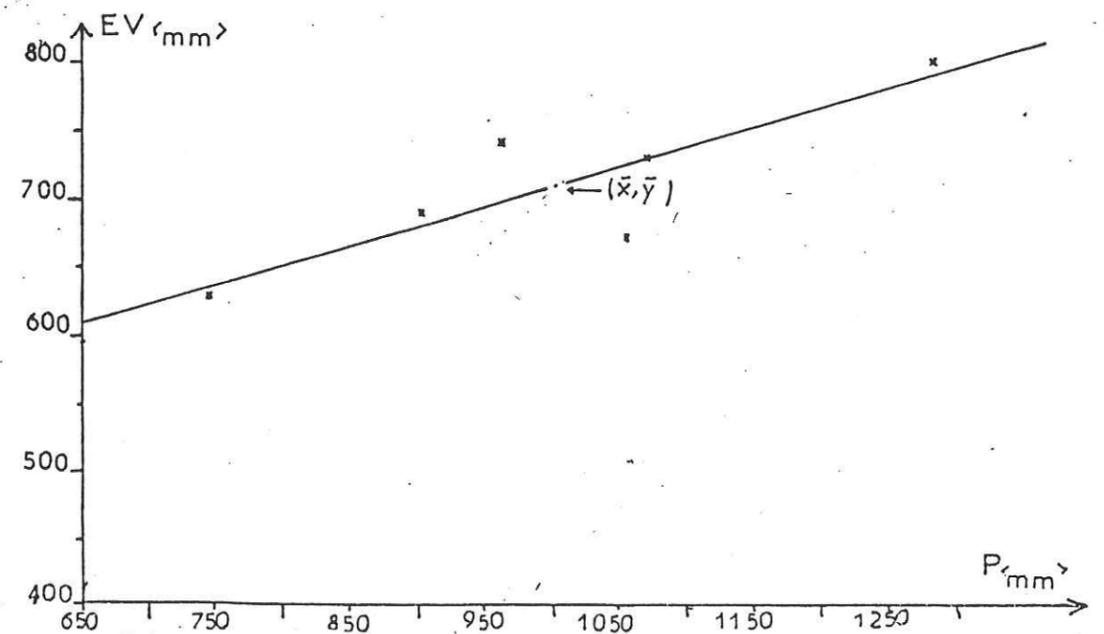


FIG 27: Relation évaporation-précipitations pour la période (33-63)

Tableau N° 10 : Station Chaouen

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T.m.a.
55-56	23,7	18,2	13,9	13,6	8,7	7,5	11,8	14,4	17,6	21,6	24,5	25,7	16,8
56-57	21,3	20,1	12,8	9,9	9,6	13,4	15,1	14,5	17,3	20,6	25,3	26	17,2
57-58	24,1	17,1	12,5	10,5	9,7	12,9	13,5	15,1	19,7	22,8	25,8	29,3	17,8
58-59	27,3	21,1	17,4	12,8	12,2	11,3	13,5	16,9	17,9	23,7	27,7	30,2	19,3
59-60	24,1	19,5	15,1	12,6	13,6	14	14,9	17,2	19,2	20,2	24,2	25,3	18,3
60-61	19,1	20,7	17,6	10,1	9,4	13,7	15,3	17,5	19,9	20,1	27,6	26,7	18,2
61-62	24,4	17,9	13,3	10,4	10,5	13,7	13,5	16,4	20,7	24,1	29,4	30,3	18,7
62-63	26,3	18,1	10,5	12	9,4	10,9	16,2	16,9	18,1	21,9	25,9	25,6	17,7

Tableau N°11 : Station Ali Tlet

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T.m.a.
55-56	23,7	18,5	15,9	13,5	11	8,8	13	14,3	17,5	21,5	24,3	25,5	17,3
56-57	21,2	20	12,7	9,8	9,5	13,3	15	14,4	17,2	20,5	25,1	25,9	17,1
57-58	24	17,4	13,8	10	11	14	13,8	15,6	19,3	21,5	23,8	25	17,4
58-59	24	19	13,9	12,2	12,5	11,5	14,4	15,8	16,8	21,4	20	25,2	17,2
59-60	23,3	19,1	13,9	12,3	11,1	13,2	14	16	18,2	22,8	24,9	25,5	17,9
60-61	22,7	17,6	15,7	10,3	10,1	13,4	14,4	16,7	20,2	21,9	25,6	25,3	17,8
61-62	24	19	14,4	13,5	12	11,5	13,3	16	19	20,9	25,6	26,9	18,0
62-63	24,8	20,1	12,6	11,8	12,1	10,8	13,9	15,6	18	21,8	25,7	25,5	17,7

Tableau N° 12 : Station Tetouan

Année	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	T.m.a.
55-56	23,6	19,2	17,0	15,0	12,9	11,0	14,6	15,7	18,4	21,8	24,1	25,2	18,2
56-57	21,5	20,5	14,3	11,9	11,6	14,8	16,3	15,8	18,1	20,9	24,8	25,5	18,1
57-58	23,9	18,3	15,3	12,0	12,9	15,4	15,3	16,8	19,9	21,8	23,7	24,7	18,3
58-59	23,9	19,7	15,4	13,9	14,2	13,3	15,8	17,0	17,8	21,7	20,5	24,9	18,1
59-60	23,3	19,7	15,4	14,0	13,0	14,7	15,4	17,1	19,0	22,9	24,6	25,2	18,7
60-61	22,8	18,5	16,9	12,3	12,1	14,9	15,8	17,7	20,7	21,1	25,2	25,0	18,6
61-62	24,2	19,6	16,2	15,1	13,6	12,6	14,9	16,4	18,5	20,2	28,8	26,1	18,8
62-63	25,1	21,3	14,3	14,1	13,7	12,7	14,8	16,2	17,8	21,5	25,3	25,1	18,5

Les températures moyennes mensuelles et annuelles (T.m.a.) pour la période (55-63)

A partir de 1962-63, seule la station de Koudiet Kourirene est restée principale du fait que les mesures du débit moyen journalier sont continues. Pour les autres, les mesures sont devenues irrégulières à partir de cette date. Quant aux deux dernières, elles n'ont été mises en service qu'à partir de l'année 1973 et les mesures sont également irrégulières. Pour les sources, on possède également des mesures discontinues et périodiques. Les sources jaugées sont: (voir fig. 19)

N°	nom de la source
100/04	Ras El Ma
105/04	Chrafate
100/2	Zerka
39/2	Yarguit
2/2	Torreata

Pour l'établissement d'un bilan, on a choisi la période 1956-63, car c'est la période pendant laquelle on possède des mesures continues du débit moyen journalier aux stations suivantes:

- Koudiet Kourirene
- Farda
- Kaala
- Akchour
- Ali Tlet.

Ce bilan sera établi pour:

- le bassin versant de l'Oued El Had (ou El Kanar) qui constitue un exutoire important de l'unité de Jbel Tazoute.
- le bassin versant de l'Oued El Kaala qui draine les écaillles d'Abou Bnar et partiellement l'unité de Jbel Tazoute.
- le bassin versant de l'Oued Farda considéré comme le principal exutoire de l'unité de Jbel Lakraa.
- Enfin l'unité de Jbel Tissouka qui possède un important exutoire: la source de Ras El Ma.

#### 2.2.4. Evaluation des apports souterrains:

Pour les cours d'eau, un facteur important reste à cerner c'est la part des apports souterrains qui s'ajoute aux écoulements de surface. Pour évaluer ces apports, la nature karstifiée des terrains calcaires et par conséquent à réponse rapide aux précipitations, a conduit à l'utilisation de la méthode de Berkaloff et Castany, c'est-à-dire celle qui évalue les écoulements souterrains à partir des débits journaliers minimaux mensuels.

#### 2.3. Validité des formules d'évaluation des précipitations et de l'évaporation pour la période (1955-63):

Les valeurs prises pour l'établissement des formules permettant d'évaluer les précipitations et l'évaporation sont des moyennes pour la période 1933-63. Puisque la période choisie pour l'établissement du bilan est 1955-63, il est nécessaire de s'assurer que ces formules peuvent être appliquées pour les dernières huit années. Pour les précipitations, les moyennes annuelles pour la période 1955-63 pour les stations suivantes sont:

nom de la station	altitude	P. moyennes (mm)
Oued Lao	3	462
Ben Karrich	210	846.5
Talembote	500	865.5
Chaouen	630	996.5
Bab Taza	880	1494
Bab Beretz	1220	1579.5

Avec ces données, on a une corrélation linéaire de type:

$$P = 0.9185 H + 513.59 \quad (\text{voir fig. 26})$$

$$\bar{P} = 1040.66$$

$$\bar{H} = 573.83$$

$$R = 0.9569$$

Par conséquent, on a des relations très proches pour les périodes 1933-63 et 1955-63 et on peut utiliser l'une des deux formules.

On a essayé de calculer l'évapotranspiration en appliquant la formule de Turc pour les stations Ali Tlet, Tetouan et Chaouene pour la période (1955-63). On possède des mesures de la température moyenne mensuelle minimale et maximale. On a travaillé sur les températures moyennes. Pour combler les lacunes des données, des corrélations entre les mesures mensuelles des stations ont été établies. Ces relations sont de type:

$$T_T. = 0.8455 T_{A.T.} + 3.5988 \quad R = 0.9862$$

$$T_{Ch.} = 1.0033 T_{A.T.} + 0.07684 \quad R = 0.956$$

$T_T.$  = Température moyenne mensuelle à Tétouan

$T_{A.T.}$  = ----- à Ali Tlet

$T_{Ch.}$  = ----- à Chaouene

Pour les années 1955-56 à 1962-63, les températures moyennes mensuelles et annuelles des trois stations sont données dans les tableaux 10, 11 et 12.

Pour la période de 1955-63, on a:

station	P.a. (mm)	T.a.(°C)	EV. Turc (mm)	EV=f(P.a)
Ali Tlet	761.5	17.6	629	641.7
Tetouan	807.4	18.5	668.2	654.6
Chaouen	996.5	17.9	736.9	707.5

P.a. = précipitations moyenne annuelle.

T.a. = Température " " "

Pour ces trois stations, l'évapotranspiration calculée d'après la formule de Turc et celle évaluée en fonction des précipitations moyennes annuelles ont des valeurs proches même si cette fonction a été établie pour la période 1933-63 en utilisant les données des stations situées dans le Rif mais pas toutes dans la dorsale.

#### 3. Régions sud de l'Oued Lao

Renfermant les plus importantes nappes de la dorsale, cette zone se caractérise, du point de vue géologique, par une abondance marquée des unités de la dorsale externe et l'existence d'importants linéaments. Du point de vue hydrogéologique, elle renferme les plus importantes sources de la dorsale et assure la pérennité d'un certain nombre d'affluents ou d'oueds. Elle englobe donc d'importantes

nappes. Cette importance est due à une karstification développée et ceci surtout dans le compartiment ouest du linéament de Jbel Lakraa et aux précipitations reçues. En effet, cette région est le siège des plus hautes crêtes du Rif où les précipitations sont élevées et sous forme de neige, d'autant plus que la majeure partie de la surface se trouve à de hautes altitudes.

### 3.1. Compartiment est du linéament de Jbel Lakraa.

Ce compartiment est essentiellement formé de l'unité de Jbel Tazoute qui supporte certains lambeaux isolés des unités de la nappe d'Imourrassine et qui repose sur la nappe de Jbel Lakraa dont les unités apparaissent en fenêtre dans la bordure sud. Dans sa limite sud-ouest, cette unité est séparée des unités sud de la nappe de Jbel Tissouka par les écaillés d'Abou Bnar et la partie méridionale du compartiment est occupée par l'unité d'Amettrasse.

#### 3.1.1. Les sources du compartiment

Du point de vue hydrogéologique, ce compartiment se caractérise par la vidange des aquifères dans les oueds. En effet les cours d'eau sont abondants et pérennes. Pour les sources, à l'exception de Aïn Souyah qui émerge dans le lit de l'oued El Kanar et qui a un important débit d'étiage, toutes les sources de ce compartiment sont de faible importance. Ces sources sont : (voir fig. 28)

##### 3.1.1.1. Sources de l'unité de Jbel Tazoute :

Du Nord vers le Sud on a :

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
058	Aghbalou d'Afriess	532100	515750	680	2
041	Onsar Azarhar	524750	515600	980	2
059	Aïn Souyah	533100	513200	210	300
043	Aïn Talassemrane	525300	511900	1160	1

042	Kef del Ma	525350	511875	1160	1
060	Onsar Zaouia	538175	507850	350	5
061	Onsa Zaouia	538000	507600	360	2
62	Onsar Taounshicht	537500	507400	380	10
063	Aïn Siough	357450	505050	1030	2

Dans cette unité, Aïn Talassemrane et Kef del Ma sourdent des alternances calcaréo-dolomitiques et le reste des dolomies à stromatolithes qui constituent le plus important aquifère du fait qu'il alimente Aïn Souyah, la plus importante source de ce compartiment.

#### 3.1.1.2. Sources des écaillés d'Abou Bnar

Les sources inventoriées sont :

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
044	Onsar Dewrila	524375	510450	1220	1
045	Onsar Mesben	524575	510750	1260	2
046	Aïn Oulad Bouker	524850	510850	1250	1
047	Aïn Jamae	524325	509150	1300	1
048	Onsar Anefzi	521600	508750	1100	5

Pour ces sources Onsar Anefzi sourd des alternances calcaréo-dolomitiques de l'écaillé supérieure. Le reste sourd au sein de l'écaillé inférieure et, à l'exception de Aïn Jamae qui prend naissance dans des alternances calcaréo-dolomitiques, elles émergent des dolomies à stromatolithes.

#### 3.1.1.3. Sources de l'unité de Beni M'Hamed

Les sources inventoriées sourdent des dolomies grises et sont:

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
049	El Ma de Taria	522175	507700	1380	5
050	El Ma de Taria	522250	507550	1390	2
051	Onsar Issouka	523350	507750	1380	5
052	Onsar Taourirt	525050	505350	1340	1
053	Onsar Mazel	525650	505600	1320	1
054	Onsar Taoukir	525800	505475	1260	1

3.1.1.4. Sources de l'unité de Jbel Talassemrane

Les sources inventoriées sont :

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
055	Onsar El Khwa del Haouta Dra	525700	504850	1260	5
056	El Fouara	526300	504800	1260	1
057	Ain Anou	526075	503800	1500	-

Les deux premières sources sourdent des alternances calcaréo-dolomitiques. La dernière se présente comme un gouffre rempli d'eau mais qui n'émerge pas en surface. Elle se trouve au sein des formations massives.

3.1.1.5 Sources de l'unité de l'Oued Asaki

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
064	Onsar Kacem	537950	502800	640	4
065	Onsar Rahmanio	536850	502600	760	10
066	El Bir	536250	502500	940	1
067	Onsar Taria Seflia	536175	502575	930	10

068	Onsar Asaki	535500	502275	970	5
069	El Menbae	535100	501650	1140	5

A l'exception de Onsar Asaki qui sourd des alternances calcaréo-dolomitiques, ces sources prennent naissance dans les calcaires à silex.

3.1.1.6 Sources de l'unité de Jbel Achefaha

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) l/s
		X	Y	Z	
070	Ain Majra	537850	500600	860	5
071	Onsar Taourart	539425	500650	460	10

Ces sources sourdent des calcaires à silex

3.1.1.7 Sources de l'unité d'Amettrasse

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) l/s
		X	Y	Z	
072	El Onsar	533525	499300	820	1
073	Ain Rouida	533650	499000	800	1
074	Onsar Ahamouden	530850	499900	910	1

Ces sources sourdent des grès et conglomérats oligocènes. Dans cette unité les sources sont rares et de faible débit.

3.1.2 Ecoulement de la nappe

En ce qui concerne les oueds et affluents de ce compartiment, ils drainent essentiellement les formations de la nappe de Jbel Tazoute et particulièrement les dolomies à stromatolithes du Norien-Carnien. Pour cette nappe la présence de deux oueds pérennes à l'Est, à débit d'étiage proche de 2 m<sup>3</sup>/s (Oued El Kanar et Oued Bouhya) et

l'existence d'un certain nombre de sources au contact avec les flyshs paléozoïques prouvent un écoulement vers l'Est. La plus importante est Ain Souyah qui prend naissance à partir de la formation du Norien-Carnien. Il s'agit d'une source vaclusienne qui s'enfonce avec une pente de  $35^\circ$  vers l'azimuth 285 :

Dans sa partie nord, cette nappe est drainée par d'autres cours d'eau qui sont :

- L'Oued Ahrousse
- L'Oued Kaala, affluent de l'Oued Talembote
- L'Oued Sarem, affluent de l'Oued Lao.

Par conséquent, il existe une vidange de la nappe de Jbel Tazoute au Nord de l'unité. Ce qui explique l'importance du débit d'étiage de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene en comparaison avec celui mesuré en aval à Ali Tlet surtout que le débit à Koudiet Kourirene est influencé par les barrages de Talembote et de Ali Tlet. En effet, il semble qu'en étiage, le débit mesuré à cette station provient uniquement de cette nappe du fait que :

- les affluents du versant nord existant entre ces deux stations (Oued Abyati et Oued Talagamine) sont temporaires.
- Les courbes de tarissement de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene et de l'Oued El Kanar à Assoul ont la même allure (voir étude hydrodynamique).

- L'existence d'une source à eau jaillissante dans le lit et dans la rive nord de l'Oued Lao (Onsar Aghboula N°70) prouve que le linéament de l'Oued Lao joue un rôle d'écran. Pour le reste de cette nappe, les sources sont rares et leur débit d'étiage ne dépasse pas les 2 l/s. La température de l'eau au niveau des émergences est, aussi bien en période de hautes eaux qu'en étiage, de  $12,5^\circ\text{C}$ . Il s'agit donc d'un vaste aquifère. Son importance est due essentiellement à la grande extension des dolomies à stromatolithes et à la puissance de cette formation qui atteint 900 m d'épaisseur. De plus, s'il y a un drainage partiel vers le Nord, les oueds El Kanar et Bouhya sont les drains essentiels. En effet, chacun de ces oueds a un débit d'étiage voisin de  $1\text{ m}^3/\text{s}$  alors que pour les cours d'eau du Nord, l'Oued Kaala, le plus important, ne dépasse pas  $0,2\text{ m}^3/\text{s}$  dont une partie provient de l'unité d'Imourassine et de l'écaïlle inférieur d'Abou

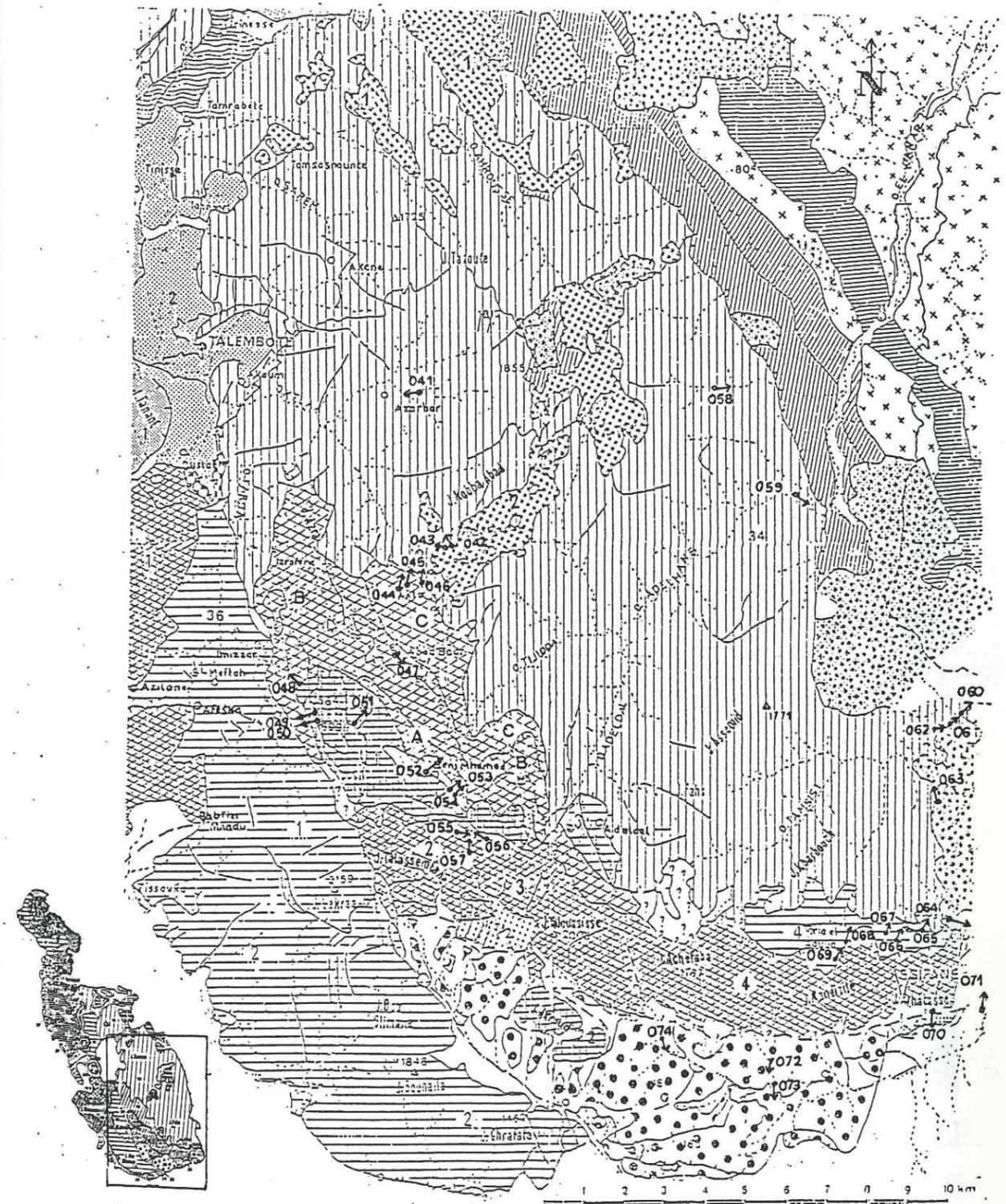


FIG 28 : Sources du compartiment Est du linéament de jbel Lakraa (Légende voir page 82)

Légende des figures 28, 29 et 40

- Nappes Paléozoïques
- 1 Nappe de Beni Hozmar
- 2 Nappe de Koudiet Tizian
- Nappe d'Akaili
- } Ghomarides
- Unité de Tizgarne
- Unité du Boquete
- Unité de Beni Mezala
- } Unités de Federico
- } Sebtides
- Micashistes et gneis
- Unités de la dorsale calcaire
- Dorsale interne
- Ecaille d'Ouslaf
- 1 Unité de Beni M'hamed
- 2 Unité de jbel Akroud
- Nappe d'Imourassine
- 1 Unité de Taza ou Saïd
- 2 Unité d'Imourassine
- Unités intermédiaires
- 1 Unité de Bab Aideme
- 2 " d'Imensorine
- 3 " de Monte Tira
- Unités d'Ametrasse-Bettara
- 1 Unité de Tarhzoute
- 2 " d'Ametrasse
- Unités de la Dorsale externe
- A Ecaille supérieure
- B " moyenne
- C " inférieure
- } Ecailles d'Abou Bnar
- 1 Unité de jbel Tissouka
- 2 " " " Talassemrane
- 3 " " " Taloussisse
- 4 " " " Achefaha
- } Nappe de jbel Tissouka
- Unité de jbel Tazoute
- 1 Unité de jbel Lakraa
- 2 " " " Bou Slimane
- 3 " d'Adeïdal
- 4 " de l'oued Asaki
- } Nappe de jbel Lakraa

Source

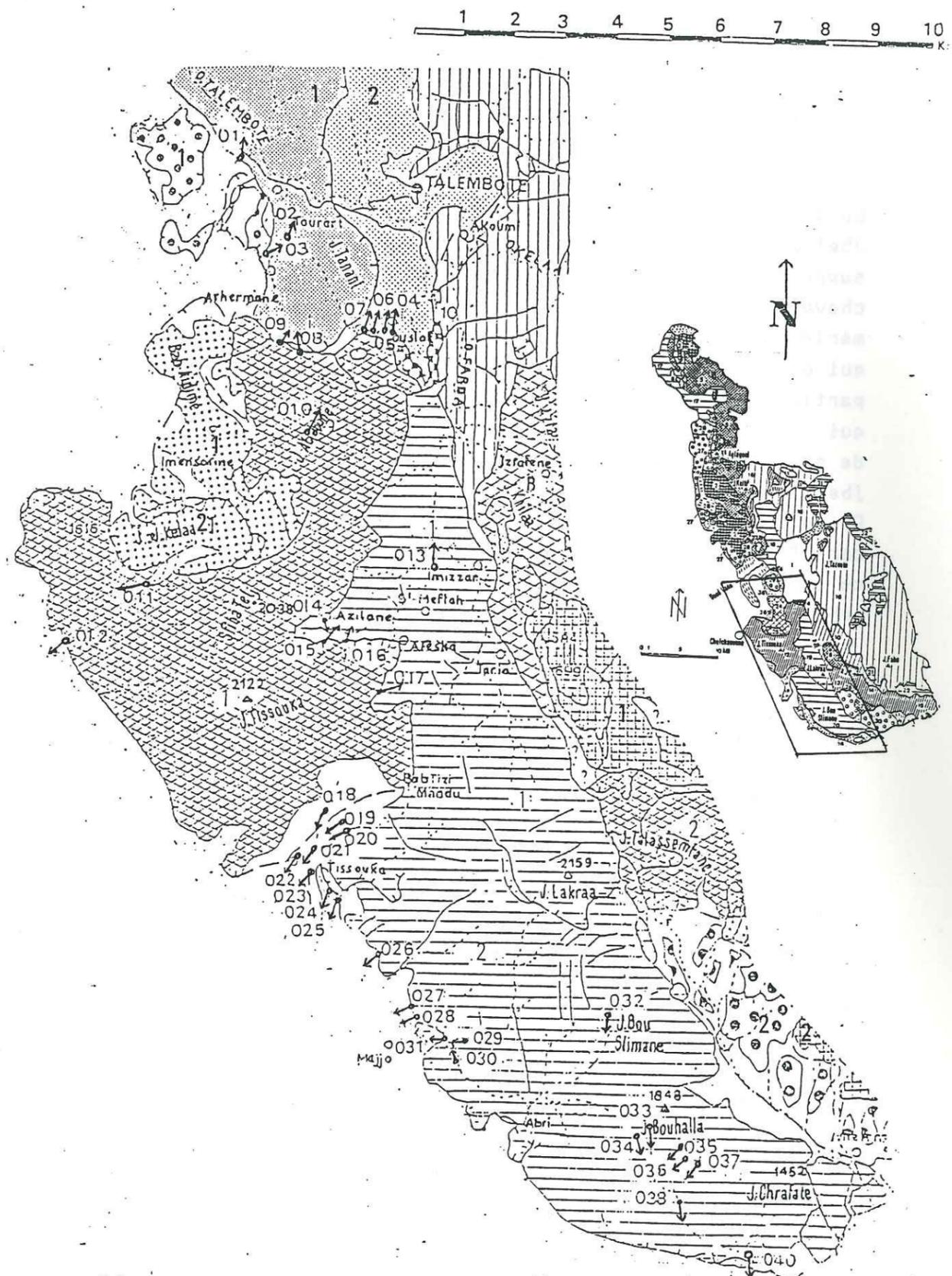


FIG 29: Sources du compartiment Ouest du linéament de jbel Lakraa (Légende voir page 32)

Bnar. Si cette nappe plonge sous le paléozoïque, une partie des eaux s'écoule sous ces zones imperméables et l'on doit s'attendre à l'artésianisme de cet aquifère.

### 3.2 Compartiment ouest du linéament de Jbel Lakraa

En grande partie, ce compartiment est formé par l'unité de Jbel Bouslimane et de l'unité de Jbel Lakraa. Cette dernière supporte dans sa partie nord-ouest l'unité de Jbel Tissouka, chevauchée par l'unité de Bab Aïdeme. Si la partie méridionale est représentée par l'unité de Jbel Bouslimane qui occupe le niveau structural le plus inférieur, dans la partie septentrionale on a la klippe paléozoïque de Talembote qui a le niveau structural le plus élevé, chevauche le Nord de ce compartiment et la partie nord-ouest de la nappe de jbel Tazoute et qui n'est pas affectée par cet accident.

Du point de vue hydrogéologique, si le compartiment est se caractérise par la vidange des nappes au niveau des vallées, ce compartiment est marqué par la présence de sources à grand débit, essentiellement :

- Ras El Ma qui sourd à l'Ouest de l'unité de Jbel Tissouka.
- Chrafate qui sourd au Sud de l'unité de Jbel Bouslimane
- Aïn Danou qui sourd au Nord de l'unité de Jbel Lakraa dans la vallée de l'Oued Farda.

#### 3.2.1. Sources de l'unité de Jbel Tissouka

A plan de chevauchement subhorizontal, cette unité repose sur l'unité de Jbel Lakraa dont elle est séparée par un tertiaire renfermant des termes marneux et supporte l'unité de Bab Aïdeme. L'importance de cette nappe peut être prouvée par l'existence de la source de Ras El Ma qui sourd à l'Ouest de l'unité et qui est considérée comme la plus importante source de la dorsale : en période de hautes-eaux, son débit peut atteindre 4 m<sup>3</sup>/s. De plus, son débit d'étiage est appréciable du fait qu'il permet de répondre largement aux besoins de l'alimentation en eau potable des habitants de la ville de Chefchaouen, ce qui semble démontrer que cette nappe possède un bon pouvoir de rétention.

Les autres sources sont relativement de faible importance. Les sources inventoriées sont (voir fig. 29) :

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
04	Onsar Metahar	519100	514000	630	5
05	Onsar Imizaene	518825	513975	680	10
06	Onsar Marouane	518700	513975	720	2
07	El Fouara	518550	513950	750	2
08	Onsar El Gaouza	517800	513550	640	5
09	Onsar Daroua	516900	513600	610	10
010	El Ma Lakehal	517600	511850	1240	5
011	Aïn Tissmlane	514650	508800	1080	5
012	Ras El Ma	513100	507800	700	-
014	Aïn Azilane	518200	508200	1260	1
015	Onsar Alechane	518450	507775	1270	1
016	Aïn Tayerset	518600	507850	1200	5
017	Onsar Afeska	519225	506850	1260	5
018	El Fouara	518000	504700	1300	1
019	Onsar Mtafat	518000	504200	1240	2
020	Onsar Bou Makhlof	518050	504075	1230	3
021	Onsar Bou Ghaladen	517800	503850	1140	2
022	El Ma Bane	517675	503650	1110	1
023	Onsar El Anassar	517725	503500	1080	2

L'importance du débit d'étiage de la source Ras El Ma (N°012) prouve la grande extension de cette nappe et le second critère est la stabilité de la température de l'eau au niveau des émergences. En effet, malgré le faible débit du plus grand nombre des sources, elles ont une température de 12,5°C, aussi bien en période de hautes-eaux qu'en été. Par conséquent, il y a là, une nappe peu influencée par les infiltrations d'eau froide surtout que les crêtes restent recouvertes de neige de novembre jusqu'à fin avril ou par les variations de la température du climat. Pour les sources situées dans la bordure nord de la nappe, elles ont un débit d'étiage relativement important. Par conséquent, si l'écoulement privilégié est vers l'Ouest, il y a un écoulement partiel vers le Nord.

Dans cette unité, toutes les sources sourdent des dolomies à stromatolithes à l'exception de Ras El Ma qui sourd des calcaires à silex. Pour les sources n°018, 019, 020, 021, 022, et 023, elles sourdent au Sud de l'unité où les dolomies sont recouvertes par le quaternaire qui couvre également le plan de chevauchement de cette unité sur l'unité de Jbel Lakraa.

### 3.2.2 Les unités de la nappe de Jbel Lakraa

Dans l'unité de Jbel Lakraa, les sources sont rares. Mais l'existence de l'Oued Farda au Nord donne à cette unité une importance hydrogéologique. Cet affluent (de l'Oued Talembote) possède, malgré la surface réduite de son bassin un important débit d'étiage. Un certain nombre de points d'eau se trouvent le long de ce cours d'eau et le plus important de ces points est la source Aïn Danou (N°013) de coordonnées : X = 520000

Y = 509600

Z = 900

Cette source prend naissance des formations carbonatées massives de l'Hettangien. Son débit d'étiage a été estimé à 50 l/s en octobre 1986. Elle se présente comme une amorce de galerie (15 m de longueur, 4 m de largeur et 2 à 5 m de hauteur) s'enfonçant vers l'ESE.

L'unité de Jbel Bou Slimane, située au Sud-Ouest de la dorsale, est bordée à l'Est par le linéament de Jbel Lakraa et supporte dans sa partie nord l'unité de Jbel Lakraa.

La structure de l'ensemble est celle d'un pli dont l'axe est orienté Nord-Sud et dont l'anticlinal se trouve à l'Ouest au contact des formations marno-schisteuses. La principale source de cette unité se trouve au Sud (Aïn Chrafate). Les sources inventoriées sont : (voir fig. 29)

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
024	Onsar Amkaïd	518000	503000	980	1
025	Onsar Talamouche	518250	50255	930	1
026	El Fouara	519000	502025	960	5

027	Aïn Tanmant	519650	501050	860	2
028	Onsar Talafaine	519750	500800	870	2
029	Onsar Ahramene	520400	500250	1000	5
030	Onsar Aayaden	520600	500225	1100	10
031	Onsar Aghboula	520575	500025	1120	1
032	Aïn Cheuch	523750	500500	1500	-
033	Aïn Hjar Meftouh	524325	498925	1720	2
034	Kef Lakhrajak	524150	498800	1740	0
035	Aïn Assemblala	524950	498700	1740	1
036	Aïn Ouessteya	525050	498600	1710	1
037	Aïn Talagrame	525800	498400	1540	1
038	Aïn Tissrasse	525100	497450	1320	1
040	Aïn Chrafate	526550	496425	960	-

Les huit premières sources sont concentrées dans la région de Maggou à la limite ouest de l'unité. Quant aux autres, si Aïn Cheuch se trouve isolée dans la partie nord-est de l'unité le reste se trouve au sein de la partie haute du bassin versant de l'Oued Chrafate.

Ces sources prennent naissance, soit des alternances calcaréo-dolomitiques du Rhétien pour les sources n° 024, 025, 032, 033, 035, 036, 037 et 038, soit des dolomies à stromatolithes pour le reste. Exceptionnellement la source de Chrafate sourd des calcaires à silex et Kef Lakhrajak se trouve au sein des formations carbonatées massives. Cette dernière est temporaire mais débite fortement lors des périodes pluvieuses.

Cette unité est le siège d'un écoulement purement karstique. Ceci peut être prouvé morphologiquement par l'existence d'un nombre important de Lapias, cavernes et gouffres (voir fig.30). Le plus important de ces gouffres est celui de Kef Toghobeit, considéré parmi les plus profonds gouffres de l'Afrique (-700m) où une galerie est parcourue par un ruisseau souterrain d'un débit de 5 l/s. Une coupe tracée par les spéléologues (fig.31) montre la présence de plusieurs salles (poches). La plus importante est celle de Bivouac (80 m de longueur, 25 m de largeur et 20 m de hauteur à son point le plus bas. Par conséquent, un karst bien développé avec chenaux et poches.

Cette unité, avec l'aspect morphologique des calcaires, la karstification développée en profondeur, les fortes

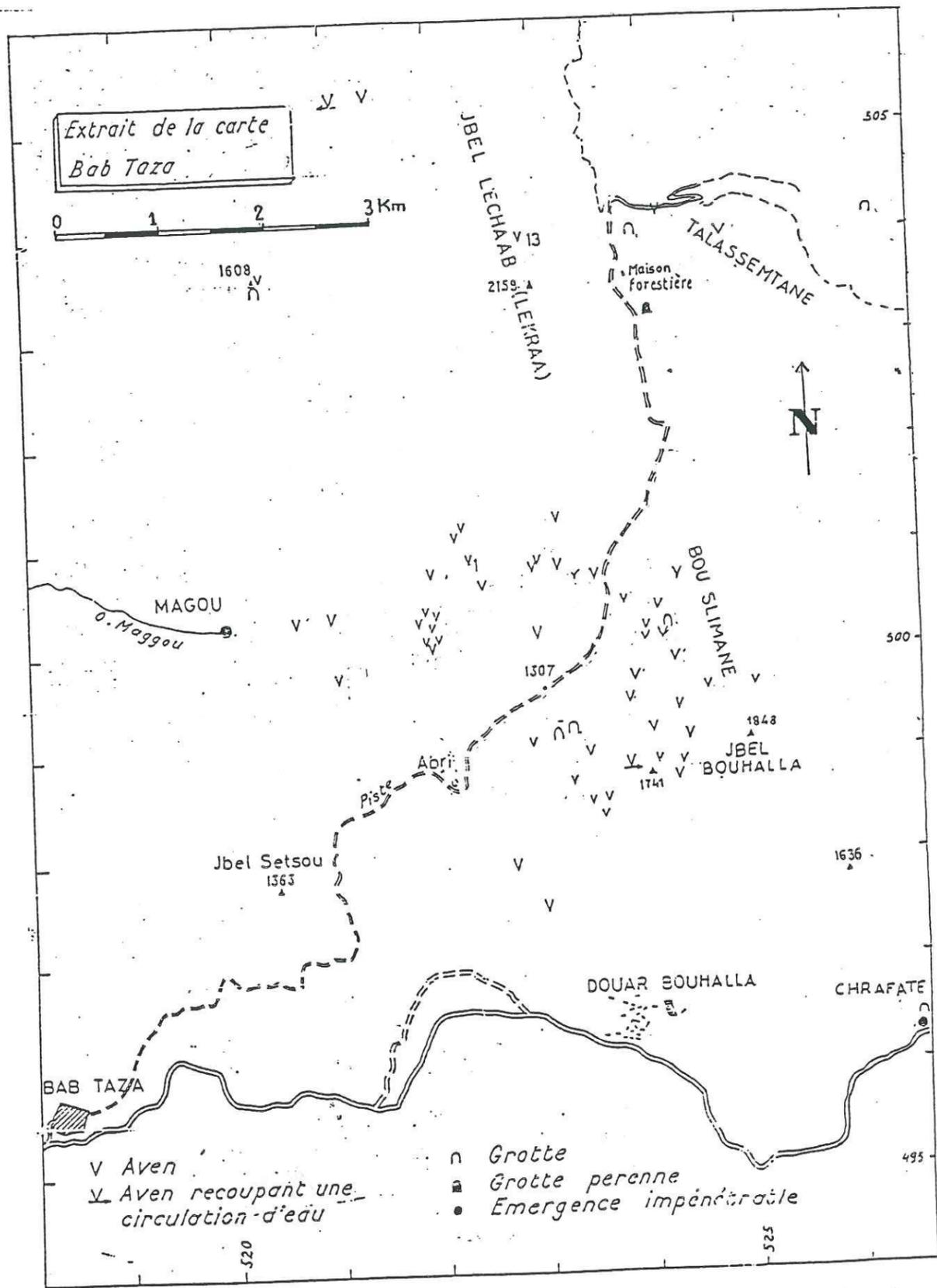


FIG 30: Grottes et avens de la zone Sud-Ouest de la dorsale

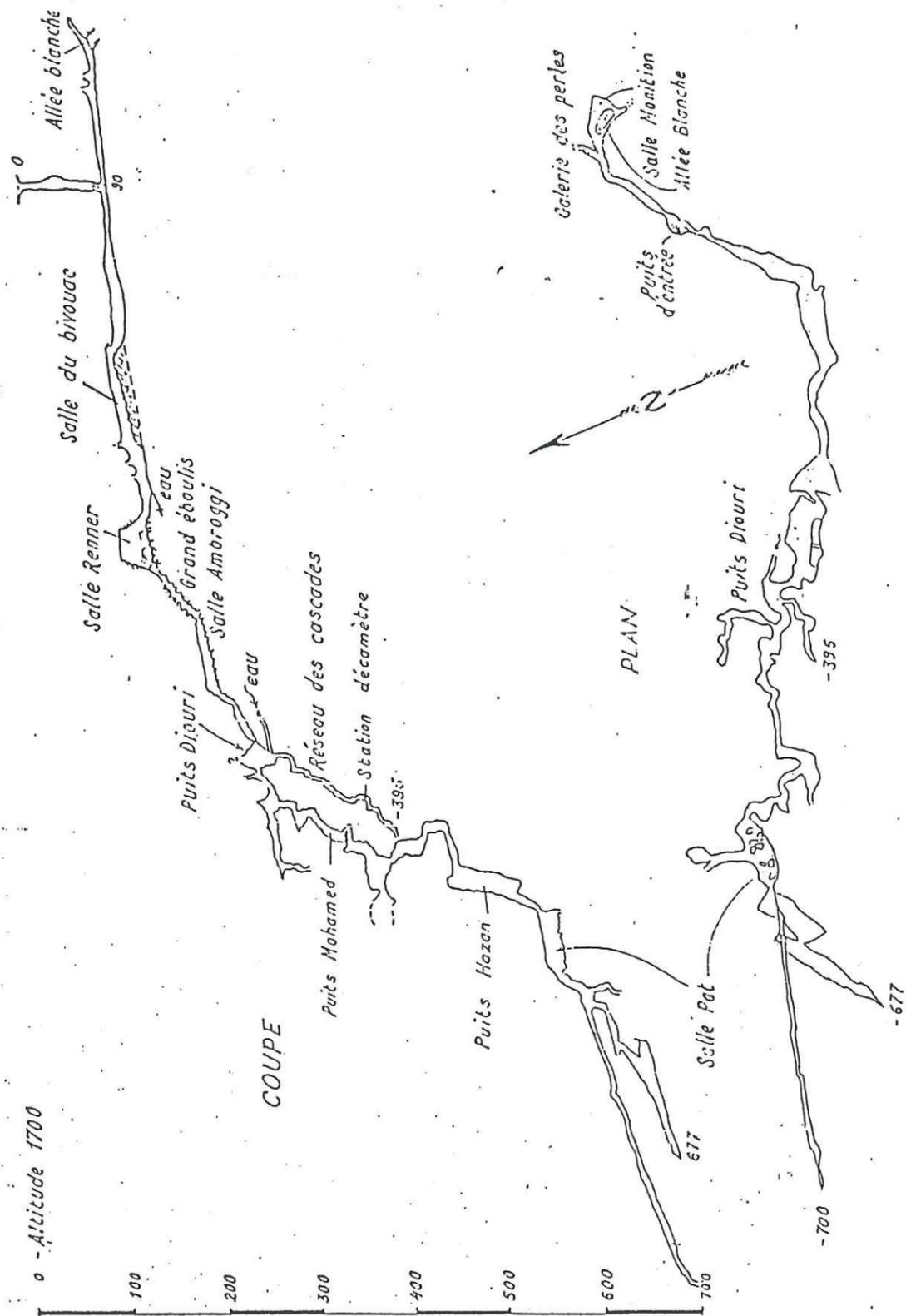


FIG 31: Structure de Kef Toghobeit

précipitations et le long séjour de la neige, doit avoir un fort coefficient d'infiltration et des entrées considérables beaucoup plus importantes que le débit total des sources décrites ci-dessus. Par conséquent elle doit participer à l'alimentation d'autres aquifères.

#### 4. Régions nord de l'Oued Lao

Si le compartiment sud du linéament de l'Oued Lao englobe la majeure partie de la dorsale, le compartiment nord en renferme une surface relativement réduite, avec un grand nombre d'unités dont la plus grande partie est représentée par des unités relativement de faible extension horizontale et de faible puissance.

Du point de vue hydrogéologique, contrairement aux régions sud du linéament où on a d'importants oueds et sources alimentés par les calcaires, ce compartiment est caractérisé par la présence d'innombrables petites sources pérennes dont la plus grande proportion sourd au contact des formations imperméables de la limite ouest de la dorsale. Ces sources sont caractérisées par un étiage très prononcé généralement de l'ordre de 1 à 5 l/s. Les plus importantes ont un débit d'étiage de 20 l/s. D'autres sources sourdent de la limite nord, mais elles sont rares. Le reste sourd soit au sein des calcaires, soit dans la limite est. Les sources qui émergent au contact de la zone paléozoïque sont caractérisées par un étiage relativement plus marqué. Ces sources sont :

- Ain Yarguit
- Ain Zerka
- El Hama
- Onsar Khzanat El Melhia

#### 4.1. Zone sud de Dar Chouaker

Au sud de Dar Chouaker où on a la limite des affleurements des unités de Majjou, d'Arifane et de Bettara, les sources de la bordure ouest de la dorsale sourdent essentiellement des unités de Bettara et d'Arifane. Ces sources prennent naissance soit de la série oligocène de Bettara, formée de grès, de conglomérats (moins abondants) et rarement de marnes ou d'une série analogue et de même âge que la précédente de

l'unité d'Arifane. Ces formations reposent sur des marnes de base d'âge Eocène-Oligocène. Dans cette bordure, les séries antérieures à ces formations n'affleurent pas. Parfois, l'Oligocène grés-conglomératique de l'unité d'Arifane est décollé des marnes basales et chevauche directement l'Oligocène de l'unité de Bettara.

Pour les sources qui sourdent à l'intérieur des surfaces calcaires ou dans la bordure est de la dorsale, les plus importantes se trouvent au sein des unités de la Hafa del Ferkenix, de Majjou ou d'Ifahsa.

#### 4.1.1 Sources de la bordure ouest de la dorsale (fig.32)

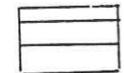
##### 4.1.1.1. Unité de Bettara

Du Nord vers le Sud les sources inventoriées sont :

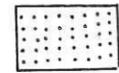
N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
23	Ain Hammaden	504475	535400	500	1
24	Ain El Ma Lkbil	504825	535300	500	2
26	El Onsar	594950	535100	500	1
28	Aghbalou	505925	532000	480	2
30	Ain Imitna	505000	531750	500	1
34	Iayzen	504700	527950	630	1
35	Agourer	505475	527750	680	10
37	Tamjijft	504000	527150	490	2
36	Ain Ksoubaten	503950	527025	500	1
41	Iouitaden	505575	525900	790	1
42	Ain del Haj	505375	525650	780	1
43	Tizikht	505275	525600	760	2
45	Ain Issoumaten	505550	524300	750	1
46	Taliouine	506250	523400	870	5
47	Afdik	506225	523100	870	5
49	Onsar Zaouia	505800	520875	720	2

LEGENDE DES FIGURES 32 ET 33

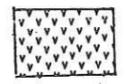
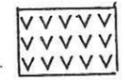
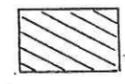
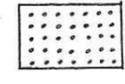
-Unités de la Dorsale externe

-  Unité d'Ifahsa
-  Unité de Majjou
-  Unité de la Hafa En Nator
-  Unité de Saaden
-  Unité de Dar El Ghazi
-  Unité de Guenfich

-Unités de la Dorsale interne

-  Unité de la Hafa Del Ferkenix.
-  Unité del Babat

-Les autres unités

-  Unité de Bettara
-  Unité d Arifane
-  Unité d Afertane
-  Unité d Abjiouene
-  Nappe Paléozoïque

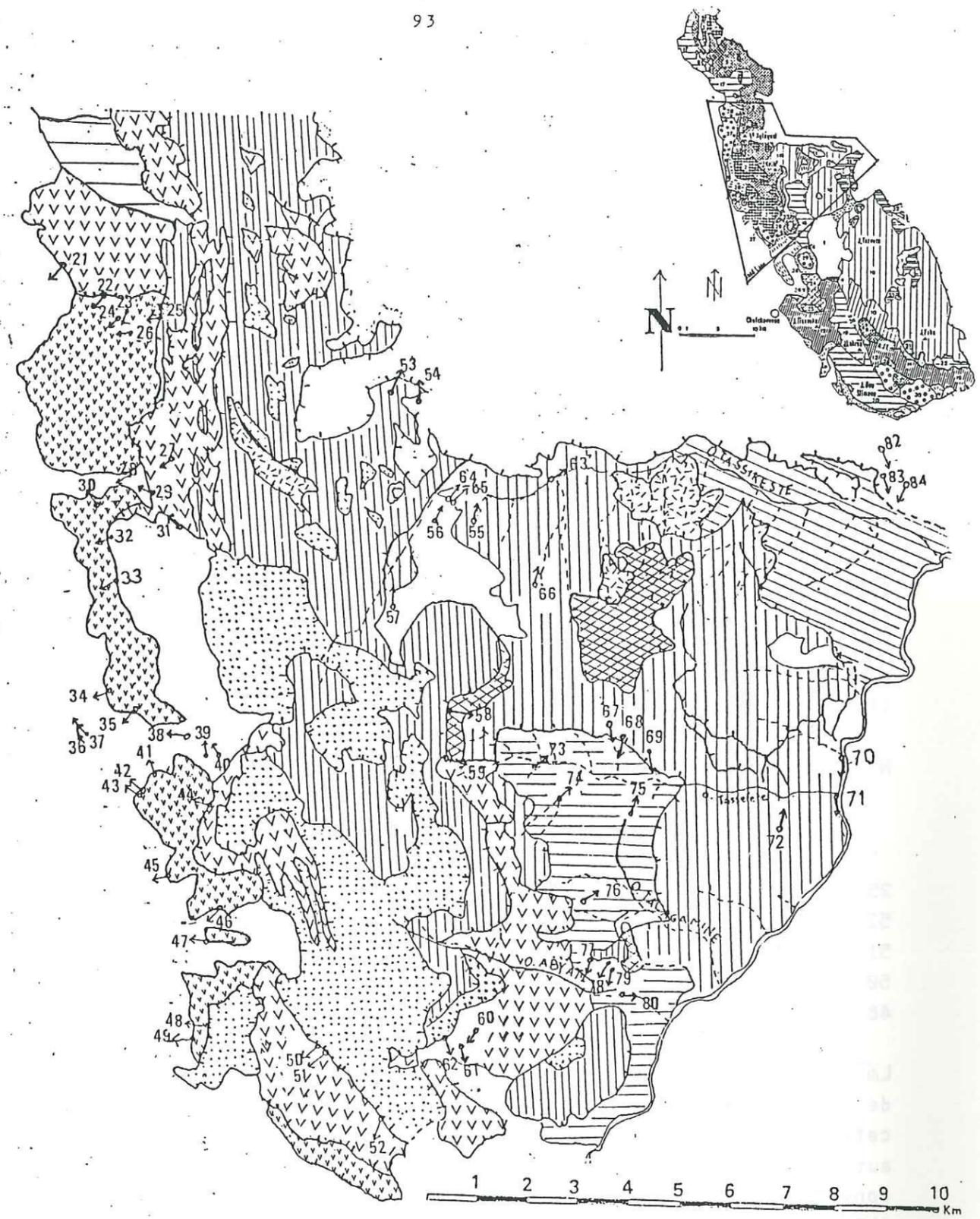


FIG. 32: Sources de la zone Sud de Dar Chouaker  
(Légende voir page 92)

## 4.1.1.2 Unité d'Arifane

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
27	El Aïn	505700	532550	750	2
29	Onsar Mimossa	505000	531750	500	10
31	Onsar Arozan	506150	530875	820	20
32	Aghbalou	504550	530200	650	20
33	El Fouara	504650	529975	660	10
35	Onsar Iichen	505900	527000	700	5
39	Onsar Ihimjen	506700	526600	980	5
40	Onsar Ihlilien	506875	526375	1080	5
44	Onsar Afraden	506450	525700	920	10
60	Onsar Imirene	511500	521600	1120	5
61	Onsar Asnal	511125	521325	1010	2

Le reste des sources inventoriées de cette bordure sourd au niveau des plans de chevauchement. ces sources sont : (fig.32)

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
25	Aghbalou	505650	535275	840	30
52	Aïn d'Arifane	509600	519825	1000	1
51	El Onsar	508450	520800	980	1
50	Onsar Ighboula	508500	521050	1080	10
48	Aghbalou	506425	521450	800	10

La source n°25 sourd à la base d'une klippe isolée de l'unité de la Hafa del Ferkenix entre les calcaires massifs blancs de cette unité et l'Oligocène de l'unité de Bettara. Quant aux autres, si la source n°48 sourd entre la série grésoconglomératique de l'unité de Bettara et la base de l'unité d'El Babat, le reste se trouve entre l'Oligocène de l'unité d'Arifane et la base de l'unité susjacent.

## 4.1.2 Le reste des sources inventoriées

Pour les sources qui sourdent à l'intérieur des surfaces calcaires ou dans la bordure est de la Dorsale, on a (fig.32):

## 4.1.2.1 Les sources de la bordure est de la Hafa del Ferkenix

Du Nord vers le Sud on a :

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
53	El Hamma	511050	533650	380	50
54	Aïn El Braber	511200	533200	660	5
57	Ijaad	510250	229775	1020	5
58	Aïn Amazzar	511000	527375	1400	10
59	Onsar Dradar	511025	526500	1400	5

## 4.1.2.2. Les sources de l'unité de Majjou

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
63	Onsar Khzanat Melhia	513225	532000	300	20
64	Aïn Ikhalladen	511100	531250	770	
65	Aïn Tazka	511300	531450	670	
55	Onsar Faskou	511600	531150	680	2
56	Onsar Drader	510800	530900	850	5
66	Onsar Kanou	512850	529575	930	5
67	Onsar Maafen	514200	527450	940	0
68	Onsar Adker	514450	527000	770	1
69	Onsar Allilou	515000	526775	700	0
70	Onsar Aghboula	518850	526400	40	20
71	Iaskrene	518625	525950	40	1
72	Aïn d'Izzouriah	517500	525175	510	1

4.1.2.3 Les sources de l'unité d'Ifahsa

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
73	Aïn Jamae	512950	526500	640	
74	Onsar Hallaba	513250	525850	730	20
75	Onsar Taliouine	514675	525300	800	2
76	Onsar Shihmed	513700	524000	1070	5
77	Onsar Talirene	514100	522850	880	2
78	Onsar Izmrane	514250	522850	800	5
79	Onsar Smida	514500	522500	710	10
80	Onsar Ifahsa	514450	522050	30	20

4.1.2.4 Sources de l'unité d'Imourassine

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
81	Aïn Keltoum	517200	531625	180	4
82	El Hamma	519625	532550	260	1
83	Aïn Bonsetlat	519825	532225	220	1
84	Aïn Chrouda	520000	532050	110	2

4.1.2.5 Unité d'Abjiouene

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
62	Onsar Ihlilen	511050	521275	1020	5

Les sources de l'unité de la Hafa del Ferkenix se trouvent à la base des dolomies grises et dolomies massives du Trias supérieur. La plus importante est celle d'El Hamma qui maintient la pérennité de l'Oued El Khemis.

Au sein des formations de l'unité de Majjou, les sources sont

rare et ont un faible débit d'étiage. Si les sources de la zone nord sont pérennes, la plupart des émergences situées dans le sud de l'unité sont temporaires. Ces sources prennent naissance des dolomies à stromatolithes pour les émergences N° 68, 69, 70, 71 et 72, des calcaires à silex pour les sources 64 et 65 et des formations carbonatées massives pour les sources n°63, 66, 67 et 55.

Pour l'unité d'Ifahsa, malgré la surface réduite de cette fenêtre, on a un nombre relativement plus important de sources pérennes dont la plupart sourd du flanc ouest de l'anticlinal (sources n°73, 74, 75, 76, 77, 78, 80). Si les sources n°73, 74, 75 et 79, sourdent des alternances calcaréo-dolomitiques, les autres émergent des formations carbonatées massives. Pour les autres unités, la source n°62 prend naissance des alternances calcaréo-dolomitiques de l'unité d'Abjiouene et les sources de l'unité d'Imourassine des dolomies à stromatolithes.

4.2. Régions nord de Dar Chouaker

Dans cette zone, parmi les unités situées entre Dar Chouaker et le linéament de l'Oued Lao, seules les unités de la Hafa del Ferkenix et d'El Babat affleurent et occupent toujours le niveau structural le plus élevé. Pour les autres, leur extension vers le Nord s'arrête au niveau de la demi-fenêtre de la Hafa en Nator où cette unité occupe presque toute la largeur de la dorsale et, s'il y a disparition de certaines unités, d'autres, de faible importance apparaissent, qui sont:

- unité de Saaden
- unité de Dar El Ghazi
- unité de Jbel Gorgues

Cette dernière est classée parmi les unités de la nappe d'El Babat. Les autres, regroupées avec les unités de la dorsale externe, se présentent sous forme d'écaillés entre l'unité de la Hafa en Nator et celle de la Hafa del Ferkenix.

Hydrogéologiquement, cette zone est caractérisée par la présence de plusieurs sources de faible importance.

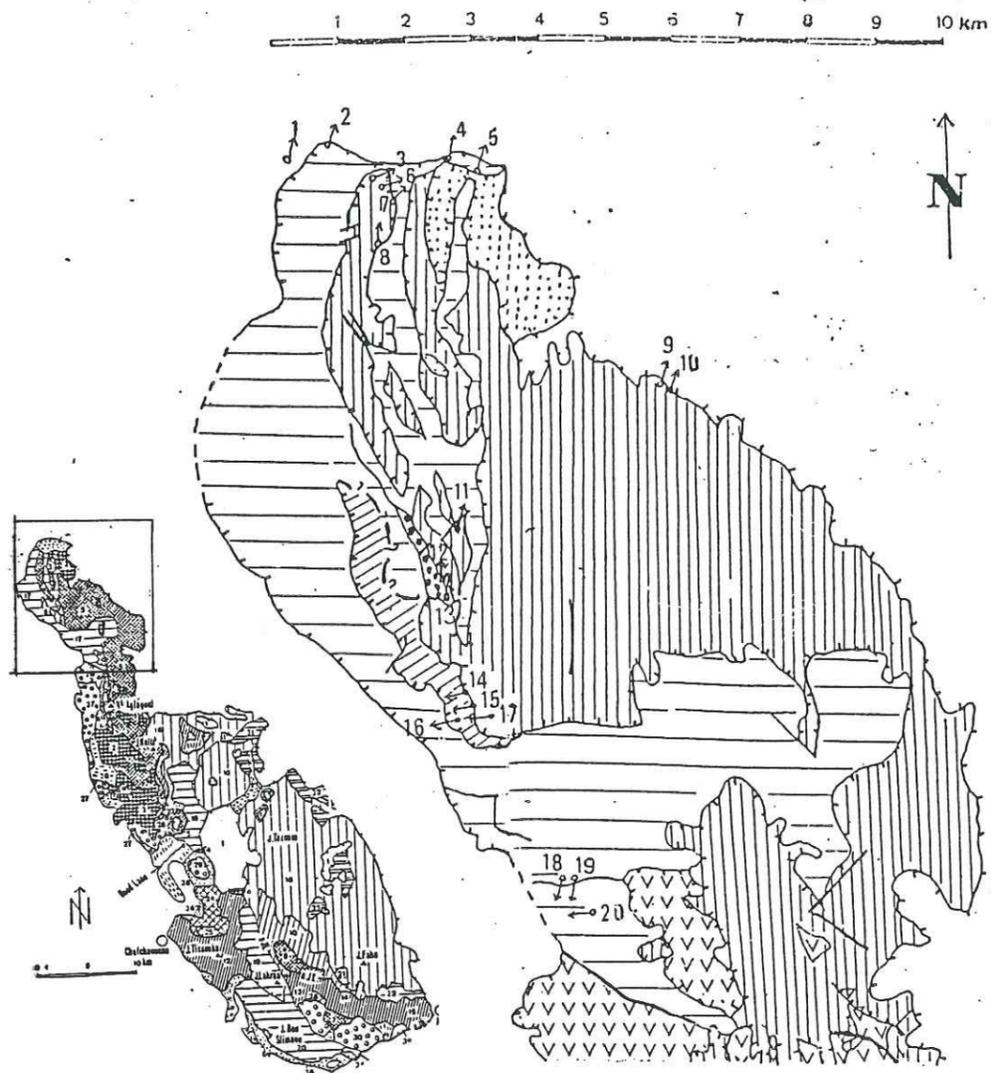


FIG 33 : Sources de la région Nord de Dar Chouaker  
(Légende voir page 92)

#### 4.2.1 Sources de la Hafa del Ferkenix

Du Nord vers la Sud, les sources inventoriées sont : (fig. 33)

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
4	Ain Bou Anane	502000	549925	140	1
3	Onsar Bou Semlal	501000	549550	200	2
6	Ain Bou Semlal	501075	549450	210	10
7	El Hamma	501275	549250	150	2
8	El Anissar	501100	548500	300	2
9	Ain Yarguit	505200	546600	180	-
10	Ain Zerka	505250	546200	180	-
11	Ain El Ghazi	502350	544350	820	3
14	Ain Tarkhalt	502275	541950	880	2
15	Ain El Marj	502425	541800	900	3
17	Ain Bouziane	502725	541700	1090	1

A l'exception des sources N°14, 15 et 17 qui sourdent des dolomies grises, toutes les autres prennent naissance des calcaires massifs blancs.

#### 4.2.2 Sources de la Hafa en Nator (Fig.33)

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
2	El Hamma	500350	449900	150	1
5	Torreta	502500	549550	200	-
1	Ain Jamae	499775	549500	150	2
18	Ain zaouia	503700	539400	540	1
19	El Hamma	503875	539375	560	1
20	Aghbalou Dar Ben Yamoun	503900	539000	600	20

Les sources N°2 et 20 sourdent des alternances calcaréo-dolomitiques, les sources N°18 et 19 des dolomies à stromatolithes et la source N°1 des formations carbonatées massives.

## 4.2.3 Sources de l'écaille de Saaden

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
12	El Hama Tehtia	502050	543550	860	5
13	El Hama Foukia	502100	543500	870	5
16	Aïn El Ghrissat	502400	541625	860	1

## 4.2.4 Sources de l'unité d'Arifane

N°	Nom de la source	Coordonnées			Q(Oct 86) (l/s)
		X	Y	Z	
21	Aïn Akjejouene	503625	536300	440	2
22	Aïn Bou Hamza	504475	535700	460	1

## 5. Bassin versant de l'Oued Lao

D'une grande hétérogénéité lithologique, ce bassin est drainé par un cours d'eau dont la longueur est de 70 km. La partie amont de cet oued draine essentiellement les flyshs crétacés. Ensuite, après avoir traversé transversalement la dorsale calcaire, il entre dans les zones paléozoïques cotières.

Les principaux affluents pérennes sont tous alimentés par les formations carbonatées. Le plus important est l'Oued Talembote qui reçoit les eaux de l'Oued Farda et Kaala. Les autres sont : (voir fig.19)

- Oued Tassikeste
- Oued Sarem

L'importance de l'Oued Lao peut être prouvée par son débit d'étiage (voir tableaux 13 et 14) et cela est dû essentiellement au fait qu'il draine plus de la moitié des surfaces calcaires. La partie carbonatée de ce bassin se compose de plusieurs unités charriées qui forment des nappes à écoulement karstique. Ces unités sont marquées par une discontinuité au niveau de cet oued, et par conséquent ce cours d'eau suit un grand linéament : linéament de l'Oued Lao.

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

Ce bassin est très arrosé grâce aux reliefs calcaires à précipitation hivernale élevée, souvent sous forme de neige. En effet, presque la moitié de la surface du bassin se trouve à des altitudes supérieures à 1000 m (voir hypsométrie, tableau N°16 et fig.35) où affleurent les formations de la dorsale. De plus, la grande extension de ce bassin entraîne une certaine hétérogénéité climatique. Pour les précipitations, de grandes variations peuvent être observées en fonction de l'altitude (voir tableau N°15).

D'après J.P. Tauvin, les caractéristiques de cet oued à l'embouchure sont :

- superficie du bassin : 915 km<sup>2</sup>
- précipitations moyennes 980 mm/an
- longueur du cours d'eau 70 km
- module annuel 13 m<sup>3</sup>/s
- module spécifique 14.2 l/s/km<sup>2</sup>
- coefficient d'écoulement 0.45
- débit d'étiage 2 m<sup>3</sup>

Cet oued est jaugé en deux stations, l'une à l'entrée de la dorsale (station Ali Tlet) et l'autre à la sortie (station de Koudiet Kourirene). De plus, on possède quelques données sur les débits des oueds Talembote, Farda et Kaala; parmi ces stations, la principale est celle de Koudiet Kourirene.

Les débits mesurés, aux stations Talembote et Koudiet Kourirene, sont des débits influencés du fait qu'il y a un barrage sur l'Oued Farda, un autre sur l'Oued Talembote et le dernier à Ali Tlet, sur l'Oued Lao. Il faut donc être prudent sur les interprétations des résultats faisant intervenir les données de ces deux stations. Les débits moyens mensuels pour la période 1948-63 sont donnés sur le tableau N°14.

Du point de vue hydrogéologique, la pérennité de l'Oued Lao est due au dégorgeement des formations carbonatées. En effet, en période d'étiage, et d'après les mesures hydrogéologiques de la période 1942-62 (voir tableau N°13), si le débit d'étiage à Ali Tlet est de 0,1 m<sup>3</sup>/s, celui-ci atteint 2.6 m<sup>3</sup>/s à Koudiet Kourirene, et par conséquent il y a un apport de 2.5 m<sup>3</sup>/s dont 0.8 est reçu de la vallée de l'Oued de Talembote. Le reste est dû à la nappe de Jbel Tazoute d'où un apport de 1.7 m<sup>3</sup>/s.

Le débit d'étiage de l'Oued Farda est de 0.3 m<sup>3</sup>/s, celui de l'oued Kaala est de 0.2 et si l'étiage de l'oued Talembote

atteint 0.8 m<sup>3</sup>/s, c'est qu'il y a un apport de 0.3 m<sup>3</sup>/s en basses-eaux entre la station de jaugeage du dernier oued et le point de rencontre de ses deux affluents.

L'apport au niveau de la vallée de l'oued Lao, peut provenir soit du compartiment nord, soit de l'unité de Jbel Tazoute. Pour l'unité de Majjou, la rareté de sources et d'oueds pérennes prouve que cette nappe ne s'écoule pas vers le Sud, surtout qu'il existe une source importante dans la vallée de l'Oued El Khemis qui est pérenne et, en général, les sources du compartiment nord qui se trouvent en contact avec la zone paléozoïque sont importantes. Pour l'unité Jbel Tazoute, la présence d'importants oueds, dans sa partie nord essentiellement Oued Kaala, Oued Ahrousse et Oued Sarem (voir fig.19), prouve que cette nappe joue un grand rôle dans le maintien de la pérennité de l'Oued Lao, et l'écoulement vers le Nord de cette nappe est responsable de cet apport.

Le second apport peut provenir soit de l'unité de Jbel Tazoute, soit de l'unité de Jbel Tissouka ou de l'unité de Jbel Lakraa, par abouchement sous les termes paléozoïques. Mais, le tarissement de cet apport est différent de celui de l'Oued Kaala qui est alimenté par l'unité de Jbel Tazoute, proche de celui de l'Oued Farda qui est alimenté essentiellement par l'unité de Jbel Lakraa analogue au tarissement de la source de Ras El Ma qui sourd de l'unité de Jbel Tissouka (voir fig.66).

Tableau N°13 : résultats de mesures hydrologiques de la période (42-62).

Station	KAALA	FARDA	TALEMBOTE	ALI TLET	KOUDIAT KOURIRENE
S (km <sup>2</sup> )	51	43	130	446	760
module moyen annuel (m <sup>3</sup> )/s)	0.9	1.7	4.1	11.5	17.4
module spécifique (l/s/km <sup>2</sup> )	18	40	32	25	23
Pluviométrie mm)	1240	1340	1190	1280	1220
Coefficient d' écoulement (%)	45	92	98	65	59

Débit max. instantané (m <sup>3</sup> /s)	250	375	750	975	1175
Débit moyen d'été m <sup>3</sup> /s)	0.2	0.3	0.8	0.1	2.6

Tableau N°14 : débits moyens mensuels pour la période (48-63)

	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Q <sub>a</sub>
1													
a	0.1	0.6	12.1	22.1	26.1	30	26.3	11.7	5.9	2	0.4	0.1	11.5
b	0.6	3.7	71.9	13.6	160.6	166.4	161.8	69.5	36.3	11.9	2.5	0.6	68.5
2													
a	2.8	3.1	14.2	41.6	44.3	45.7	42.5	17.6	8.8	5.7	4.8	3.8	19.6
b	7.7	8.8	39.2	118.5	126.3	117.7	121.2	48.6	25.1	15.7	13.7	10.8	54.5
3													
a	0.8	1.3	3.7	8.1	8.3	9.6	10.1	5.5	2.8	1.6	1	0.8	4.5
b	16.9	28.3	78	176.4	180.7	188.8	219.9	115.9	61	33.7	21.8	17.4	94.9
4													
a	0.3	0.5	1.2	1.9	3	3.9	3.9	2.2	1.2	0.6	0.4	0.4	1.6
b	18.1	31.1	72.3	118.3	205.6	213.8	230.5	132.6	74.7	36.2	24.9	24.9	98.6
5													
a	0.2	0.3	0.7	1.3	1.3	1.4	1.5	0.9	0.6	0.3	0.2	0.2	0.7
b	10.2	15.8	35.6	63.3	68.3	66.4	78.8	45.7	31.5	15.2	10.5	10.5	38.1

1 : Oued Lao à Ali Tlet	Surface du B.V.	436 km <sup>2</sup>
	Alt de la station	265 m
2 : Oued Lao à Koudiet Kourirene	S du B.V.	939 km <sup>2</sup>
	Alt; de la station	50 m
3 : Oued Talembote à Talembote	S. du B.V.	123 km <sup>2</sup>
	Alt. de la station	200 m
4 : Oued Farda à Farda	S. du B.V.	43 km <sup>2</sup>
	Alt. de la station	500 m
5 : Oued Kaala à Kaala	S. du B.V.	51 km <sup>2</sup>
	Alt. de la station	550 m
a : Q moyen mensuel		
b : lame d'eau équivalente		

FIG 34: BASSIN VERSANT DE L'OUED LAO

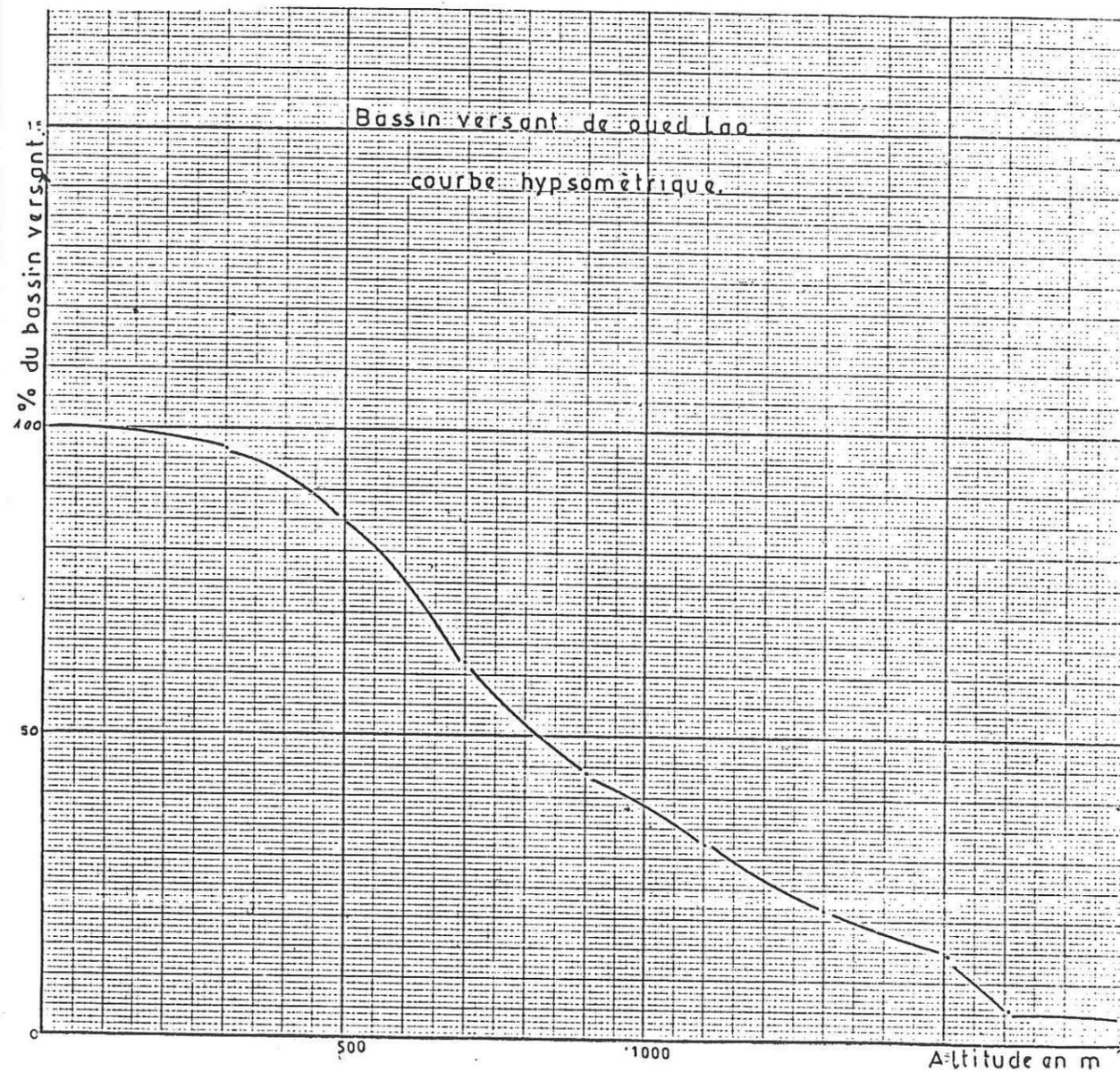
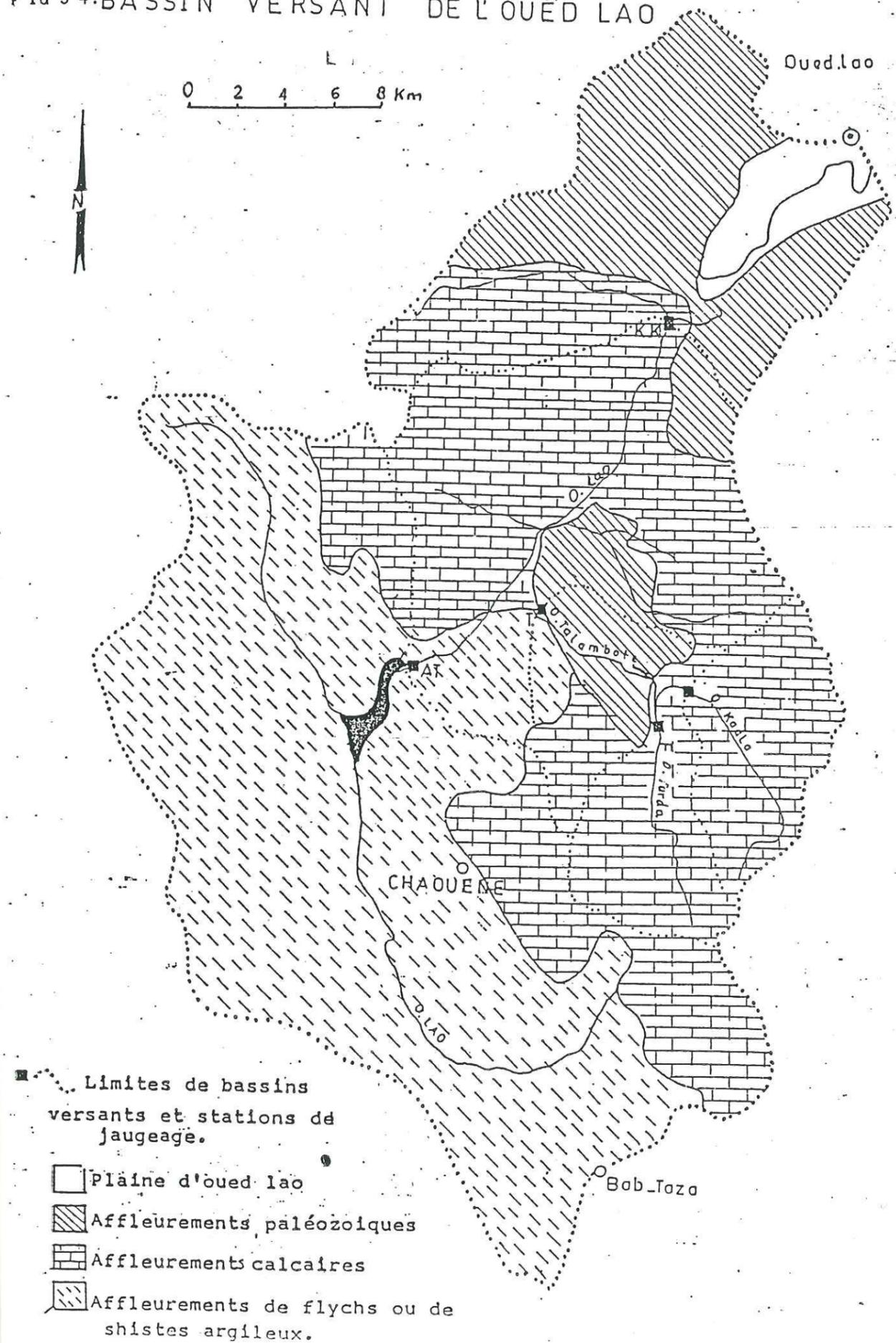


FIG 35: Hypsométrie de l'oued Lao à Koudiet Kourirene

Tableau N°15 : précipitations (1933-63).

Nom de la station	Altitude	Pluviométrie moyenne												
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D Année	
Oued Lao	3	66	69	60	34	20	7	0	1	12	36	54	81	440
Chaouen	200	160	142	144	82	48	14	1	1	15	77	156	232	1072
Talambote	500	122	108	110	63	36	11	1	1	12	66	119	176	825
Bab Taza	800	205	182	184	103	61	18	1	1	20	98	213	298	1386

Tableau N°16 : Hypsométrie de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene

Altitude (m)	Si (Km <sup>2</sup> )	% de Si	Surface/tranche d'altitude (Km <sup>2</sup> )
20	741.75	100	12.28
200	729.47	98.34	96.86
400	632.61	85.28	147.74
600	484.87	65.37	148.82
800	336.05	45.3	103.73
1000	332.32	31.32	71.81
1200	160.51	21.64	72.98
1400	87.53	11.80	50.78
1600	36.75	4.95	36.75
1800	0	0	

## 6. Bassin versant de l'Oued Farda

Il s'agit d'un bassin de superficie réduite à 41 km<sup>2</sup> et dont l'eau drainée se déverse dans l'Oued Talambote (affluent de l'Oued Lao). Ce bassin, exclusivement formé de roches carbonatées, est très hétérogène (voir fig. 36). En effet, sa

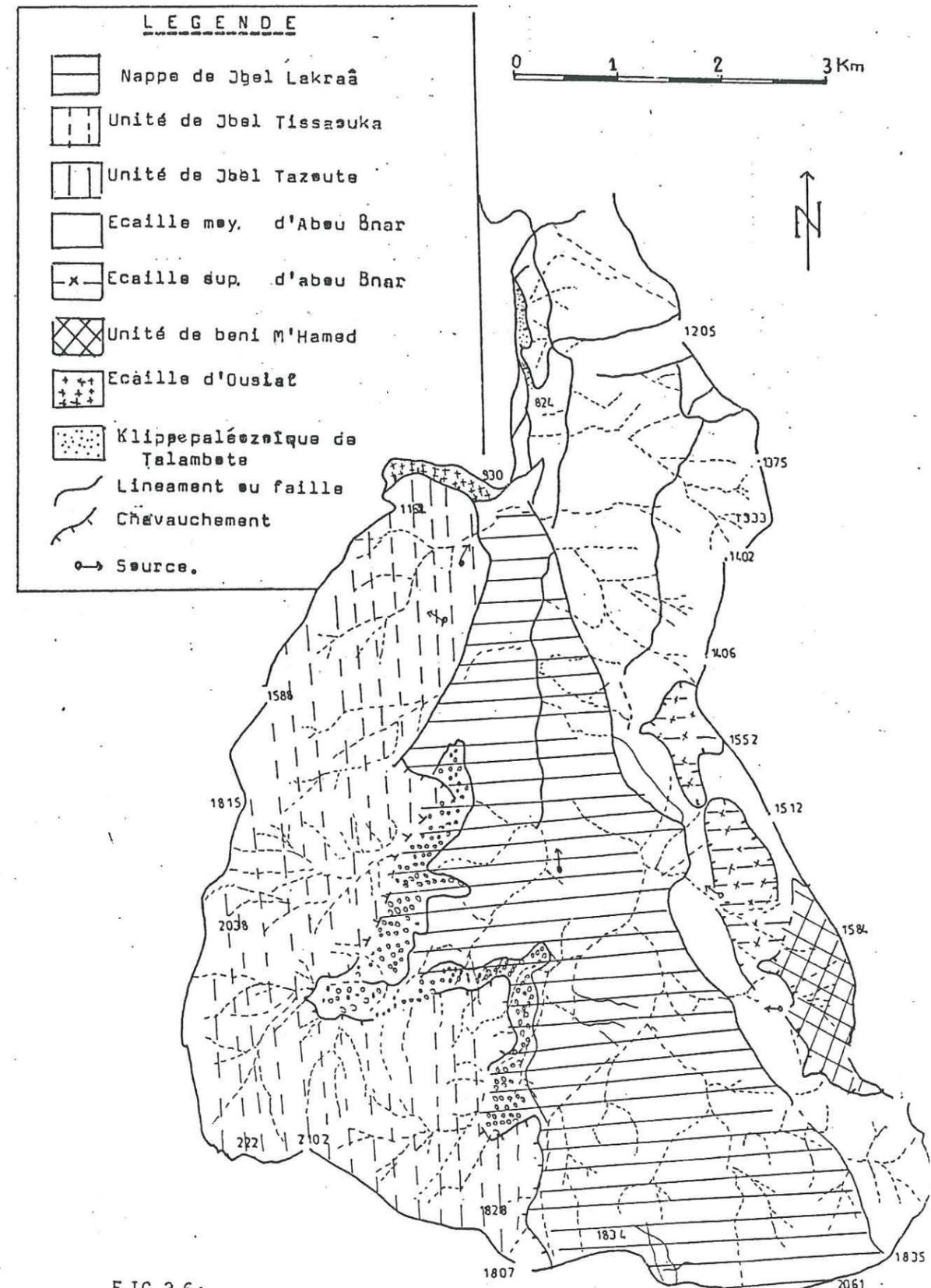


FIG 36: BASSIN VERSANT DE L'OUED FARDA

partie ouest est constituée par des dolomies à stromatolithes du Norien-Carnien de l'unité de Jbel Tissouka qui chevauche l'unité de Jbel Lakraa où affleure toute la série stratigraphique du Norien-Carnien jusqu'au Tertiaire. Ces deux unités occupent la plus grande partie de la surface du bassin et essentiellement l'unité de Jbel Lakraa qui est limitée dans sa partie est par le linéament de Jbel Lakraa. Le reste du bassin (éventuellement dans le compartiment est du linéament) est représenté par une partie de la nappe de Jbel Tazoute qui supporte quelques affleurements des écailles moyenne et supérieure d'Abou Bnar et enfin une partie de l'unité de Beni M'hamed au dessus des écailles.

Ce bassin est très arrosé avec une précipitation moyenne de 1743 mm (calculée par la méthode du gradient) (voir tableau N°19), et ceci grâce aux crêtes sud qui dépassent 2000 m d'altitude. L'altitude moyenne est de 1370 m (voir courbe hypsométrique, fig.37).

Pour la période 56-63, le débit moyen interannuel est de 2,591 m<sup>3</sup>/s (voir tableau N°18) et l'évapotranspiration est de 879 mm. Pour cette même période les apports souterrains sont évalués à 0,913 m<sup>3</sup>/s (tableau N°20), ce qui représente 35,24 % du débit moyen interannuel.

Pour ce bassin le volume d'eau drainé est plus important que la quantité de précipitations reçues; en effet, le rapport volume drainé sur le volume reçu, à partir des précipitations, est de 1,1433. Par conséquent, le bassin hydrogéologique est plus étendu que le bassin hydrologique. Son extension est due en premier lieu à l'accident de Jbel Lakraa qui joue un rôle important dans la collecte des eaux à partir des nappes mises en contact avec ce linéament.

Pour cet oued, on ne peut établir un bilan puisqu'on ne peut pas estimer les apports souterrains (voir partie hydrodynamisme des aquifères).

FIG 37:

## HYSOMETRIE DE L'OUED FARDA A FARDA

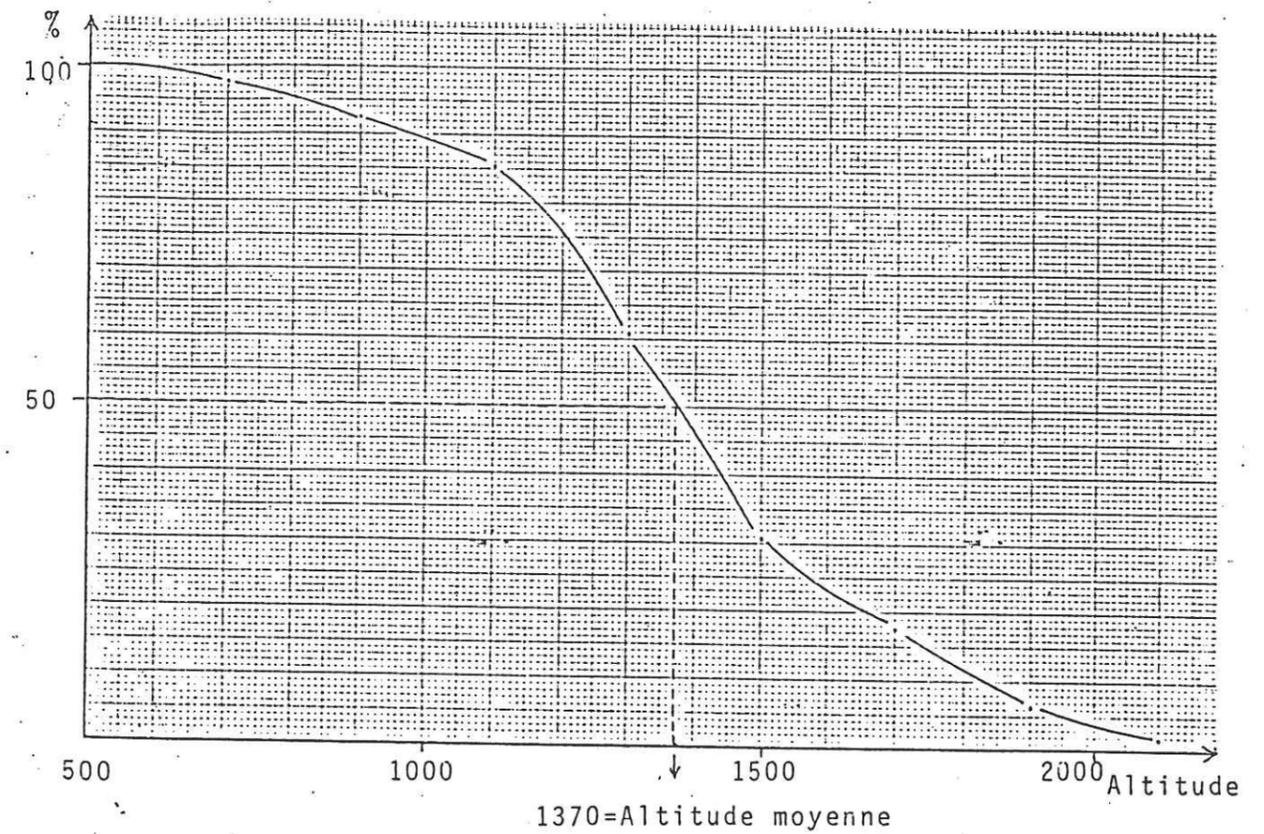


FIG 38:

## HYSOMETRIE DE L'OUED KAALA A KAALA

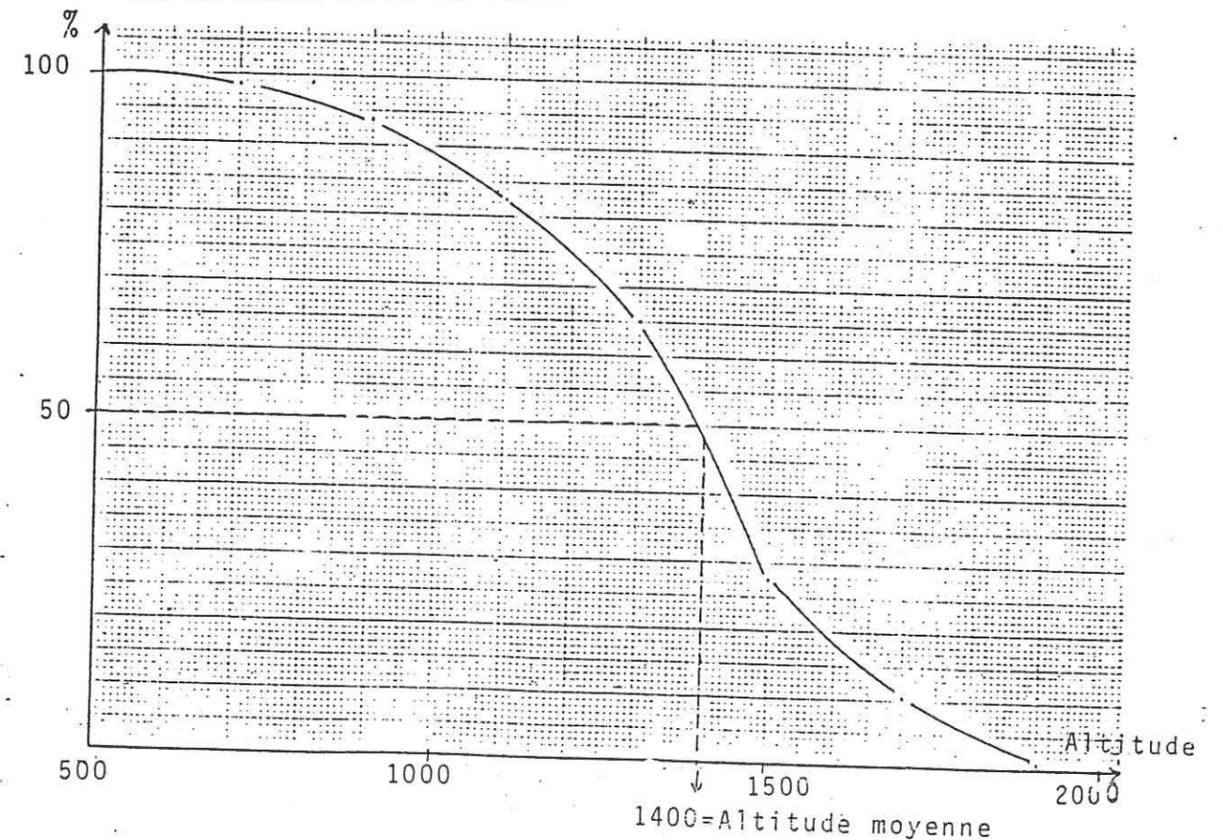


Tableau N°17 : hypsométrie de l'Oued Farda.

Altitude	Surface Si (km <sup>2</sup> )	Somme des Si	Pourcentage de somme des Si
2000-2200	0.625	0.625	1.5
1800-2000	1.9	2.525	6.15
1600-1800	4.5	7	17.13
1400-1600	5.375	12.4	30.24
1200-1400	12.25	24.65	60.12
1000-1200	10.25	34.9	85.12
800-1000	2.975	37.87	92.37
600-800	2.1	40	97.4
400-600	1	41	100

Tableau N°18 : débits moyens annuels de l'Oued Farda pour la période 1956-63

Année	Q annuel (m <sup>3</sup> /s)
1955-56	2.5
1955-57	0.61
1957-58	0.99
1958-59	2.8
1959-60	3.16
1960-61	0.98
1961-62	1.9
1962-63	5.6

Tableau N°19 : calcul du volume d'eau reçu par le bassin de l'Oued Farda, par la méthode du gradient altimétrique.

Altitude (m)	Surface (km <sup>2</sup> )	Précipitation (mm)	V reçu (m <sup>3</sup> )	Somme V reçu (m <sup>3</sup> )
2000-2200	0.625	2553	1595625	1595625
1800-2000	1.9	2354	4472600	6068225
1600-1800	4.5	2186	9837000	15905225
1400-1600	5.375	1958	10524250	26429475
1200-1400	12.25	1760	21560000	47989475
1000-1200	10.25	1562	16010500	63999975
800-1000	2.975	1364	4057900	68057875
600-800	2.1	1166	2448600	70506475
400-600	1	968	968000	71474475

Tableau N°20 : les apports souterrains évalués par la méthode des débits minimaux mensuels pour la période (1956-63), de l'Oued Farda.

Année	Qs (m <sup>3</sup> /s)
1955-56	1.095
1956-57	0.438
1957-58	0.69
1958-59	0.657
1959-60	0.942
1960-61	0.619
1961-62	0.756
1962-63	2.109

Pour la période 1956-63, Qs = 0.913

### 7. Bassin versant de l'Oued Kaala

Exposé vers le Nord-Ouest, ce bassin, d'une superficie de 50.25 km<sup>2</sup>, est drainé par un cours d'eau qui se réunit à l'Oued Farda pour se déverser dans l'Oued Talembote considéré comme l'affluent le plus important de l'Oued Lao.

Lithologiquement, ce bassin est hétérogène. En effet, il est constitué en grande partie par les formations de la nappe de Jbel Tazoute, surmontée localement par l'unité de Taza ou Saïd. La partie sud-est renferme les écaillés d'Abou Bnar et l'unité de Beni M'hamed (voir fig.39).

Ce bassin est parmi les zones les plus arrosées du Rif, puisque son altitude moyenne est de 1400 m (voir fig. 38). Les précipitations évaluées par la méthode du gradient altimétrique sont de 1720 mm, soit un volume de 86436450 m<sup>3</sup>/an, comme le montre le tableau N°22.

Pour la période 1956-63, le débit moyen interannuel est de 0.89 m<sup>3</sup>/s (voir tableau N°23) et, par conséquent, le coefficient de ruissellement de 32.6%. L'évapotranspiration déduite à partir du modèle EV = f(P) est de 874 mm, ce qui représente 51% des précipitations.

Les apports souterrains sont évalués à 0.303 m<sup>3</sup>/s (voir tableau N°24), ce qui représente 34 % du volume ruisselé et on aboutit à une infiltration de l'ordre de 28 % des précipitations.

Tableau N°21 : hypsométrie de l'Oued Kaala à Kaala

Altitude	Surface Si (km <sup>2</sup> )	Somme des Si	Pourcentage de somme des Si
1800-2000	0.45	0.45	0.89
1600-1800	4.825	5.275	10.5
1400-1600	8.475	13.75	27.36
1200-1400	18.9	32.65	65
1000-1200	8.9	41.55	82.69
800-1000	5.5	47.05	93.63
600-800	2.35	49.425	98.36
400-600	0.25	50.25	100

Tableau N°22 : calcul des précipitations reçues par le bassin de l'Oued Kaala par la méthode du gradient altimétrique.

Altitude (m)	Surface S km <sup>2</sup>	Précipitation P (mm)	S.P. (m <sup>3</sup> )	Somme (S.P.) (m <sup>3</sup> )
<600	0.825	968	798600	
600-800	2.375	1166	2769250	3567850
800-1000	5.5	1364	7502000	11069850
1000-1200	8.9	1562	13901800	24971650
1200-1400	18.9	1760	33264000	58235650
1400-1600	8.475	1958	16594050	74829700
1600-1800	4.825	2186	10547450	85377150
1800-2000	0.45	2354	105930	86436450

Tableau N°23 : débits moyens annuels pour la période 56-63, de l'Oued Kaala

Année	Q annuel (m <sup>3</sup> /s)
1955-56	0.93
1956-57	0.23
1957-58	0.25
1958-59	1.14
1959-60	1.2
1960-61	0.5
1961-62	0.9
1962-63	2

## BASSIN VERSANT DE L'OUED KAALA

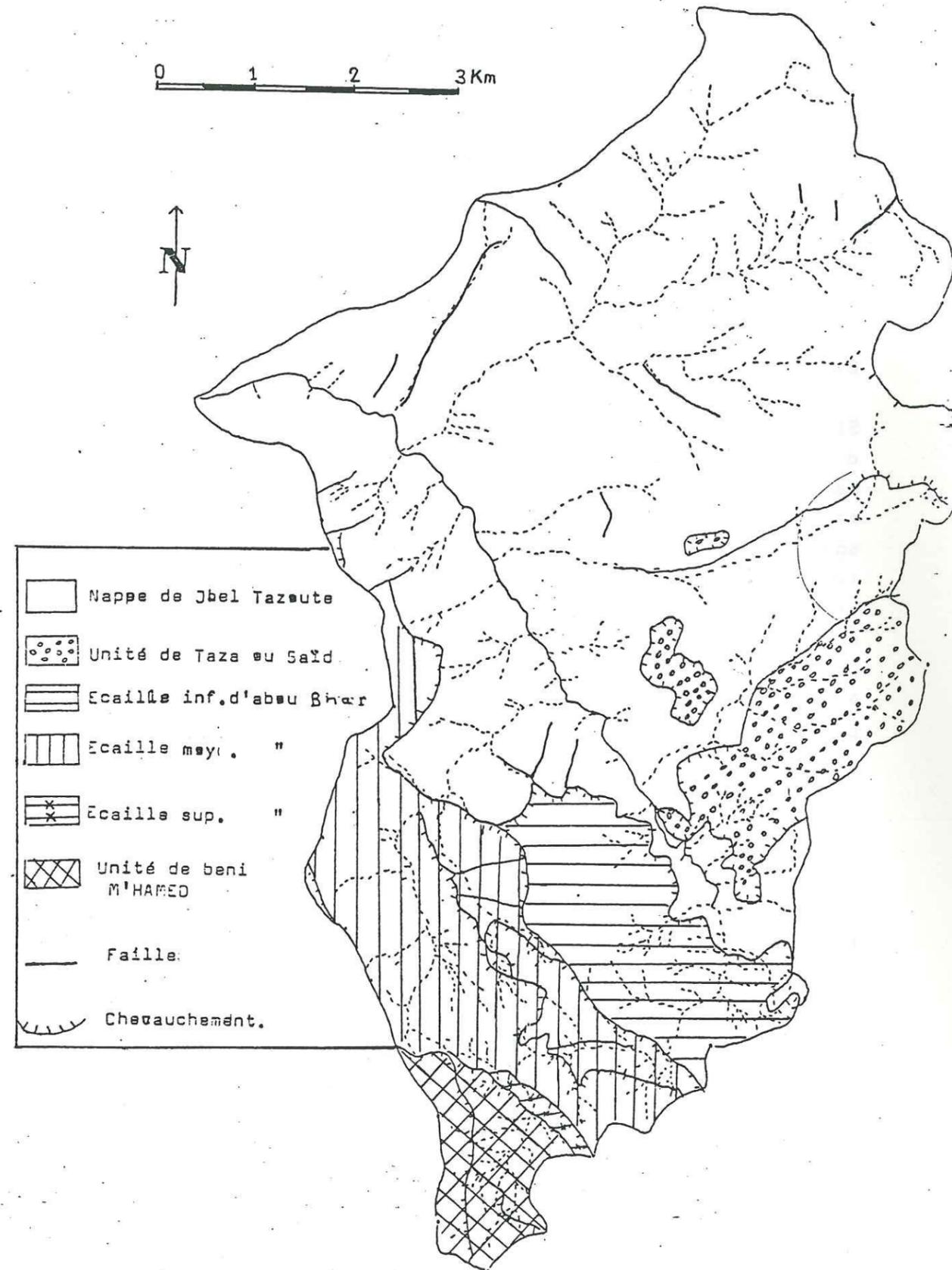


Tableau N° 24 : apports souterrains (A.S.) de l'Oued Kaala, évalués par la méthode des débits minimaux mensuels pour la période 56-63.

Année	A.S. (m <sup>3</sup> /s)
1955-56	0.383
1956-57	0.191
1957-58	0.164
1958-59	0.186
1959-60	0.350
1960-61	0.208
1961-62	0.339
1962-63	0.602

#### 8. Bassin versant de l'Oued El Had

Situé à l'Est de la dorsale, cet oued reçoit son débit d'étiage à partir des masses calcaréo-dolomitiques de la nappe de Jbel Tazoute. Ces calcaires représentent la majeure partie du bassin; ils occupent les endroits les plus hauts et sont classés comme les plus épaisses couches de la dorsale (voir fig.4). L'autre partie du bassin est constituée par des flyshs paléozoïques, hydrogéologiquement stériles qui occupent la partie basse du bassin (voir tableaux 25 et 26, et figure 40).

Au point de sa rencontre avec l'Oued Bouhya, les caractéristiques du bassin sont :

- superficie : 193.3 km<sup>2</sup>
- longueur du cours d'eau : 29 km
- altitude moyenne : 970 m (voir fig. 41)
- indice de compacité : 1.33 ---> forme allongée
- indice de pente : 27 %

A la station de jeaugeage Assoul, sa superficie est de 168.425 km<sup>2</sup>, dont 74.20 % sont représentés par les formations carbonatées, altimétriquement réparties de la façon suivante:

Altitude (m)	Surface (km <sup>2</sup> )
200-400	1.75
400-600	5.825
600-800	14
800-1000	19.65

1000-1200	23.8
1200-1400	21
1400-1600	21.2
1600-1800	15.2
1800-2000	2.5

Tableau N°25 :

Pour la zone paléozoïque on a :

Altitude (m)	Surface (km <sup>2</sup> )
<200	5.85
200-400	11.05
400-600	14.05
600-800	10.075
800-1000	1.825
1000-1200	0.5
1200-1400	0.15

Tableau N°26

A cette station, l'altitude moyenne du bassin est de 1100 m (fig. 42) et son hypsométrie est la suivante :

Altitude (m)	Surface Si (km <sup>2</sup> )	Somme des Si (km <sup>2</sup> )	Pourcentage de Somme des Si
1800-2000	2.5	2.5	1.484
1600-1800	15.2	17.7	10.5
1400-1600	21.2	38.9	23.1
1200-1400	21.15	60.05	35.65
1000-1200	24.3	84.35	50.1
800-1000	21.475	105.825	62.8
600-800	24.075	129.9	77.1
400-600	19.875	149.775	88.9
200-400	12.8	162.575	96.52
<200	5.85	168.425	100

Tableau N°27 : hypsométrie de l'Oued El Had à Assoul

Pour l'établissement du bilan hydrogéologique de ce bassin, les mesures de débit sont irrégulières et rares. Pour cela,

on a utilisé un modèle mathématique qui fait intervenir le débit moyen journalier observé à Koudiet Kourirene ( $Q_{k.k.}$ ). Ce module est de type

$Q = 0.1302 \cdot Q_{k.k.} + 0.9051$ , avec un coefficient de corrélation de 0.95 (voir fig. 43).

Pour les apports souterrains, on a utilisé le même modèle pour estimer les débits minimaux mensuels.

Pour évaluer le coefficient d'infiltration, l'hétérogénéité du bassin pose un problème, d'autant plus que la partie basse représentée par les flyschs paléozoïques, occupe 25.8 % de la surface du bassin; pour cette raison on a négligé les infiltrations dans cette zone.

Pour les précipitations reçues par le bassin, on a :

- Précipitations reçues par la zone paléozoïque :

Altitude (m)	Surface Si (km <sup>2</sup> )	Précipitation Pi (mm)	Pi.Si. (m <sup>3</sup> * 10 <sup>3</sup> )	Somme (Pi.Si.) (m <sup>3</sup> * 10 <sup>3</sup> )
<200	5.85	572	3346.2	
200-400	11.05	770	8508.5	118554.7
400-600	14.05	968	13600.4	25455.1
600-800	10.075	1166	11747.45	37202.55
800-1000	1.825	1364	2489.3	39691.85
1000-1200	0.5	1562	781	40472.85
1200-1400	0.15	1760	264	40736.85

- Précipitations reçues par les calcaires :

Altitude (m)	Surface Si (km <sup>2</sup> )	Précipitation Pi (mm)	Pi.Si. (m <sup>3</sup> * 10 <sup>3</sup> )	Somme (Pi.Si.) (m <sup>3</sup> * 10 <sup>3</sup> )
200-400	1.75	770	1347.5	
400-600	5.825	968	5638.6	6986.1
600-800	14	1166	16324	23310.1
800-1000	19.65	1364	26802.6	50112.7
1000-1200	23.8	1562	37175.6	87288.3
1200-1400	21	1760	36960	124248.3
1400-1600	21.2	1958	41509.6	165757.9
1600-1800	15.2	2186	33227.6	198985.1
1800-2000	2.5	2354	5885	204870.1

Par conséquent, les précipitations reçues par le bassin sont évaluées à 1458.3 mm, et l'évaporation déduite à partir de la formule  $EV = f(P)$  est de 836.3 mm, ce qui représente 57.4 % des

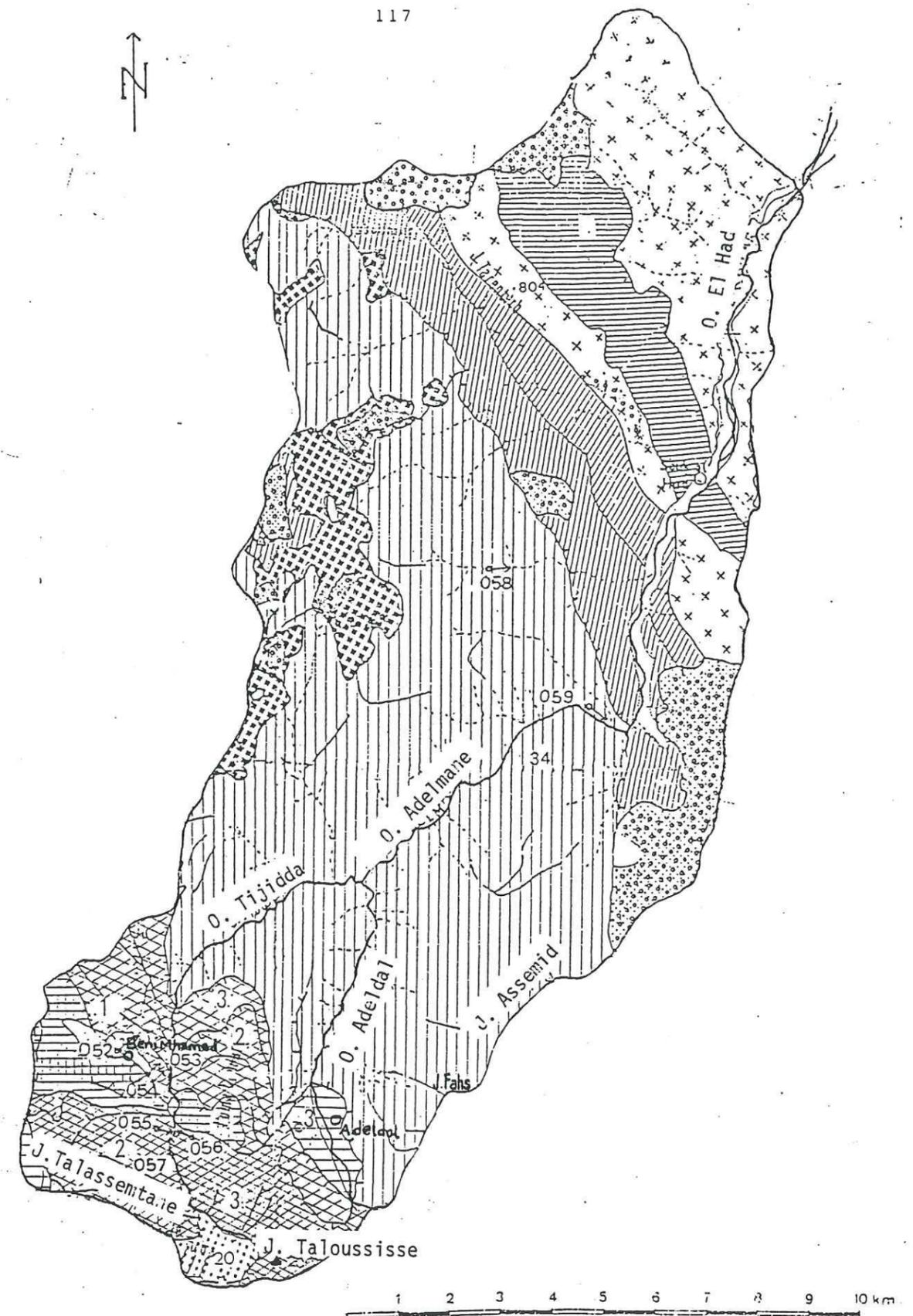


FIG 40: Les unités structurales du bassin versant de l'oued El Had à Assoul (Légende voir page 82)

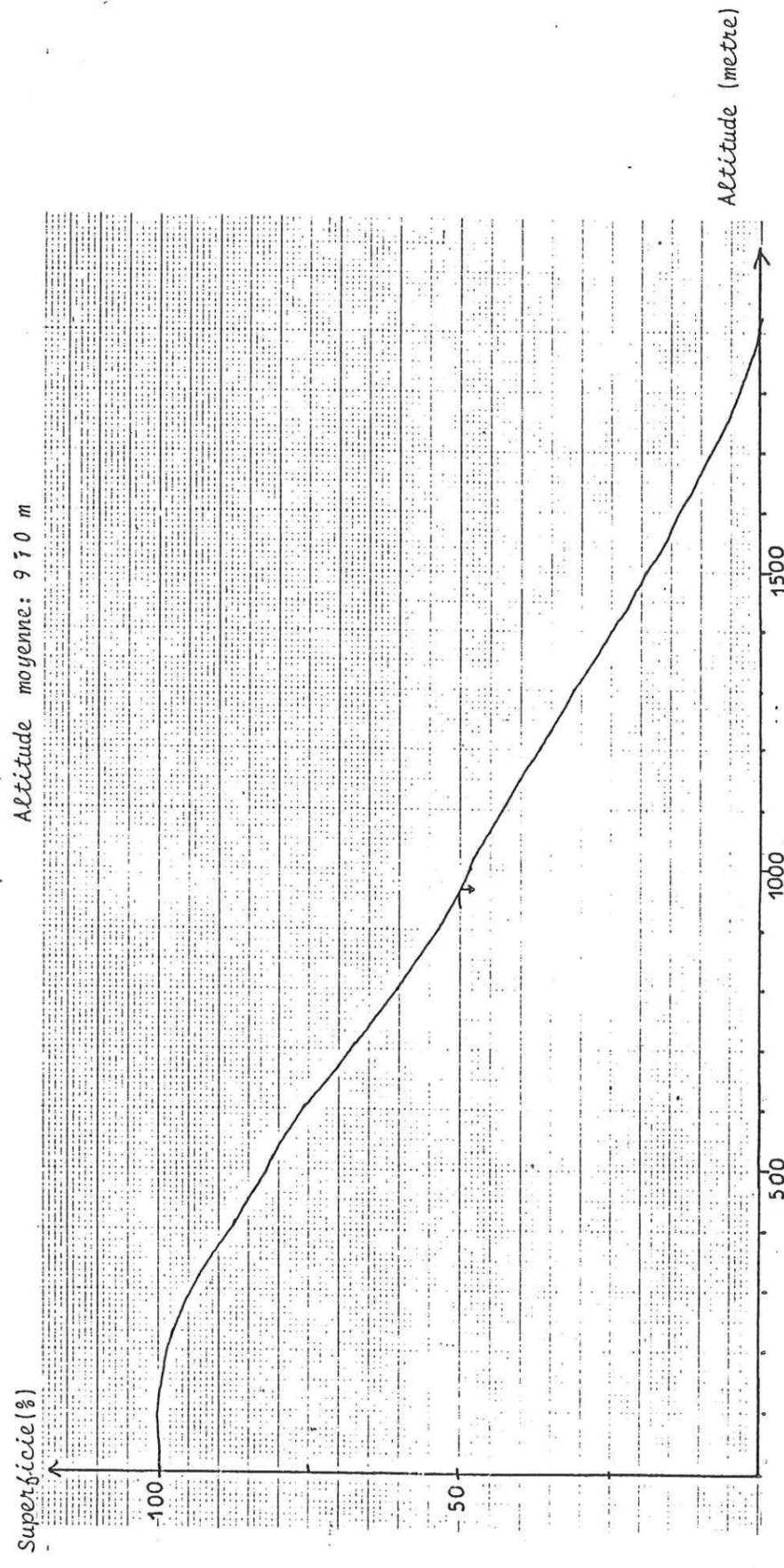


FIG 41: Hypsométrie de l'oued El Had au point de sa rencontre avec l'oued Bouhya

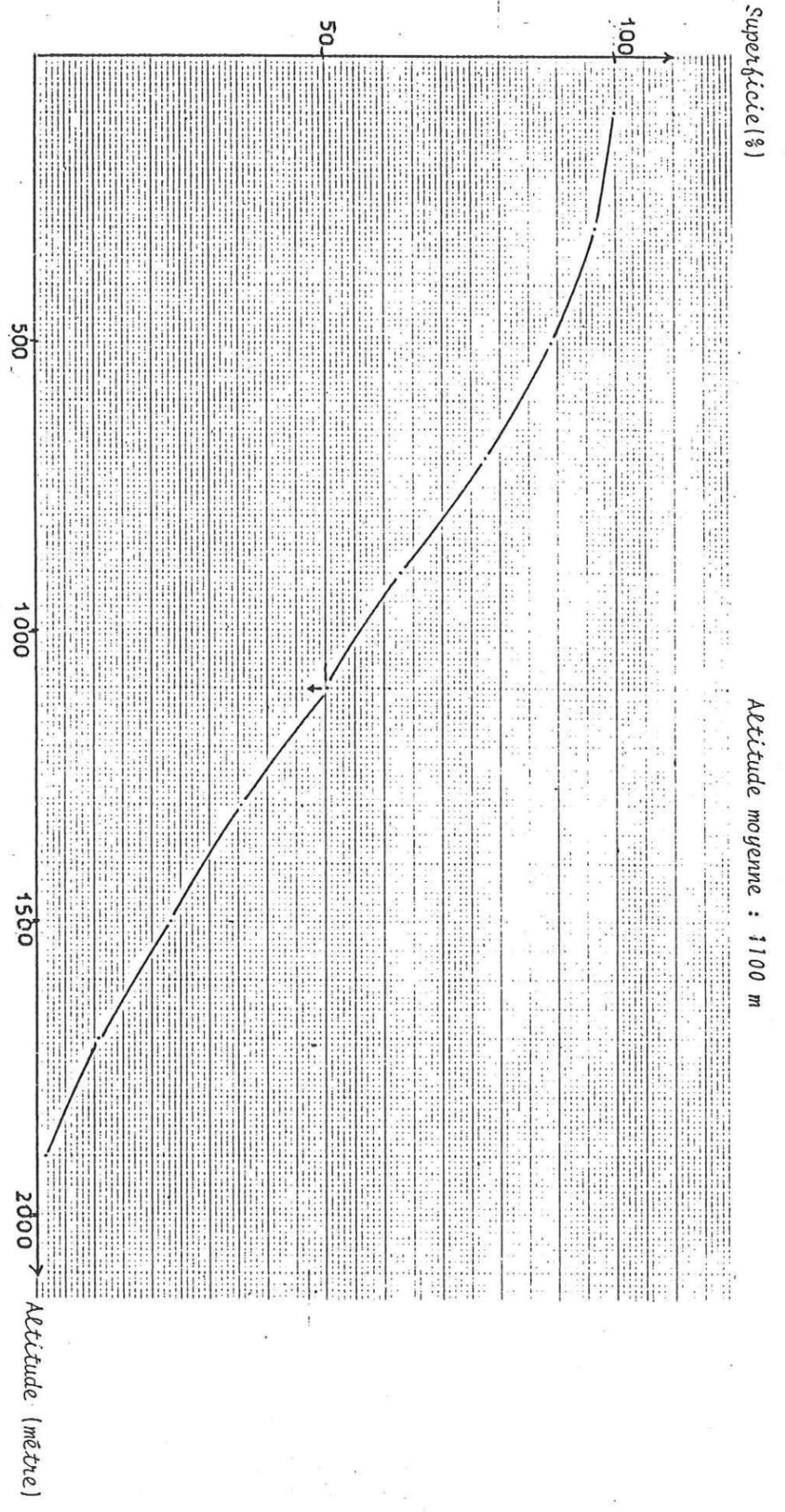


FIG 42: Hypsométrie de l'oued El Had à Assouf

précipitations. Le débit moyen interannuel de la période (1955-63), est de  $3.883 \text{ m}^3/\text{s}$  puisque celui de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene est de  $22.871 \text{ m}^3/\text{s}$ . Les apports souterrains sont évalués à  $1.793 \text{ m}^3/\text{s}$  :

Année	Apport souterrain ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1955-56	1.588
1956-57	1.369
1957-58	1.451
1958-59	1.697
1959-60	2.179
1960-61	1.725
1961-62	2.59
1962-63	1.746

Pour cette période, la lame d'eau écoulee est de  $745.25 \text{ mm}$ , ce qui représente  $51.1 \%$  des précipitations. Les apports sont de  $336 \text{ mm}$ , ( $23 \%$  des précipitations) et l'infiltration est par conséquent de  $15.75 \%$ . Extrapolé à la partie calcaire qui représente  $74.2 \%$  de la surface du bassin, ce coefficient atteint  $21.22 \%$ .

On arrive à un coefficient analogue si on considère que les infiltrations sont nulles dans la zone paléozoïque :

Les précipitations reçues par cette zone sont de  $936.5 \text{ mm}$ ; l'évapotranspiration est de  $690.8 \text{ mm}$ . Par conséquent la lame d'eau écoulee est de  $245.7 \text{ mm}$ , ce qui représente  $0.339 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Pour la zone calcaire, les précipitations sont de  $1640 \text{ mm}$ . L'évapotranspiration est de  $887.7 \text{ mm}$ . Ce qui représente  $54.13 \%$  des précipitations et on aboutit à un coefficient d'infiltration de  $19 \%$ .

#### 9. Nappe de Jbel Tissouka

Chevauchant l'unité de Jbel Lakraa dans sa partie nord-ouest, et surmontée localement par les unités intermédiaires de Bab Aïdeme et d'Imensorine, l'unité de Jbel Tissouka constitue un important aquifère. Son importance est marquée par la stabilité de la température de l'eau au niveau de ses

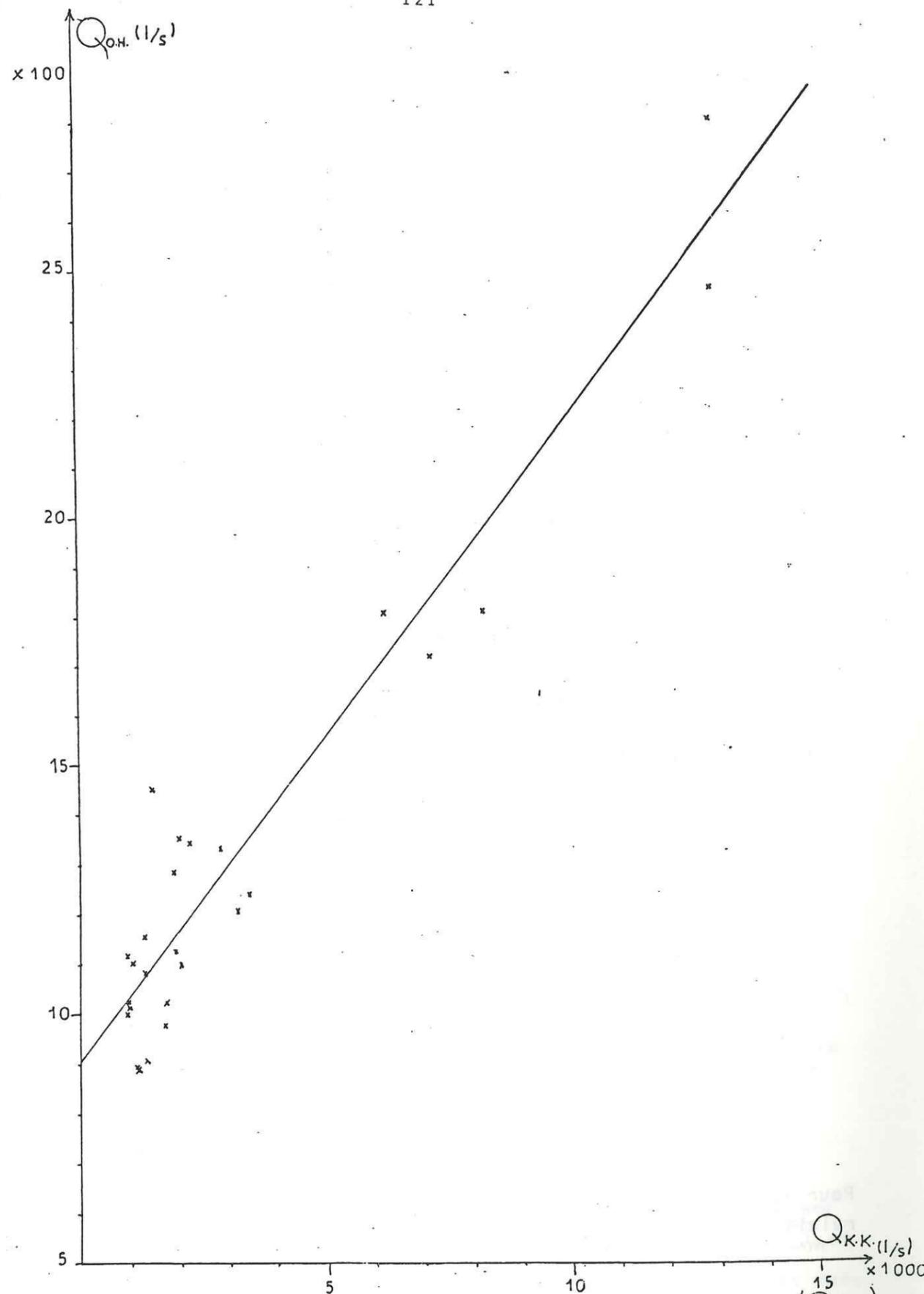


FIG 43 : Corrélation entre le débit de l'oued El Had ( $Q_{OH}$ ) et celui de l'oued Lao ( $Q_{KK}$ ).

exutoires. En effet, aussi bien en période de hautes-eaux qu'en période d'étiage, la température de l'eau est de  $-12.5^{\circ}\text{C}$ .

Le principal exutoire de cette nappe est la source de Ras El Ma, qui émerge dans la partie sud-ouest de l'unité au niveau du front de la nappe. Cette source sourd des calcaires et brèches à silex du Pliensbachien. Vu la qualité chimique de son eau, et l'importance de son débit qui peut atteindre  $4\text{ m}^3/\text{s}$  selon les précipitations, elle est captée pour l'alimentation en eau potable de la ville de Chaouen.

L'évaluation des eaux reçues par cette source pose un problème puisque les données sont rares et très fragmentaires. Afin d'évaluer cet apport souterrain, on a établi un modèle selon lequel :

- on restitue le débit moyen mensuel à partir des précipitations mensuelles à Bab Taza pour les mois pluvieux (de Novembre à Mai).
- pour le reste de l'année, on restitue le débit moyen mensuel à partir des précipitations annuelles observées à la station Ali Tlet.

Pour la période pluvieuse, et d'après les données ci-dessous, on a abouti à un modèle du type (fig. 44) :

$$Q \text{ mensuel} = 923.556 \log P - 1125.339$$

avec un coefficient de corrélation de  $0.9784$ . Les données sont les suivantes:

mois	Q mensuel (l/s)	P mensuel à Bab Taza (mm)
12/83	1135.5	354.6
2/84	593.1	70.6
3/84	903.2	148
4/84	466.7	57.3
5/84	1058.1	268
2/85	1057.1	178.5
4/85	493.3	62.4
2/86	1285.7	364.6
4/86	933.3	153

Pour les lacunes de données à Bab Taza, on a utilisé la relation liant les précipitations mensuelles cette station

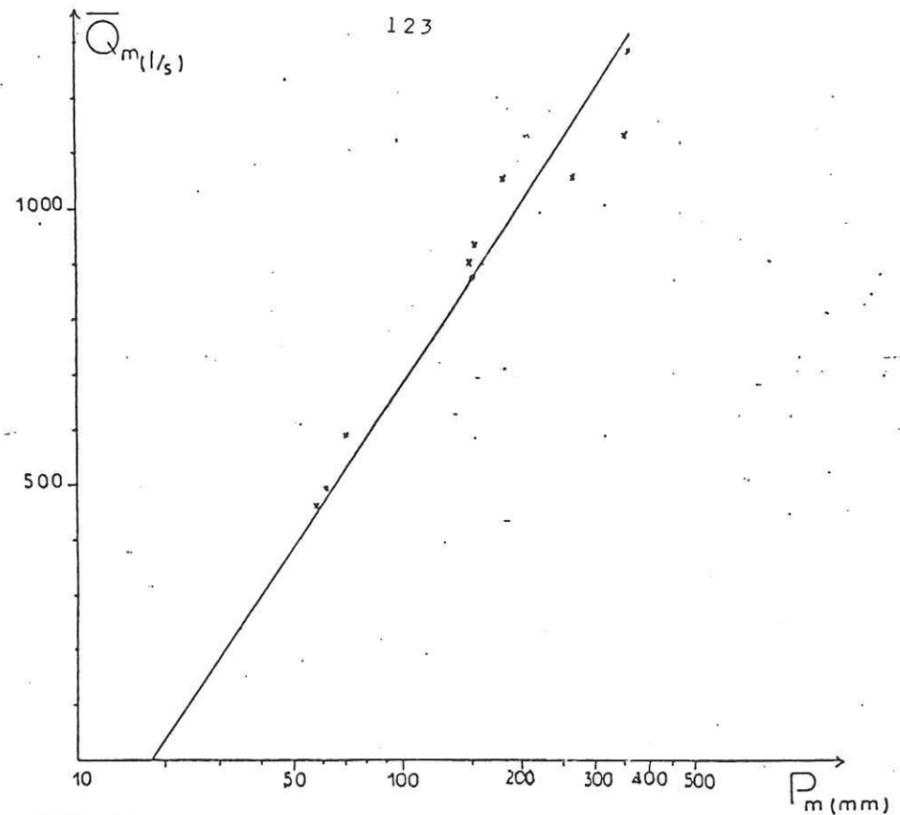


FIG 44: Graphique de la relation débit moyen mensuel  $\bar{Q}_m$  et précipitations mensuelles à Bab Taza  $P_m$  pour les périodes pluvieuses

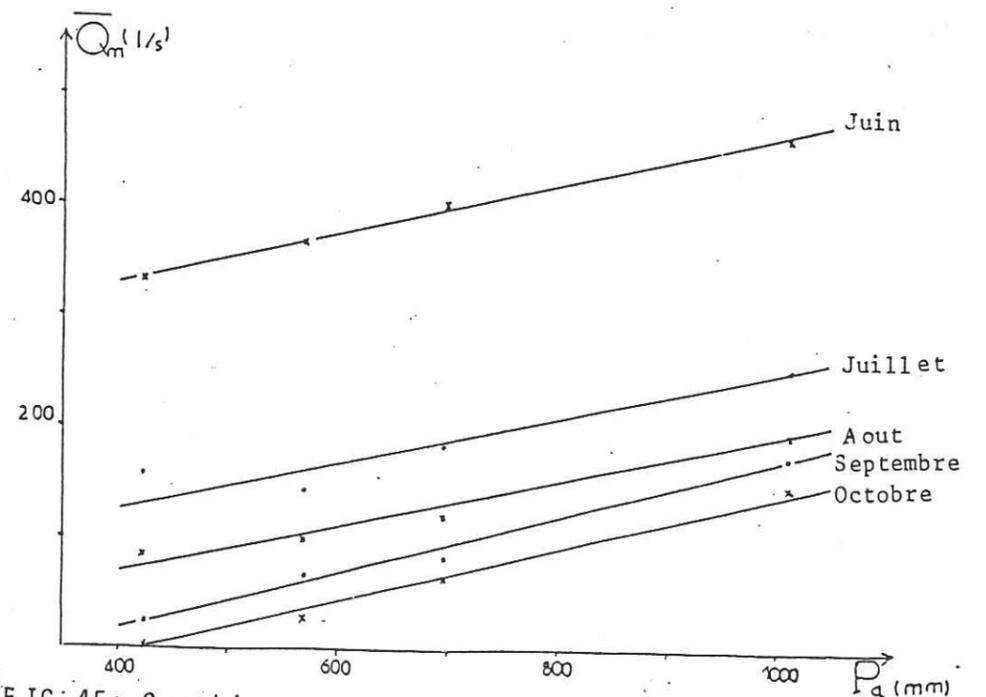


FIG 45: Graphique des relations débit moyen mensuel  $\bar{Q}_m$  et précipitation annuelle à Ali Tlet  $P_a$  pour les mois de Juin à Octobre

avec celles mesurées à la station Ali Tlet :  
 $(P_{AT} = 1.67P_{AT} + 3.63, \text{ voir chapitre climatologie})$   
 Pour la période 1956-63, les débits moyens mensuels reconstitués sont :

Mois	Précipitation moyenne mensuelle de la période	Q mensuel (l/s)
Novembre	201	1001.8
Décembre	300.6	1163.2
Janvier	196	991.7
Février	225.5	1047.9
Mars	221.1	1040
Avril	121.2	798.9
Mai	86.6	664.1

Pour la période de basses-eaux, et vu le manque de données pour le débit de Ras El Ma, seulement quatre couples de valeurs ont été utilisés pour ces corrélations. Et puisqu'il existe une relation entre les précipitations à Bab Taza et Ali Tlet, les données choisies pour les précipitations annuelles sont celles d'Ali Tlet. Il est à remarquer que le tarissement de cette source continue aux mois de septembre et d'octobre. Les données de ces corrélations sont :

Année	P annuelle à Ali Tlet	Q mensuel (l/s)				
		Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
1981	422.3	333.3	161.3	83.9	23.3	0
1976	569	366.7	142	96.8	66.7	25.8
1978	691	400	180.6	116.1	76.7	64.5
1986	1010.5	460	251.6	193.5	173	145.2

Avec ces données, on aboutit à des modèles linéaires de type: (voir fig. 45)

Pour le mois de juin	$Q = 0.2152 P + 245.1$	$R = 0.997$
Pour le mois de juillet	$Q = 0.1746 P + 66.3$	$R = 0.914$
Pour le mois d'août	$Q = 0.1926 P - 7.1$	$R = 0.9819$
Pour le mois de septembre	$Q = 0.2503 P - 83.5$	$R = 0.99$
Pour le mois d'octobre	$Q = 0.2525 P - 111.1$	$R = 0.997$

Pour la période 1956-63, les données reconstituées sont :

Mois	Q mensuel (l/s)
Juin	409
Juillet	199.2
Août	139.5
Septembre	91.7
Octobre	65.6

Pour cette unité, les précipitations moyennes annuelles sont évaluées à 1878 mm, soit 93895500 m<sup>3</sup> (voir tableau ci-dessous):

Altitude	S (km <sup>2</sup> )	P (mm)	S.P. (m <sup>3</sup> )	Somme (S.P.) (m <sup>3</sup> )
800-1000	3.5	1364	4774000	-
1000-1200	10.75	1562	16791500	21565500
1200-1400	13.75	1760	24200000	45765500
1400-1600	12	1958	23496000	69261500
1600-1800	7.5	2186	16395000	85656500
1800-2000	2.5	2354	8239000	93895500

Pour la période 56-63, le débit moyen mensuel est de 634.375 l/s, ce qui représente 21.32 % des précipitations. Cette valeur paraît inférieure au coefficient d'infiltration calculé pour le bassin versant de l'Oued Kaala, et voisin de celui du bassin versant de l'Oued El Had. Pour la vérification de la part reçue par cette source, un autre modèle faisant intervenir le débit moyen annuel et les précipitations annuelles à Ali Tlet, a été établi (voir fig. 46). Les données sont les suivantes (voir fig. 47) :

Année	P à Ali Tlet (mm)	Q annuel (l/s)
1974-75	371.6	240
1975-76	569.1	384
1977-78	691	576
1979-80	408.4	264
1980-81	422.3	280
1981-82	399.7	336
1982-83	393	360
1983-84	810.7	600
1984-85	568.7	424

Avec ces données, on aboutit à un modèle linéaire d'équation:

$$Q \text{ annuel} = 0.7845P - 19.1 \quad R = 0.94$$

Pour la période 1956-63, les débits moyens annuels reconstitués sont :

Année	P (mm)	Q (l/s)
1955-56	1212	931.8
1956-57	356	260.2
1957-58	594	446.9
1958-59	642	484.6
1959-60	797	606.2
1960-61	472.6	351.7
1961-62	786.7	598.1
1962-63	1230.9	946.5

Le débit moyen interannuel pour cette période est de 578.25 l/s, ce qui représente 19.43 % des précipitations et les deux modèles ont abouti à des pourcentages voisins, en moyenne, de 20.37 %. Et si on tient compte des sources qui sourdent dans la partie nord de cette unité, le coefficient d'infiltration devient plus important. Ces sources ont une température de l'eau analogue à celle de Ras El Ma, et sont : (voir localisation fig. 29)

N° nom de la source	T d'étéage (°C)	Q étéage (l/s)	T <sub>HE</sub> (°C)	Q <sub>HE</sub> (l/s)
04 Onsar Mtahar	12.5	5	12.5	10
05 Onsar Imizaene	12.5	10	12.5	25
06 Onsar Marouane	12.5	2	12.5	10
07 El Fouara	12.5	2	12.5	10

D'autre part l'analyse chimique de l'eau en période de hautes-eaux 1986, montre que la source de Ras El Ma est de même faciès que Onsar El Gaouza qui sourd de la limite nord-est de l'unité de Jbel Tissouka et a un faciès comparable à celui de la source Aïn D'rif qui sourd de l'unité de Jbel Tarhzoute et à celui de Aïn Fouk El Makina qui se trouve dans le lit de l'Oued Talembote (voir tableau 28 et figure 48). Ces deux

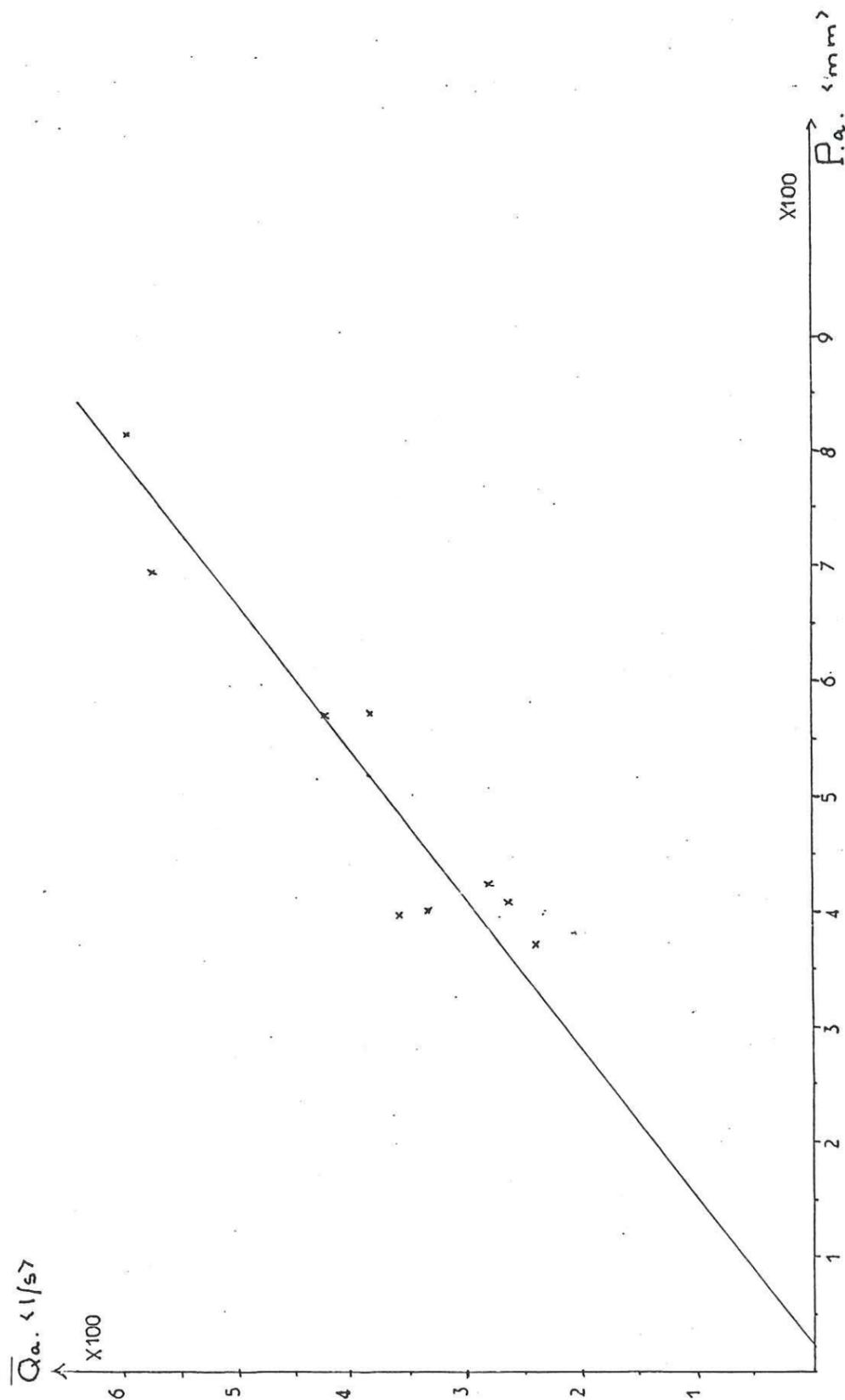


FIG 46: Relation entre le débit moyen annuel de la source Ras El Ma et les précipitations annuelles à Ali Tlet

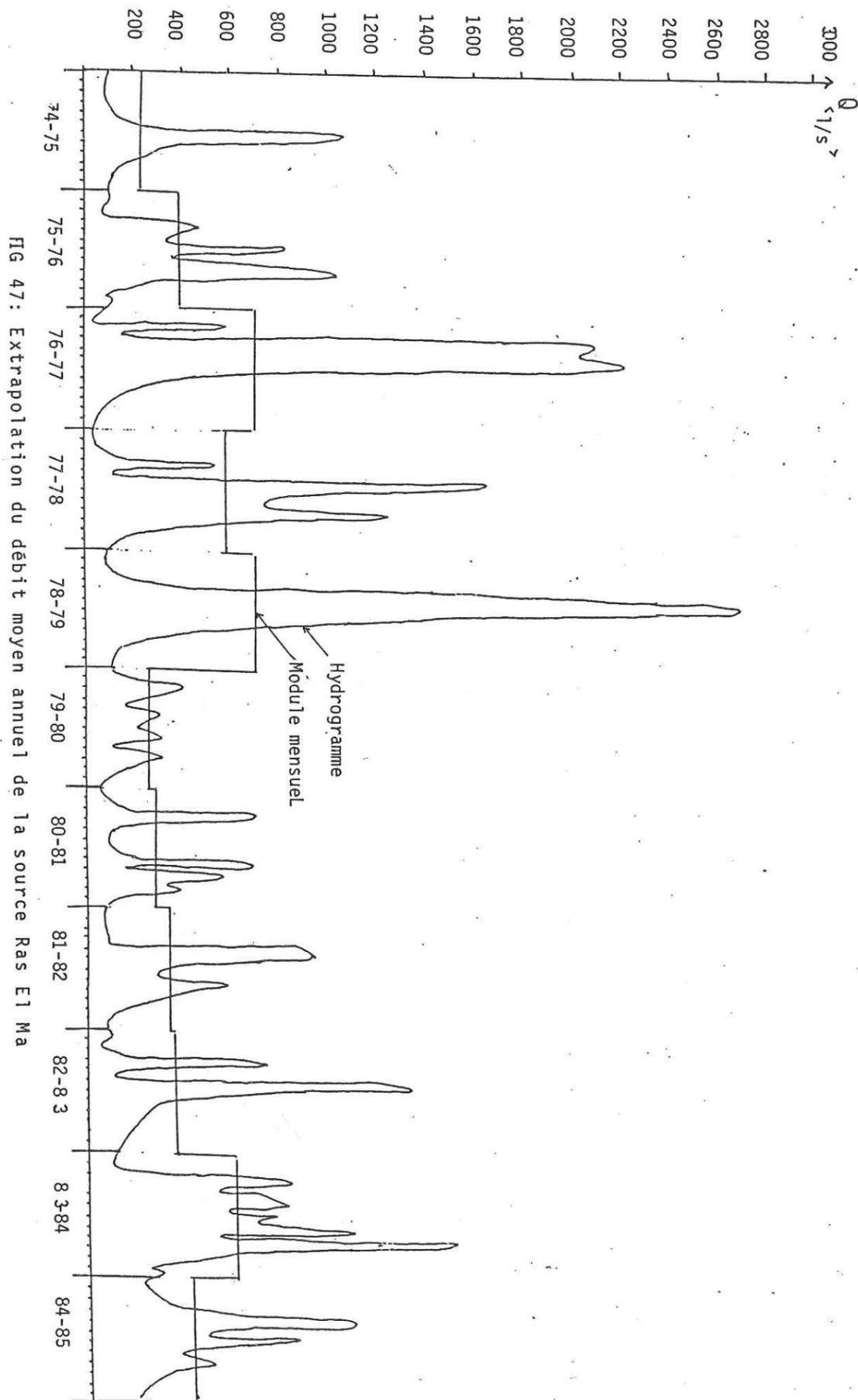


FIG 47: Extrapolation du débit moyen annuel de la source Ras El Ma

dernières ont pour coordonnées (voir fig. 29) :

N° nom de la source	Coordonnées			Q (l/s) Mai 86
	X	Y	Z	
01 Aïn Fouk El Makina	517175	516600	400	10
03 Aïn D'rif	516600	515400	610	5

Ces deux sources doivent provenir d'une nappe profonde puisque la température de l'eau au niveau de l'émergence est de 16°C en période pluvieuse, alors que l'eau des sources de la nappe de Jbel Tissouka est de 12.5 °C et celle des sources de Jbel Lakraa est de 12°C et l'analogie chimique de ces sources avec celles de l'unité de Jbel Tissouka laisse supposer une alimentation de cette nappe profonde à partir de cette unité par abouchement de l'eau sous la klippe paléozoïque de Talembote. Par conséquent, il y a une vidange partielle de la nappe de Jbel Tissouka dans les unités situées au Nord et qui alimentent l'Oued Talembote.

En plus, si le faciès des sources de cette nappe est différent de celui observé dans l'eau des sources de la vallée de l'Oued Farda (essentiellement Aïn Danaou qui sourd de l'unité de Jbel Lakraa) et également de celui de la source d'Azarhar qui se trouve dans la partie nord-ouest de l'unité de Jbel Tazoute, c'est que cette nappe est indépendante de ces deux aquifères (voir fig. 54). Cette figure montre également que ces deux dernières sources ont un faciès comparable, ce qui laisse supposer une intercommunication hydrogéologique entre les unités de Jbel Lakraa et de Jbel Tazoute.

Puisque les sources de la partie Nord de la nappe émergent dans le bassin de l'Oued Talembote, entre le point de rencontre de ses deux affluents (Oued Kaala et Oued Farda) et le point de son déversement dans l'Oued Lao, il est possible de voir les apports souterrains de cette partie du bassin. D'après le tableau N°29, les apports moyens interannuels pour la période 1956-63, sont de 0.739 m<sup>3</sup>/s, ce qui représente 24.8 % des précipitations reçues par cette nappe. Si la nappe de Jbel Tazoute ne participe pas à cet apport, l'infiltration atteindra 45 %, puisque la source de Ras El Ma reçoit 20.37 %

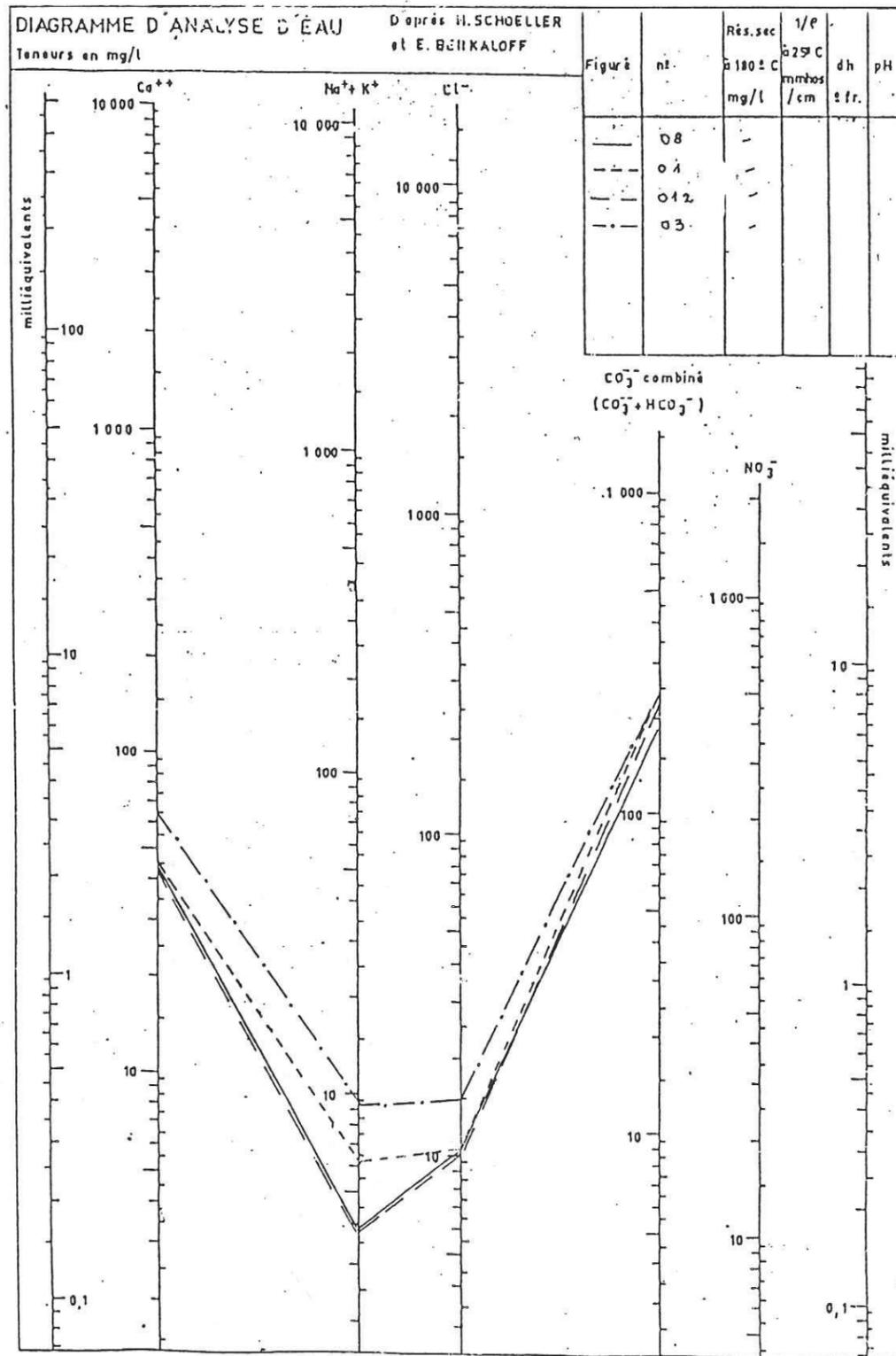


FIG 48: Comparaison chimique de l'eau des sources de l'unité de jbel Tissouka et celle des unités voisines au Nord

des précipitations. Ce coefficient est très supérieur à celui calculé pour les autres unités. Pour vérifier la provenance de l'apport au niveau de l'Oued Talembote, on a donc comparé la courbe de tarissement de la source Ras El Ma à celle de cet apport (voir fig. 50). Il s'est avéré qu'ils ont une pente de même allure. Par conséquent, ils sont alimentés par la même nappe.

Source	Ph	à 25°C Mmho/cm	K <sup>+</sup> mg/l	Na <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>+</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l					
01	7.5	437.34	0.009	0.37	0.25	5.75	2.3	46	0.3	10.65	3.95	240.95
03	7.7	455.56	0.83	3.25	0.211	4.85	3.14	62.8	0.4	14.2	4.35	265.35
00	7.4	364.45	0.022	0.85	0.13	3	2.34	46.8	0.3	10.65	3.25	198.25
012	7.7	364.45	0.063	0.25	0.15	3.5	2.3	46	0.25	8.87	3.85	234.85

Tableau N°28 : hydrochimie en Mai 1986

année	55-56	56-57	57-58	58-59	59-60	60-61	61-62	62-63
A.O.								
Kaala	0.383	0.191	0.164	0.186	0.35	0.208	0.339	0.602
K								
Farda	1.095	0.438	0.690	0.657	0.942	0.619	0.756	2.109
F								
K+F	1.478	0.629	0.854	0.843	1.292	0.827	1.095	2.711
Talembote	2.52	0.986	1.095	1.452	2.219	1.041	1.917	4.416
T								
T-(K+F)	1.042	0.357	0.241	0.609	0.927	0.214	0.822	1.705

Tableau N°29 : Apports souterrains de l'Oued Talembote en amont du point de rencontre des Oueds Kaala et Farda

A.O. : apport de l'Oued en m<sup>3</sup>/s  
K : Oued Kaala  
F : Oued Farda  
T : Oued Talembote

En conclusion : l'unité de Jbel Tissouka, avec les unités sus-jacentes, constitue un aquifère à fort coefficient d'infiltration, et ceci est dû au long séjour de la neige sur les crêtes où les précipitations se font généralement sous

forme de neige.

Puisque cette nappe occupe un niveau structural élevé, elle constitue un aquifère isolé d'autant plus qu'elle se trouve séparée de la nappe inférieure par le tertiaire de la nappe de Jbel Lakraa, qui renferme des termes marneux et qui joue le rôle de mur pour ce système, et cette nappe peut être classée comme nappe perchée et isolée, puisque son eau a un faciès particulier.

En ce qui concerne le sens d'écoulement de la nappe, puisque l'apport souterrain de l'Oued Talembote provient de ce système et représente une grande partie des infiltrations l'écoulement privilégié se fait vers le Nord. La source de Ras El Ma reçoit également une grande proportion des infiltrations, de l'ordre de 45 %.

## 10. Hydrochimie

Afin de définir les différents types de nappes et de déterminer leurs extensions horizontales, un grand nombre d'échantillons a été analysé. Les plus importantes sources ont été toutes échantillonnées. Mais pour les sources de faible débit, et dans une zone donnée, on s'est basé sur le critère de température de l'eau au niveau de l'émergence, pour l'échantillonnage.

### 10.1. Définition de différents types d'eau de la dorsale.

L'analyse des composantes principales permet de chercher parmi les éléments dosés un, ou des, facteurs discriminants de l'eau, et par conséquent, des critères chimiques pour la classification des nappes. Appliquée sur les échantillons de la dorsale, il s'est avéré que la représentation des éléments selon les axes F1 et F2, permet la mise en évidence d'un pôle calcique et d'un pôle magnésien (voir fig. 49). Pour la resistivité, vue l'importance de ses valeurs par rapport aux autres éléments, elle a des coordonnées particulières et qui ne peuvent être portées sur le même graphique (voir annexe). Dans le graphique des échantillons (voir fig. 50), un certain nombre de sources se localise dans le pôle calcique, d'autres dans le pôle magnésien, et le reste entre les deux. Le faciès de l'eau est bicarbonaté et pour les sous-faciès, le rapport Mg/Ca permet de savoir s'il s'agit d'une eau bicarbonatée calcique ( $Mg/Ca < 1$ ), bicarbonatée magnésienne ( $Mg/Ca > 1$ ) ou bicarbonatée calcique et magnésienne ( $Mg/Ca = 1$ ).

Le premier type relativement abondant se rencontre aussi bien au Sud qu'au Nord de l'Oued Lao. Quant au second, il se trouve uniquement au Nord de la dite vallée, au Sud de laquelle les eaux les plus riches en magnésium sont bicarbonatées calciques et magnésiennes, et caractérisent les sources qui sourdent de l'unité de Jbel Tissouka.

### 10.2 Régions nord de l'Oued Lao.

L'étude hydrochimique des sources de cette zone montre l'existence de deux faciès. La représentation graphique des

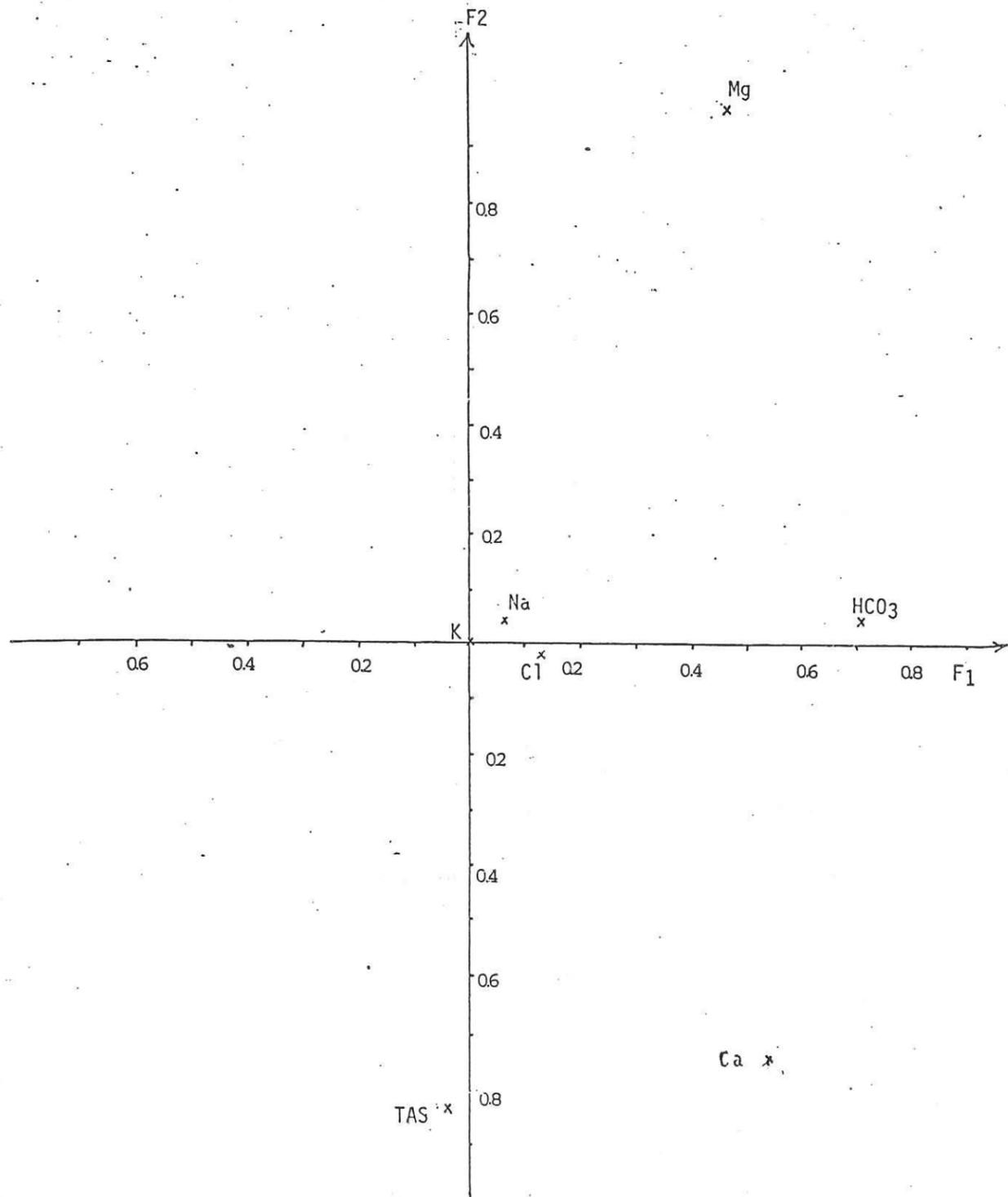


FIG 49: Représentation des éléments selon les axes F1 et F2  
( Résultat de l'A.C.P. )

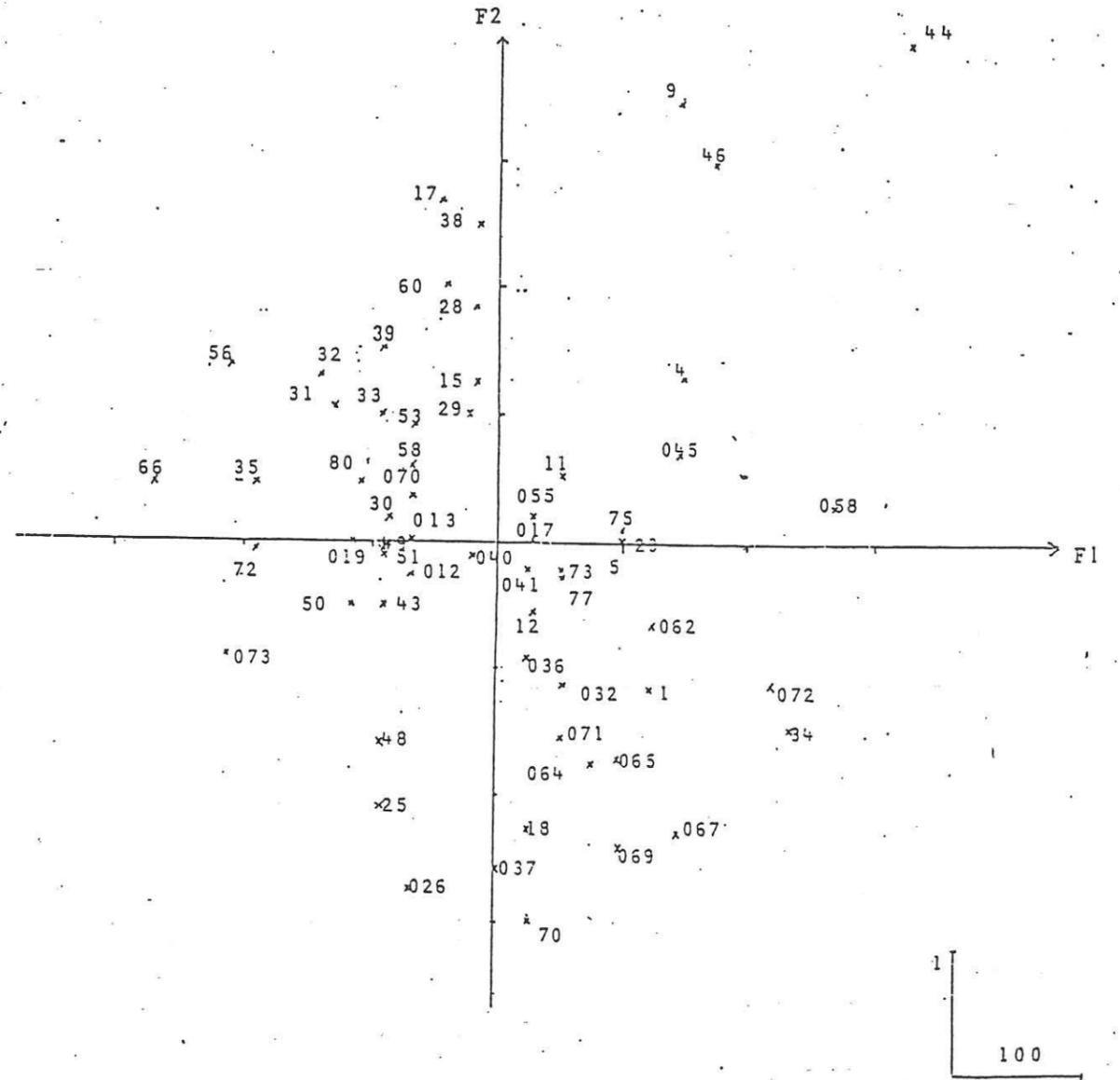


FIG 50: Représentation des échantillons selon les axes  
F1 et F2 ( Résultat de l'A.C.P. )



Il est à noter que les sources N° 11, 35 et 53 ont un faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

Les sources à faciès bicarbonaté calcique sont :

66 Onsar Kanou	
70 Onsar Aghboula	sourdent de l'unité de Majjou
72 Aïn Izzouriah	
73 Aïn Jamae	
75 Onsar Talouine	sourdent de l'unité d'Ifahsa
77 Onsar Talirene	
78 Onsar Izmrane	
23 Aïn Hammaden	
30 Aïn Imitna	
34 Iayzen	sourdent de l'unité de Bettara
43 Tizikht	
49 Onsar Zaouia	
1 Aïn Jamae	
5 Torreta	sourdent de l'unité de la Hafa en Nator
18 Aïn Zaouia	
12 El Hama Tehtia	
25 Aghbalou	
48 Aghbalou	
50 Onsar Ighboula	
51 Aghbalou	

Pour ces dernières, la source N° 12 sourd de l'écaille de Saaden, la N°25 se trouve au niveau du plan de chevauchement de l'unité de la Hafa del Ferkenix sur l'unité de Bettara, la 48 à la base de l'unité d'El Babat qui chevauche dans cette région l'unité de Bettara et les autres au niveau du plan de chevauchement de l'unité d'El Babat qui chevauche particulièrement dans cette zone l'unité d'Arifane.

#### 10.2.1 Faciès bicarbonaté magnésien

Les sources échantillonnées qui sourdent de l'unité de la Hafa del Ferkenix, sont toutes bicarbonatées magnésiennes.

Pour les autres, à l'exception de la source N° 80 qui se trouve dans l'unité d'Ifahsa, elles prennent naissance des formations de Bettara, et en grande proportion de l'unité d'Arifane. Puisque l'unité de la Hafa del Ferkenix occupe le niveau structural supérieur, il est évident qu'elle constitue la zone d'alimentation. La présence de ce faciès dans les sources des unités de Bettara et d'Arifane prouve une infiltration de l'eau de cette nappe vers les unités inférieures. En fait, la source N° 80 sourd de l'unité d'Ifahsa où les autres sources sont bicarbonatées calciques. Cette source se trouve au niveau d'une faille qui affecte les unités supérieures, et même l'unité de la Hafa del Ferkenix. Cette alimentation partielle explique la richesse en magnésium de l'eau à faciès bicarbonaté calcique de ce compartiment, en comparaison avec les sources de même faciès au Sud de l'Oued Lao. Les dolomies grises du Permo-Werfénien constituent la source principale des ions magnésiens. La discontinuité de l'unité de la Hafa del Ferkenix, au niveau de Dar Chouaker où l'unité de la Hafa en Nator apparaît en fenêtre, subdivise cette unité en deux zones d'alimentation :

- La première, dominée par le massif de Jbel Kelti (1926 m) qui alimente les sources situées au Sud de Dar Chouaker.
- La seconde, dominée par le massif de Jbel Bou Zeitoun (1237 m) qui alimente le reste.

Pour le sens d'écoulement de cette nappe, la présence de ce faciès dans les bordures de la portion sud prouve un écoulement radial. Pour cette klippe la plupart des sources de la bordure ouest sourd de l'unité d'Arifane. On peut ainsi intégrer cette unité à la nappe de la Hafa del Ferkenix.

Pour la portion nord, si on se base sur l'importance des débits des émergences, le sens privilégié d'écoulement est vers le Nord-Est.

#### 10.2.2 Faciès bicarbonaté calcique

Les sources à faciès bicarbonaté calcique sourdent, soit des unités de la dorsale externe (unités de Majjou, d'Ifahsa et

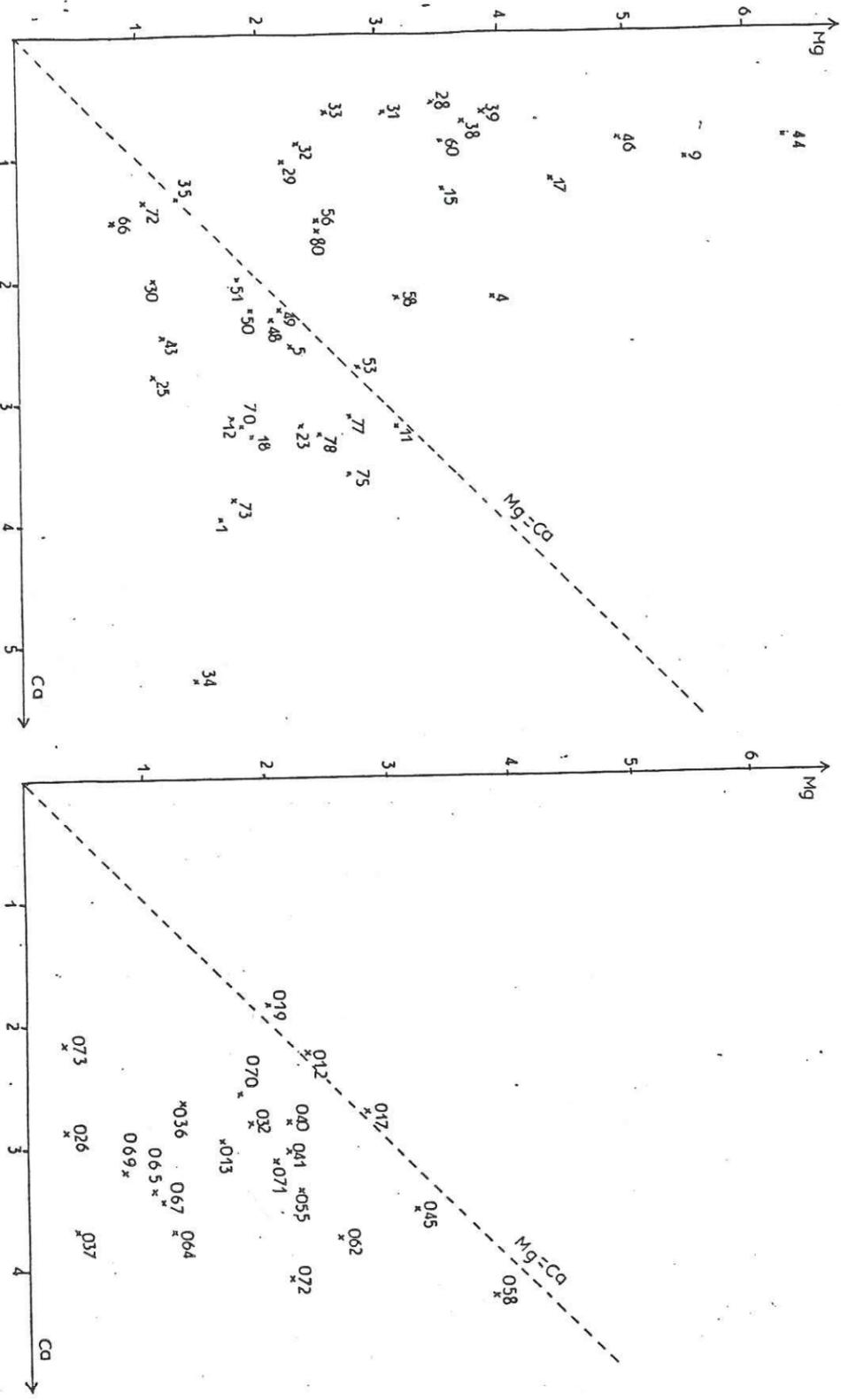


FIG 52: Diagrammes montrant la richesse relative en magnésium de l'eau des sources de la région Nord de l'Oued Lao

Echantillons de la région Nord de l'Oued Lao

Echantillons de la région Sud de l'Oued Lao

de la Hafa en Nator) ou de l'unité de Bettara (unité intermédiaire). Pour les sources qui se trouvent au niveau des plans de chevauchement, si la source N° 25 sourd à la base d'une klippe isolée et de faible extension de l'unité de la Hafa del Ferkenix, les autres sourdent au Sud-Ouest de ce compartiment où s'annule l'épaisseur de l'unité de la Hafa del Ferkenix. En effet, la puissance de cette unité diminue graduellement du Nord vers le Sud où on trouve l'unité d'El Babat, chevauchant directement les unités de Bettara et d'Arifane, et par conséquent, ces sources ne reçoivent pas d'apport de cette unité.

On peut donc conclure que dans ce compartiment, si le faciès bicarbonaté magnésien caractérise l'eau des sources alimentées par l'unité de la Hafa del Ferkenix, qui supporte par endroit des klippes de l'unité d'El Babat (unités de la dorsale interne), toutes les sources échantillonnées des unités de la Dorsale externe sont bicarbonatées calciques.

Pour les unités de Bettara et d'Arifane, si cette dernière est alimentée par l'unité de la Hafa del Ferkenix, l'unité de Bettara draine essentiellement la nappe des unités de Majjou et d'Ifahsa puisque la plupart de ses échantillons ont un faciès bicarbonaté calcique.

### 10.3 Hydrochimie au Sud de l'Oued Lao

Dans cette région, à l'exception des sources issues de la nappe de Jbel Tissouka (unité de Jbel Tissouka) qui ont un faciès bicarbonaté calcique et magnésien, toutes les émergences échantillonnées ont un faciès bicarbonaté calcique. Pour ces dernières, il y a deux classes qui se distinguent par le rapport Mg/Ca (voir fig. 53).

Pour la même resistivité de l'eau, la première classe a un rapport relativement faible et englobe les sources suivantes:

- 026 El Fouara
- 037 Aïn Talagrame
- 064 Onsar Kacem
- 065 Onsar Rahmanio
- 067 Onsar Taria Seflia

069 El Menbae  
072 El Onsar  
073 Ain Rouida

Les deux premières sources sourdent de l'unité de Jbel Bou Slimane, les deux dernières de l'unité d'Ameltrasse, et le reste de l'unité de l'Oued Asaki.

Parmi les sources échantillonnées, la seconde classe, à eau relativement riche en magnésium, englobe les émergences suivantes :

013 Ain Danou           sourd de l'unité de Jbel Lakraa

032 Ain Cheuh

036 Ain Ouessteya   sourdent de l'unité de Jbel Bou Slimane

040 Ain Chrafate

041 Onsar Azarhar

058 Aghbalou d'Afriess   sourdent de l'unité de Jbel Tazoute

062 Onsar Taounshicht

070 Ain Majra           sourdent de l'unité de Jbel Achefaha

071 Onsar Taourart

055 Onsar El Khwa del   sourd de l'unité de Jbel Talassemrane  
Haouta Dra

045 Onsar Mesben   sourd de l'échelle inférieur d'Abou Bnar.

Pour les échantillons à eau bicarbonatée calcique et magnésienne, on a :

012 Ras El Ma  
017 Onsar Afeska  
019 Onsar Mtafat

Ces sources sourdent de l'unité de Jbel Tissouka.

Pour le faciès bicarbonaté calcique les sources de la première classe, à l'exception des sources N° 072 et 073 qui sourdent de l'unité d'Ameltrasse, sourdent des unités de la nappe de Jbel Lakraa. Par conséquent, l'eau des unités

de cette nappe se caractérise par une richesse relative en calcium. La faible résistivité de l'eau des sources N° 026 et 037 par rapport aux sources de l'unité de l'Oued Asaki, laisse supposer que les sources de cette dernière unité sont alimentées par l'unité de Jbel Bouslimane, d'où sourdent les deux dernières sources. D'autant plus que l'unité de l'Oued Asaki affleure en fenêtre de surface réduite et que les sources de même classe sont rares et de faible débit au sein des unités de la même nappe dans le compartiment ouest du linéament de Jbel Lakraa.

Parmi les émergences de la seconde classe, il y a Ain Danou qui sourd de l'unité de Jbel Lakraa et Ain Chrafate, Ain Ouessteya et Ain Cheuh qui prennent naissance des formations de l'unité de Jbel Bou Slimane. Le reste sourd des unités du compartiment Est du linéament de Jbel Lakraa, autres que les unités de l'Oued Asaki d'Adeldal et d'Ameltrasse. Pour Ain Danou, la richesse de son eau en magnésium laisse supposer un apport, soit de l'unité de Jbel Tissouka, soit des unités du compartiment est du linéament de Jbel Lakraa. Mais la représentation des analyses dans le diagramme de Schoeller et Berkaloff, montre que cette source a un faciès comparable à celui de Ain Azarhar qui se trouve au Nord-Ouest de l'unité de Jbel Tazoute et analogue à celui de Onsar El Khwa del Haouta Dra (N° 55) qui sourd de l'unité de Jbel Talassemrane (voir figures 54 et 55). Ce qui prouve une communication entre les deux compartiments du linéament de Jbel Lakraa. La source de Chrafate a le même faciès que Onsar Taourart (N° 071) qui sourd de l'unité d'Achefaha (voir fig. 55). Ce qui semble démontrer l'alimentation des unités de Jbel Lakraa et Jbel Bouslimane par les unités sud de la nappe de Jbel Tissouka (unités de Jbel Talassemrane, Jbel Taloussisse et Jbel Achefaha). Cette zone alimente également la partie nord de l'unité de Jbel Tazoute puisque la source de Ain Azarhar a un faciès différent de celui de la source Aghbalou d'Afriess (N° 58) qui se trouve dans la limite nord-est de la même nappe (voir fig. 54). La différence est marquée par la richesse relative en magnésium et en chlore de cette dernière source.

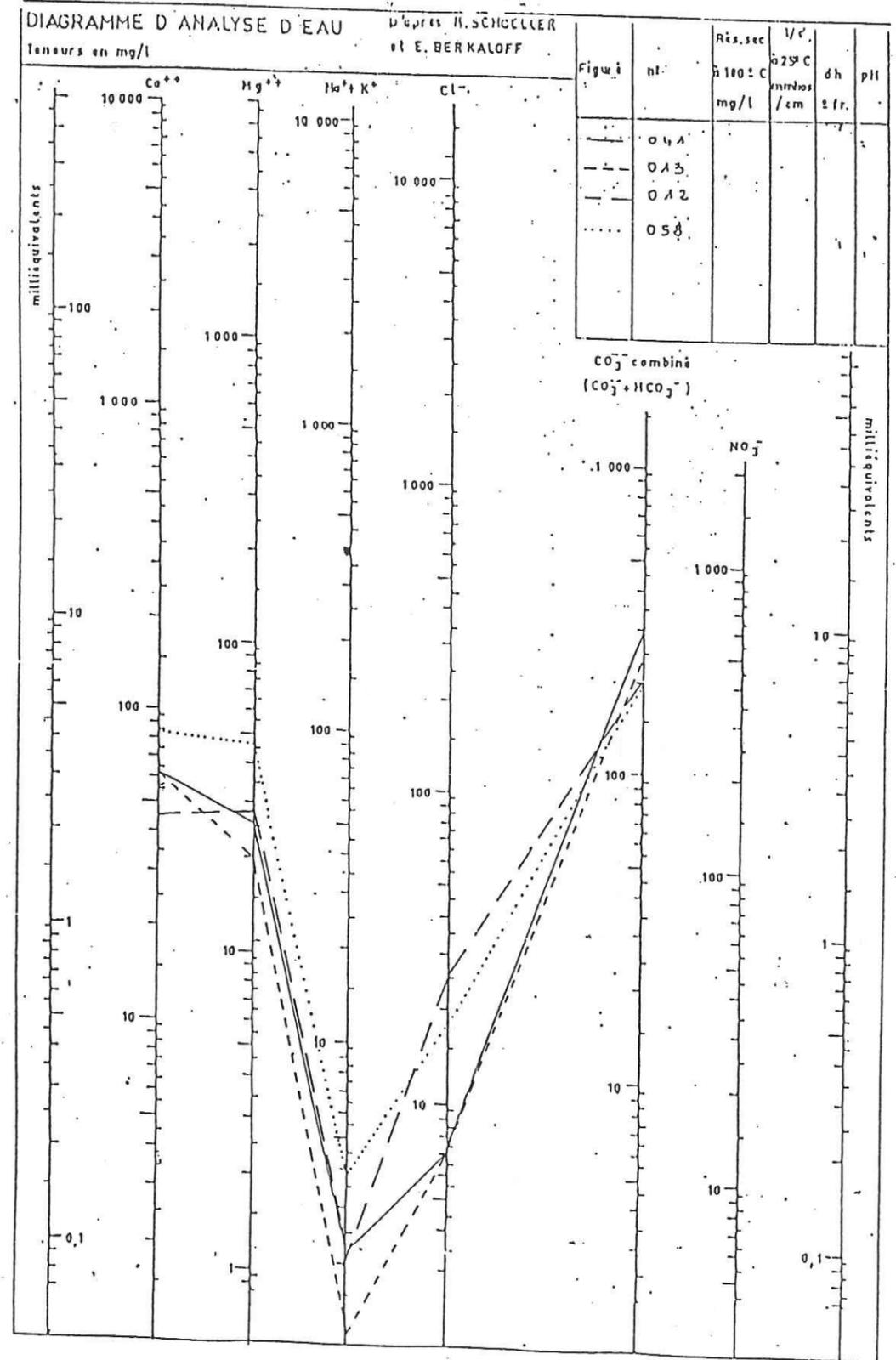
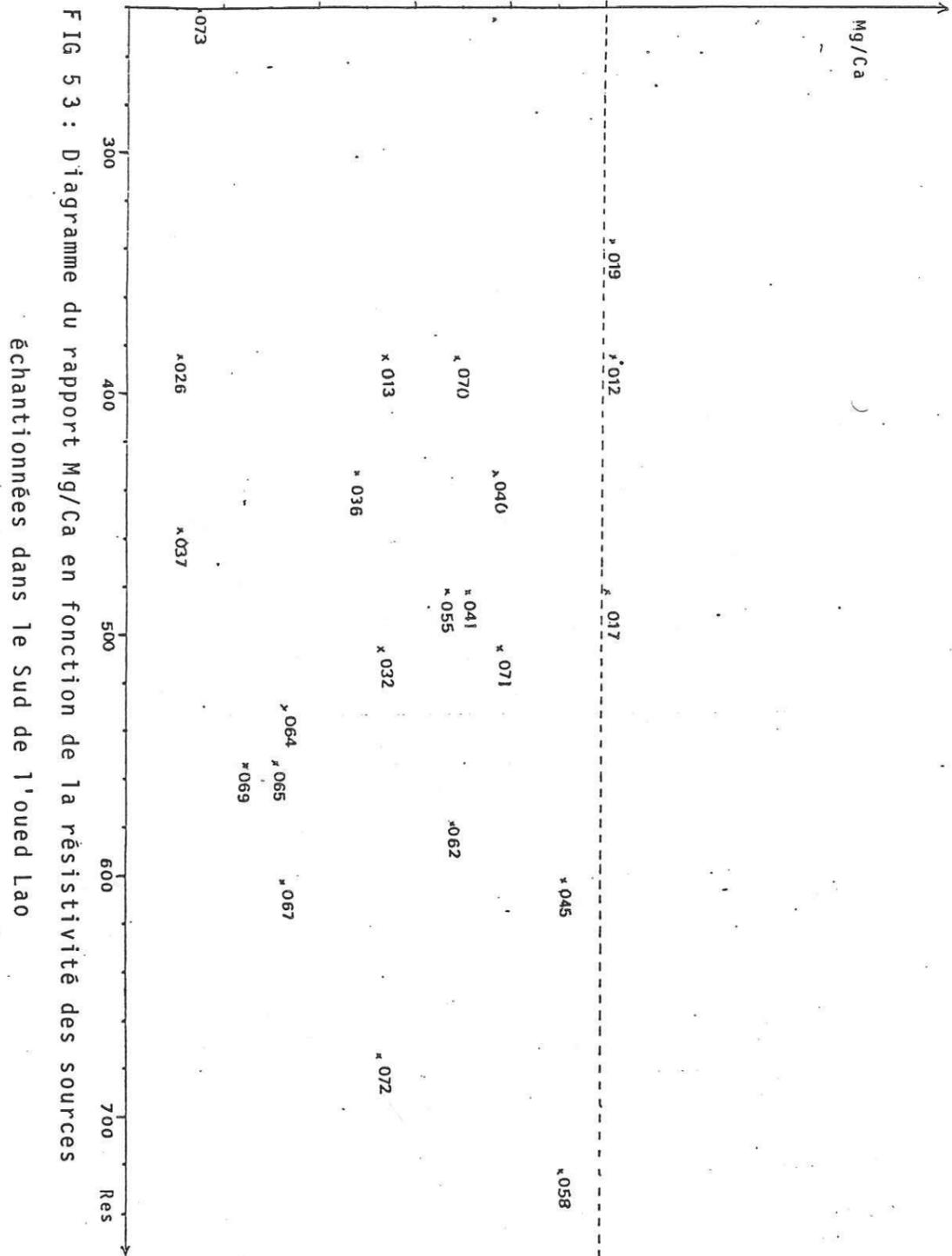


FIG 54: Comparaison hydrochimique des sources de l'unité de jbel Tissouka et celles des unités voisines

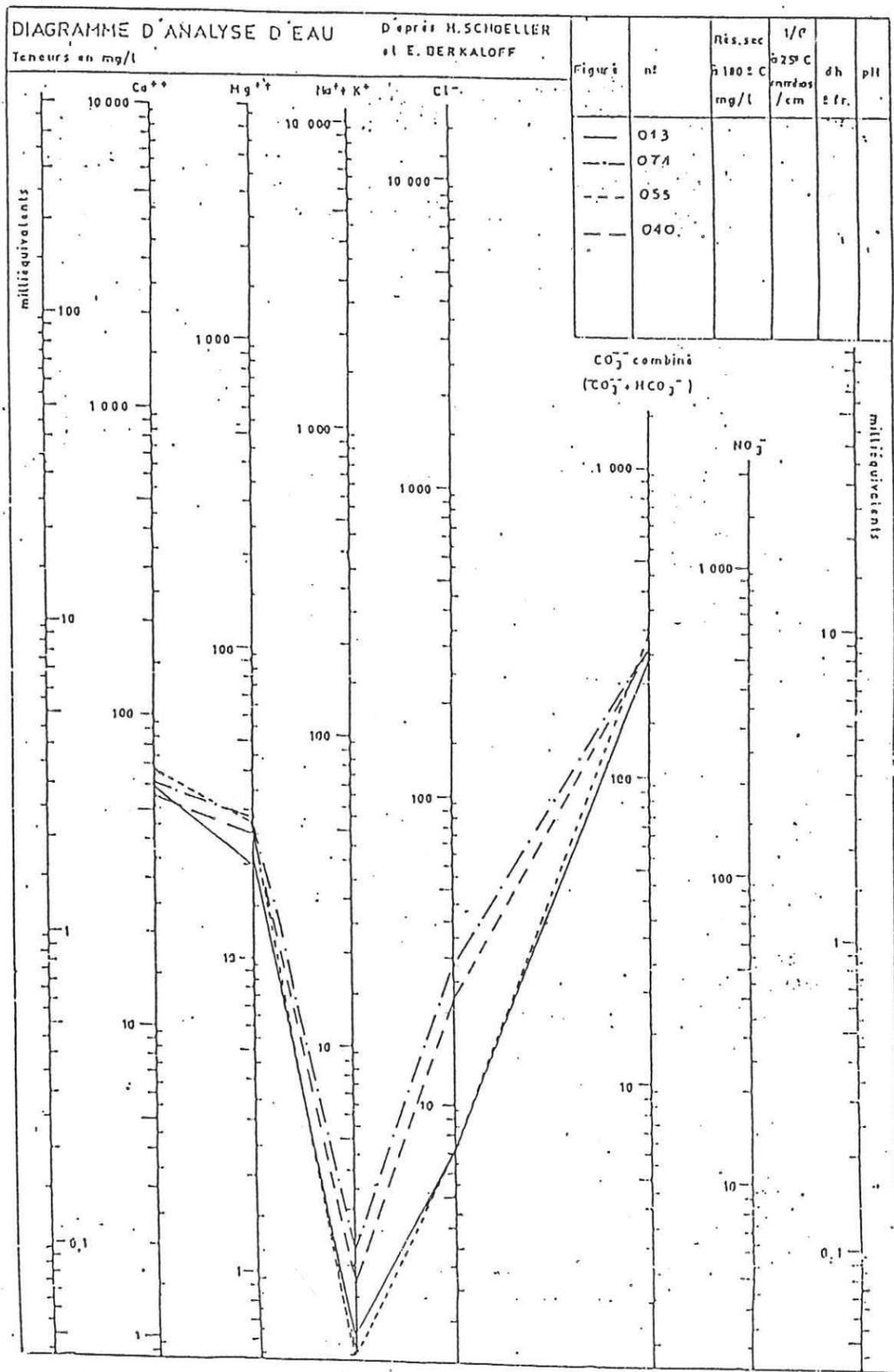


FIG 55: Comparaison hydrochimique des sources des unités Ouest de la nappe de jbel Lakraa et celles des unités Sud de la nappe de jbel Tissouka

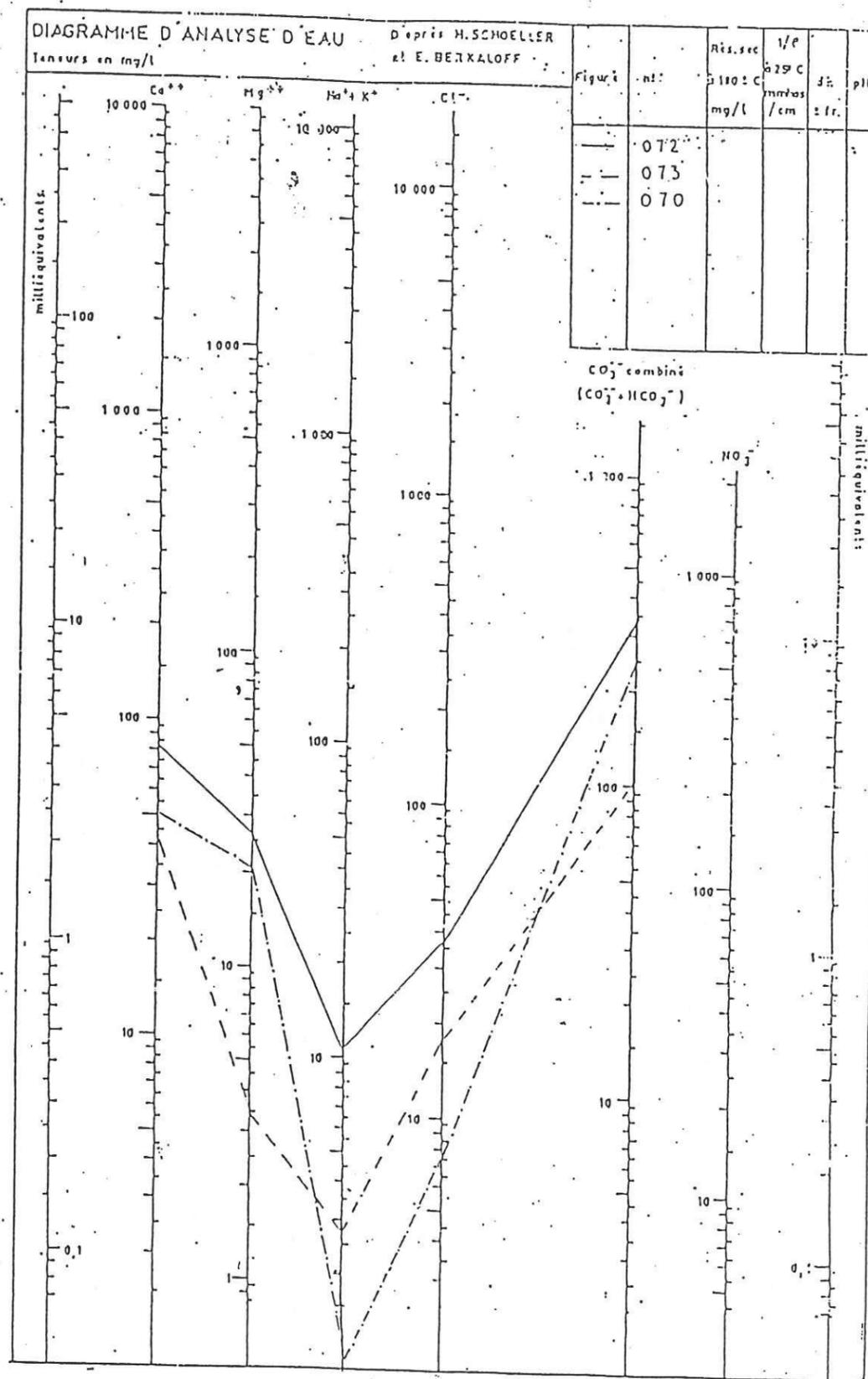


FIG 56: Comparaison hydrochimique des échantillons de l'unité d'Amétrasse avec un échantillon de l'unité d'Achefaha

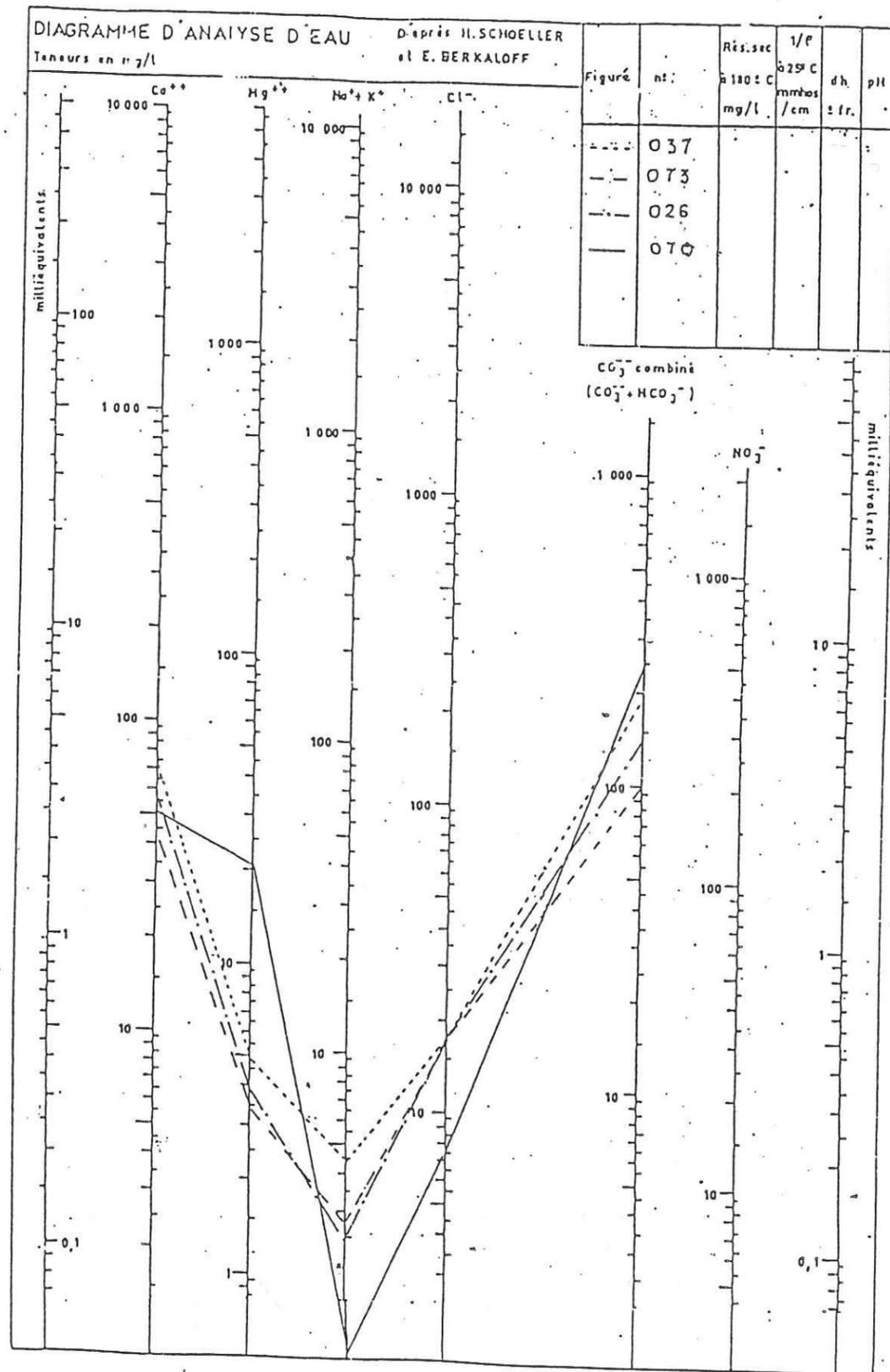


FIG 57: Comparaison hydrochimique de la source n° 073 avec les sources de l'unité de jbel Bou Slimane et avec la 070 issue de l'unité d'Achefaha

L'unité d'Ametrasse joue un rôle dans le transit de l'eau des autres nappes du fait que les sources N° 073 et 072, même voisines, ont un chimisme différent. En effet, la 072, située au Nord de cette unité, a un faciès proche de celui de la source N° 070 qui sourd de l'unité d'Achefaha (voir fig. 56). La source N° 73 qui se trouve plus au Sud, a un faciès proche de celui rencontré dans les unités de la nappe de Jbel Lakraa (voir fig. 57). Ces sources appartiennent à la même classe. La richesse relative en magnésium de la 072 est due à une influence de l'unité de Jbel Achefaha.

#### 10.4 Conclusion

L'étude hydrochimique nous a permis de définir les différentes nappes aquifères de la dorsale, et par comparaison chimique de l'eau des sources échantillonnées de connaître les intercommunications qui existent entre ces nappes.

Au Nord de l'Oued Lao, on a deux types de faciès :

- un faciès bicarbonaté magnésien qui caractérise l'eau des sources issues de la nappe de la Hafa del Ferkenix.
- le second bicarbonaté calcique, caractérise une nappe qui englobe le reste des unités de ce compartiment autres que celles de Bettara et d'Arifane. Pour ces dernières unités, l'abondance de sources à faciès bicarbonaté magnésien dans l'unité d'Arifane la fait intégrer la nappe de la Hafa del Ferkenix et l'abondance de sources à faciès bicarbonaté calcique dans l'unité de Bettara prouve que cette unité joue le rôle de transit de l'eau de la nappe qui englobe dans cette région les unités de Majjou et d'Ifahsa.

Au Sud de l'Oued Lao, on a :

- Un faciès bicarbonaté calcique et magnésien qui caractérise l'unité de Jbel Tissouka
- Un faciès bicarbonaté calcique avec le rapport Mg/Ca relativement réduit qui caractérise l'eau des unités de la nappe de Jbel Lakraa.
- Et un faciès bicarbonaté calcique avec un rapport Mg/Ca relativement plus important qui caractérise les autres nappes.

L'unité d'Ametrasse ayant une analogie stratigraphique avec les unités d'Arifane et de Bettara, est alimentée aussi bien par la nappe de Jbel Lakraa que par la nappe de Jbel Tazoute. Pour les relations entre les nappes, on a constaté la vidange de l'eau des unités sud de la nappe de Jbel Tissouka essentiellement dans les unités ouest de la nappe de Jbel Lakraa, ainsi que dans la nappe de Jbel Tazoute. En outre, on a prouvé l'infiltration de l'eau de la nappe de la Hafa del Ferkenix vers les unités sous-jacentes. Cette infiltration explique la richesse relative en magnésium de l'eau à faciès bicarbonaté calcique des sources du compartiment nord du linéament de l'Oued Lao. De plus, en raison de la rareté des sources dans l'unité d'Ifahsa, on n'a pas pu définir le faciès de cette nappe qui, par analogie avec les régions sud de l'Oued Lao, doit avoir son propre faciès.

## 11. Hydrodynamisme des nappes

Dans cette étude on essaiera de déterminer la réponse de certains aquifères aux précipitations, et d'étudier le tarissement de certains oueds et sources.

### 11.1 Réponse des aquifères aux précipitations

Pour mettre en évidence cette réponse, il serait préférable d'avoir les données journalières des débits des sources et des précipitations. Or, on ne possède pour aucune source des données continues de débits, mais on va essayer de voir si les variations du débit de certains oueds correspondent aux variations locales des précipitations.

Les oueds choisis sont ceux de Kaala et Farda, dont les bassins versants se trouvent totalement en milieu calcaire, et dont le débit mesuré n'est pas influencé comme ceux des autres oueds, par les barrages qui existent à l'amont des stations. Ces oueds se trouvent dans la région sud de l'Oued Lao. Et si l'oued Kaala draine en grande partie de son bassin les surfaces de l'unité de Jbel Tazoute, les formations carbonatées de la nappe de Jbel Lakraa, courent la majeure partie du bassin versant de l'Oued Farda.

Pour ces oueds, on a comparé les variations du débit avec les variations des précipitations journalières de la plus proche station, celle de Talembot, et avec les données enregistrées à une station qui se trouve dans la limite sud de la dorsale, celle de Bab Taza.

Les hydrogrammes ont généralement la même allure pour les deux oueds avec des variations importantes de débit d'un jour à l'autre. Ces variations marquent la rapidité des écoulements de surface.

Les fluctuations du débit dépendent aussi bien des précipitations observées à Talembote, que de celles enregistrées à Bab Taza. En effet : (voir fig. 58 et 59).

- Les crues qui ont commencé le 30/04/63 pour l'Oued Kaala et le 29/04/63 pour l'Oued Farda, sont dues aux précipitations enregistrées à la station de Talembot. En effet la dernière décade d'avril, on a enregistré :

10.5 mm le 28/04

25 mm le 29/04 et 20 mm le 30/04

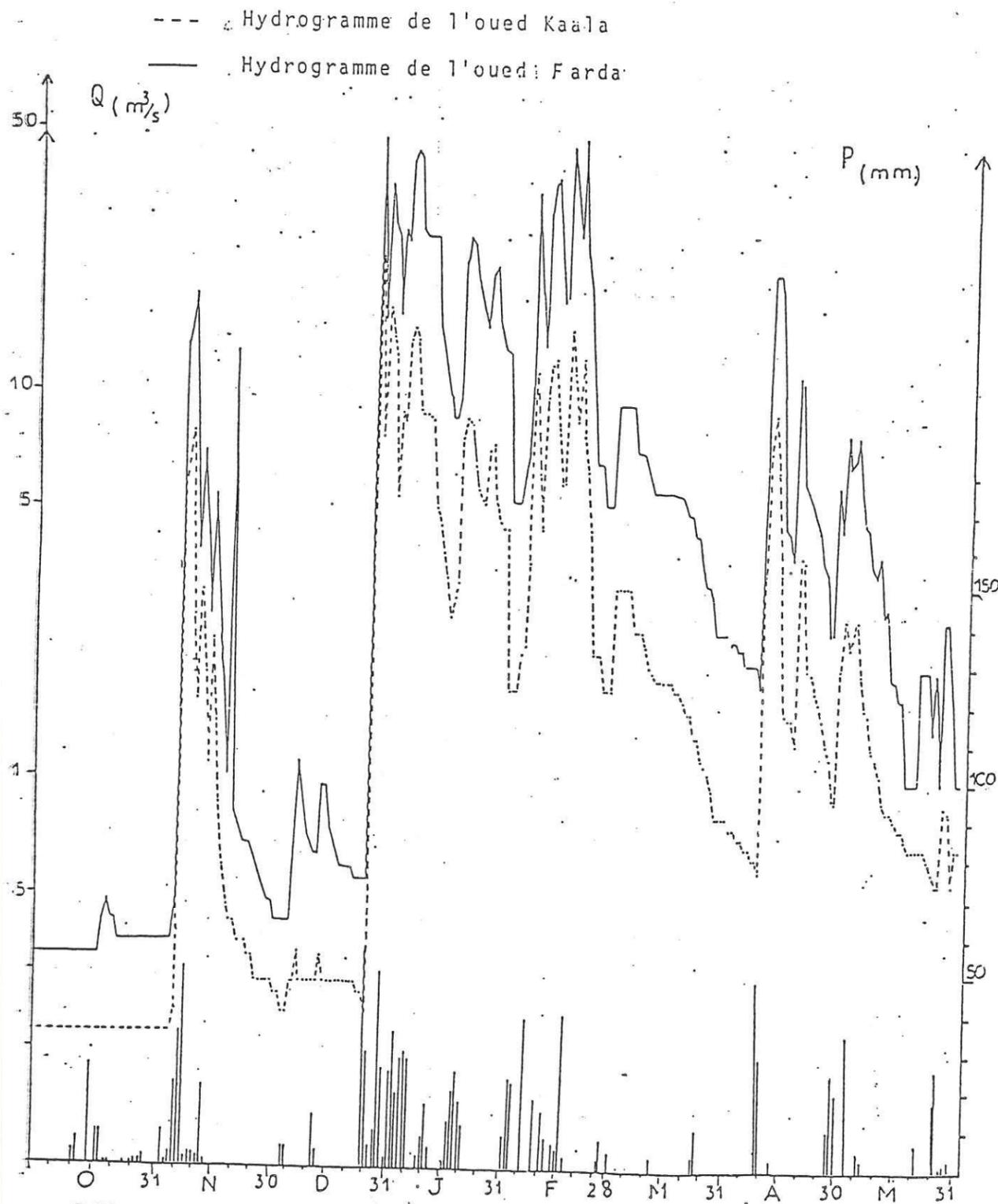


FIG 58: Diagramme des variations des debits des oueds Farda et Kaala et des précipitations à Talembot pour l'année 1962-63

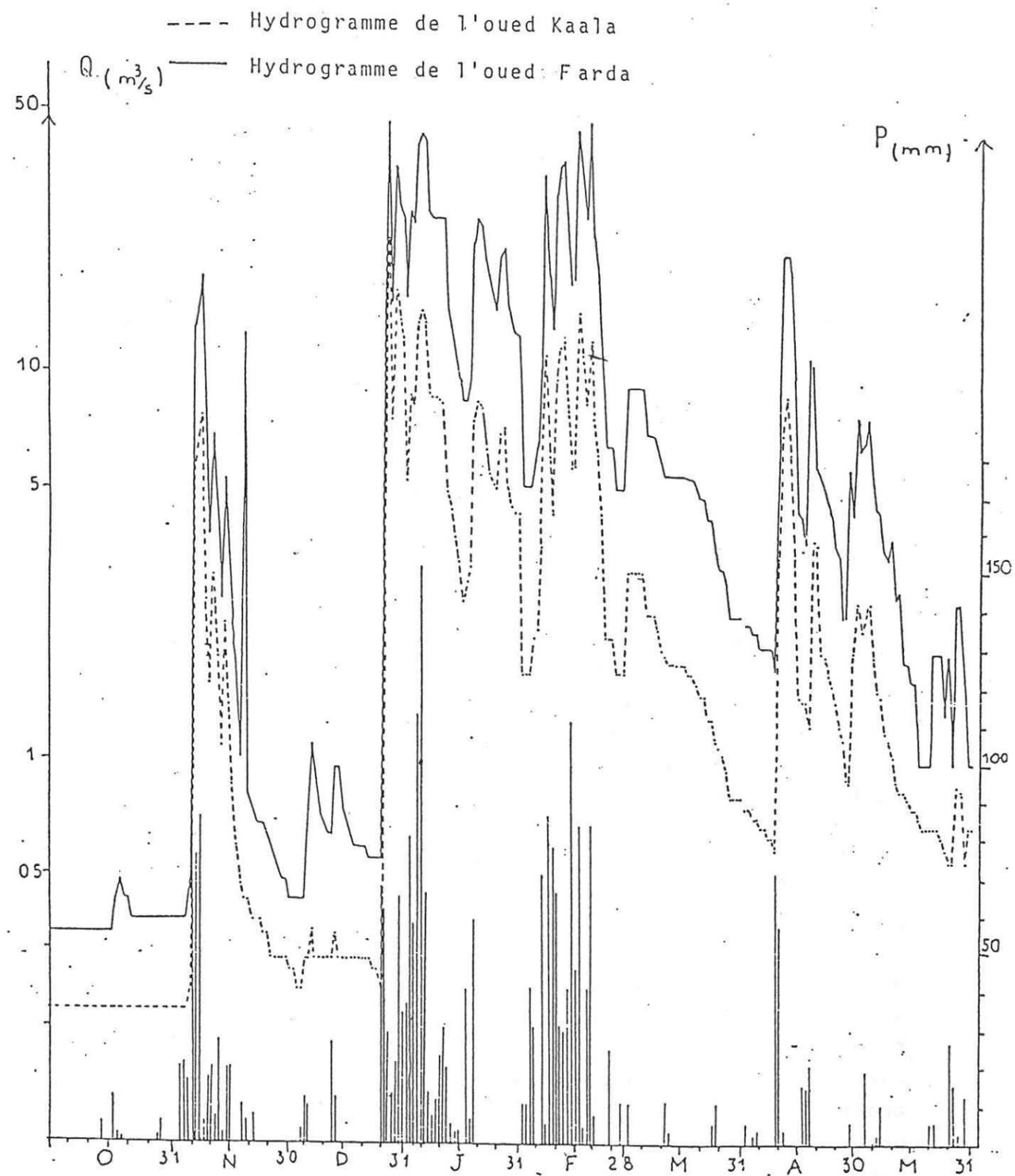


FIG 59: Diagramme des variations des debits des oueds Farda et Kaala et des précipitations à Bab Taza pour l'année 1962-63

alors qu'à la même période on avait enregistré uniquement 5 mm le 29 avril à Bab Taza.

D'autres crues ont été observées à des périodes où il n'y avait pas de précipitations à Talembot. Essentiellement celle du 19 novembre. Pendant ce mois, il y avait une période totalement sèche du 13 novembre au 3 décembre à Talembot. A Bab Taza on a enregistré :

10 mm le 18/11

6 mm le 19/11

Par conséquent, cette crue est due à un apport souterrain qui semble provenir des régions sud. L'Oued Kaala était toujours en décrue.

Il y a eu également une crue de l'Oued Farda le 18/4 et de l'Oued Kaala le 19/4. A Talembot, on n'a pas observé de précipitations du 12 au 28 avril. Par contre, à Bab Taza, on avait :

15 mm le 16/4

14 mm le 17/4

et 20 mm le 20/4

Par conséquent, les eaux infiltrées dans les zones sud de la dorsale s'acheminent vers le Nord. Le temps de parcours est de 24 à 48 heures pour l'Oued Farda (24 heures pour la crue du 18/11 et 48 heures pour celle du 18/4). L'Oued Kaala réagit avec un retard de 24 heures. Ce retard s'observe également pour les réponses aux précipitations locales, alors que le débit de l'Oued Farda augmente le même jour que les précipitations : c'est le cas de la crue du 29/4/63.

Selon l'importance des précipitations, il ne répond ni aux précipitations des zones sud (cas du 19/11), ni aux précipitations locales : en effet alors qu'il y avait une crue de l'Oued Farda le 21 mai, ce jour même, on a enregistré 7 mm à Talembot et l'Oued Kaala était toujours en décrue. La réponse de l'Oued Farda à de faibles précipitations prouve que son bassin est relativement plus humide. Ceci est dû aux apports souterrains. La rapidité de la réponse aux précipitations des régions sud peut être liée à la forte karstification de l'unité de Jbel Lakraa.

## 11.2 Tarissement des aquifères

Le but de l'étude des tarissements de certains oueds ou sources est de savoir quelle est la nappe alimentant les cours d'eau et les émergences, puisque chaque nappe est caractérisée par son coefficient de tarissement. En parallèle, on a essayé de connaître le régime d'écoulement des nappes; pour cela on a tracé trois types de diagrammes de débit en fonction du temps (jours) :

- Le premier en coordonnées arithmétiques
- Le second en coordonnées semi-logarithmiques
- Le dernier en étudiant les variations de la racine carrée du débit moyen journalier.

L'alignement des points de coordonnées (Q,t) dans le premier type montre que le régime est turbulent et le modèle de vidange suit une loi exponentielle de type :

$$Q = Q_0 - Bt$$

Dans le second cas, l'écoulement est laminaire et la vidange suit une loi exponentielle de type :

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (\text{formule de maillet})$$

Pour le dernier cas, le régime est turbulent et le modèle est de type :

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + \alpha t)^2}$$

Puisque les sources ne sont pas jaugées régulièrement, ces trois types de diagrammes seront tracés uniquement pour les oueds Kaala, Farda et Emsa (El Khemis) du fait que leurs débits ne sont pas influencés par l'existence de barrages à l'amont des stations correspondantes. Ce dernier oued a un bassin versant dont la plus grande partie de la surface est constituée de flyshs paléozoïques. Il est alimenté en étiage par les formations calcaires qui constituent les crêtes ouest du bassin. La source El Hamma sourd des calcaires dans la partie haute du bassin.

Si le régime laminaire est prouvé, tant en diagramme arithmétique (voir fig. 60), qu'en diagramme semi-logarithmique (voir fig. 67), pour l'Oued Emsa qui s'assèche en fin d'étiage, le régime des deux autres ne peut être précisé. Pourtant le diagramme arithmétique montre que le

régime tend vers un écoulement turbulent (voir fig. 62). Par ailleurs, le meilleur ajustement est celui du diagramme semi-logarithmique (voir fig. 65). Dans ce cas le modèle de vidange suit une loi exponentielle avec l'existence d'un débit de base ( $q_0$ ) de  $0.30 \text{ m}^3/\text{s}$ , observé du 9 septembre au 5 octobre 1959, pour l'Oued Farda et de  $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$  pour l'Oued Kaala, et qui reste stable du 8 août au 5 octobre de la même année. Le modèle appliqué est de type :

$$Q - q_0 = (Q_0 - q_0) e^{-\alpha t}$$

Calcul des coefficients de tarissement :

- oued Emsa

Le modèle de tarissement est la loi de Maillet. Dans ce cas :

$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{0.4343 * t}$$

Pour l'année 1983-84

$$Q_0 = 1.3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ le } 29/5/84$$

$$Q_t = 0.013 \text{ m}^3/\text{s} \text{ le } 5/8/84$$

$$t = 68 \text{ jours} \implies \alpha = 0.06772$$

- oueds Farda et Kaala

Dans ce cas, le coefficient de tarissement a pour expression:

$$\alpha = \frac{\log(Q_0 - q_0) - \log(Q_t - q_0)}{0.4343 * t}$$

Pour l'année 1959-60 et pour l'Oued Farda :

$$Q_0 = 0.72 \text{ m}^3/\text{s} \text{ le } 12 \text{ juin}$$

$$q_0 = 0.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_t = 0.59 \text{ m}^3/\text{s} \text{ le } 28 \text{ juin}$$

$$\text{et } t = 16 \text{ jours} \implies \alpha = 0.02314$$

Pour l'Oued Kaala

$$Q_0 = 0.51 \text{ m}^3/\text{s} \text{ le } 11 \text{ juin}$$

$$q_0 = 0.19 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_t = 0.3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ le } 30 \text{ juin}$$

$$\text{et } t = 19 \text{ jours} \implies \alpha = 0.0562$$

Pour les réserves drainées et pour la même année, l'Oued Farda draine presque le double du volume reçu par l'Oued Kaala. En effet :

L'expression de ces réserves est la suivante :

$$W = \frac{Q - q_0}{\alpha} + q_0 t$$

Du 11 juin au 5 octobre, les réserves drainées par l'Oued Kaala sont de l'ordre de  $2.400.000 \text{ m}^3$ . Pour l'Oued Farda, du 12 juin au 5 octobre, le volume reçu est estimé à  $4.550.000 \text{ m}^3$ .

La comparaison des coefficients de tarissement des deux oueds montre que la vidange de la nappe alimentant l'Oued Kaala est relativement plus rapide et le débit du flot de base s'enregistre dès le 8 août, alors que l'Oued Farda est encore en étiage et le débit du flot de base ne s'observe qu'un mois plus tard. Ceci prouve que l'aquifère alimentant ce dernier oued est relativement moins perméable. Or, cet oued draine essentiellement les formations de l'unité de Jbel Lakraa qui sont caractérisées par une karstification plus marquée et, par conséquent, par une grande perméabilité. Ceci peut être également prouvé par la rapidité relative de la réponse de cet oued aux précipitations de la région sud de la dorsale. Il semble que l'unité de Jbel Lakraa joue un rôle dans le transit des eaux des autres unités, surtout que la source Aïn Danou (N° 013) qui sourd dans le lit de l'Oued Farda a un faciès comparable à celui de Onsar El Khwa del Haouta Dra (N° 055) qui sourd de l'unité de Jbel Talassemrane et à celui de Onsar Azarhar (N° 041) (voir fig. 54 et 55) qui sourd de l'unité de Jbel Tazoute. Ce faciès caractérise les nappes du compartiment est du linéament de Jbel Lakraa. Les unités de la nappe de Jbel Lakraa sont caractérisées par un rapport Mg/Ca relativement faible.

Il semble qu'il y a vidange de la nappe de Jbel Talassemrane dans l'unité de Jbel Lakraa, et la pérennité de l'Oued Farda est due à cette vidange. L'analogie chimique de la source d'Azarhar avec les deux autres laisse penser à l'alimentation de cet oued par la nappe de l'unité de Jbel Tazoute. Mais la position structurale de l'unité de Jbel Talassemrane qui occupe un niveau relativement supérieur montre une alimentation de l'unité de Jbel Tazoute par cette unité, d'autant plus que les hydrogrammes de l'Oued Farda et Kaala,

en période pluvieuse, ont la même allure (voir fig. 58). Ce qui confirme l'alimentation des nappes de Jbel Lakraa et Jbel Tazoute par l'unité de Jbel Talassemtane.

On essaiera également d'étudier le tarissement d'autres sources ou oueds en essayant d'ajuster les données existantes qui sont rares, et ceci dans le but de vérifier certaines hypothèses et de voir la nature des aquifères au Nord de l'Oued Lao.

- zone sud de l'Oued Lao

Dans cette zone on a constaté :

\* L'analogie chimique de l'eau de Chrafate et celle de Onsar Taourart qui sourd de l'unité d'Achefaha (nappe de l'unité de Jbel Bou Slimane, on a émis l'hypothèse de l'alimentation de cette source par les unités sud de la nappe de Jbel Tissouka. Pour la vérification, on va étudier le tarissement de cette source et le comparer avec le tarissement des autres exutoires, et surtout avec celui de la source de Ras El Ma qui sourd de l'unité de Jbel Tissouka.

\* L'existence dans la limite nord de l'unité de Jbel Tissouka, ainsi que dans le lit de l'Oued Talembote de sources de même chimisme que Ras El Ma. Ceci semble prouver le déversement de cette nappe et sa vidange partielle dans la vallée de l'Oued Talembote. Pour confirmer cette hypothèse on étudiera le tarissement de cet apport entre le point de rencontre des deux affluents Kaala et Farda et la station de Talembote.

\* L'importance des affluents du versant sud de l'Oued Lao et la non pérennité des affluents drainant les calcaires du versant nord à l'amont de la station de Koudiet Kourirene. Il existe un apport important en période d'étiage entre Ali Tlet et Koudiet Kourirene outre les apports de l'Oued Talembote.

Pour la vérification de cette hypothèse, on va analyser le tarissement de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene, qu'on va comparer au tarissement des Oueds Kaala et Farda, ainsi qu'à celui de l'Oued El Had, puisqu'on possède quelques données. Pour le tarissement de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene, on ajustera les minimas de l'hydrogramme pour tenir compte des

lachers des barrages.

En coordonnées semi-logarithmiques, les courbes de tarissement de Chrafate, Ras El Ma, et des apports souterrains dans la partie basse de la vallée de l'Oued Talembote ont la même allure (voir fig. 66). Pour le débit du flot de base, il est clair qu'il existe à la fin du tarissement des apports de l'Oued Talembote; la rareté des données et la longue périodicité de mesure ne permettent pas d'affirmer leur existence pour les sources de Chrafate et Ras El Ma, ce qui pose un problème dans le calcul des coefficients de tarissement. Un essai de calcul de la pente de la droite de tarissement de Chrafate a abouti à un coefficient de 0.0175 qui est proche de celui de l'Oued Farda.

Pour le tarissement de l'année 83-84 :

$$\text{le } 13/6 \quad Q_1 = 149 \text{ l/s}$$

$$8/8 \quad Q_2 = 55 \text{ l/s} \implies = 0.0175$$

$$T = 57 \text{ jours}$$

Ce coefficient confirme le drainage des unités sud de la nappe de Jbel Tissouka dans les unités ouest de la nappe de Jbel Lakraa. Quant aux apports de l'Oued Talembote, il semble qu'ils proviennent de l'unité de Jbel Tissouka et peut-être partiellement du drainage des unités de Jbel Lakraa qui reçoit à son tour un apport de la nappe qui englobe l'unité de Jbel Talassemtane et probablement celle de Jbel Taloussisse.

Pour les apports souterrains qui existent entre Ali Tlet et Koudiet Kourirene, l'analogie des courbes de tarissement de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene, de l'Oued Kaala et de l'Oued El Had (voir fig. 65) montre que ces apports proviennent de la nappe de Jbel Tazoute. En effet, à Koudiet Kourirene on a un coefficient de tarissement proche de celui de l'Oued Kaala:

$$Q_0 = 6.1 \quad \text{le } 21/6$$

$$q_0 = 2.3 \quad \text{le } 30/7$$

Pour  $Q_t = 3.1$  débit observé le 18/7, on a :

$$\alpha = \frac{\log(Q_0 - q_0) - \log(Q_t - q_0)}{0.4343 * t}$$

$$\text{Pour } t = 38 \text{ jours} \quad \alpha = 0.0577$$

- zone nord de l'Oued Lao

Dans cette région, seules les sources Torreta (N° 5), Yarguit (N° 9) et Zerka (N° 10) sont jaugées. Pour les oueds, contrairement aux régions sud de l'Oued Lao, il n'y a pas d'oueds à bassin-versants calcaires. On va étudier le tarissement de l'Oued El Kehmis (Emsa) qui est alimenté en étiage par les calcaires situés dans les crêtes ouest du bassin dont le reste est formé par les formations paléozoïques.

Pour les sources, on va étudier le tarissement de la source de Torreta et celui de Zerka. La source Yarguit se trouve à côté de cette dernière et toutes deux sourdent des formations de l'unité de la Hafa del Ferkenix. Quant à Torreta, elle sourd de l'unité de la Hafa en Nator qui est recouverte dans cette région par une klippe de la dernière unité. On possède le maximum de données pour l'année 83-84, et le résultat est le suivant :

- source Torreta

Les données utilisées sont (voir fig. 67) :

Date	Q (l/s)	
1/6/84	137	
7/6/84	82	
15/6/84	64	
21/6/84	32	
6/7/84	18	
27/7/84	13	
3/8/84	11	débit estimé
16/8/84	9	"
24/8/84	7	"
29/8/84	7	"
3/10/84	7	"

On constate la constance des trois dernières données et puisque cette valeur est estimée, on ne peut la prendre comme débit du flot de base et le tarissement de cette source suit un modèle de type :

$$Q_t = Q_{01} e^{-\alpha_1 t} + Q_{02} e^{-\alpha_2 t}$$

Par conséquent on a deux coefficients de tarissement :

- le premier correspond à la première droite
- le second à la dernière période de tarissement

Calcul du coefficient de tarissement :

Pour  $\alpha_1$  :

$$Q_{01} = 82 \text{ l/s le } 7/6/84$$

$$Q_t = 32 \text{ l/s le } 21/6/84$$

$$t = 14 \text{ jours} \implies \alpha_1 = 0.0672$$

Pour  $\alpha_2$  :

$$Q_{02} = 22 \text{ l/s le } 26/6/84$$

$$Q_t = 7 \text{ l/s le } 24/8/84$$

$$t = 19 \text{ jours} \implies \alpha_2 = 0.0194$$

- Source Zerka

Données

Date	Débit (l/s)
10/5/84	254
6/6/84	346
21/6/84	192
6/7/84	156
2/7/84	122
15/8/84	75
28/8/84	97
28/8/84	97
17/9/84	93

Le coefficient de tarissement calculé est :

$$Q_0 = 192 \text{ l/s le } 21 \text{ juin } 84$$

Si on prend le débit observé le 15/8 qui est de 75 l/s on a  $t = 55$  jours et  $\alpha = 0.017$

Il est à remarquer que si le tarissement de la source Zerka et celui de l'Oued Emsa suivent un modèle linéaire, le tarissement de la source Torreta est particulier et peut être décomposé en deux droites :

- La première de forte pente,
- La seconde a une pente relativement réduite.

Pour l'interprétation, on a deux hypothèses :

- La première, qui suppose l'existence de chenaux et de fractures largement ouvertes où l'écoulement est rapide

et prédomine au début du tarissement. Après cette vidange l'effet de fractures de faible diamètres se fait sentir et correspond à la deuxième partie de la courbe avec une vidange plus lente et par conséquent un coefficient de tarissement plus faible.

- La seconde hypothèse est basée sur la comparaison des divers coefficients calculés. Pour la source Zerka et l'Oued El Khemis, on a une seule droite, mais si l'Oued El Kehmis (Emsa) est alimenté par une nappe de forte perméabilité, la source Zerka sourd d'une nappe à fort pouvoir de rétention. L'effet de chenaux et de diaclases ne se manifeste ni pour le premier, ni pour le second exutoire.

Le début du tarissement de la source de Torreta a un coefficient égal à celui de l'Oued Emsa et, en fin d'étiage, on a un coefficient de tarissement voisin de celui calculé pour la source Zerka. La source de Torreta sourd de l'unité de la Hafa en Nator qui supporte une klippe de l'unité de la Hafa del Ferkenix. L'Oued Emsa est alimenté en étiage par l'unité de Majjou qui est également surmontée par l'unité de la Hafa del Ferkenix. Cette dernière alimente la source Zerka.

Si la fin du tarissement de la source Torreta est maintenue grâce à la nappe de la Hafa del Ferkenix, c'est qu'en début d'étiage cette nappe participe à l'alimentation de cette source avec prédominance des apports de l'unité de la Hafa en Nator. Puisque le coefficient de tarissement en début d'étiage de cette source est le même que celui de l'Oued Emsa, c'est que ces exutoires sont alimentés par la même nappe et l'eau drainée provient de l'unité de la Hafa en Nator qui reçoit des infiltrations de l'unité de la Hafa del Ferkenix pour la source de Torreta ou de l'unité de Majjou qui reçoit également une alimentation partielle de l'unité susjacentes pour l'Oued El Khemis.

## CONCLUSION

L'étude hydrodynamique a mis en évidence :

1 - La zone d'alimentation des régions sud de l'Oued Lao et en fonction du temps de réponse aux précipitations de la zone sud de la dorsale, le degré de karstification des nappes, et par conséquent leur perméabilité. En effet, la réponse des oueds Farda et Kaala aux précipitations enregistrées à Bab Taza prouve que leurs bassins hydrogéologiques sont très importants. D'autre part, et pour la période de hautes-eaux, les hydrogrammes des deux oueds ont la même allure, ce qui semble démontrer qu'ils ont la même zone d'alimentation.

2 - Le retard de réponse, tant aux précipitations des régions sud que locales, de l'Oued Kaala qui draine essentiellement l'unité de Jbel Tazoute par rapport à l'Oued Farda qui constitue un important drain de l'unité de Jbel Lakraa. Ceci est dû à la karstification relativement plus marquée de cette dernière unité et à l'importance des apports souterrains qui sont responsables de l'humidité du terrain pour la réponse aux précipitations locales. En effet, pour l'année 1959-60, si le débit du flot de base est de  $0.19 \text{ m}^3/\text{s}$  pour l'Oued Kaala, il est de  $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$  pour l'Oued Farda.

3 - L'étiage de l'Oued Farda et celui de la source de Chrafate sont dus à l'alimentation des nappes correspondantes par les unités sud de la nappe de Jbel Tissouka. En effet, la lente vidange observée pour l'Oued Farda qui draine la nappe de Jbel Lakraa et de la source Chrafate qui sourd de l'unité de Jbel Bouslimane, a permis de savoir que leur étiage est dû à une alimentation par d'autres nappes surtout que les unités ouest de la nappe de Jbel Lakraa sont le siège de plusieurs gouffres, lapiaz et grottes. En outre, l'étude chimique a montré que les sources Dannou et Chrafate ont un faciès particulier par rapport à celui observé dans les sources des unités de la nappe de Jbel Lakraa et analogue à celui des sources des unités sud de la nappe de Jbel Tissouka. Ce qui confirme la vidange de ces unités dans les unités de Jbel Lakraa et Jbel Bousimane, surtout que les

courbes de tarissement de l'Oued Farda et des sources Chrafate et Ras El Ma ont la même allure.

4 - De déterminer les provenances de certains apports, surtout pour l'Oued Talembote et l'Oued Lao. Pour l'Oued Talembote, on a essentiellement trois apports :

- Le premier, le long de l'Oued Kaala, qui provient de l'unité de Jbel Tazoute.
- Le second le long de l'Oued Farda, qui provient des unités de Jbel Lakraa et des unités sud de la nappe de Jbel Tissouka.
- Le dernier à l'aval de ces affluents, qui peut être partiellement ou totalement issu de l'unité de Jbel Tissouka. En effet, le tarissement de cet apport est analogue à celui de Ras El Ma et à celui de Chrafate qui a un coefficient voisin de celui calculé pour l'Oued Farda. Par conséquent cet apport ne peut être précisément défini.

Pour l'apport de l'Oued Lao, il provient essentiellement de l'unité de Jbel Tazoute.

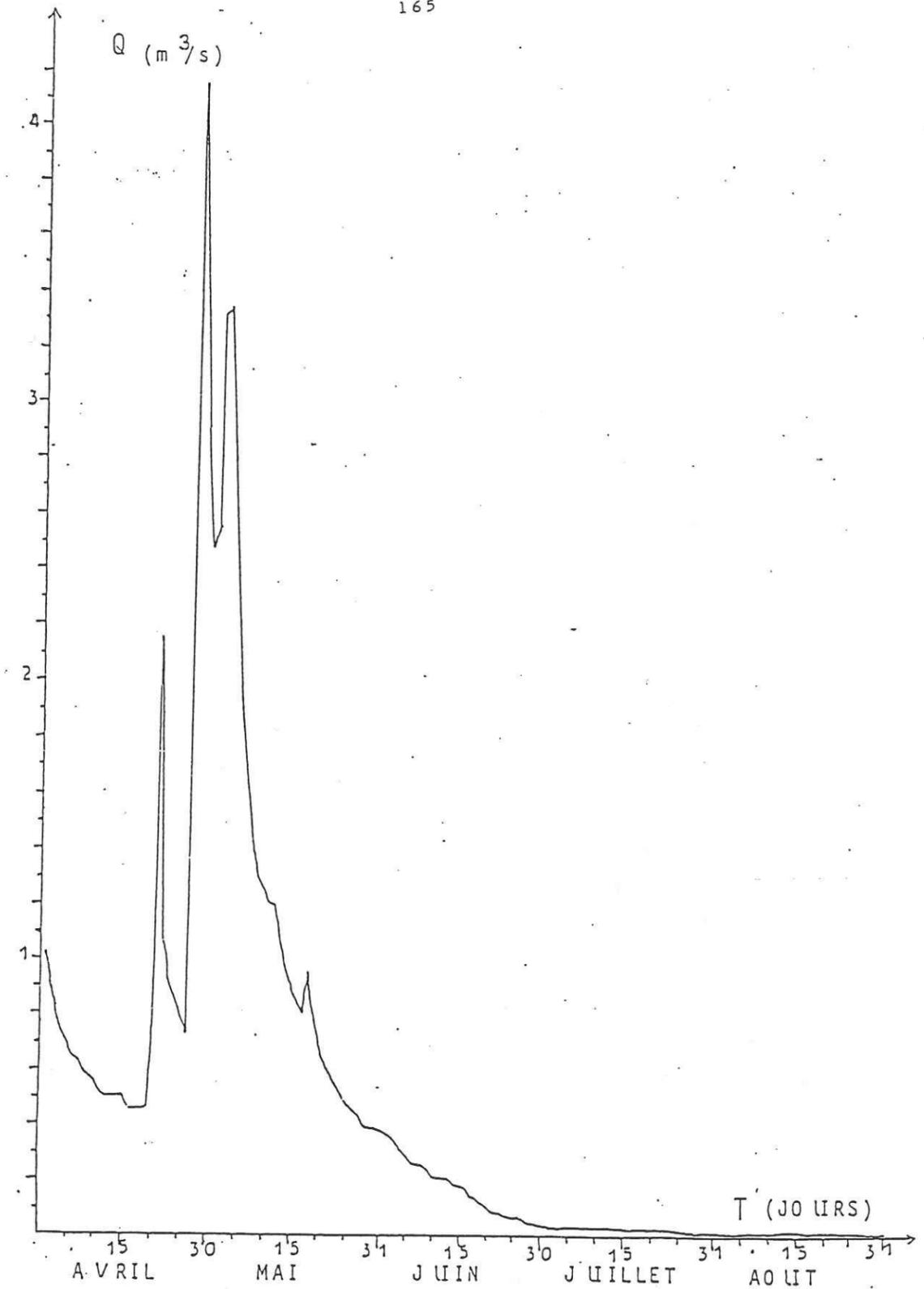


FIG 60 : Tarissement de l'oued Emsa pour l'année 1974-1975

$$Q=f(t)$$

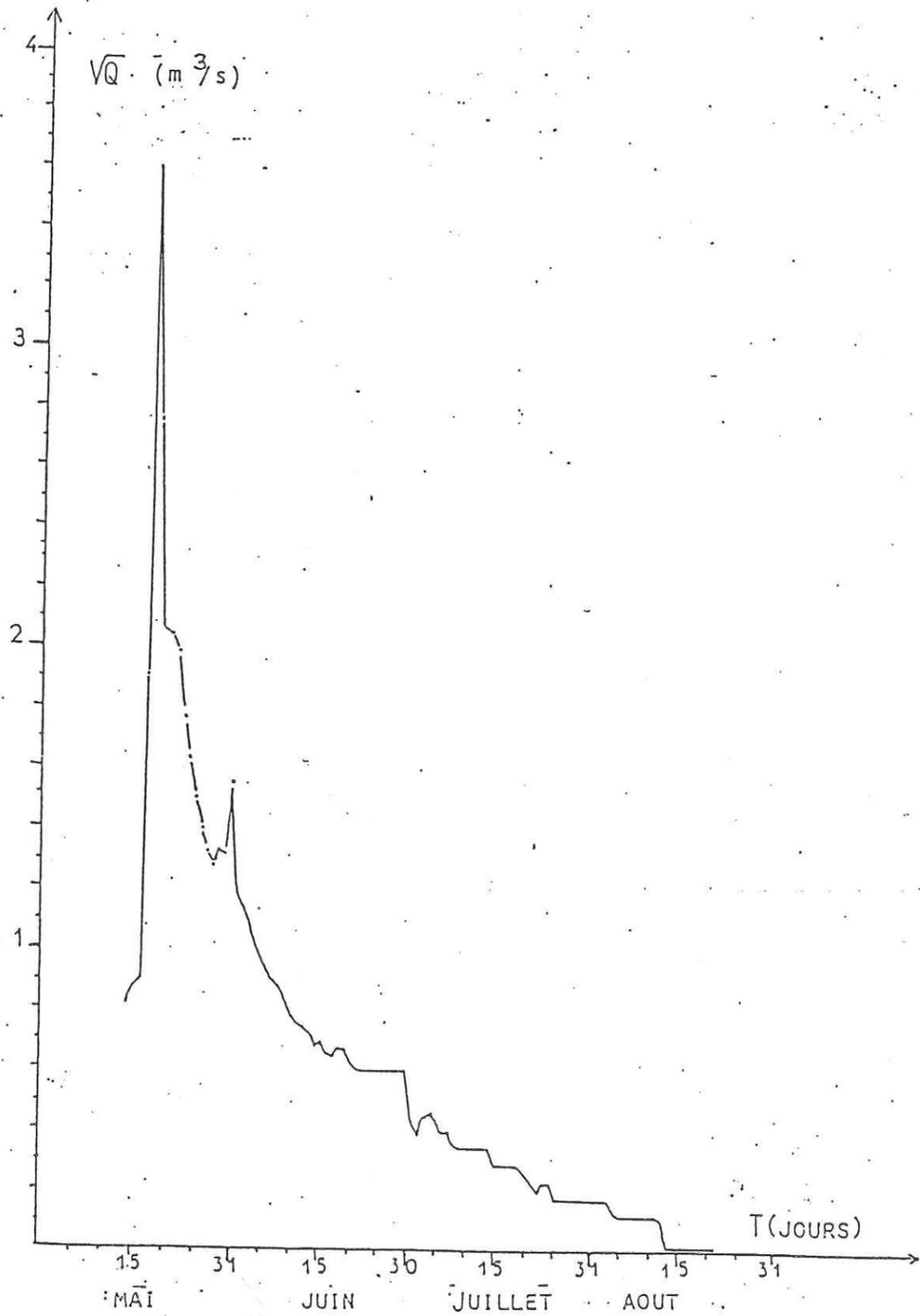


FIG 61: Tarissement de l'oued Emsa pour l'année 1983-1984

$\sqrt{Q}=f(t)$

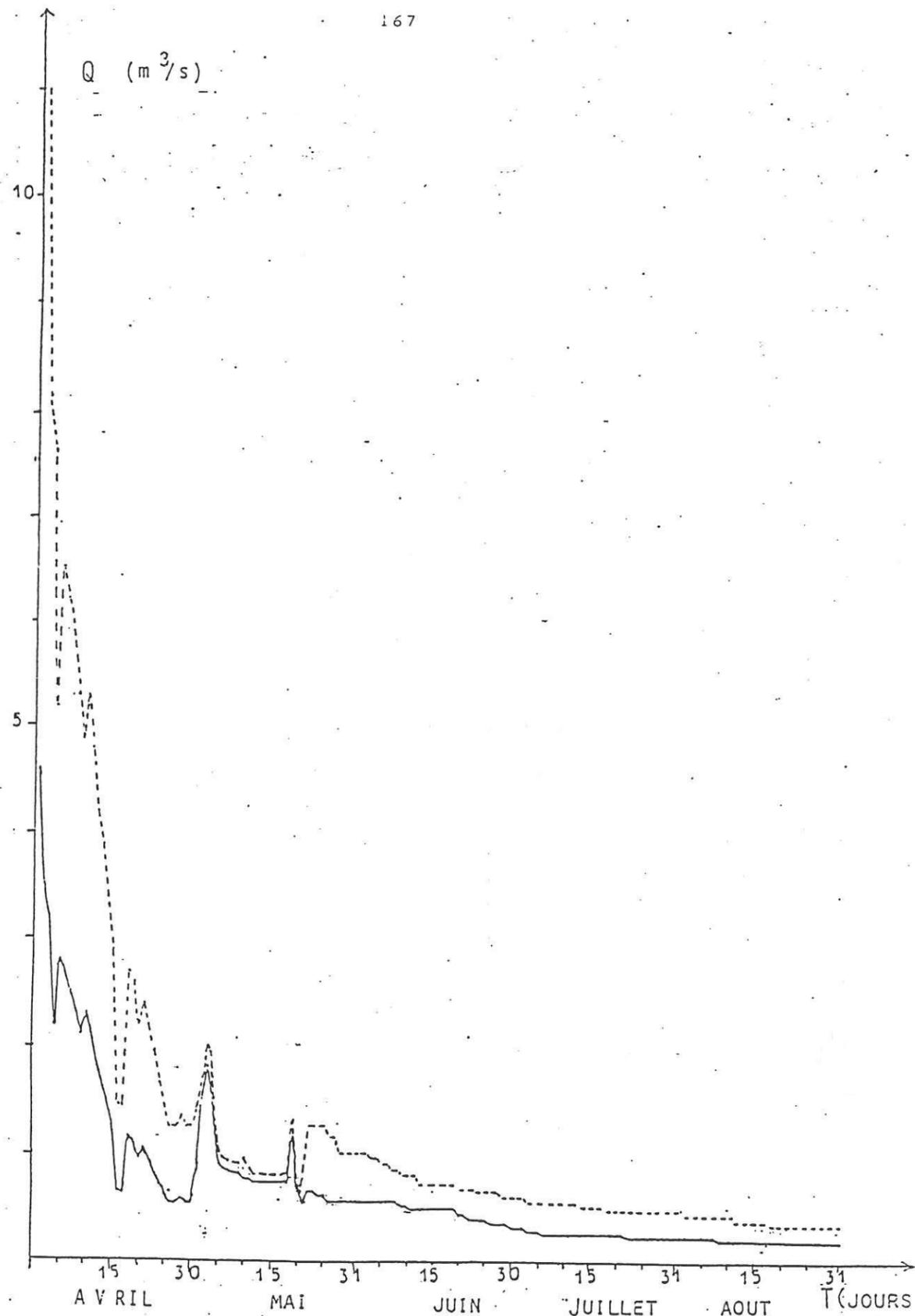


FIG 62 :

----- Tarissement de l'oued Farda pour l'année 1959-1960  $Q=f(t)$

———— Tarissement de l'oued Kaala pour l'année 1959-1960  $Q=f(t)$

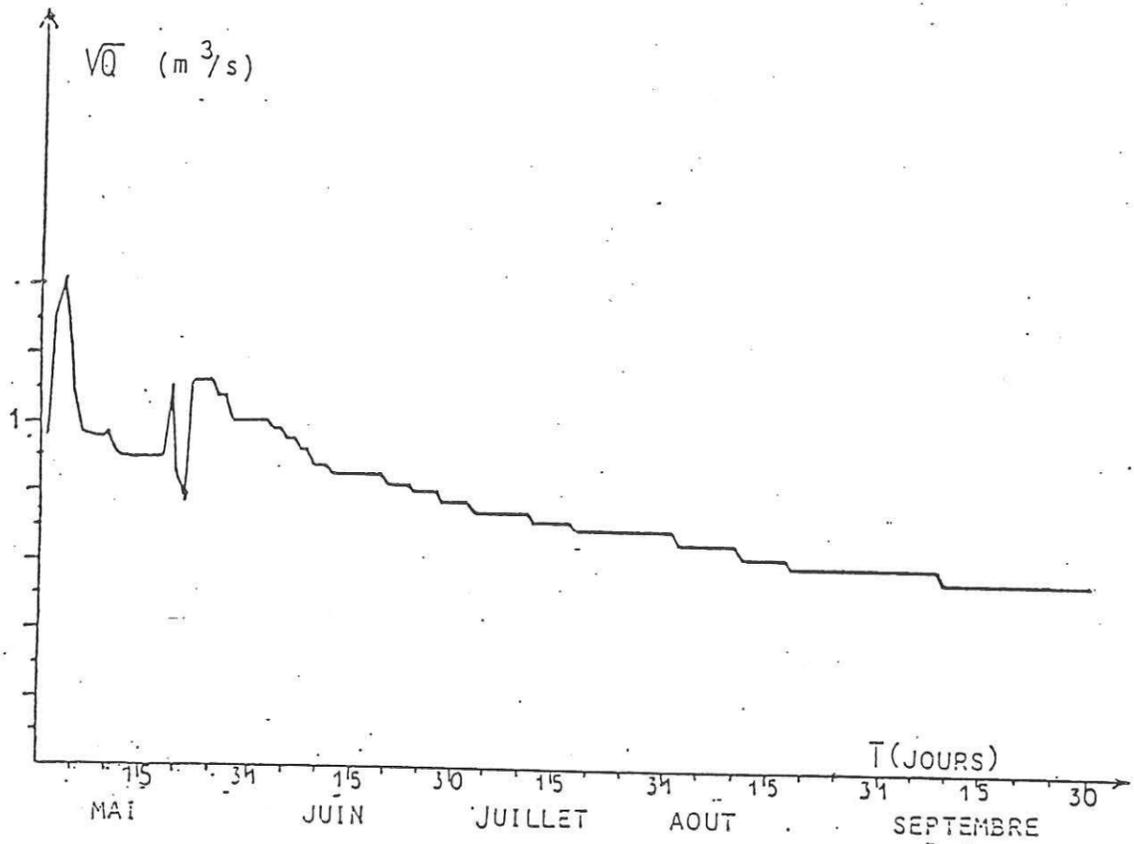


FIG 63: Tarissement de l'oued Farda pour l'année 1959-1960

$VQ=f(t)$

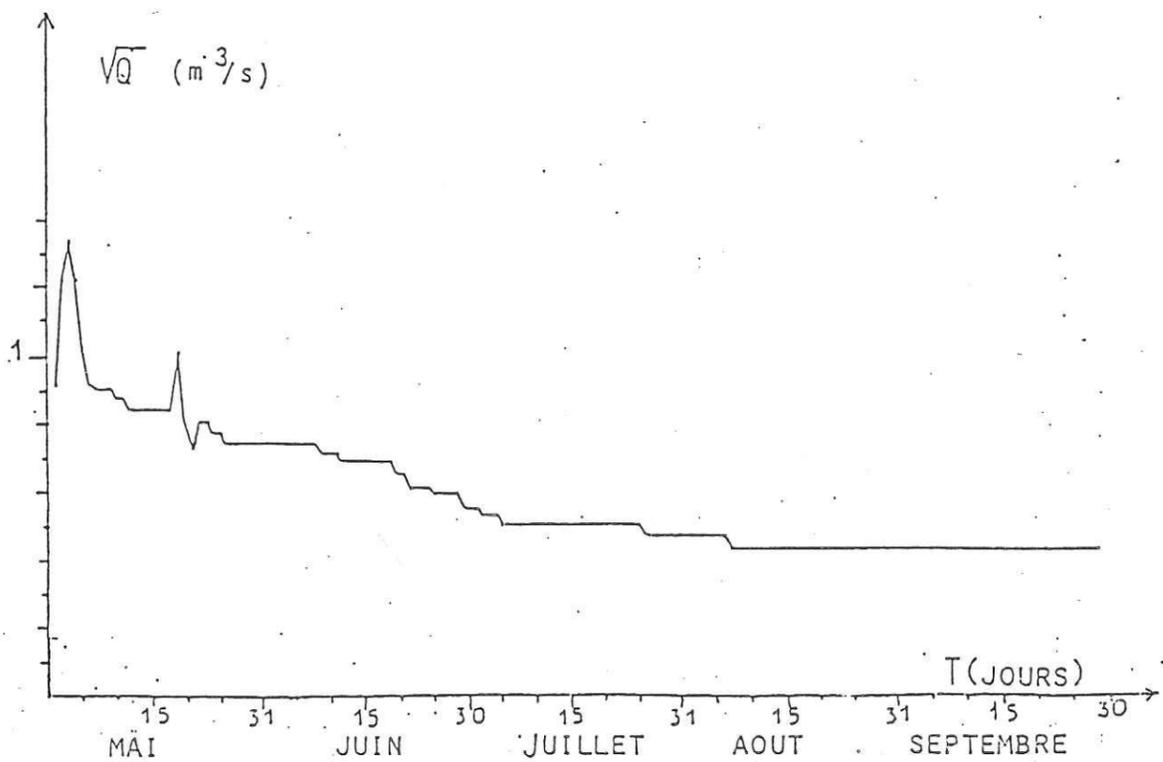


FIG 64: Tarissement de l'oued Kaala pour l'année 1959-1960.

$VQ=f(t)$

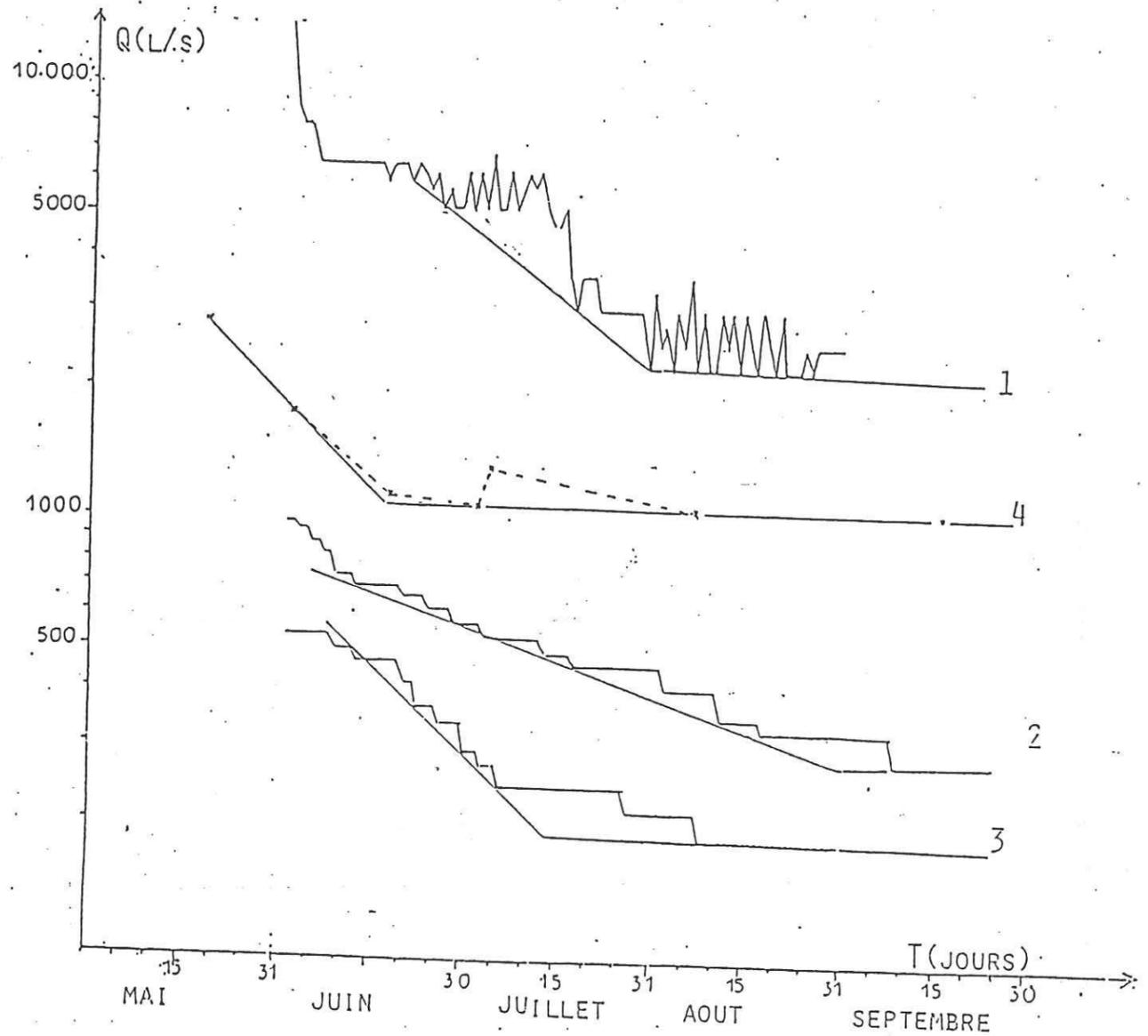


FIG 65:

- 1 : Tarissement de l'oued Lao à Koudiet Kourirene pour l'année (59-60)
- 2 : Tarissement de l'oued Farda pour l'année 1959-1960
- 3 : Tarissement de l'oued Kaala pour l'année 1959-1960
- 4 : Tarissement de l'oued El Had pour l'année 1980-1981

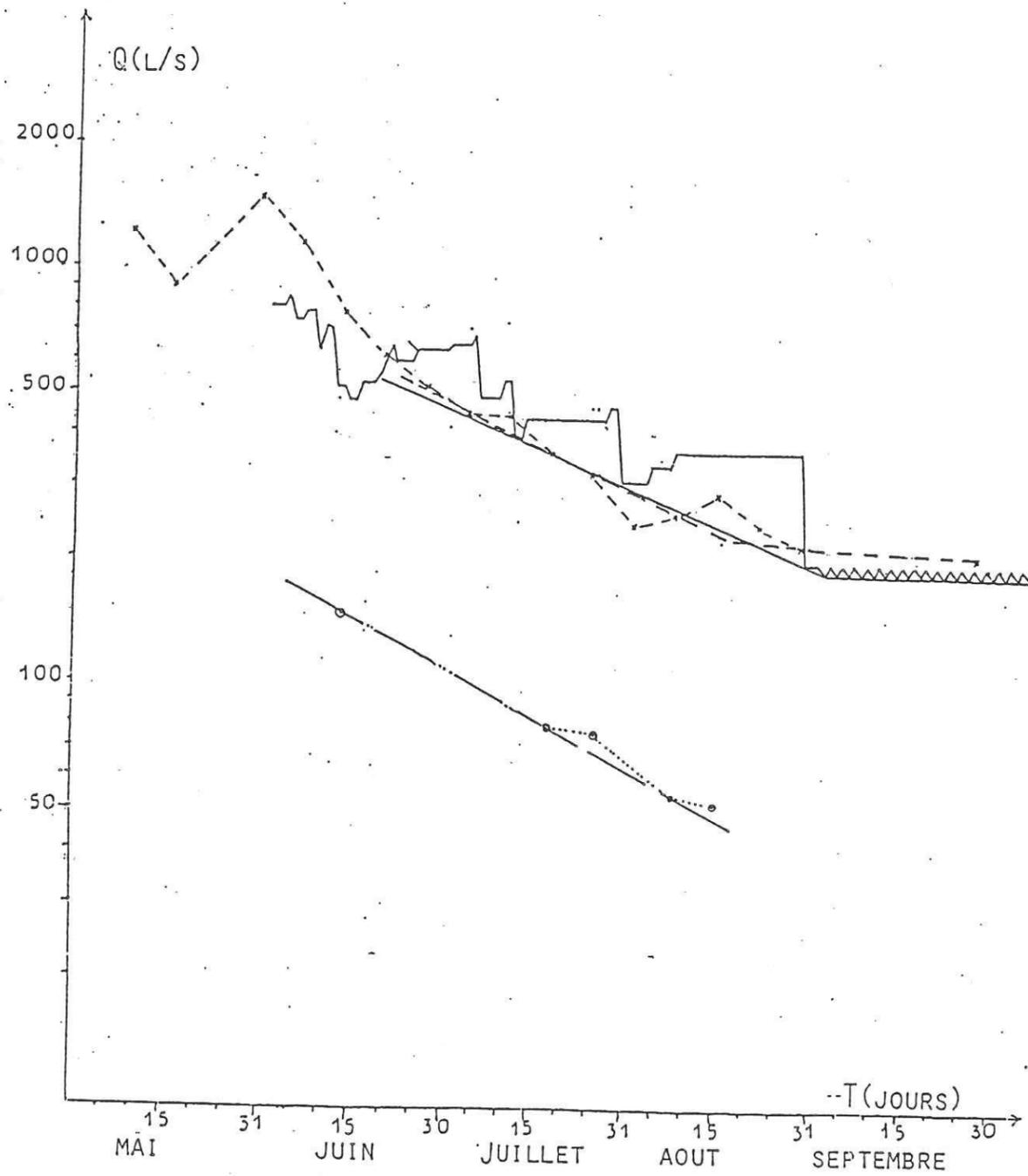


FIG 66 :

- Tàrissement des apports souterrains de l'oued Talembot entre sa station de jaugeage et le point de rencontre de ses affluents ( Farda et Kaala) pour l'annèe 1961-1962
- - - Tàrissement de la source Ras El Ma pour l'annèe 1983-1984
- · · Tàrissement de la source Chrafate pour l'annèe 1983-1984

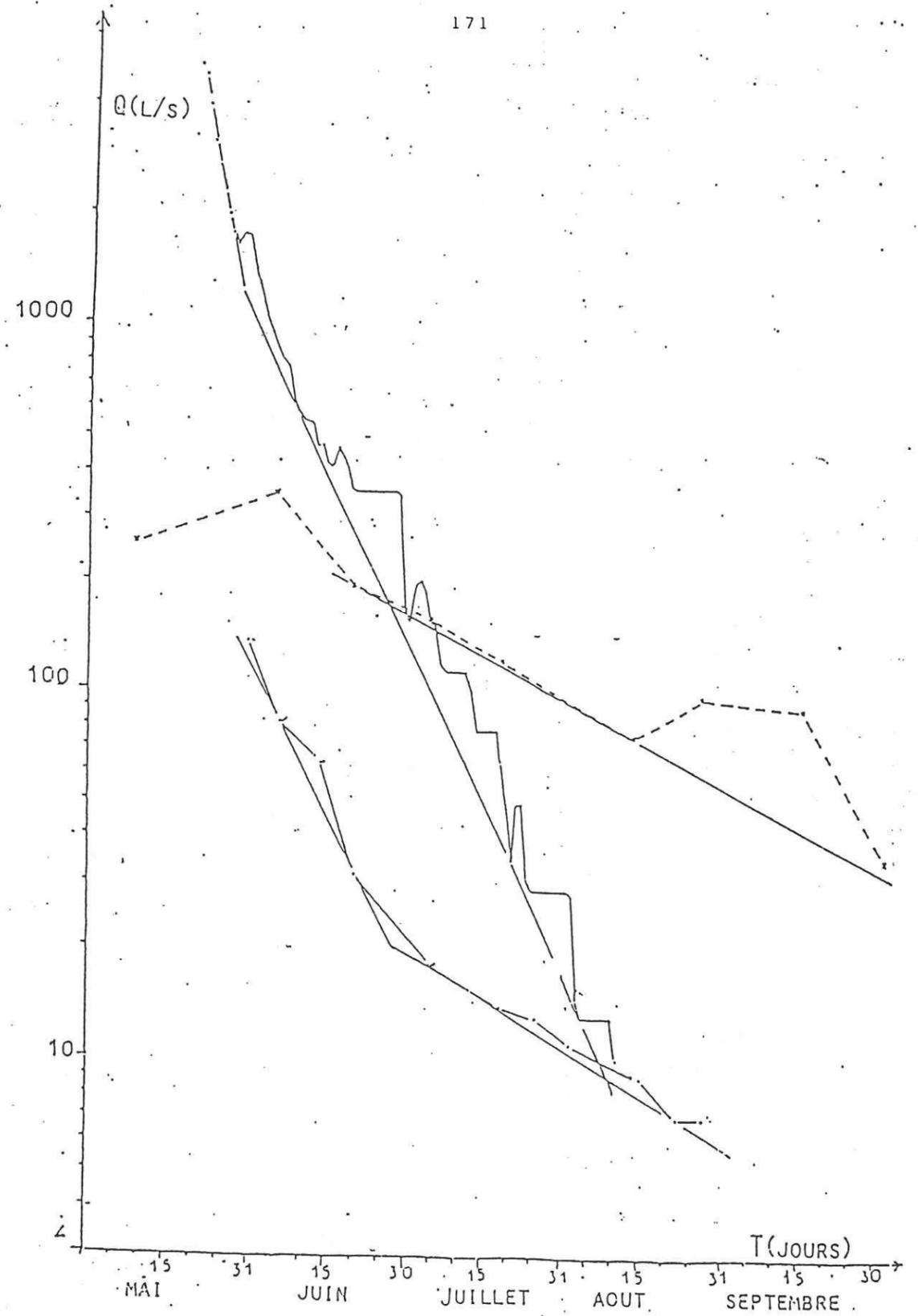


FIG 67 :

- - - : Tàrissement de la source Zerka pour l'annèe (1983-1984)
- · · : Tàrissement de la source Torreta pour l'annèe (1983-1984)
- : Tàrissement de l'oued Emsa pour l'annèe (1983-1984)

## 12. Conclusion générale

L'étude géologique de la dorsale, due aux travaux de Nold, Wildi et Uttinger, montre que cette zone est formée de plusieurs unités charriées et d'extension variable. Ces unités, classées selon des critères chronologiques ou stratigraphiques, sont constituées par des séries mésozoïques et tertiaires à faciès carbonaté, fortement tectonisées, altérées et karstifiées. Elles sont affectées par de nombreux accidents dont les plus importants sont les linéaments de l'Oued Lao et de Jbel Lakraa.

Selon l'extension horizontale des unités, les plus importantes sont:

- Les unités de la dorsale externe : ces unités couvrent presque la totalité de la surface du compartiment sud du linéament de l'Oued Lao au Nord duquel elles sont représentées par les plus importantes unités du compartiment nord. Les plus puissantes sont les unités de Majjou et de Tazoute dont la formation basale atteint 900 m d'épaisseur.
- Les unités de la dorsale interne : chevauchant les unités de la dorsale externe, ces unités occupent le niveau structural le plus élevé. La plus importante de ces unités est celle de la Hafa del Ferkenix qui est représentée au Nord de l'Oued Lao par des klippes isolées.

Pour l'étude hydrogéologique, on a essayé de donner un aperçu sur la climatologie de la région, de faire la description des bassins versants et, en parallèle, d'établir un bilan. Après l'étude hydrochimique on trouvera l'hydrodynamisme ou le tarissement des aquifères.

Pour la climatologie, l'accent a été mis sur l'étude des précipitations du fait que cette zone est parmi les régions les plus arrosées du Maroc, et surtout que les autres facteurs climatiques ne sont mesurés que dans quelques stations.

Les précipitations, généralement sous forme de neige, et surtout dans les crêtes sud de l'Oued Lao, présentent une

certaine hétérogénéité à l'échelle mensuelle. Par contre, à l'échelle annuelle, elles obéissent à la loi du gradient altimétrique.

Pour l'évapotranspiration, on a utilisé les données d'autres stations existant dans le Rif, et en fonction des précipitations on a établi un modèle pour l'évaluation de ce paramètre.

L'essai d'établissement de bilans pour certains bassins versants et pour la nappe de Jbel Tissouka qui possède un important exutoire (la source de Ras El Ma) a permis l'estimation du coefficient d'infiltration. Celui-ci est de 20 % dans le bassin de l'Oued El Had et de 28 % dans le bassin de l'Oued Kaala. Pour l'Oued Farda on ne peut établir un bilan, vue l'extension de son bassin hydrogéologique et la rapidité de sa réponse aux précipitations sur les régions sud. Par conséquent on ne peut pas estimer les apports souterrains qui constituent un facteur important du bilan. Pour la nappe de Jbel Tissouka, vue la rareté de données concernant la source de Ras El Ma, on a essayé de modéliser l'écoulement de cette source. Si les infiltrations sont totalement drainées par cet exutoire l'infiltration est de 20 %. Mais l'existence de sources de même température et de même chimisme dans la limite nord de cette nappe nous a amené à étudier les apports de l'Oued Talembote à l'aval de ses deux affluents, surtout que le tarissement de cet apport est identique à celui de Ras El Ma. Si les nappes voisines ne participent pas à cet apport le coefficient d'infiltration serait de 45 %. Ce fort coefficient laisse supposer la participation d'autres nappes à cet apport et surtout la nappe de Jbel Lakraa, puisqu'il y a vidange des unités de Jbel Talassemtane et Taloussisse dans cette nappe. Cette vidange a été confirmée par l'étude chimique et l'étude hydrodynamique.

L'étude hydrochimique nous a permis de trouver des facteurs caractérisant l'eau de chaque nappe et par conséquent d'avoir des critères de classification. Grâce à ces facteurs, on a pu définir les intercommunications entre les nappes et le déversement de certaines d'entre elles au niveau des vallées. D'autre part, on a pu déterminer les zones d'alimentation de certaines sources ou des oueds, surtout celles qui sourdent de la fenêtre de l'Oued Asaki et qui doivent être alimentées

par les unités ouest de la nappe de Jbel Lakraa. On a également démontré le déversement des unités sud de la nappe de Jbel Tissouka dans les unités de Jbel Bouslimane et Jbel Lakraa. En outre, il a été prouvé l'infiltration de l'unité de la Hafa del Ferkenix vers les unités sous-jacentes. Cette infiltration est responsable de la richesse relative en magnésium des eaux bicarbonatées calciques du compartiment nord du linéament de l'Oued Lao. La plupart de ces constatations ont été confirmées par l'étude du tarissement des oueds et des sources jaugées.

Pour la classification des nappes, on a :

- Au Nord de l'Oued Lao, la nappe de la Hafa del Ferkenix est caractérisée par un faciès bicarbonaté magnésien; le faciès bicarbonaté calcique caractérise l'eau des unités de Majjou, d'Ifahsa et de la Hafa en Nator.

- Au Sud de l'Oued Lao, l'eau de l'unité de Jbel Tissouka est bicarbonatée calcique et magnésienne, et l'eau des autres unités est bicarbonatée calcique. Les unités de la nappe de Jbel Lakraa se caractérisent pourtant par un rapport Mg/Ca relativement réduit.

L'étude hydrodynamique a mis en évidence la zone d'alimentation des régions sud de l'Oued Lao, l'extension des bassins hydrogéologiques de certains oueds et la définition des différents types de nappes selon leur tarissement. On a également vérifié les hypothèses émises lors de l'étude hydrochimique.

La richesse de l'eau du compartiment nord de l'Oued Lao en magnésium, l'importance des oueds de l'unité de Jbel Tazoute, la non pérennité des oueds drainant les unités de Majjou et d'Ifahsa, et l'existence de la source de Onsar Agboula à eau jaillissante qui sourd du versant nord dans le lit de l'Oued Lao prouvent que ce linéament joue un rôle d'écran et subdivise la dorsale en deux ensembles de nappes :

- Le premier englobe les unités sud du linéament. Cet ensemble renfermant les plus importantes nappes est subdivisé à son tour en deux sous-ensembles séparés par le linéament de Jbel Lakraa. Le compartiment ouest englobe les nappes de Jbel Tissouka, de Jbel Lakraa et de Jbel Bouslimane, et le compartiment est, est

représenté par la nappe des unités d'Adeldal et de l'Oued Asaki surmontée par une nappe constituée par les autres unités de ce compartiment et essentiellement la l'unité de Jbel Tazoute.

- Nappe de Jbel Tissouka : située au Nord du compartiment ouest du linéament de Jbel Lakraa, l'unité de Jbel Tissouka avec les unités susjacentes constituent une nappe perchée qui alimente la plus importante source de la dorsale (Ras El Ma). Cette source reçoit environ 20 % des précipitations. Si les nappes du compartiment sud du linéament de l'Oued Lao ont un faciès bicarbonaté calcique, celle-ci se caractérise par un faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Cette nappe semble se déverser vers le Nord, puisque les apports de l'Oued Talembote à l'aval du point de rencontre de ses deux affluents ont un tarissement analogue à celui de Ras El Ma. Pourtant, vu le déversement des unités de Jbel Talasemtane et de Jbel Taloussisse dans l'unité de Jbel Lakraa, et l'analogie des courbes de tarissement de l'Oued Farda et de ces apports, on ne peut conclure que cet apport provient uniquement de la nappe de Jbel Tissouka, surtout que, en tenant compte de ces apports, le coefficient d'infiltration calculé est de 45 %.

- Nappe de Jbel Bouslimane et Jbel Lakraa : elle occupe la plus grande surface du compartiment ouest et elle est caractérisée par une karstification très marquée de ses formations. Dans cette nappe les sources sont rares et l'existence de l'Oued Farda dans le Nord de la nappe laisse penser à un écoulement vers le Nord. Pourtant en période d'étiage, l'analyse chimique des plus importantes sources issues de cette nappe, prouve qu'elle est alimentée par les unités sud de la nappe de Jbel Tissouka, et ceci a été confirmé par la comparaison des courbes de tarissement de l'Oued Farda et de la source Chrafate avec celle de Ras El Ma qui sourd de l'unité de Jbel Tissouka. Par conséquent il y a une alimentation continue de cette nappe. Les autres sources, et surtout celles qui sourdent au Sud-Ouest de la nappe, ont un faciès comparable à celui :

rencontré dans l'eau des sources issues de la nappe de l'Oued Asaki.

- Nappe de Jbel Tazoute : représentée par les unités du compartiment est du linéament, autres que les unités de l'Oued Asaki et d'Adeldal, cette nappe est caractérisée par une eau bicarbonatée calcique relativement riche en magnésium. Dans cette nappe les sources sont rares et l'existence d'importants oueds dans ses limites est et nord (Oued Bouhya, Oued El Had, Oued Ahrousse et Oued Sarem) pose un problème quant au sens de son écoulement. Mais il semble que l'écoulement privilégié soit vers l'Est, si on tient compte de l'importance des débits des oueds. Les affluents de l'Oued Lao sont alimentés par les unités de Jbel Talasemtane et Jbel Taloussisse, et ceci a été confirmé par la comparaison de la composition chimique de l'eau des sources des régions nord-est et nord-ouest, ainsi que par l'étude de la réponse de l'Oued Kaala aux précipitations des régions sud.

- Nappe des unités est de la nappe de Jbel Lakraa : affleurante dans les fenêtres de l'Oued Asaki et d'Adeldal, cette nappe d'extensions horizontale et verticale indéfinies, est caractérisée par un faciès bicarbonaté calcique avec un rapport Mg/Ca relativement réduit. Vu la surface réduite de ces fenêtres, et compte tenu de l'analogie de la composition chimique de son eau avec celle des autres unités de la nappe de Jbel Lakraa, il semble qu'elle est alimentée par les unités de Jbel Bou Slimane et de Jbel Lakraa. Ceci peut être confirmé par la forte résistivité de l'eau de ses sources par rapport à celles des sources issues des unités ouest. En plus, le rapport Mg/Ca augmente avec l'augmentation de la résistivité, ce qui semble démontrer la participation des unités mises en contact avec le linéament de Jbel Lakraa à cette alimentation surtout que l'étiage de l'Oued Farda qui draine en grande partie de la surface de son bassin, les formations de l'unité de Jbel Lakraa et celui de la source de Chrafate qui sourd de l'unité de Jbel Bou Slimane sont maintenus grâce aux unités sud de la nappe

de Jbel Tissouka. Le linéament de Jbel Lakraa doit avoir un rôle dans le transit de l'eau vers la profondeur.

Pour le second ensemble, les études hydrochimiques et hydrodynamiques ont mis en évidence deux nappes superposées :

- La nappe de la Hafa del Ferkenix : représentant la nappe la plus importante des unités de la dorsale interne. Cette nappe, formée par l'unité de la Hafa del Ferkenix surmontée par l'unité d'El Babat, a un bon pouvoir de rétention et se caractérise à elle seule par le faciès bicarbonaté magnésien. Cette nappe présente une discontinuité à Dar Chouaker qui la subdivise en deux portions :

\* La première qui se trouve au Nord, alimente les sources Zerka et Yarguit, et a un écoulement vers le Nord-Est.

\* La seconde correspond à la klippe sud et à un écoulement radial.

- La nappe de Majjou : surmontée par la nappe de la Hafa del Ferkenix, cette nappe englobe les unités de Majjou et de la Hafa En Nator. Ceci peut être déduit de l'analogie chimique des sources des deux unités, et de la comparaison des courbes de tarissement de l'Oued El Khermis (Emsa) et de la source Torreta qui ont la même allure. En fin de tarissement, si l'Oued Emsa s'assèche, le débit de cette dernière source provient de l'unité de la Hafa del Ferkenix, ce qui prouve une infiltration de l'eau de cette unité vers la nappe de Majjou. Cette nappe, coïncée dans sa bordure ouest par les unités d'Arifane et de Bettara, a un écoulement vers le Nord-Est, et c'est ainsi qu'on peut expliquer la rareté des sources dans ces deux unités.

Pour l'unité d'Ifahsa, et par analogie avec le compartiment est du linéament de Jbel Lakraa, on a, tant dans le compartiment sud que dans le compartiment nord du linéament de l'Oued Lao, une unité de la nappe de Jbel Tazoute qui surmonte une unité de la nappe de Jbel Lakraa. Mais, dans le

compartiment sud, la nappe de l'unité de l'Oued Asaki possède ses propres caractéristiques chimiques. Dans le compartiment nord, on n'a pas de preuve pour intégrer cette unité à la nappe de Majjou ni pour conclure qu'elle constitue une autre nappe.

En résumé, la répartition hydrogéologique des nappes aquifères n'est pas globalement influencée par la position tectonique des unités puisque certaines d'entre elles en englobent plusieurs, surtout celle de Jbel Tazoute qui renferme presque la totalité des unités affleurant dans le compartiment est du linéament de Jbel Lakraa. Certaines nappes sont isolées des unités sous-jacentes au niveau du plan de chevauchement et essentiellement les nappes de Jbel Tissouka et de Jbel Tazoute. Les linéaments de l'Oued Lao et de Jbel Lakraa ont une grande influence sur l'hydrogéologie de la zone grâce à leurs rôles d'écran ou de drain.

Pour l'exploitation de ces nappes par forage, les sites potentiels doivent se situer essentiellement dans la limite est de la dorsale, dans les points bas de la rive sud de l'Oued Lao, ainsi que dans la limite nord de l'unité de Majjou. Cette exploitation s'avère difficile car, pour les sites de la limite est, le redressement du plan de charriage des nappes paléozoïques exige des forages profonds et pour les autres il y a des difficultés d'accès.

## BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT A. - 1974 - Géochimie des eaux d'aquifères karstiques. Les analyses chimiques en hydrogéologie karstique. Annale de spéléologie, tome 29-4.
- BOIS Ph. - 1977 - Hydrologie générale. Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique de Grenoble. Institut National Polytechnique.
- BONHOMME J.L. - 1972 - Etude hydrogéologique et hydrodynamique du karst des calcaires sénoniens. Dévoluy (26). Thèse Ingénieur-Géologue. Centre National des Arts et Métiers. Paris.
- BOZONAT J.P. - 1980 - Infiltration et circulation des eaux dans les calcaires fissurés. Hydrogéologie et bilan hydrique du secteur septentrional du massif de la Chartreuse. Thèse de Troisième Cycle.
- BUFFET G. - 1973 - Analyse statistique multivariable. Institut Dolomieu. Série documentation, D, n°24.
- CARLIER - 1981 - Prospection hydrogéologique de la région de Tetouan pour l'alimentation en eau potable de cette ville et de la zone côtière.
- CASTANY G. - 1967 - Introduction à l'étude des courbes de tarissement. Chronique d'hydrogéologie, B.R.G.M., n°10.
- CASTANY G. - 1967 - Traité pratique des eaux souterraines. Edition Dunod. Paris.
- CASTANY G. et MARGAT J. - 1977 - Dictionnaire français d'hydrogéologie. B.R.G.M., Orléans.
- COMBE M. - 1970 - Note de synthèse sur le bassin de l'Oued Lao.
- DUBAND D. - 1978 - Hydrologie statistique approfondie. Institut Polytechnique de Grenoble.

- FALLOT P. - 1937 - Essai sur la géologie du Rif septentrional. Notes et Mémoires n°40 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- GRIFFON J.C. - 1966 - La dorsale calcaire au Sud de Tetouan. Notes et mémoires n°184 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- GUILBOT A. - 1975 - Modélisation des écoulements d'un aquifère karstique (liaison pluie-débit). Application aux bassins de Saugras et du Lez. Thèse de troisième cycle, Montpellier.
- GUTNIC M. - 1969 - La dorsale rifaine dans la région d'Arifane. Notes et Mémoires n°194 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- KORNPROBST J. et DURAND DELGA M. - 1985 - Carte géologique de Tetouan Ras Mazari. Note et mémoire n°292 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- KORNPROBST J., WILDI W., NOLD M., LESPINASSE P. - 1975 - Carte géologique de Talembote. Note et mémoire n°288 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- KORNPROBST J., WILDI W., UTTINGER J., BOURROUILH - 1975 - Carte géologique de Talembote. Note et mémoire n°290 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- LEMORDANT Y. - 1977 - Infiltration et transfert des eaux en pays karstique. Le plateau du Mont Revard (Savoie). Thèse de Troisième Cycle, Grenoble.
- MANGIN A. - 1970 - Contribution à l'étude des aquifères karstiques à partir de l'analyse des courbes de décrue et de tarissement. Annales de spéléologie, tome 25, fascicule 3.
- MANGIN A. - 1974-75 - Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. Annales de spéléologie, tome 29, fascicule 3.

- MESSAOUD - 1958 - Note sur l'alimentation en eau de Chefchaouen. Alimentation en eau potable de Chefchaouen. Compte rendu de mission du 9-2-76. Archives DRE, Rabat.
- MICHARD A. - 1976 - Eléments de géologie marocaine. Notes et mémoires n°252 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- MOREL - 1980 - Hydrogéologie de la chaîne au Nord de Tetouan. Bilan sur un bassin à composante karstique : le bassin de l'Oued Smir. DRE, Tanger. (Rapport inédit).
- NOLD M., UTTINGER J. et WILDI W. - 1981 - Géologie de la dorsale calcaire entre Tetouan et Assifane (Rif interne, Maroc). Notes et Mémoires n°300 du Ministère d'Energie et des Mines, Maroc.
- PNUD - Décembre 1982 - Aquifère profond de la dorsale calcaire du Rif entre Tetouan et Jebha. Archives DRE, Rabat.
- SAPOTRA G. - 1978 - Théories et méthodes de la statistique. Ecole Nationale Supérieure du Pétrole et des Moteurs.
- SCHOELLER H. - 1962 - Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Edition Masson, Paris.
- SCHOELLER H. - 1967 - Hydrodynamisme dans le karst (écoulement et emmagasinement). Chronique d'hydrogéologie B.R.G.M., n°10, Orléans.
- TAUVIN J.P. - 1971 - Ressources en eau du Maroc, Tome 1. Domaine du rif et du Maroc oriental. Direction de l'Hydraulique. Rabat.
- CARTE GEOLOGIQUE de Souk Larbaa de Beni Hassane. Document encore non édité (Ministère d'Energie et des Mines), Maroc.
- Aquifère profond de la dorsale calcaire du Rif entre Tetouan et Jebha. Edité en décembre 1982 par la D.R.E., Rabat.

Inventaire spéléologique du maroc. Edité par la Direction de l'Hydraulique, Rabat.

Quelques observations sur l'Aïn Danou et Aïn Souyah, (dorsale calcaire rifaine), septembre 1968, "ined"

Application de l'analyse des hydrogrammes des cours d'eau à l'évaluation de l'écoulement souterrain. Rapport n°2 B.R.G.M., 72SGN371AME.

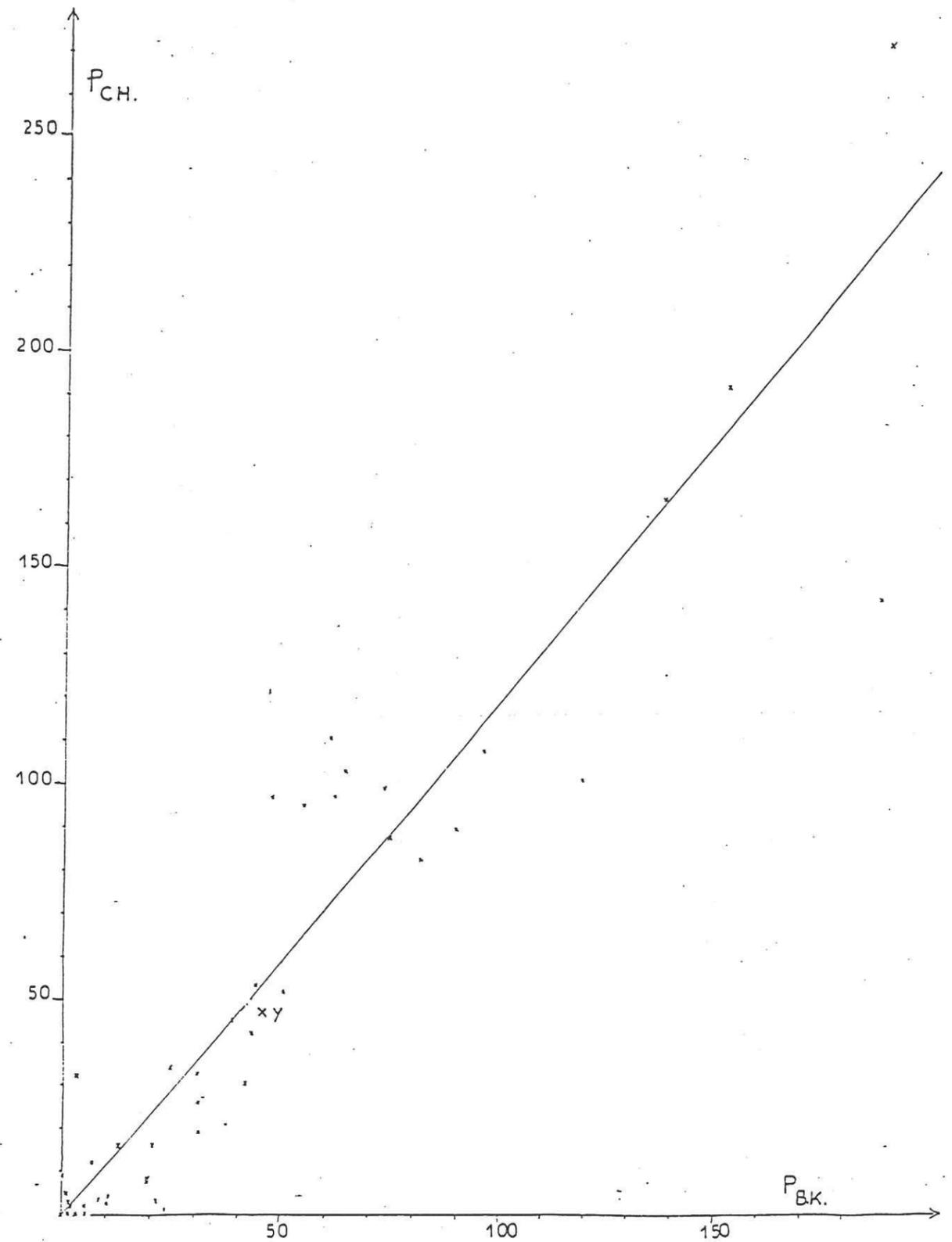
Note sur la source de Ras El Ma, province de Chefchaouen. DRN. Rabat.

ANNEXES  
-----

DONNEES DES CORRELATIONS  
ENTRE LES PRECIPITATIONS MENSUELLES DES STATIONS

Mois	P <sub>Ben Karrich</sub>	P <sub>Chaouen</sub>	Mois	P <sub>Ben Karrich</sub>	P <sub>Talembote</sub>
9.77	2	2	9.62	5	22
10	73.9	87.2	10	43	63.7
11	64.3	102.5	11	176.7	156.2
1.78	47.3	96.4	12	202	211
3	54.7	94.5	2.63	181.6	202.5
4	119.4	100.3	3	23	24
5	61.8	96.5	4	69	137
6	12.5	16	6	10.3	14.5
9	0	0	9	3.6	4
10	5.3	0	10	7	15
11	23.6	1	11	117.1	175.5
12	109.8	270	1.64	40.2	38.5
4.79	61.1	110	2	195.5	180
5	1.7	3	3	137.6	126.5
6	1.4	0	5	0	19.5
10	152.4	191	6	18.9	10
11	20.5	16	9	4.2	0
12	30.8	19	10	8.9	0
1.00	100.7	142	11	117.4	111.5
2	31	26	12	105.5	124.7
3	89.7	89	1.65	88.1	206
4	24.5	33	2	75.8	89
5	81.5	82	3	43	74
6	10.4	4	4	16.2	31
9	3	32	5	3	1
12	19.4	7.5	6	21.5	45
1.81	5.2	2	9	40.7	42.7
2	19.5	8.5	10	37.5	88
3	73.2	98.5	11	74.1	81.7
4	130.1	165	12	39.6	34.9
5	44.3	53	1.66	55.7	70.6
6	3.2	0	2	199.2	213.9
9	21.4	3	3	63.3	64.5
10	1.1	5	4	25	33
11	0	0	5	20	15.3
1.82	96.3	107	6	0	9.2
2	43.2	42	9	51.4	13.5
5	0.1	0	10	72.3	113
6	0	0	11	26.7	73.5
9	10.2	2.1	12	10.0	0
10	41.7	30.4	1.67	41.7	18
12	30.6	45	2	171.7	226.7
1.83	0	0	3	30.2	19
3	30.6	32.7	4	62.3	62
4	50.3	51.4	5	30.8	20.5
5	8.2	3.3			
10	6.9	10.83			

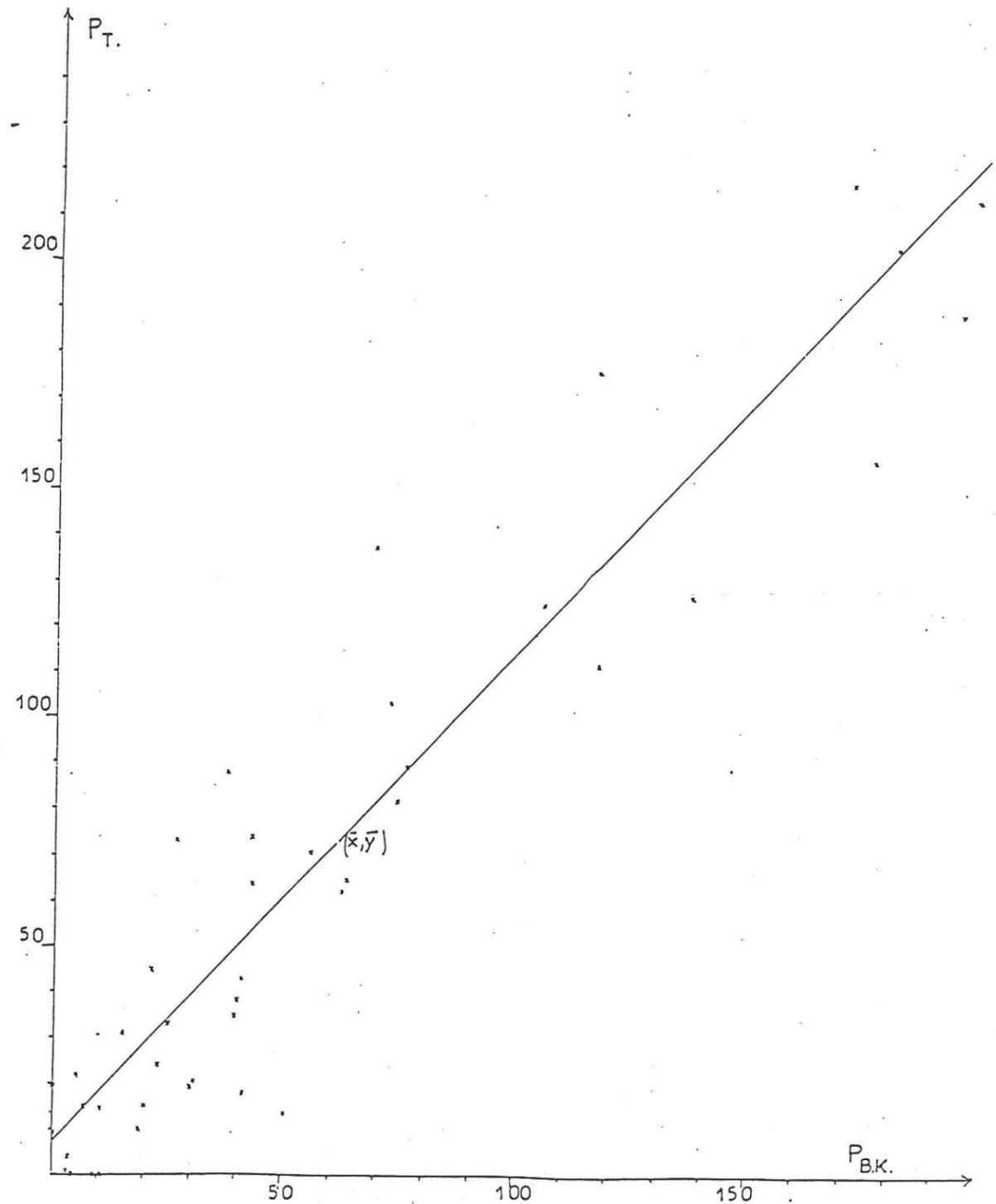
Graphique de corrélation entre les précipitations mensuelles  
de Chaouen et celles de Ben Karrich



DONNEES DES CORRELATIONS  
ENTRE LES PRECIPITATIONS MENSUELLES DES STATIONS

Mois	P <sub>Talemboto</sub>	P <sub>S.L.B.H.</sub>	Mois	P <sub>Alit Tlot</sub>	P <sub>Bab Taza</sub>
11.49	118	151	5.79	5.7	9.4
2.51	169	196.5	10	119.7	270.5
12.52	142.5	177.6	12	21	33.1
11.62	156	196	1.80	82.5	90.8
5.63	100	130	2	22.6	44.4
11.63	175.5	207	3	65.1	133.3
12.65	34.9	58.5	4	31.8	67.2
4.66	33	43	9	14.8	29.5
5	15.3	26.5	1.81	2.9	11.5
10	113	151	2	10	23.8
11	73.5	79	10	3.6	17.9
1.68	16.5	20.5	3.82	25.5	32.5
3	103.5	132	4	94.6	186.3
4	33.5	38	5	12.3	16.6
5	30	41.5	8	0	0.2
1.69	157	180	10	46.2	93.8
4	70	94	11	145.3	236.8
5	21	33.5	1.83	0	0
6	23	40	4.63	36.9	69.2
6.71	0	1.5	5	7.7	15.3
11	53	85.5	10	5	21.3
12	88	100.1	2.84	36.7	70.7
3.72	95.5	124	3	87.1	156.3
5	62	85	5	177.5	267.5
6	0	1.5	9	1.5	8
9	0	4.5	10	5.2	13
11	63	70.5	11	188.2	323.8
12	37	38.5	2.85	87.5	107.4
1.73	63	68	3	27	34.2
2	42	57.5	4	46.8	65.7
			5.85	25	42.1
			11	68.5	109.8
			1.86	107	192
			4	77	153.1
			5	0	4.5
			12	125.5	211

Graphique de corrélation entre les précipitations mensuelles  
de Talembot et celles de Ben Karrich

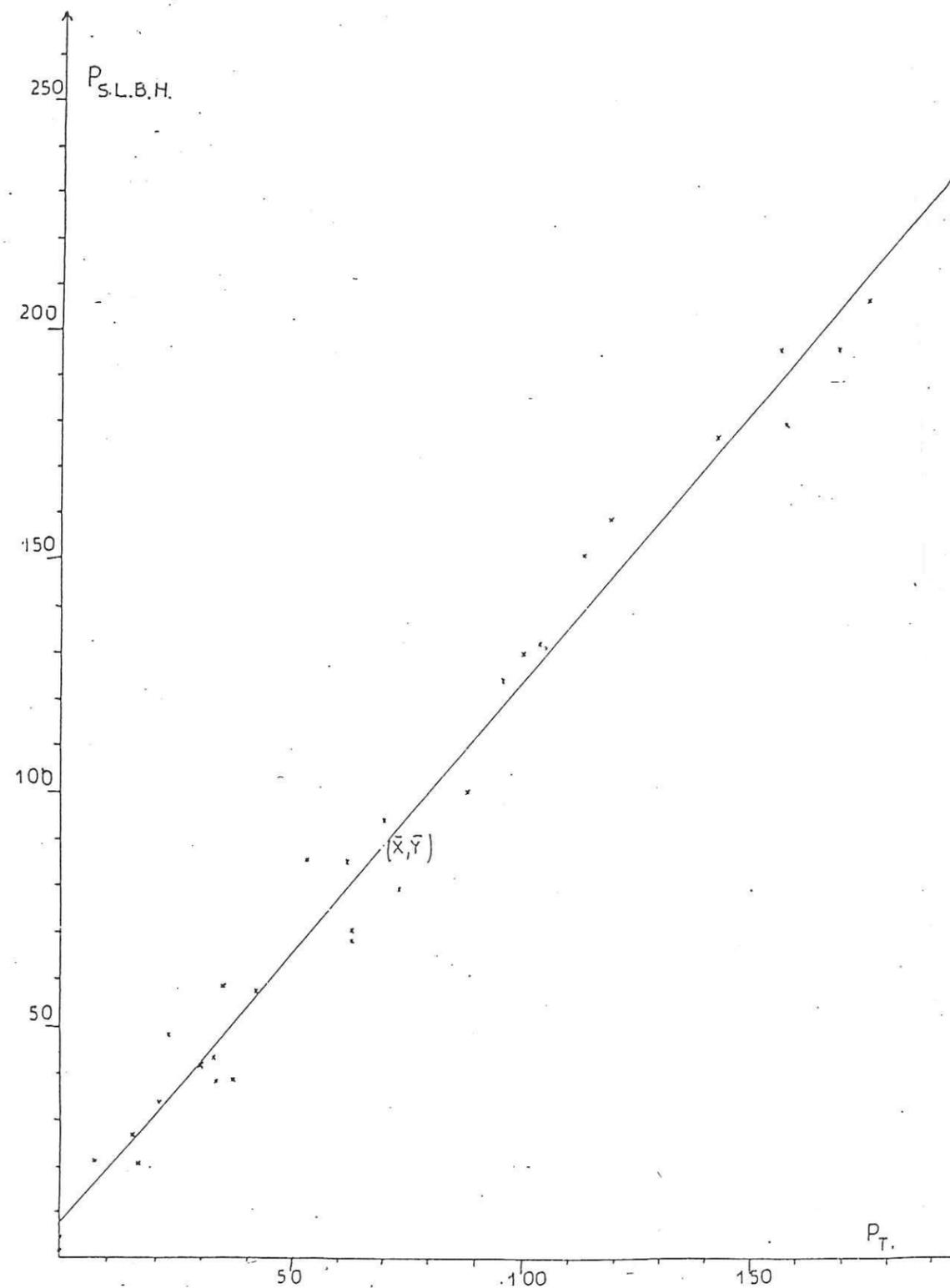


DONNEES DES CORRELATIONS  
ENTRE LES PRECIPITATIONS MENSUELLES DES STATIONS

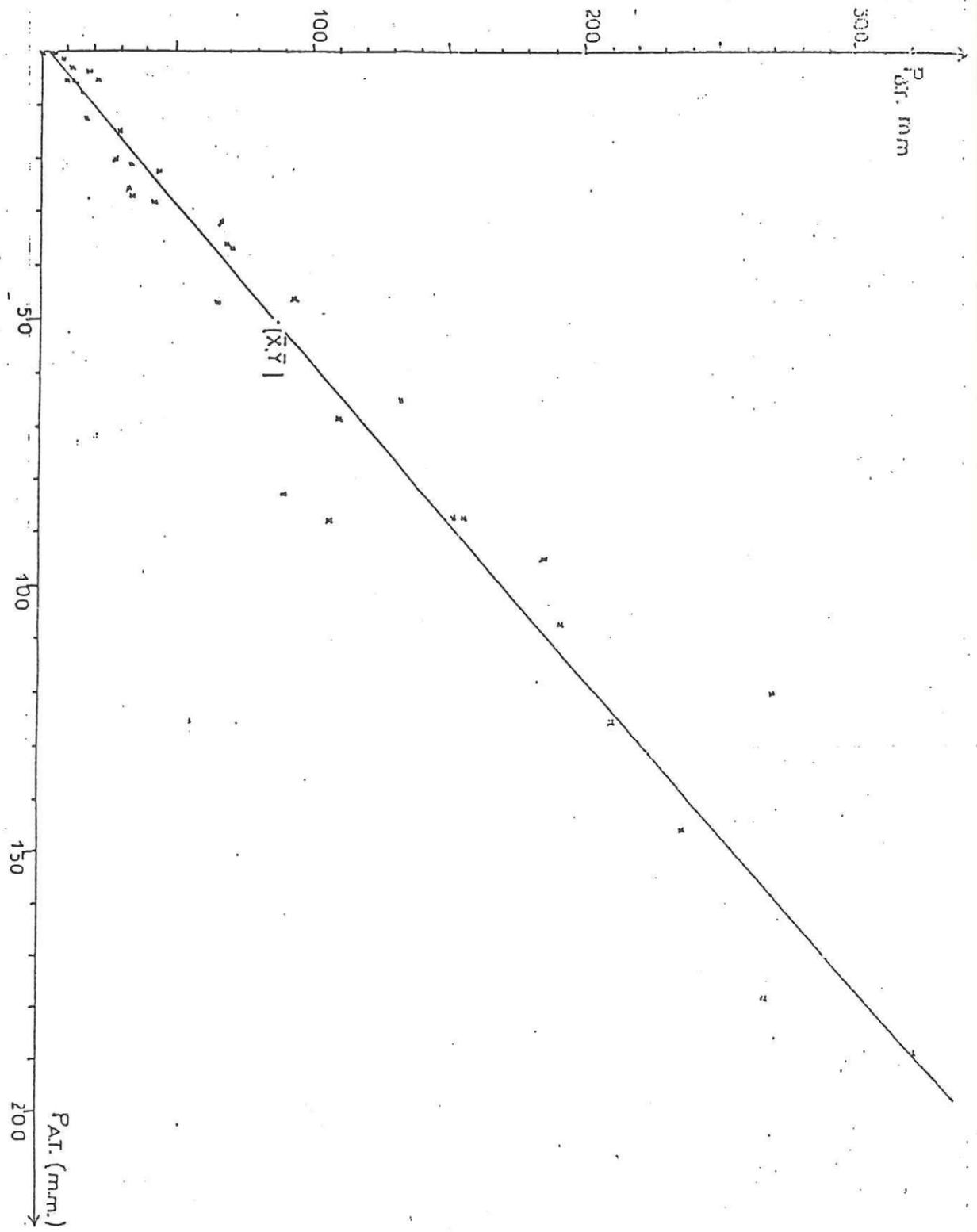
Mois	P <sub>Al</sub>	Tlet	P <sub>Bab Beretz</sub>
10.56	5.6		19
11.56	31.2		92
2.57	11		46
5.57	27.6		74
1.67	40		86
3.67	20		45.5
5.67	20		63
11.67	127		234
12.67	47		118.6
1.68	15.1		35.5
3	89.6		191
4	29.6		68.5
10.	22.7		39.5
3.71	114		245.5
12.71	48.3		168
4.72	45.4		197.4
9	29.9		58.9
11	32.9		94.9
1.73	42.7		204.2
2	30.1		71.8
1.74	19.1		54.9
3	57		138.9

Mois	P <sub>Al</sub>	Tlet	P <sub>Ues Lao</sub>
12.83	143.7		72.5
10.82	46.2		22.1
11.82	145.3		66.8
12.82	25		10.5
2.83	107		51.8
2.82	41.4		14
4.82	94.6		42
3.81	49.2		15
3.80	65.1		26
4.80	31.8		6
11.68	122.4		72
3.69	147.2		82.5
11.67	125		67
2.68	225.7		139
10.66	74.5		39
1.67	40		16
4.67	77.5		38.6
4.66	34.7		11
4.65	27		24.5
11.62	131.6		94
11.61	238.2		134.2
2.6	159.7		80
3.60	250.6		156.2

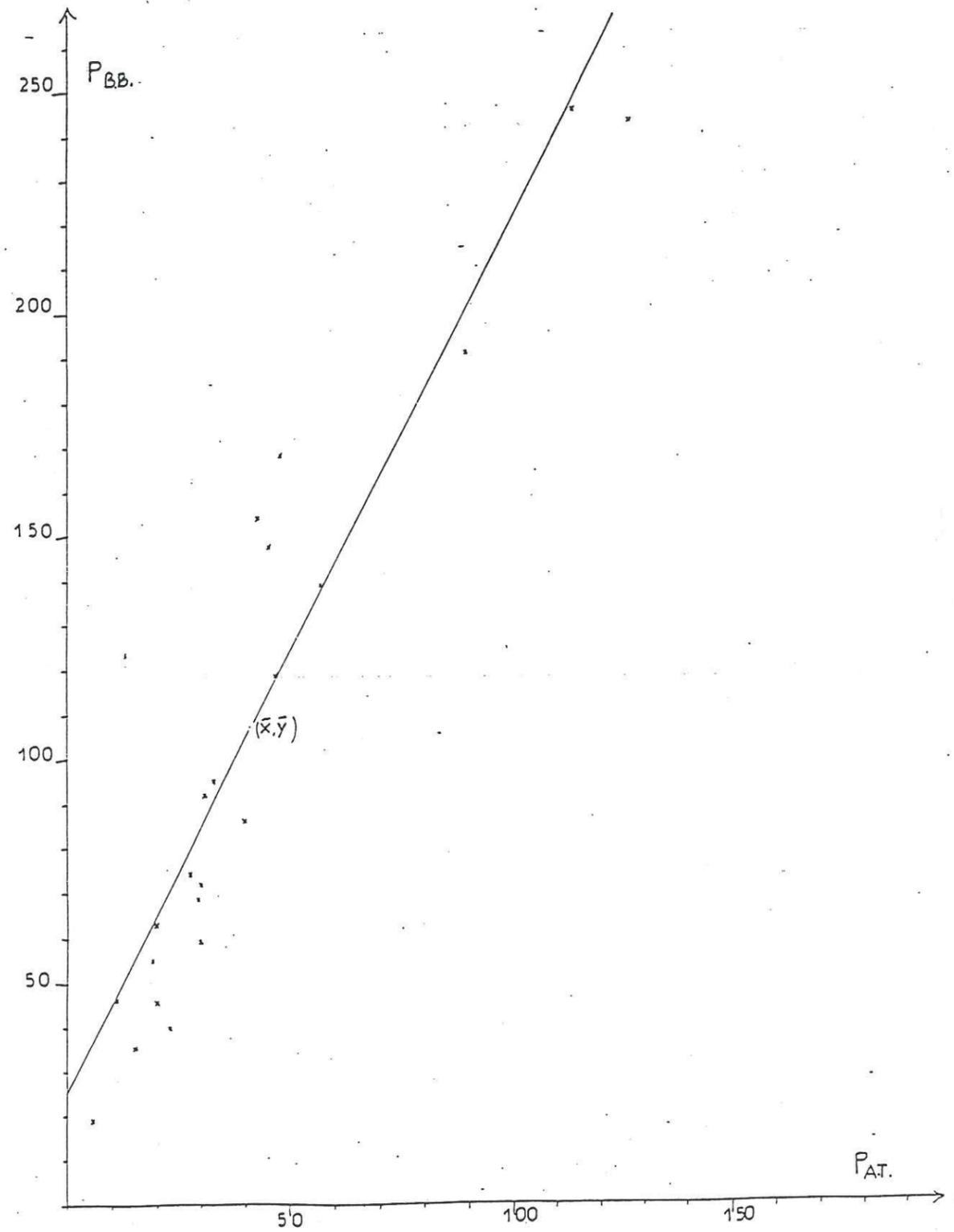
Graphique de corrélation entre les précipitations mensuelles  
de Souk Larbaa Beni Hassane et celles de Talembot

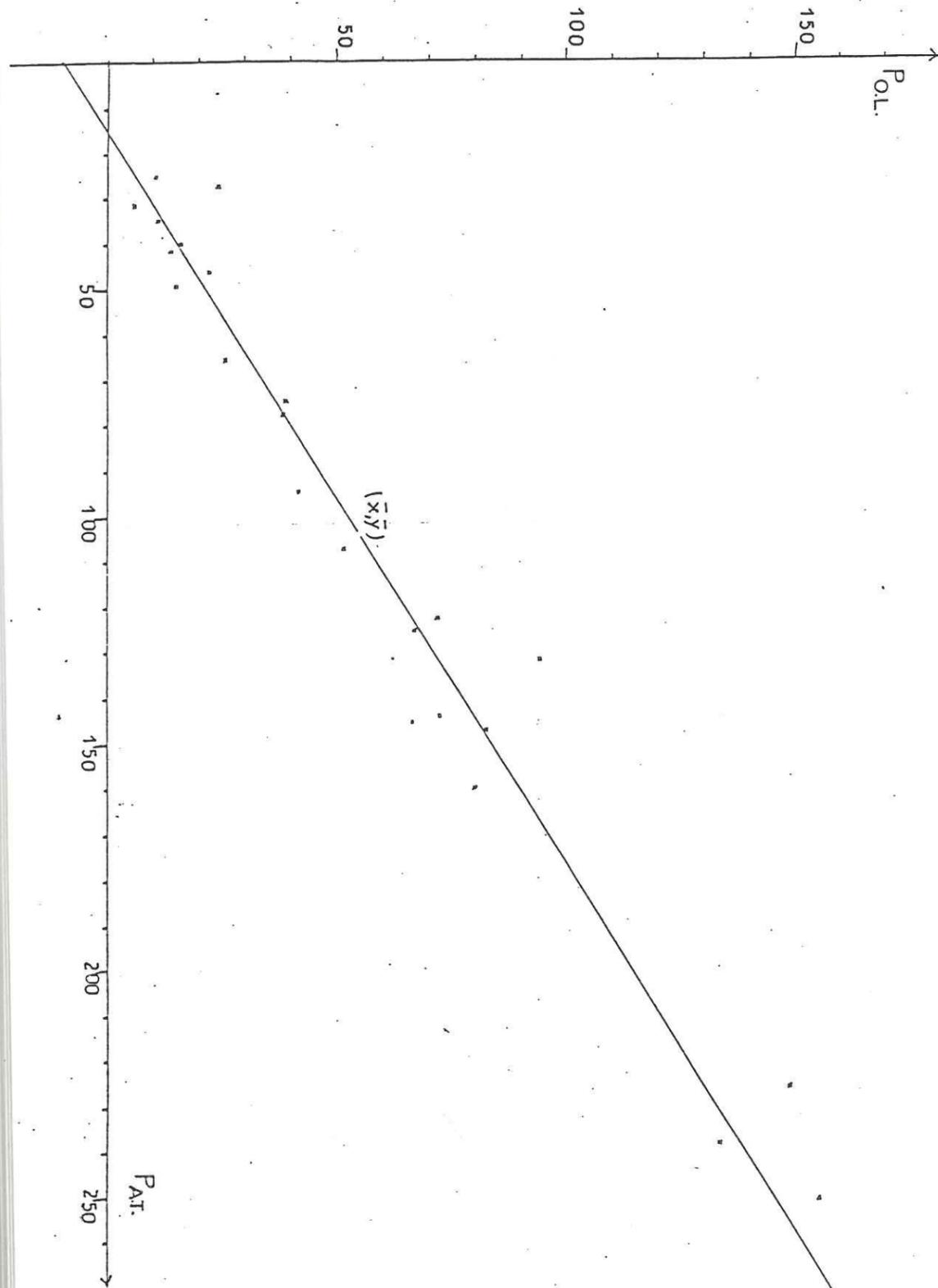


Graphique de corrélation entre les précipitations mensuelles de Bab Taza et celles de Ali Tlet



Graphique de corrélation entre les précipitations mensuelles de Bab Beretz et celles de Ali Tlet



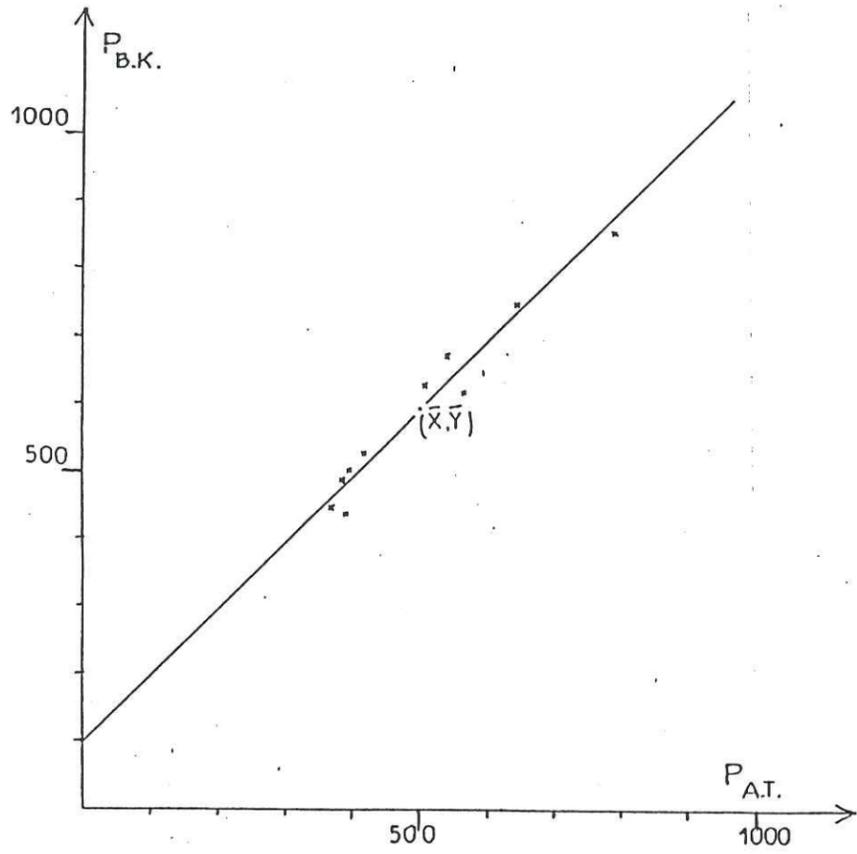


DONNEES DES CORRELATIONS  
ENTRE LES PRECIPITATIONS ANNUELLES DES STATIONS

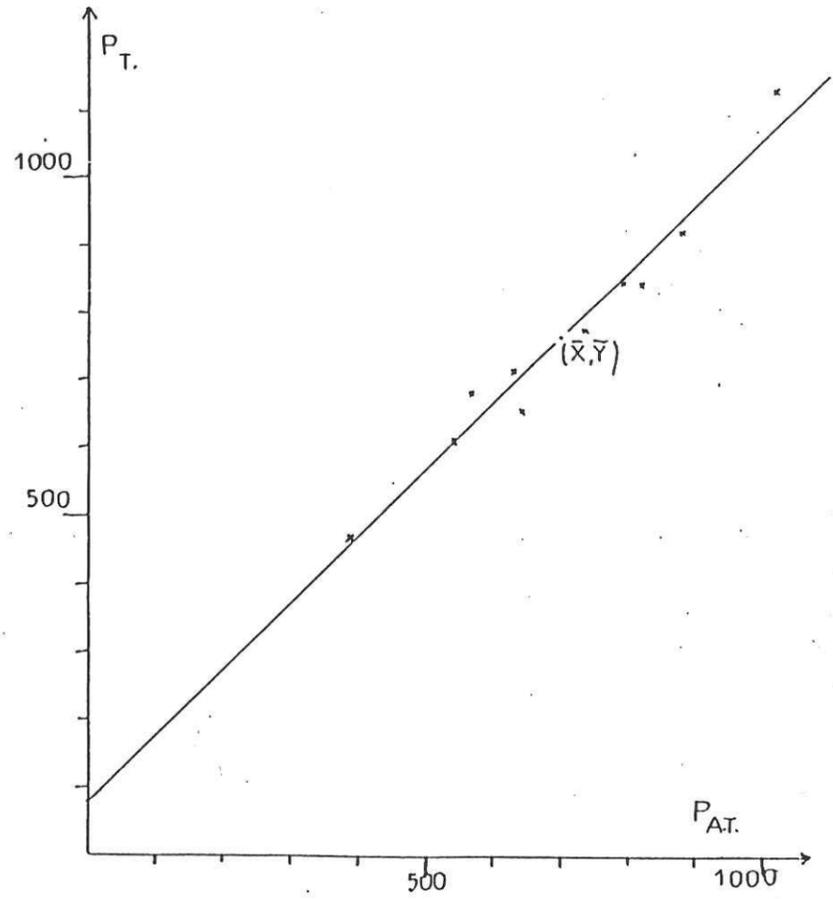
année	Ali Tlet	Ben Karrich	année	Ali Tlet	Talembote
47-48	793	856	45-46	825	841
71-72	544	671	46-47	880	922
72-73	389	487	53-54	738	776
73-74	511	628	63-64	1018	1136
74-75	372	447	64-65	569	682
75-76	569	617	70-71	793	844
78-79	647	747	71-72	544	612
80-81	422	528	72-73	389	470
81-82	400	502	76-77	632	716
82-83	393	437	78-79	647	654

année	Ali Tlet	Chaouen	année	Ali Tlet	Oued Lao
45-46	825	1225	45-46	825	618
47-48	793	1074	52-53	719	536
50-51	871	1212	53-54	738	417
51-52	793	1054	54-55	819	533
53-54	738	891	55-56	1212	810
55-56	1212	1501	56-57	356	192
56-57	356	586	57-58	594	489
57-58	594	1116	64-65	569	327
77-78	691	1121	79-80	400	306
81-82	400	760	81-82	400	168
82-83	393	698	82-83	393	169

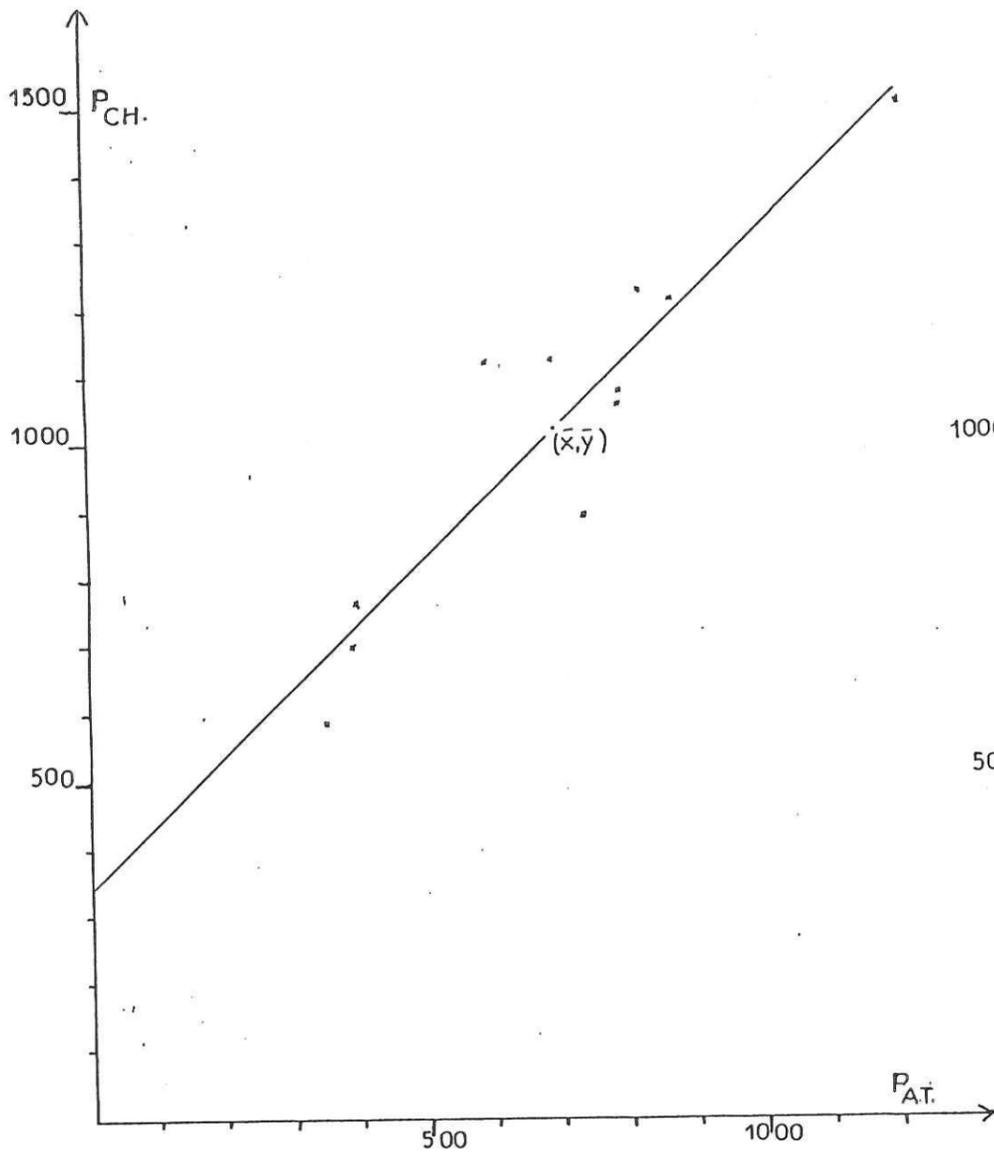
année	Ali Tlet	Bab Beretz
48-49	401	837.5
49-50	582	1485
61-62	787	2051.5
62-63	1231	2927.7
63-64	1018	2271.4
64-65	569	1383.2
65-66	766	1743.5
66-67	568	1163.2
67-68	711	1360.5
68-69	1154	2736.8
69-70	1024	2444.9
70-71	793	1892.5



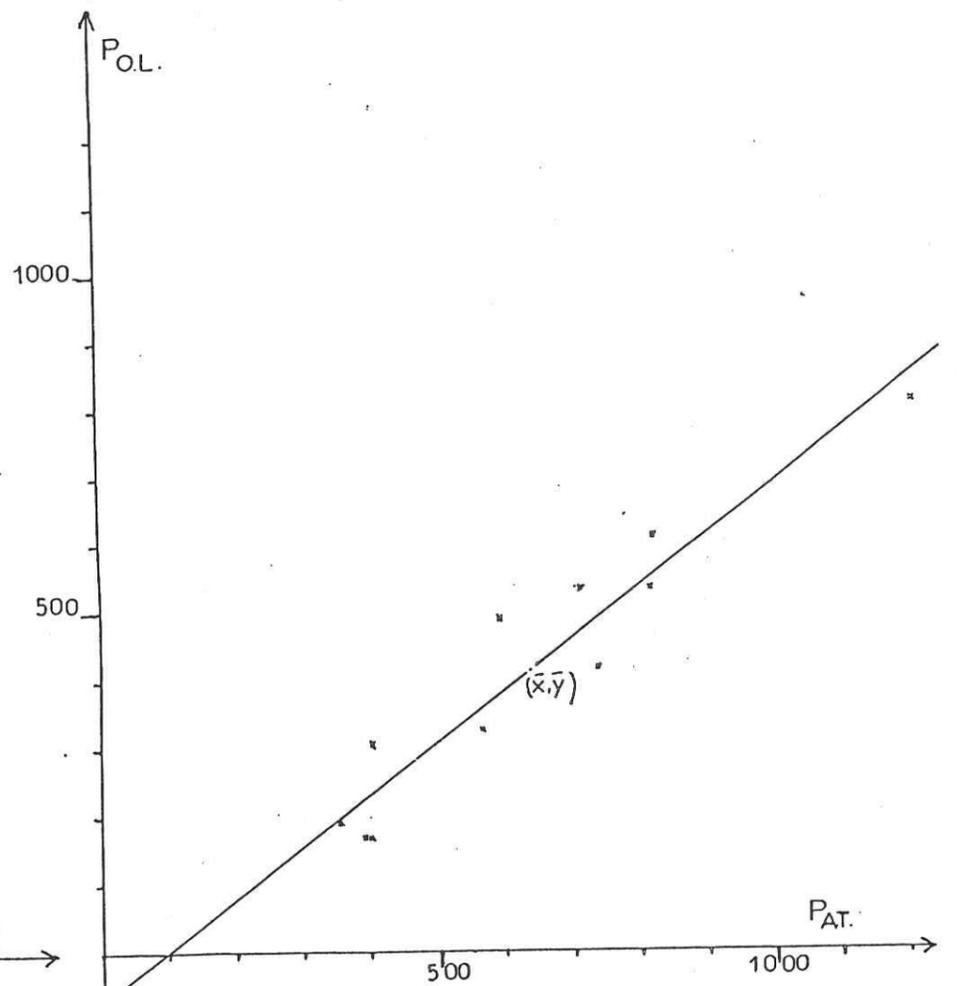
Graphique de corrélation entre les précipitations annuelles de Ben Karrich et celles de Ali Tlet



Graphique de corrélation entre les précipitations annuelles de Talembot et celles de Ali Tlet

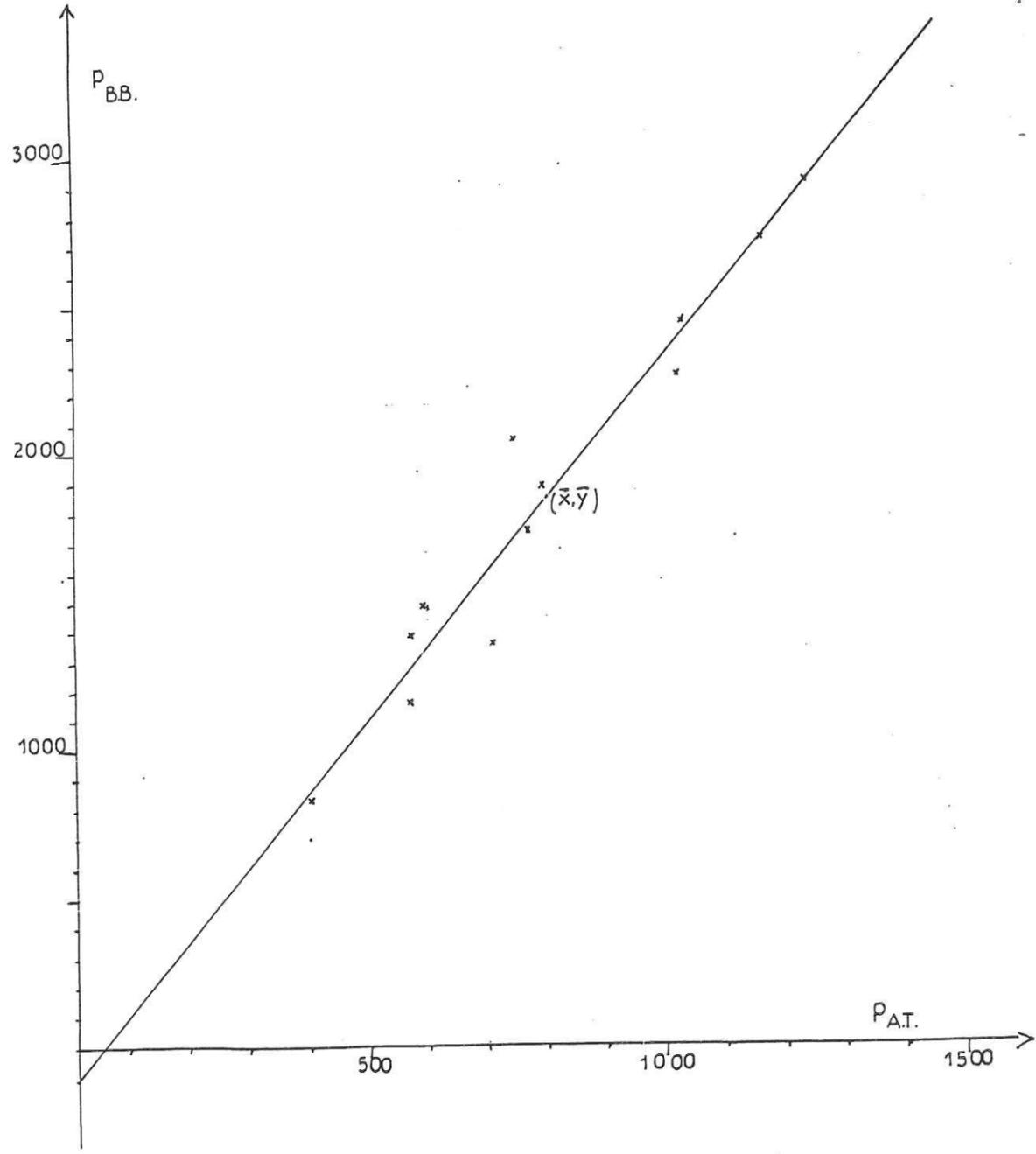


Graphique de corrélation entre les précipitations annuelles de Chaouen et celles de Ali Tlet

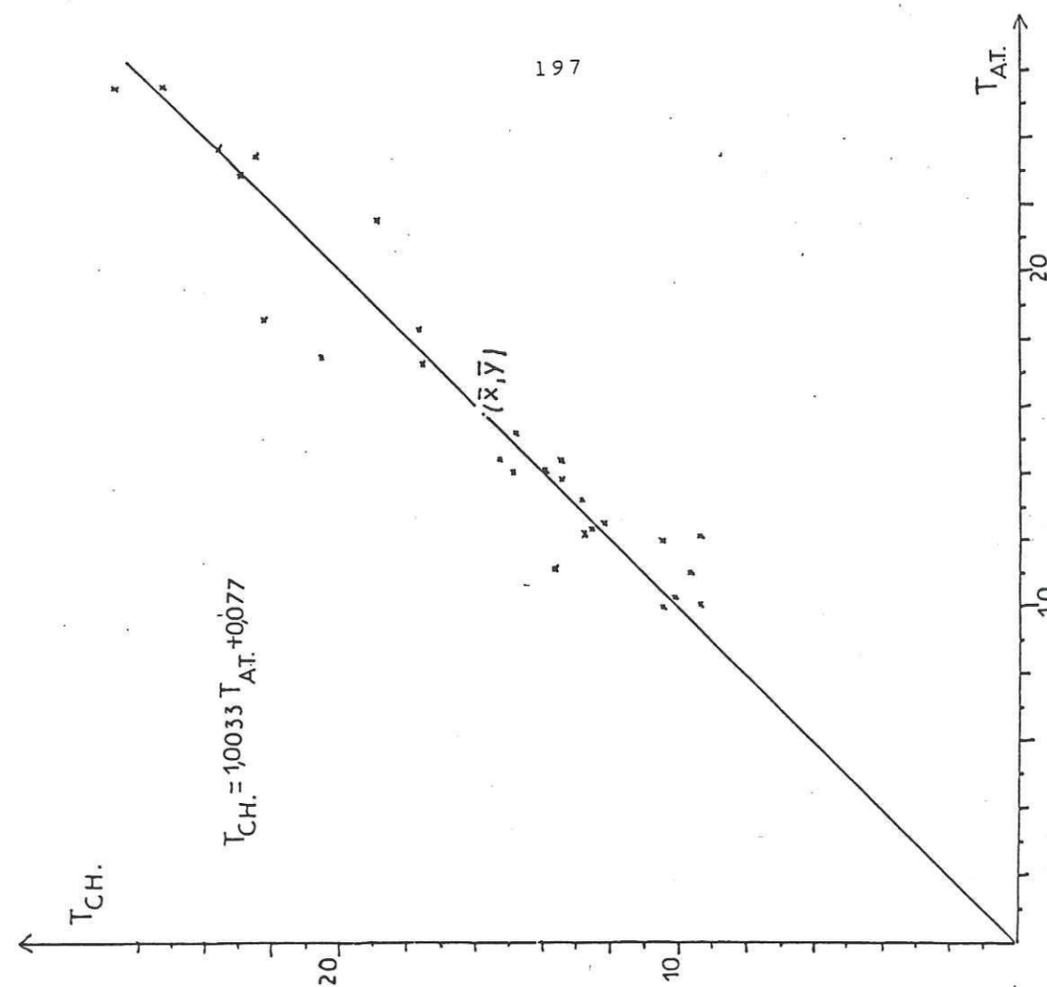


Graphique de corrélation entre les précipitations annuelles de Oued Lao et celles de Ali Tlet

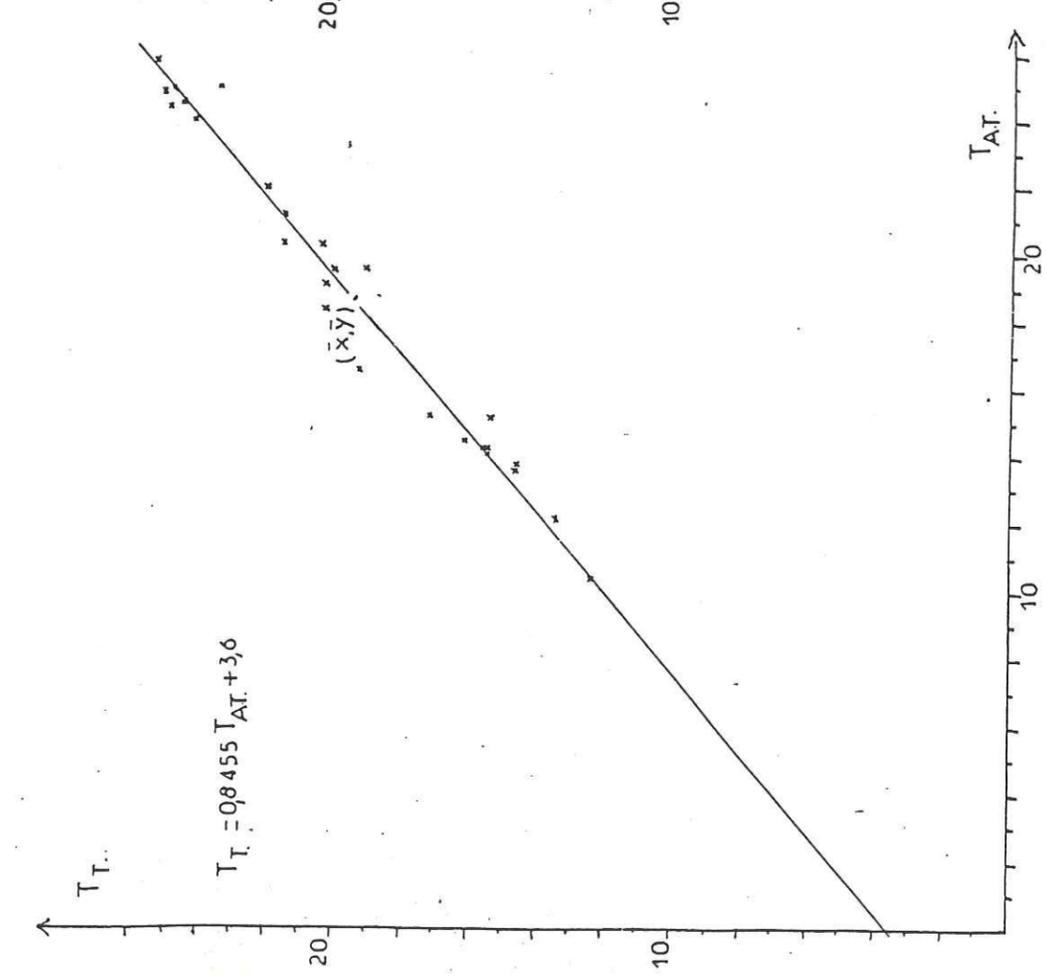
Graphique de corrélation entre les précipitations annuelles de Bab Beretz et celles de Ali Tlet



Graphique de corrélation entre les températures moyennes mensuelles de Chaouen et celles de Ali Tlet



Graphique de corrélation entre les températures moyennes mensuelles de Tetouan et celles de Ali Tlet



DONNEES DES CORRELATIONS  
ENTRE LES TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

Mois	T <sub>all tlet</sub>	T <sub>Tatouau</sub>	Mois	T <sub>all tlet</sub>	T <sub>chaouen</sub>
9.61	24	24.2	9.52	21.6	19
9.62	24.8	25.1	9.53	22.9	23.1
7.63	25.7	25.3	9.54	23.4	22.5
9.63	22	22	9.55	23.7	23.7
2.64	12.2	13.5	12.57	10	10.5
7.64	24.5	24.3	1.58	11	9.7
9.64	25	23.5	3.58	13.8	13.5
2.65	10.4	12.4	12.58	12.2	12.8
7.65	24.9	24.8	1.59	12.5	12.2
9.65	20.3	21.6	3.59	14.4	13.5
2.66	13.8	14.6	12.59	12.3	12.6
7.66	24.4	23.9	1.60	11.1	13.6
10.66	16.6	19.3	11.69	14.1	14
10.67	18.4	20.3	3.60	14	14.9
4.68	14.3	15.5	8.60	25.5	25.3
6.68	21.2	21.5	12.60	10.3	10.1
10.68	19.1	20.3	1.61	10.1	9.4
11.68	15.2	17.2	3.61	14.4	15.3
4.69	14.3	15.6	8.61	25.3	26.7
6.69	19.6	20	1.62	12	10.5
11.69	14.1	15.5	1.63	12.1	9.4
4.70	15.2	15.4	5.66	18.6	22.3
6.70	20.3	20.4	11.66	11.2	13.7
11.70	14.5	16.2	5.67	17.5	20.6
4.71	13.6	14.7	11.67	13.2	12.9
6.71	19.6	19.1	5.68	18.3	17.7
			11.68	15.2	14.8
			5.69	17.3	17.6

DONNES DE LA CORRELATION  
ENTRE LE DEBIT DE L'OUED LAO A KOUDIET KOURIRENE  
ET CELUI DE L'OUED EL HAD

année	Q <sub>k.k.</sub>	Q <sub>o.n.</sub>
4.6.80	6240	1811
2.7.80	2050	1357
20.8.80	1110	897
18.9.80	990	1000
9.10.80	1310	1002
15.1.81	1940	1287
14.2.81	1930	1154
18.3.81	1700	979.8
19.5.81	12900	2810
2.6.81	7130	1724
2.7.81	2050	1098
4.7.81	2860	1341
7.8.81	1100	1104
16.9.81	980	1118
16.10.81	1310	907.9
25.11.81	1150	892
9.12.81	1310	1107
12.3.82	8250	1816
17.6.82	2240	1458
24.9.82	980	1015
13.10.82	980	1027
24.5.83	1720	1023
2.11.83	1500	1454
17.7.84	3480	1240
12.3.85	12900	2470
19.4.85	3230	1210

N = 26

Q<sub>k.k.</sub> = 3205.2Q<sub>o.n.</sub> = 1322.4Equation : Q<sub>o.n.</sub> = 0.13020 Q<sub>k.k.</sub> + 985.1

Coefficient de corrélation : 0.9523

HYDROCHIMIE ETIAGE 86  
SOURCES DES REGIONS SUD DE L'OUED LAO

N°	Nom de la source	P.H.	à 25°C	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg/Ca	T.A.S.
		umho/cm	umho/cm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l		
012	Ras El ma	8	385.47	0.009	0.076	2.24	2.32	0.7	3.8	1.04	2
013	Ain Dannou	8	385.47	0.005	0.045	2.96	1.6	0.2	3.8	0.54	0
017	Onsar Afeska	7.7	481.84	0.018	0.083	2.72	2.8	0.6	4.7	1.03	1.5
019	Onsar Mtafat	7.8	337.29	0.014	0.057	1.84	2	0.5	2.6	1.09	1.5
026	El Fouara	7.7	385.47	0.014	0.08	2.88	0.32	0.5	3.1	0.11	3.5
032	Ain Cheuh	7.7	505.93	0.012	0.07	2.8	1.84	0.4	5.5	0.53	2
036	Ain Quessteya	7.6	433.66	0.015	0.083	2.64	1.28	0.4	4.2	0.48	1.5
037	Ain Talagrame	7.7	457.75	0.04	0.163	3.68	0.4	0.5	3.7	0.11	2.5
040	Ain Chrafate	7.8	433.66	0.009	0.059	2.8	2.16	0.2	5	0.71	1
041	Onsar Azarhar	7.7	481.84	0.006	0.078	3.04	2.16	0.2	5	0.71	1
045	Onsar Mesben	7.5	602.3	0.0115	0.069	3.52	3.2	0.3	6.4	0.91	0
055	Onsar El Khwa del Haouta Dra	7.2	481.84	0.005	0.034	3.36	2.24	0.2	4.8	0.67	0
058	Aghbalou d'Afriess	7.6	722.76	0.012	0.148	4.24	3.84	0.5	3.2	0.91	0.5
062	Onsar Taoun Chicht	7.8	578.21	0.012	0.143	3.76	2.56	0.5	5.7	0.68	1.5
064	Onsar Kacem	7.2	530.02	0.018	0.083	3.68	1.2	0.4	5.6	0.33	2
065	Onsar Rahmanio	7.3	554.12	0.018	0.091	3.36	1.04	0.6	6	0.31	2
067	Onsar Taria Selfia	7.2	602.3	0.015	0.083	3.44	1.12	0.8	5.4	0.33	3
069	El Menbae	7.3	554.12	0.008	0.071	3.2	0.8	0.5	3.5	0.25	3
070	Ain Majra	7.5	385.47	0.006	0.036	2.56	1.76	0.2	4	0.69	0
071	Onsar Taourart	7.5	505.93	0.014	0.074	3.12	2.4	0.8	5.1	0.77	3.5
072	El Onsar	7	674.58	0.077	0.335	4.08	2.16	1	5.8	0.54	1.5
073	Ain Rouida	7.6	240.92	0.009	0.1	2.16	0.32	0.5	1.9	0.15	1

HYDROCHIMIE ETIAGE 86  
SOURCES DES REGIONS NORD DE L'OUED LAO

N°	Nom de la source	P.H.	à 25°C	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Mg/Ca	T.A.S.
		umho/cm	umho/cm	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l		
1	Ain Jamae	7.6	578.21	0.056	0.086	3.96	1.64	1.3	3.9	0.41	1
4	Ain Bou Anane	7.7	602.3	0.026	0.056	2.16	3.92	0.7	5.5	1.81	1
5	Torrata	7.4	554.12	0.015	0.5	2.56	2.24	0.8	3.9	0.88	1
9	Ain Yarguit	7.6	598.11	0.008	0.211	1.04	5.52	0.5	5.2	5.3	0
11	Ain d'Al Ghazi	7.5	505.93	0.056	0.378	3.2	3.12	0.6	3.9	0.98	0.5
12	El Hamma Tehtia	7.6	481.84	0.012	0.245	3.12	1.76	0.4	4.3	0.56	1
15	Ain El Marj	7.8	437.08	0.002	0.193	1.28	3.52	0.4	3.6	2.75	1.5
17	Ain Bouziane	7.4	460.08	0.076	0.052	1.2	4.4	0.2	2.7	3.67	0
18	Ain Zaouia	7.7	481.84	0.014	0.161	3.28	1.92	0.7	2.2	0.59	4
23	Ain Hammaden	7.4	554.116	0.021	0.335	3.2	2.32	0.6	5.1	0.73	0.5
25	Aghbalou	8	361.38	0.005	0.235	2.8	1.12	0.6	5.1	0.4	3.5
28	Aghbalou	7.4	433.66	0.029	0.174	0.56	3.44	0.7	4	6.14	1
29	Onsar Mimossa	7.6	481.84	0.005	0.761	1.04	2.2	1.5	2.8	2.12	0.5
30	Ain Imitna	7.7	368.07	0.005	0.239	2	1.12	0.4	3.5	0.56	0
31	Onsar Arozan	8	322.06	0.005	0.063	0.64	3.04	0.2	3.2	4.75	2
32	Aghbalou	7.6	313.19	0.009	0.102	0.88	2.32	0.3	2.8	2.64	0.5
33	El Fouara	7.4	361.38	0.015	0.183	0.64	2.56	0.3	3.3	4	1.5
34	Iayzen	7.2	690.12	0.009	0.378	5.28	1.44	0.5	3.2	0.27	0
35	Agourer	7.8	265.01	0.024	0.117	1.32	1.32	0.3	2.5	1	0.5
38	Onsar Iichen	7.7	437.08	0.051	0.15	0.720	3.68	0.1	3.8	5.11	0
39	Onsar Ihimjen	8.2	368.07	0.009	0.096	0.64	3.84	0.4	2.8	6	2
43	Tizikht	7.6	361.38	0.011	0.106	2.48	1.2	0.3	3.3	0.48	1
44	Onsar Afraden	7.5	782.14	0.009	0.913	0.88	6.32	1.4	6.4	7.18	0
46	Taliouine	7.2	626.39	0.069	0.33	0.88	4.96	0.5	6.2	5.64	0.5
48	Aghbalou	7.6	361.38	0.009	0.139	2.32	2.08	0.5	3.4	0.9	4
49	Onsar Zaouia	7.9	361.38	0.0025	0.15	2.24	2.16	0.4	3.4	0.96	1.5
50	Onsar Ighboula	8	337.2	0.005	0.072	2.24	1.92	0.2	3.2	0.86	2
51	El Onsar	8	361.38	0.006	0.086	2	1.52	0.2	3.3	0.76	1
53	El Hamma	7.5	385.47	0.015	0.169	2.72	2.8	0.6	3.6	1.03	0
56	Onsar Orader	7.5	240.92	0.002	0.091	1.52	2.48	0.3	2.2	1.63	0
58	Ain Amazzar	7.7	385.47	0.0025	0.063	2.16	3.12	0.2	4.3	1.44	1.5
60	Onsar Imirene	7.8	409.56	0.018	0.122	0.88	3.52	0.2	3.9	3.98	0.5
66	Onsar Kanou	7.8	184.03	0.003	0.063	1.52	0.8	0.2	5.6	0.53	0
70	Onsar Aghboula	7.7	481.84	0.015	0.124	3.2	1.84	0.6	4.1	0.58	5.5
72	Ain d'Izzouriah	7.6	265.01	0.031	0.4	1.36	1.04	0.7	1.2	0.76	1
73	Ain Jamae	7.5	505.93	0.006	0.082	3.6	1.76	0.3	5.2	0.49	0
75	Onsar Taliouine	7.7	554.11	0.006	1.102	3.6	2.72	0.3	5.9	0.76	0.5
77	Onsar Talirene	7.5	505.93	0.006	0.065	3.12	2.72	0.2	2.7	0.87	1.5
78	Onsar Izmrane	7.5	-	0.005	0.071	3.28	2.48	0.2	6	0.76	1
80	Onsar Ifahsa	8	345.06	0.009	0.076	1.6	2.48	0.3	3.3	1.55	1.5

ETUDE STATISTIQUE DES VARIABLES "HYDROCHIMIQUES" ET LEURS  
COORDONNEES SELON LES AXES F1 et F2 (RESULTAT A.C.P.).

ETUDE PORTANT SUR 8 VARIABLES ET 61 ECHANTILLONS

	MOYENNE	VARIANCE	EC-TYPE	MAX	MIN
HCO3 I	4.04 I	1.45 I	1.20 I	6.40 I	1.20 I
RES I	455.36 I	15054.70 I	122.70 I	782.14 I	184.03 I
K I	0.02 I	0.00 I	0.02 I	0.08 I	0.00 I
Na I	0.16 I	0.03 I	0.16 I	0.91 I	0.03 I
Ca I	2.42 I	1.18 I	1.09 I	5.28 I	0.56 I
Mg I	2.31 I	1.44 I	1.20 I	6.32 I	0.32 I
Cl I	0.49 I	0.08 I	0.28 I	1.50 I	0.10 I
TAS I	1.29 I	1.45 I	1.20 I	5.50 I	0.00 I

VARIANCE TOTALE DU SYSTEME = 15060.3135

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	FACTEURS
VP/VT I	99.9696 I	0.0150 I	0.0073 I	0.0062 I	0.0015 I	0.0004 I	0.0001 I	0.0000 I	
HCO3 *	0.7123 I	0.0496 I	-0.2646 I	0.9309 I	-0.0099 I	0.0126 I	0.0013 I	0.0000 I	
RES *	122.6976 I	-0.0011 I	0.0021 I	-0.0052 I	-0.0024 I	-0.0007 I	-0.0000 I	-0.0000 I	
K *	0.0047 I	0.0024 I	0.0005 I	-0.0009 I	-0.0016 I	0.0013 I	-0.0030 I	0.0165 I	
Na *	0.0617 I	0.0458 I	0.0159 I	-0.0323 I	-0.0721 I	0.0778 I	0.0062 I	0.0004 I	
Ca *	0.5305 I	-0.7659 I	-0.4292 I	-0.0852 I	0.3420 I	0.0533 I	0.0047 I	0.0001 I	
Mg *	0.4771 I	0.9771 I	0.3911 I	0.0761 I	0.3043 I	0.0397 I	0.0015 I	0.0000 I	
Cl *	0.1319 I	-0.0239 I	0.0657 I	-0.0325 I	-0.1171 I	0.2056 I	-0.0341 I	-0.0003 I	
TAS *	-0.0475 I	-0.0401 I	0.0296 I	0.2202 I	0.0410 I	-0.0044 I	0.0032 I	0.0000 I	

FICHE PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE  
1962-1963

NUMERO 1584  
POSTE BAB TAZA  
BASSIN DE L'OUED SEBOJ  
PROVINCE TETOUAN  
ETAT MAROC

JOUR	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT
1	-	-	-	-	36.0	10.0	10.0	5.0	-	-	-	-
2	-	-	20.0	-	80.0	10.0	-	-	-	-	-	-
3	-	-	21.0	-	57.0	40.0	-	2.0	24.0	24.0	-	-
4	-	-	16.5	4.0	112.0	30.0	-	3.0	-	15.0	-	-
5	-	-	95.0	12.0	150.0	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	75.0	10.0	65.0	70.0	-	-	2.0	-	-	-
7	-	-	85.0	-	13.0	5.0	-	-	10.0	-	-	-
8	-	-	5.5	-	7.0	85.0	-	-	-	-	-	-
9	-	-	17.0	-	11.0	77.0	-	70.0	-	-	-	-
10	-	-	20.0	-	22.0	65.0	-	56.0	-	-	-	-
11	-	-	7.0	-	30.0	30.0	11.0	3.0	-	-	-	-
12	-	-	27.0	26.0	20.0	29.0	3.0	-	-	-	-	-
13	-	5.5	3.0	12.0	5.0	40.0	-	-	-	-	-	-
14	-	-	19.0	-	3.0	110.0	-	-	-	-	-	-
15	-	-	20.0	-	3.0	45.0	-	-	-	-	-	-
16	-	12.0	-	-	-	83.0	-	15.0	-	-	-	-
17	-	2.5	-	-	40.0	4.0	-	14.0	-	-	-	-
18	-	1.5	10.0	-	6.0	40.0	-	20.0	-	-	-	-
19	-	-	6.0	-	50.0	83.0	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	70.0	7.0	-	-	5.0	-	-	-
21	-	-	8.0	-	10.0	-	-	-	5.0	-	-	-
22	3.0	-	-	-	3.0	-	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	7.5	-	5.0	-	-	-	-	-
24	5.0	-	-	-	-	24.0	10.0	-	-	-	-	-
25	-	-	-	67.0	-	-	-	-	26.0	-	-	-
26	-	-	-	60.0	-	-	-	-	15.0	-	-	-
27	-	2.0	-	29.0	-	10.0	-	-	2.0	-	-	-
28	-	6.0	-	13.0	-	-	-	-	-	-	-	-
29	-	-	-	21.0	-	-	-	5.0	12.0	-	-	-
30	2.5	-	-	64.0	-	-	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	34.0	1.0	-	-	-	-	-	-	-

FICHE PLUVIOMETRIQUE ANNUELLE  
1962-1963

NUMERO 7600  
POSTE TALAMBOTE  
BASSIN COTIER METITERRANEEN  
PROVINCE TETOUAN  
ETAT MAROC

JOUR	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOU
1	-	-	-	25.0	8.5	5.1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	9.5	35.0	24.0	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	1.3	19.5	22.5	-	-	35.0	9.5	-	-	-
4	-	-	3.7	5.4	28.5	-	-	-	5.0	-	-	-
5	-	-	22.0	5.0	30.0	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	34.7	28.0	39.0	-	-	5.0	-	-	-	-
7	16.0	-	51.4	-	-	-	-	3.0	-	-	-	-
8	-	-	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	3.0	3.7	18.0	-	49.0	-	-	-	-	-
10	-	4.0	3.5	8.5	-	-	29.0	-	-	-	-	-
11	-	7.0	2.4	16.5	15.0	0	-	-	-	-	-	-
12	-	-	20.5	13.5	5.5	8.5	4.0	-	-	-	-	-
13	-	-	1.2	4.5	-	-	3.5	-	-	-	-	-
14	-	26.0	-	-	7.0	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	5.0	-	-	-	-	-	-	-
16	-	8.5	-	2.0	40.0	-	-	-	-	-	-	-
17	-	8.5	-	12.0	3.0	-	-	-	-	-	-	-
18	-	1.0	-	19.2	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	1.0	-	25.0	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	17.5	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	11.5	-	-	7.0	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	1.0	1.0	-	-	-	4.0	-	-	-	-	-	-
24	1.7	-	-	-	-	11.0	-	-	-	-	-	-
25	.0	.9	-	56.0	-	-	18.0	-	-	-	-	-
26	3.3	1.3	-	30.0	-	3.5	-	26.0	-	-	-	-
27	-	1.8	-	6.0	-	8.5	-	1.0	-	-	-	-
28	-	2.7	-	10.0	-	-	10.5	2.0	-	-	-	-
29	-	-	-	51.0	-	-	25.0	3.0	-	-	-	-
30	-	-	-	26.0	-	-	20.0	-	-	-	-	-
31	-	-	-	3.6	-	-	-	-	-	-	-	-

DEBITS JOURNALIERS (en m<sup>3</sup>/s) POUR L'OUED FARDA POUR L'ANNEE 1962-63

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août
1	(0.35)	0.35	0.38	0.43	16.0	5.2	9.4	2.3	7.9	1.90	1.00	0.85
2	0.35	0.35	0.38	0.43	27	5.2	9.4	2.3	6.5	1.90	1.00	0.85
3	0.35	0.35	0.38	0.43	25	5.2	9.4	2.2	6.8	1.75	0.90	0.85
4	0.35	0.35	0.38	0.43	41	6.2	9.4	2.2	7.9	1.90	0.85	0.80
5	0.35	0.35	0.48	0.43	44	6.7	9.4	2.0	5.7	3.6	0.90	0.80
6	0.35	0.35	13.5	0.72	42	10.5	7.1	2.0	4.6	3.4	0.85	0.80
7	0.35	0.35	15.5	1.10	27	34	7.1	2.0	4.5	2.0	0.90	0.80
8	0.35	0.35	18.5	0.90	26	18.5	7.1	2.0	3.6	1.90	0.85	0.80
9	0.35	0.35	6.1	0.72	26	13.5	6.5	1.75	3.4	1.75	0.90	0.80
10	0.35	0.35	3.8	0.68	26	30	5.9	10.0	3.9	1.75	0.85	0.80
11	0.35	0.35	7.0	0.64	26	36	5.6	21	2.7	1.65	0.90	0.80
12	0.35	0.35	4.3	0.64	15.0	37	5.6	21	2.8	1.65	0.85	0.80
13	0.35	0.35	2.6	0.96	13.5	24	5.6	19.0	1.85	1.65	0.85	0.80
14	0.35	0.35	5.4	0.96	11.5	17.5	5.6	10.0	1.85	1.50	0.85	0.80
15	0.35	0.35	3.5	0.76	10.0	18.0	5.6	4.5	1.65	1.50	0.85	0.80
16	0.35	0.35	2.1	0.68	8.6	45	5.6	4.4	1.65	1.50	0.85	0.75
17	0.35	0.43	1.40	0.64	8.6	35	5.5	3.7	1.00	1.50	0.85	0.75
18	0.35	0.43	1.00	0.59	9.6	26	5.5	11.5	1.00	1.50	0.85	0.75
19	0.35	0.43	12.0	0.59	23	37	5.1	11.0	1.00	1.50	0.85	0.75
20	0.35	0.43	0.51	0.59	26	23	4.9	5.9	1.00	1.50	0.85	0.75
21	0.35	0.38	0.76	0.59	25	19.0	4.9	5.6	1.95	1.50	0.85	0.75
22	0.35	0.38	0.72	0.55	19.5	13.5	4.3	5.2	1.95	1.50	0.85	0.75
23	0.35	0.38	0.72	0.55	18.0	6.3	4.3	4.8	1.95	0.90	0.85	0.75
24	0.35	0.38	0.68	0.55	16.0	6.3	3.5	4.4	1.35	0.90	0.85	0.75
25	0.35	0.38	0.64	0.55	15.0	6.3	3.2	3.7	1.95	0.90	0.85	0.75
26	0.35	0.38	0.59	14.5	21	5.1	3.2	3.5	1.00	0.90	0.85	0.75
27	0.35	0.38	0.55	(46)	22	5.1	2.9	2.4	2.6	0.90	0.85	0.75
28	0.35	0.38	0.51	15.5	15.5	5.1	2.4	2.4	2.6	0.90	0.85	0.75
29	0.35	0.38	0.48	36	14.0	-	2.4	5.9	1.65	0.90	0.85	0.75
30	0.35	0.38	0.48	28	13.0	-	2.4	4.4	1.00	0.90	0.85	0.75
31		0.38		26	13.0		2.4		1.00		0.85	0.75

DEBITS JOURNALIERS (en m<sup>3</sup>/s) POUR L'OUED KAALA POUR L'ANNEE 1962-63

	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Jun	Juil.	Août
1	0,22	0,22	0,22	0,28	5,3	1,70	3,1	0,76	2,6	0,64	0,43	0,30
2	0,22	0,22	0,22	0,28	8,9	1,70	3,1	0,76	2,2	0,64	0,43	0,30
3	0,22	0,22	0,22	0,25	8,5	1,70	3,1	0,72	2,3	0,59	0,38	0,30
4	0,22	0,22	0,22	0,25	14,0	2,1	3,1	0,72	2,6	0,64	0,38	0,30
5	0,22	0,22	0,25	0,30	15,0	2,2	3,1	0,68	1,90	1,20	0,38	0,28
6	0,22	0,22	5,8	0,30	14,0	3,6	2,4	0,68	1,55	1,15	0,38	0,28
7	0,22	0,22	6,7	0,36	9,1	11,5	2,4	0,61	1,50	0,68	0,38	0,28
8	0,22	0,22	7,9	0,30	8,8	6,2	2,4	0,64	1,20	0,64	0,38	0,28
9	0,22	0,22	2,6	0,30	8,8	4,4	2,2	0,59	1,15	0,59	0,38	0,28
10	0,22	0,22	1,60	0,30	8,6	9,9	1,05	3,4	1,05	0,59	0,38	0,28
11	0,22	0,22	3,0	0,30	8,6	12,0	1,90	7,1	0,90	0,55	0,38	0,28
12	0,22	0,22	1,85	0,30	5,0	12,5	1,90	8,9	0,85	0,55	0,38	0,28
13	0,22	0,22	1,10	0,35	4,5	7,9	1,90	6,3	0,85	0,55	0,35	0,28
14	0,22	0,22	2,2	0,30	3,8	5,8	1,30	3,4	0,81	0,51	0,35	0,28
15	0,22	0,22	1,40	0,30	3,3	5,9	1,90	1,50	0,76	0,51	0,35	0,28
16	0,22	0,22	0,85	0,30	2,6	15,0	1,90	1,45	0,76	0,51	0,25	0,28
17	0,22	0,22	0,61	0,30	2,9	11,5	1,80	1,45	0,72	0,51	0,30	0,25
18	0,22	0,22	0,48	0,30	5,2	8,5	1,80	1,25	0,68	0,51	0,30	0,25
19	0,22	0,22	0,43	0,30	7,7	12,5	1,70	3,8	0,68	0,51	0,30	0,25
20	0,22	0,22	0,43	0,30	8,6	7,8	1,60	3,7	0,68	0,51	0,30	0,25
21	0,22	0,22	0,38	0,30	8,3	6,3	1,60	1,95	0,68	0,51	0,30	0,25
22	0,22	0,22	0,38	0,30	6,5	4,4	1,40	1,90	0,68	0,51	0,30	0,29
23	0,22	0,22	0,38	0,28	5,6	2,1	1,40	1,70	0,64	0,51	0,30	0,25
24	0,22	0,22	0,35	0,28	5,4	2,1	1,15	1,60	0,59	0,48	0,30	0,25
25	0,22	0,22	0,35	0,25	5,1	2,1	1,10	1,45	0,55	0,48	0,30	0,25
26	0,22	0,22	0,30	6,1	7,1	1,70	1,05	1,25	0,55	0,48	0,30	0,25
27	0,22	0,22	0,30	(23)	7,4	1,70	0,55	1,15	0,38	0,48	0,30	0,25
28	0,22	0,22	0,30	7,7	5,1	1,70	0,81	0,81	0,85	0,48	0,30	0,25
29	0,22	0,22	0,30	17,0	4,6		0,81	0,79	0,55	0,48	0,30	0,25
30	0,22	0,22	0,30	14,0	4,4		0,81	1,95	0,68	0,48	0,30	0,25
31		0,22		12,5	4,4		0,81		0,68		0,30	0,25

## LISTE DES FIGURES

- 1 - Carte structurale du Rif d'après A. Michard. 13
- 2 - Schéma structural de la dorsale calcaire d'après Nold, Uttinger et Wildi. 16
- 3 et 4 - Stratigraphie des unités de la dorsale externe d'après Nold, Uttinger et Wildi. 19
- 5 - Variations latérales des séries de la nappe de la Hafa del Ferkenix. 21
- 6 - Stratigraphie des unités de la dorsale interne au Sud de l'Oued Lao et variations latérales des séries de la nappe d'El Babat. 22
- 7 - Stratigraphie des unités intermédiaires de la dorsale. 23
- 8 - Stratigraphie des unités d'Ametrasse - Bettara. 24
- 9 - Stratigraphie des unités d'Imourassine et de Beni Derkoul. 24
- 10 - Dolomies à stromatolithes du Norien - Carnien de la nappe de Jbel Tazoute et dans la nappe de Jbel Lakraa. 27
- 11 - Alternances calcaréo-dolomitiques du Rhétien. 31
- 12 - Calcaires massifs Hettangien. 34
- 13 - Calcaires à silex de la nappe de Jbel Tissouka. 34
- 14 - Calcaires à silex Sinémurien - Pliensbachien et le Tertiaire des unités d'Adeldal et Jbel Lakraa. 37
- 15 - Séries condensées (Malm - Dogger) de l'unité de Jbel Bou Slimane. 42
- 16 - Tectonique des unités sud de Tetouan d'après Uttinger, Nold et Wildi. 51
- 17 - Tectonique des unités structurales au Sud de Tetouan d'après J.C. Griffon. 52
- 18 - Disposition des unités au Sud de l'Oued Lao d'après Uttinger, Nold et Wildi. 53
- 19 - Localisation des stations hydroclimatiques. 54
- 20, 21, 22, 23 - Graphiques des hauteurs de précipitations moyennes mensuelles pour la période (62-71). 58-64
- 24 - Histogramme des précipitations moyennes saisonnières pour la période (62-71). 66
- 25 - Précipitations interannuelles pour la période (46-66). 68
- 26 - Graphique des relations pluie - altitude pour les périodes (55-63) et (33-63). 71
- 27 - Relation évaporation - précipitations pour la période

(33-63).	71
28 - Sources du compartiment est du linéament de Jbel Lakraa.	81
29 - Sources du compartiment ouest du linéament de Jbel lakraa.	83
30 - Grottes et avens de la zone sud-ouest de la dorsale.	88
31 - Structure de Kef Toghobeit.	89
32 - Sources de la zone sud de Dar Chouaker.	93
33 - Sources de la zone nord de Dar Chouaker.	98
34 - Bassin versant de l'Oued Lao.	102
35 - Hypsométrie de l'Oued Lao à Koudiet Kourirene.	105
36 - Bassin versant de l'Oued Farda.	107
37 - Hypsométrie de l'Oued Farda à Farda.	109
38 - Hypsométrie de l'Oued Kaala à Kaala.	109
39 - Bassin versant de l'Oued Kaala.	113
40 - les unités structurales du bassin versant de l'Oued El Had à Assoul.	117
41 - Hypsométrie de l'Oued El Had au point de sa rencontre avec l'Oued Bouhya.	118
42 - Hypsométrie de l'Oued Had à Assoul.	119
43 - Corrélation entre le débit de l'Oued El Had et celui de l'Oued Lao.	121
44 - Graphique de la relation débit moyen mensuel de la source Ras El Ma et des précipitations mensuelles à Bab Taza pour les périodes pluvieuses.	123
45 - Graphique de la relation débit moyen mensuel de Ras El Ma et les précipitations annuelles à Ali Tlet pour les mois de juin à octobre.	123
46 - Relation entre le débit moyen annuel de la source de Ras El Ma et les précipitations annuelles à Ali Tlet.	127
47 - Extrapolation du débit moyen annuel de la source Ras El Ma.	128
48 - Comparaison chimique de l'eau des sources de l'unité de Jbel Tissouka et celle des unités voisines au Nord.	130
49 - Représentation des éléments selon les axes F1 et F2. (Résultats de l'A.C.P.).	134
50 - Représentation des échantillons selon les axes F1 et F2. (Résultats de l'A.C.P.).	135
51 - Représentation du rapport Mg/Ca en fonction de la résistivité des échantillons de la dorsale.	137
52 - Diagramme montrant la richesse relative en magnésium de	

l'eau des sources de la région nord de l'Oued Lao.	140
53 - Diagramme du rapport Mg/Ca en fonction de la résistivité des sources échantillonnées dans le Sud de l'Oued Lao.	144
54 - Comparaison hydrochimique des sources de l'unité de Jbel Tissouka et celles des unités voisines.	145
55 - Comparaison hydrochimique des sources des unités ouest de la nappe de Jbel Lakraa et celles des unités sud de la nappe de Jbel Tissouka.	146
56 - Comparaison hydrochimique des échantillons de l'unité d'Amettrasse avec un échantillon de l'unité d'Achefaha.	147
57 - Comparaison hydrochimique de la source N° 073 avec les sources de l'unité de Jbel Bou Slimane et avec la 070 issue de l'unité d'Achefaha.	148
58 - Diagramme des variations des débits des oueds Farda et Kaala et des précipitations à Talembote pour l'année (62-63).	152
59 - Diagramme des variations des débits des oueds Farda et Kaala et des précipitations à Bab Taza pour l'année (62-63).	153
60 - Tassement de l'Oued Emsa pour l'année (74-75) : $Q = f(t)$ .	165
61 - Tassement de l'Oued Emsa pour l'année (74-75) : $\sqrt{Q} = f(t)$ .	166
62 - Tassement des oueds Farda et Kaala pour l'année (59-60) : $Q = f(t)$ .	167
63 - Tassement de l'Oued Farda pour l'année (59-60) : $\sqrt{Q} = f(t)$ .	168
64 - Tassement de l'Oued Kaala pour l'année (59-60) : $\sqrt{Q} = f(t)$ .	168
65 - comparaison des courbes de tassement de Oued Farda, Oued Kaala, Oued El Had et Oued Lao à Koudiet Kourirene.	169
66 - Comparaison des courbes de tassement des sources Ras El Ma, Chrafate et des apports souterrains de l'Oued Talembote à l'aval du point de rencontre de ses deux affluents.	170
67 - Courbes de tassement des sources Zerka et Torreta et de l'Oued Emsa.	171

Thèse de Doctorat de l'Université Joseph Fourier

Titre de l'ouvrage :

**HYDROGEOLOGIE DE LA DORSALE CALCAIRE  
DU RIF  
Maroc septentrional**

Nom de l'auteur : Allal AMRAOUI

Etablissement : Université Joseph Fourier  
Grenoble I

**RESUME**

Par sa grande extension, par les précipitations importantes qu'elle reçoit et le nombre d'oueds et de sources qu'elle alimente en période d'étiage, la dorsale calcaire constitue le plus important aquifère du Rif.

L'étiage prononcé de ses exutoires et l'abondance d'avens, de grottes et de lapiaz, montrent que cet aquifère est de type karstique.

La dorsale est formée de plusieurs unités charriées fortement altérées et même broyées localement. Ces unités appartiennent à plusieurs nappes de charriage définies à partir d'études stratigraphiques et tectoniques qui ont montré, outre des variations verticales ou horizontales de faciès, la complexité structurale de ce domaine. Celle-ci est marquée par l'existence de linéaments et la dispersion des unités d'une même nappe de charriage.

Dans cette région très arrosée, la distribution des précipitations est très hétérogène à l'échelle mensuelle. Mais à l'échelle annuelle, elle obéit à la loi du gradient altimétrique.

A l'aide de modèles mathématiques, certains termes du bilan hydrogéologique ont été estimés pour plusieurs nappes et bassins versants.

Selon l'importance du débit des oueds et des sources, le sens privilégié d'écoulement des nappes a été déterminé et l'eau d'un certain nombre de celles-ci a été analysée. Il a aussi été possible de classer les nappes, connaître leurs extensions horizontales et mettre en évidence certaines intercommunications hydrogéologiques. Ces résultats ont été confirmés par l'étude hydrodynamique des nappes. Celle-ci a prouvé en outre, l'extension du bassin hydrogéologique de certains oueds et la définition des zones d'alimentation des nappes au Sud de l'oued Lao.

La combinaison de différentes méthodes d'études a permis de définir les différentes nappes aquifères, de déterminer les relations entre elles et de démontrer l'indépendance entre la position des unités tectoniques et la répartition des nappes aquifères.

A partir de la définition du sens d'écoulement de ces nappes, les zones de sites potentiels pour l'implantation de forages ont été déterminées.

**MOTS CLES**

Rif ; Dorsale calcaire ; Unité tectonique ; Linéament ;  
Bilan hydrologique ; Hydrochimie ; Hydrodynamisme.

21 NOV. 1988

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