HAL
open science

Hydrogéologie et pollution des eaux : exemple du bassin versant du Mazafran, Mitidja (Algérie)

Nasreddine Messaoud Nacer

To cite this version:

Nasreddine Messaoud Nacer. Hydrogéologie et pollution des eaux : exemple du bassin versant du Mazafran, Mitidja (Algérie). Géologie appliquée. Universite Scientifique et Médicale de Grenoble, 1987. Français. NNT : . tel-00783549

HAL Id: tel-00783549

https://theses.hal.science/tel-00783549

Submitted on 1 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.

GEOLOGIE GRENOBLE UJF
D 050 030841 0

MESSAOUD NACER (N.)

Ex. n° 1

THESE

Présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE TECHNOLOGIQUE ET MEDICALE

DE GRENOBLE

Pour l'obtention du diplôme
de DOCTEUR-INGENIEUR

Spécialité Sciences de la Terre
(Option Hydrogéologie)

par

Nasreddine MESSAOUD NACER

HYDROGEOLOGIE ET POLLUTION DES EAUX

exemple du bassin versant du Mazafran,
Mitidja (ALGERIE).

13 SEP. 1987

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

Thèse soutenue le 09 Juillet 1987, devant la commission d'éxamen:

M.R. MICHEL	Professeur USTMG.	Président.
M.J. SARROT-REYNAULD	Professeur USTMG.	Rapporteur.
M.J. ROCHAT	Professeur Pharmacie USTMG.	Examinateur.
M.J.C. FOURNEAUX	Maitre de conferences USTMG; Chargé de cours INPG.	Examinateur.
M.S. ZAOUCHE	Ingénieur Ministère de l'hydraulique et de l'environnement (ALGERIE).	Examinateur.

THESE de DOCTEUR-INGÉNIEUR
spécialité Sciences de la Terre/option Hydrogéologie

Titre de l'ouvrage :

HYDROGÉOLOGIE ET POLLUTION DES EAUX
exemple du Bassin versant du Mazafran
(Mitidja, Algérie)

Nom de l'auteur : Nasreddine MESSAOUD NACER
Établissement : Université Scientifique, Techniques et Médicale de Grenoble

RÉSUMÉ

Le Bassin versant du Mazafran, forme la plaine sub-littorale de la Mitidja ouest.

Le recouvrement Quaternaire est formé de graviers avec des intercalations de lentilles argileuses. Le substratum imperméable est formé de marnes bleues plaisanciennes, de marnes miocènes ou de marno-calcaires crétacés.

On distingue deux réservoirs aquifères. Le réservoir Astien gréseux et le réservoir alluvionnaire du Quaternaire.

Le Bassin versant reçoit une tranche d'eau de 740 mm par an, soit un volume moyen de 1,4 milliards de m^3 dont seulement 1,4 % contribuent à la recharge souterraine.

L'étude hydrodynamique, montre que l'écoulement général des eaux de la nappe se fait du Sud vers le Nord, l'interprétation des essais de pompage à permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques.

L'eau la plus probable que l'on puisse rencontrer dans le réservoir alluvial a un faciès bicarbonaté calcique, faiblement magnésien, cependant les eaux fluviales qui alimentent la partie ouest de la plaine induisent un faciès sulfate calcique dans cette région de la nappe. La majeure partie des sources du flanc Nord de l'Atlas, alimentées par les schistes fissurés du Crétacé, présentent un faciès bicarbonaté magnésien. Les eaux du réservoir Astien, très fortement minéralisées sont bicarbonatées sodiques.

Le dosage de certains éléments métalliques (Cu, Fe, Zn, Cd, Cr, Hg ...) et nutritifs (Nitrates, Matières organiques...) nous a révélé que le milieu aquatique et les eaux souterraines présentent localement de sérieux indices de pollution.

MOTS-CLÉS

Mazafran, Mitidja, Algérie ; Bilan hydrologique ; Caractéristiques hydrodynamiques ; Physico-chimie des eaux ; Bassin versant ; Eaux souterraines et superficielles ; Inventaire de la pollution ; Toxicologie.

Title of the work :

WATER HYDROGEOLOGY AND POLLUTION
example of the Mazafran river basin (Mitidja - Algérie)

ABSTRACT

Mazafran river basin forms a sublittoral plain of the western Mitidja.

The Quaternary mantle is formed with gravels including clay lenses. The impervious bedrock is made of blue plaisancien marls, of miocene marls or of certaceous miocene limestones.

We can distinguish two aquifer reservoirs, the sandstone astien reservoir and the quaternary alluvial deposits reservoirs.

The river basin receives a 740 mm height of water a year, that is to say an average volume of 1,4 millions of cube meter , of which only 1,4 per cent contributes to feed the underground water.

The hydrodynamic study shows that the general out flow of waters is made from South to North, the interpretation of the pumping tests allowed to determine the hydrodynamic characteristics.

The most likely water you can find in the alluvial reservoir is calcic and bicarbonated, slightly magnesian, though the river waters which feed the western part of the plain infer a calcic sulfated composition in that part of the water table. The main part of the Atlas northern side springs, fed by the clefted schistes of the cretaceous present a bicarbonated magnesian aspect. The astian reservoir waters, very hyghly mineralized are made of bicarbonated soda.

The proportion of certain metallic elements such as (Cu. Zn. Fe. Cd. Cr. Hg) and of nutritions ones (nitrate. Organic matters) revealed the water environment the underground watters locally present serious signs of pollution.

KEY-WORDS

Mazafran, Mitidja, Algeria ; Hydrologie evaluation ; Hydrodynamic characteristics ; Physical chemistry of waters ; River basin ; Subternanean and surface waters ; Pollution inventory ; Toxicology.

1 SEP. 1987

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

THESE

Présentée à

L'UNIVERSITE SCIENTIFIQUE TECHNOLOGIQUE ET MEDICALE

DE GRENOBLE

Pour l'obtention du diplôme
de DOCTEUR-INGENIEUR

Spécialité Sciences de la Terre
(Option Hydrogéologie)

par

Nasreddine MESSAOUD NACER

HYDROGEOLOGIE ET POLLUTION DES EAUX

exemple du bassin versant du Mazafran,
Mitidja (ALGERIE).

13 SEP. 1987

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

Thèse soutenue le 09 Juillet 1987, devant la commission d'éxamen:

M.R. MICHEL	Professeur USTMG.	Président.
M.J. SARROT-REYNAULD	Professeur USTMG.	Rapporteur.
M.J. ROCHAT	Professeur Pharmacie USTMG.	Examinateur.
M.J.C. FOURNEAUX	Maitre de conferences USTMG; Chargé de cours INPG.	Examinateur.
M.S. ZAOUCHE	Ingénieur Ministère de l'hydraulique et de l'environnement (ALGERIE).	Examinateur.

14 LITRES D'ENCRE DE CHINE, 17 ROTRING, 62 CRAYONS A MINE GRASSE, 1 CRAYON A MINE DURE, 25 GOMMES, 16 LITRES DE "BLANC", 30 KILOS DE PAPIER, 16 RUBANS A MACHINE A ECRIRE, 3 MACHINES A ECRIRE, 109 SANDWICHES et 67 LITRES DE BIERES ONT ETE NECESSAIRES A LA REALISATION DE CE MEMOIRE.

- ERRATA -

Page 129:

15.1: Description de la carte. Lire:

Des gisements de Trias affleurent sur le flanc nord du ...

Page 137:

Dernière ligne. Lire:

Fig 50 a,b,c.

Page 143:

Les criteres d'eau d'irrigation. Lire:

...un danger de salinisation et d'alcalinisation...

Page 150:

2. Conclusion:

2° paragraphe. Lire:

Alors que les eaux de la nappe présentent généralement un faciès bicarbonaté calcique; les eaux du flanc nord du massif de Blida présentent un faciès plutôt sulfaté calcique et magnésien.
L'oued Chiffa présentele même faciès mais avec des eaux nettement moins chargées car circulant sur des terrains schisteux.

Page 159:

6° ligne. Lire: 8 mg/l .

Page 184:

Tableau de valeurs.

Rajouter une valeur de 0,025 mg/kg de Hg dans le sediment.

Emblème de la *Décennie internationale de l'eau potable et de l'assainissement* (1981-1990).

REMERCIEMENTS

Qu'il me soit permis de remercier, ici, tous ceux, qui en Algérie comme en France, se sont interressés à cette étude ou qui m'ont aidé à sa réalisation et en particulier:

Monsieur le Professeur J. SARROT-REYNAULD *qui a bien voulu suivre et diriger ce travail, ses conseils précieux, ses justes critiques témoignent de l'intérêt qu'il lui portait et ont été pour moi un encouragement permanent.*

Monsieur le Professeur R. MICHEL *qui me fait l'honneur de présider le Jury.*

Monsieur le Professeur J. ROCHAT *de la Faculté de Pharmacie de Grenoble, grâce à qui* ***"la boue de Mazafran"*** *a livré une partie de ses secrets et qui me fait l'honneur de participer au Jury.*

Messieurs SOUIKI & BENDALI *de la S.D.F.E.-D.H.W. qui m'ont accueilli à Blida et sans qui ce projet n'aurait pas vu le jour.*

Monsieur ZAOUCHE, *Ingénieur au Ministère de l'Environnement qui, le premier, m'a encouragé à m'intéresser aux problèmes de la pollution des eaux dans le Mazafran, et me fait l'honneur de participer au Jury.*

Monsieur LATRECHE *de l'I.N.R.H. d'Alger pour son aide cordiale.*

Je tiens aussi à remercier ***Monsieur J-C. FOURNEAUX,*** *chargé de cours à l'I.N.P.G., qui a accepté de faire partie du Jury.*

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à tous mes amis des boxs, de l'aquarium et d'ailleurs, pour avoir su se montrer tout au long de ces dernières années compréhensifs et dévoués, même dans les moments les plus difficiles; je n'oublierai jamais tous ceux et celles dont quelques mots ont été un réconfort moral.

Mes remerciements vont également au personnel technique et administratif de l'Institut Dolomieu, notamment à ***Mme USELLE, Mme REVOL et Melle V. BERTRAND.***

Puisse cet ouvrage compenser les soucis, les anxiétés et les sacrifices de ***mes parents.***

Ce travail est un peu le leur.....

INTRODUCTION GENERALE

"Adjacente à cette ville (Djezaïr Benou Mezhanna-Alger), il y a une grande et vaste banlieue nommée Mitidja qui est d'une grande fertilité et qui est remplie de bourgades et de tribus importantes".

Anonyme, Istibçar, XIIe siècle.

"Les plaines qui environnent la cité d'Alger sont fort belles, mesmement une qu'on appelle Mettidja produisant un grain en toute perfection".

Léon l'Africain, XVIe siècle.

Ces deux écrits témoignent bien de la tradition agricole de la Mitidja. Connue et appréciée pour ses terres fertiles et ses excellents rendements agricoles. Cette plaine est aujourd'hui en péril, au moment même où les besoins de la population connaissent une forte augmentation en produits de l'agriculture, eu égard à l'explosion démographique. En effet, en 20 ans, la Mitidja a perdu plus de 20 000 héctares de terres fertiles; suite à plusieurs milliers de constructions illicites durant le seul deuxième semestre 1984, rapporte le journal El-Moudjahid, les zones urbaines s'étendent, les villes déversent leur béton et la Mitidja rétrécit de jour en jour. Cet immense gachis voit ainsi la plaine changer de vocation et devenir de plus en plus industrialisée et ceci ne va pas sans affecter l'environnement ; l'oued Mazafran ou "Oued à l'eau de Safran" ne justifie plus son nom.

Le 16 Septembre 1978 à 13 heures, il a été constaté qu'un grand nombre de carpes, barbeaux et mulets sont morts au niveau de la station piscicole, située à l'embouchure; dans les jours qui suivirent, c'est par milliers qu'on pouvait voir dans les eaux de l'oued les poissons morts ; ceci se reproduit chaque année en période de basses eaux.

L'étude que nous présenterons dans ce mémoire sur le bassin versant du Mazafran en Mitidja Ouest, comporte deux parties :

- La partie hydrogéologique où nous tentons de dégager les principaux paramètres climatologiques, hydrodynamiques et chimiques ;
- La deuxième partie où nous abordons la pollution des eaux dans cette région.

SITUATION GEOGRAPHIQUE

Aux portes de la capitale, la Mitidja est la plus vaste plaine sub-littorale d'Algérie. Au Nord, elle est isolée de la mer par la ride du Sahel, que seuls les oueds les plus importants réussissent à traverser, formant des cluses. Au Sud, elle est bordée par un ensemble de montagnes, formant l'Atlas Mitidjien, qui constitue une véritable barrière, 1604 m au pic de Mouzaia, 1629 m au Djebel Guérrouméne qui domine Blida; plus à l'Est, on rencontre les premières chaînes calcaires du massif kabyle : Djebel Bou-zegza, 1052 m.
A l'Est, la plaine est fermée par les hauteurs de basse Kabylie, alors que le Djebel Chenoua (905 m) et la retombée de la chaîne du Bou-Maad avec le Djebel Zaccar la ferment au Nord-Ouest et à l'Ouest.

Notre région d'étude, se limite au bassin versant du Mazafran, qui garde les mêmes limites au Nord et au Sud, mais celles de l'Est et de l'Ouest sont hydrogéologiques; ce sont des limites de partage des eaux:
A l'Est, l'axe Soumaa-Boufarik, forme la limite avec le bassin d'El-Harrach, tandis qu'à l'Ouest la limite avec le bassin de l'Oued Nador, se situe un peu au-delà de la ville de Bourkika, fig. 1.

Par sa position géographique, la Mitidja constitue une zone de passage vers l'Ouest et le Sud du pays. A l'Ouest, par la vallée de l'Oued Djer , El-Affroun commande la route vers l'Oranie, que double la voie ferrée Alger-Oran. La route du Sud s'ouvre par les gorges de la Chiffa.
D'un point haut du flanc de l'Atlas, la plaine nous apparaît très homogène; ses tracés à la corde, constituent les traits essentiels du paysage.

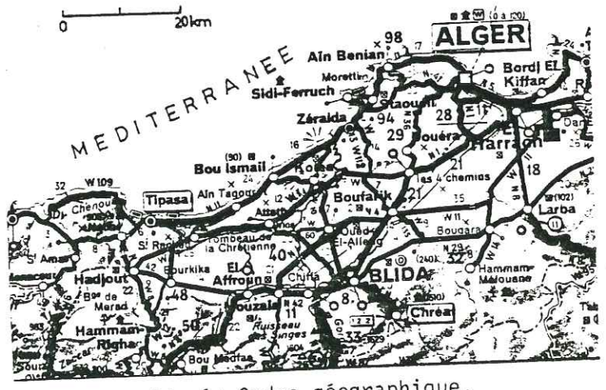


Fig.1: Cadre géographique.

Morphologiquement, la plaine est comprise dans un encadrement de montagnes, constituant une vaste carène dissymetrique au fond plat et incliné.
Le plan incliné est particulièrement net dans la partie centrale : sur la lisière méridionale, les altitudes dépassent 160 m, parfois plus, 260 m à Blida, pour s'abaisser à une vingtaine de mètres vers le Nord; par contre aux extrémités, les altitudes se relèvent, de 60 à 70 m pour l'extrémité occidentale, et de 90 à 100 m à l'Est.

Les rivières qui prennent leurs sources dans l'Atlas, traversent pérpendiculairement la plaine avant de se rejoindre vers l'aval pour ne former qu'une seule, l'oued Mazafran qui franchit le Sahel en une cluse, avant de se jeter à la mer.

ETUDE HYDROCLIMATOLOGIQUE ET HYDROLOGIQUE.

INTRODUCTION

Si,à notre époque, la plupart d'entre nous connaissent, avec plus ou moins de précision, quel est le cycle de l'eau dans la nature, ceci n'a pas toujours été le cas à travers les divers concepts anciens :
Au VIIe siècle avant J.C, THALES de MILET imagina le théorie de la poussée de l'eau océanique sous l'effet des vents à l'intérieur des continents, la chute sur les terres, sa pénétration dans le sol. PLATON pensait que le retour à l'océan s'effectuait par un grand abîme, le tatare. Cette théorie aura de nombreux adeptes jusqu'au XVIIIe siècle avec DESCARTES. ARISTOTE supposait, que la vapeur d'eau du sol se condensait dans des cavités refroidies des montagnes et formait des lacs souterrains qui alimentent les sources, et aura de nombreux partisans jusqu'en 1877. En 1580, Bernard PALLISSY affirme que les eaux souterraines proviennent des infiltrations des eaux de pluie dans le sol, théorie confirmée par E. MARIOTTE et P. PERRAULT au XVIIe siècle.

Le but d'une étude hydroclimatologique et hydrologique est d'arriver à l'établissement d'un bilan d'eau sur l'ensemble du bassin versant.
L'écoulement des eaux, le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation sont autant de composantes du bilan d'eau, étroitement liées aux facteurs qui régissent le climat de notre région d'étude.
La connaissance de ces facteurs (pluviosité, température, débits des oueds...) est primordiale pour quantifier la ressource eau, et déterminer la part de l'eau qui circule souterrainement, puisque c'est cette part qui fournit les ressources utilisables.

A- HYDROCLIMATOLOGIE

I. LES OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES

1) Bref historique

Le premier bulletin mensuel du Service météorologique Algérien parut en 1873. C'est en 1884 que le service fut rattaché à l'Ecole supérieure des sciences,

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

et porta le nombre des stations de 87 à plus de 300 en 1912. En 1920, l'O.N.M. (Office National Météorologique) entra en Algérie; le 4 mars 1931 il fut promu Institut de Météorologie et de Physique du Globe de l'Algérie (I.M.P.G.A.). L'Etablissement National d'Exploitation Météorologique de l'Algérie (E.N.E.M.A.) fut créé après 1962, remplaçant ainsi l'O.N.M. et l'I.M.P.G.A., ayant pour mission, la gestion de toutes les stations météorologiques en Algérie.

2. Les stations

La plaine de par sa position privilégiée, bénéficie de deux sortes d'équipement :

- un équipement S.E.S., actuellement I.N.R.H. : ce sont des postes pluviometriques, dont les résultats servent aux études hydrogéologiques générales, liés à un souci d'aménagement et d'extension agricole depuis le début de la colonisation française (fig. 2). Ces postes sont malheureusement pour la plupart détruits ou délaissés.
- un réseau ENEMA, dont les stations sont réparties entre différents sites :
  - . les stations de haute montagne, dont celle de Chréa
  - . les stations de piedmont : Blida...
  - . les stations de la plaine : Boufarik...

Les distances entre ces stations sont de l'ordre de quelques kilomètres à plus de 20 km. Le tableau 1 regroupe toutes les caractéristiques de ces stations.

2.1. Les données

Les données climatiques de la plupart des stations sont caractérisées par leur discontinuité. Beaucoup de stations ont cessé de fonctionner en 1962, d'autres avant cette date. Si les données annuelles de la pluviosité sont satisfaisantes, il est en est autrement pour les données mensuelles de température et de précipitations, ce qui a quelque peu limité notre étude à quelques stations qui, heureusement, sont assez représentatives de notre région.

n° de station	Stations	Classe	Région	x	y	Z (m)	Date Installation	Date Interruption	Etat 1985
020306	Meurad Mairie	CP	Plaine			315	1913	1938	Négative
020306	Meurad Barrage	CP	Plaine			270			
020308	Hadjout	CP	Plaine			80			
020401	Tipaza	CP	Littoral	2°24	36°34	20	1927	1940-62	Négative
020402	T. Chrétienne	CP	Littoral			260			
020406	Fouka Ville	CP	Littoral			160			
020523	Mahelma	CP	Plaine			190			
020530	Souidania	CP	Plaine			105			
021001	S.B Berkissa	CP	Piedmont			260			
021013	Ain Dem	CP	Montagne			745			
021014	Oued Zeboudj	CP	Montagne			376			
021016	H. Righa					480			
021017	Bou Medfa					270			
021018	Tala oul Kheir					414			
021019	El-Affroun	CP	Plaine	02°28	36°28	92	1913	1939	Négative
021029	Ameur El-Ain	CP	Plaine	02°34	36°29	104	1913	1925	
021021	Sidi Rached	CP	Plaine	02°32	36°33	63	1919	1938	
021022	Attatba Cave	CP	Plaine			60			
021023	Lac de Mouzaia	CP	Montagne			1270			
021105	Rn A	CP	Plaine			55			
021112	Ouzera	CP	Montagne			880			
021113	Ain Zaat	CP	Montagne			940			
021115	El-Hamdania					400			
021117	Chiffa	CP	Plaine			110			
021118	Mouzaiaville	CP	Plaine	2°41	36°28	130	1926	1938	
021207	Soumaa	CP	Piedmont	2°54	36°31	155	1924	1960	Négative
021211	Koléa P C	CP	Plaine			100			
021215	Blida Marie	CA	Piedmont	2°50	36°28	267	1913	1962	Négative
021218	Douaouda		Littoral			160			
021219	Boufarik	CA	Plaine	2°55	36°35	48	1918	1923-1962	Active
01119	Hakou Ferraoun	CP	Montagne	2°52	36°27	950	1914	1915-1951	Active
021302	Ghellaie M.F	CP	Montagne	2°57	36°28	1161	1931	1943-1962	Négative
021303	Yemma H'lima	CP	Montagne	2°58	36°26	930	1930	1943	Négative
021304	Takitount		Montagne			900			
011501	Tamezuida	CP	Montagne						
011504	Ben Chicao		Montagne	2°51	36°12	1129	1913	1962	Négative
011507	Ain Soltane	CO	Montagne						
011508	Médéa	CO	Montagne	2°45	36°16	928	1913	1916-1962	Active
021305	Chréa col	CA	Montagne	2°53	36°25		1910	1912-42-63	Active
020404	Bou-Ismail	CP	Littoral	2°42	36°29	10	1924	1962	Négative

Tableau 1 : Caractéristiques des stations météorologiques

C : Climatique — P : Précipitation seulement

A : Principale — O : Ordinaire

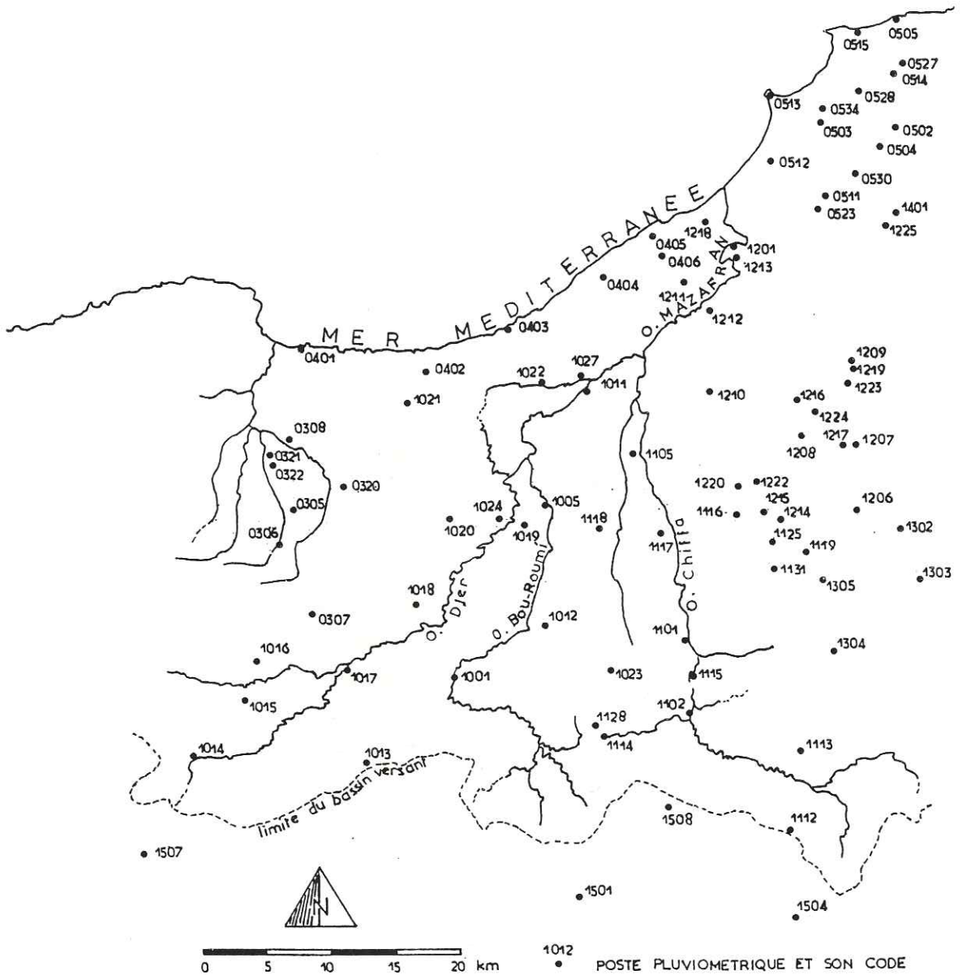


Fig.2 : EMPLACEMENT DES POSTES PLUVIOMETRIQUES

3. Les types de temps

3.1. Les masses d'air

"L'élaboration d'une masse d'air est une élaboration géographique où se combinent les effets de latitude , de continentalité et de relief" P.DELABORDE, P. SEDE, Paris, 1970.

Une masse d'air exige un milieu homgène, elle ne se forme pas dans les régions de contact entre la mer et le continent, non plus aux latitudes moyennes où l'atmosphère est constamment agitée.

Notre région, qui forme un lieu de contact entre la mer et le continent africain, ne représente en aucun cas une zone favorable à l'élaboration des masses d'air; par contre c'est une région de passage qui reçoit les visites des masses d'air étrangères formées dans d'autres régions plus ou moins lointaines, ces masses d'air sont portées sur le tableau suivant :

Masses d'air	Lieu d'origine	Saisons d'invasion
Tropical Continental chaud	Sahara	4 saisons
Polaire Continental	Europe Centrale	Hiver
Polaire Maritime froid	Océan Atlantique	Hiver
Air Méditerranéen frais + (1)	En dehors de la Méditerranée mais modifié par celle-ci	Eté-Hiver

Tableau 2 : Les différentes masses d'air

3.1.1. Les masses d'air froid

a) L'air Polaire Maritime froid : P m K

prend naissance au Nord de l'Océan Atlantique, pénètre en Méditerranée, ensuite en Algérie par le Sud de la France ou l'Est de l'Espagne. Son vent souffle avec force et parfois en rafales. Ses fréquences augmentent en hiver et deviennent rares en été. En hiver, P m K a une température nettement inférieure à celle de la mer et provoque donc une instabilité avec quelquefois des averses accompagnées de temps en temps par des neiges et des grèles sur les hautes altitudes.

En été, P m K est généralement réchauffé par son passage sur la péninsule ibérique ou l'Europe occidentale; il se trouve plus chaud que la surface de la Méditérranée et donne ainsi du beau temps caractérisé par sa stabilité.

(1) Tropical Maritime chaud, Océan Atlantique, 4 saisons.

b) L'air Polaire Continental froid : P C K

il arrive en Algérie dans les directions Nord ou Nord-Est, après avoir traversé le bassin central de la Méditerranée.

En hiver, cette masse est sèche au départ, s'échauffe et se charge en vapeur d'eau lors de son passage en mer, d'où son instabilité avec développement d'averses ayant un début et une fin brusques.

En été, elle se caractérise par sa stabilité et le beau temps et donne de temps en temps un peu de brouillard, le matin, le long du littoral.

3.1.2. Les masses d'air chaud

a) Masses d'air chaud maritime : T m w

elles prennent naissance près des Açores et des Canaries dans l'Océan Atlantique, pour arriver en Algérie entre le Sud et l'Ouest.

A l'origine, elles sont humides, chaudes et stables.

En hiver, elles entrent en contact avec l'air polaire présent en Méditerranée et donnent des perturbations sur les régions occidentales, perturbations qui se déplacent ensuite vers l'Est.

En été, réchauffées au contact de la surface des eaux méditerranéenes, elles donnent en général des cumulus insuffisants pour des averses.

b) Air tropical continental chaud : T c w

il se génère sur le Sahara Oriental et Central, et provient donc de directions comprises entre le Sud et le Sud-Est; il est caractérisé par sa haute température et donne les vents appelés SIROCCO.

En hiver, cet air forme le secteur chaud des pertubations sahariennes et méditerranéennes. Les nuages qui l'accompagnent sont rares. Lorsqu'il y a suffisamment d'humidité en altitude, ces nuages peuvent avoir un fort développement vertical, et donner des pluies ou averses orageuses. De temps en temps, cette masse d'air contient du sable très fin en suspension jusqu'à des altitudes très élevées.

En été, l'air chaud saharien est très sec et provoque des tempêtes de sable. Les vents de type SIROCCO arrivent jusqu'aux confins du Nord de la mer Méditérranée. Il n'y a évidemment pas de précipitations sur notre région, mais une fois la Méditerranée traversée, ayant ainsi absorbé une certaine quantité d'humidité il donne des pluies sur les rivages septentrionaux de l'Italie ou du Sud de la France.

c) Masse d'air méditerranéen :

la masse d'air méditerranéene est une masse d'air modifiée : lorsqu'une masse d'air polaire stagne, sur la éditérranée, elle perd peu à peu ses caractèrs pour acquérir l'aspect de l'air tropical humide.

Ces vents parviennent en Algérie des directions Nord et Nord-Est.

En hiver, l'air méditérranéen donne des averses locales avec des précipitations d'intensité variables où des orages secs et éphemères.

En été, cet air est plus fréquent; il peut produire des brouillards sur les côtes, le jour entre 10 heure et 16 heure et renforce la brise de mer.

Son influence est concentrée dans la région du littoral où il est accompagné le plus souvent par du beau temps.

II. LE BILAN ENERGETIQUE

1) Etude des précipitations

La pluviométrie est abondante mais irrégulière. La Mitidja reçoit annuellement une tranche d'eau comprise entre 600 et 900 mm. Les rythmes pluviométriques méditerranéens sont caractérisés par une irrégularité annuelle et inter-annuelle.

La région d'étude a été dotée d'un grand nombre de postes pluviométriques, ce qui fait que les données des précipitations sont les plus disponibles en comparaison avec les données des autres paramètres climatiques.

On peut constater que, malheureusement, les séries d'observations comportent beaucoup de lacunes et qu' un bon nombre de stations ont cessé de fonctionner bien avant 1962.

1.1. Les précipitations journalières

Sur 30 années d'observations (1er Janvier 1931-31 Décembre 1960) soit 10 958 jours, on note 2 850 jours de pluie à la station de Chréa et autant à Blida, d'où une probalité d'occurrence de 0.26, donc une chance d'avoir un jour pluvieux sur quatre.

La probabilité diffère d'une saison à l'autre. Le tableau suivant donne les probabilités mensuelles durant la même période pour la station de Chréa.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0,34	0,33	0,34	0,31	0,23	0,16	0,03	0,07	0,20	0,29	0,34	0,40

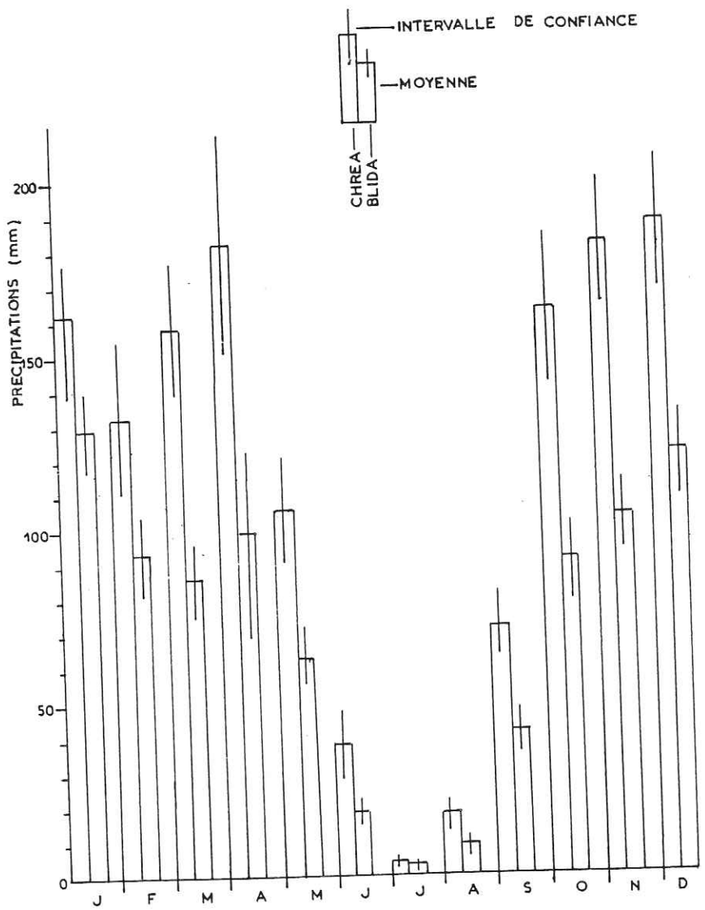


Fig. 3 : PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES ET INTERVALLES DE CONFIANCE

Ceci montre une forte probabilité en hiver, avec un maximum pour le mois de Décembre qui a presque une chance d'avoir un jour pluvieux sur deux; viennent ensuite Janvier, Février et Mars avec une chance sur trois.
En été, la probabilité des jours pluvieux est très faible, la plus faible valeur étant enregistrée en Juillet qui a trois chances sur cent d'avoir un jour de pluie. Ce mois s'avère être le mois le plus sec dans l'année. Selon les saisons, on peut classer les chances des jours pluvieux par ordre décroissant : Hiver, Printemps, Automne, Eté.

1.2. Les précipitations mensuelles

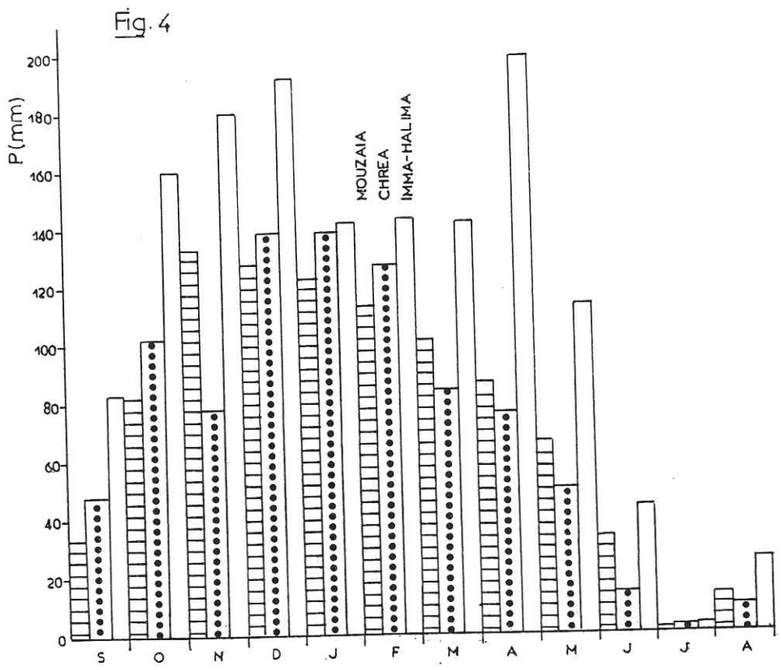
Les hauteurs moyennes des précipitations mensuelles observées dans la région, au cours de la période (1931-1960) pour les stations de Blida et Chréa (Tableau 3) et pour la période du 1er septembre 1913 au 31 Août 1953 pour les stations de Chréa, Blida, El-Affroun, Boufarik, Imma H'lima, Soumna et lac de Mouzaïa (Tableau 4) sont portées graphiquement sur les figures 3, 4, 5 et 6).

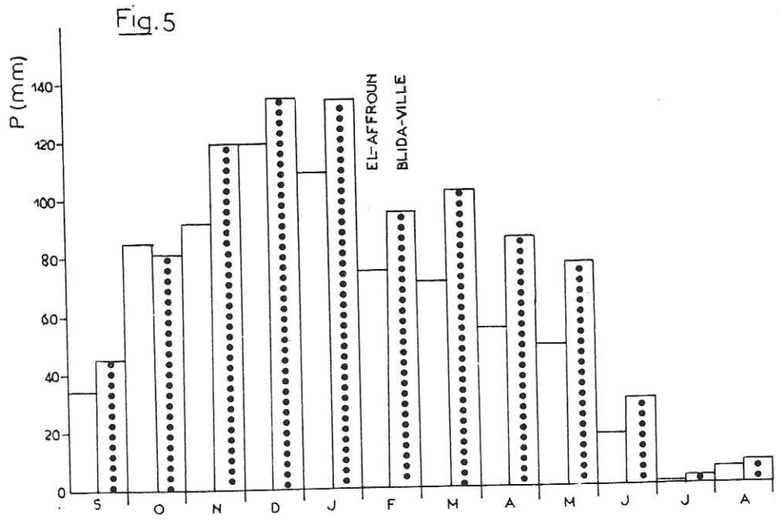
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
CHREA	Hmm	70,8	162,0	181	187	159,4	131,3	156	180	105	38	4,2	18	1393
	σ	59,9	35,6	117,6	124,7	99,3	129,7	122	188	95	65,4	10,5	32	
	V%	84	84	65	66	62	99	78	104	91	171	250	170	
	J	6	10	11	13	11	10	11	9	8	5	1	3	
	I	11,1	25,2	21,8	23	18,4	24,0	22,6	35	17,7	12	2	6	77,5
BLIDA	Hmm	41	90	103	121	128	93	86	99	62	19	3	9,4	854,5
	σ	41	77	63	79,6	78	76	70	83	56	26	10	19,0	
	V%	99	86	61	66	61	82	69	90	135	320	192		
	J	6	9	10	13	11	10	10	9	8	5	1	2	94
	I	7,6	14,3	12	15	14,4	14	13	15,3	10,5	5	2	3,5	41

Tableau 3 : Analyse des précipitations mensuelles (1931-1960)

σ : écart type — J : nombre moyen de jours pluvieux

V : variabilité — I : intervalle de confiance à 95 %





La figure 3 représente la moyenne mensuelle à Chréa et Blida, pour la période 1931-1960, ainsi que les intervalles de confiance. Dans les figures 4, 5 et 6 nous avons groupé les stations selon leur position géographique :

- Stations de l'Atlas (fig. 4) : lac de Mouzaia, Chréa, Imma H'lima ;
- Stations du piédmont (fig. 5): El-Affroun, Blida ;
- Stations de la pleine (fig. 6): Soumaa et Boufarik.

Les intervalles de confiance des moyennes permettent d'avoir une idée de la variabilité de la moyenne observée à partir des valeurs calculées.

Stations	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Année
Soumaa	46	86	102	145	145	98	97	80	68	16	5	12	900
I.H´lima	48	102	78	139	139	127	84	76	50	14	2	9	868
Boufarik	32	75	98	123	127	65	73	58	44	20	3	8	726
El-Affroun	34	85	92	119	109	75	71	55	49	18	1	6	714
Blida	45	81	119	135	134	95	102	86	77	30	3	5	915
Chréa	83	160	188	192	142	143	142	149	113	43	2	25	1382
Lac Mouzaia	33	82	133	128	123	113	105	86	66	33	1	13	916

Tableau 4 : Précipitations mensuelles, période 1913-1953

1.2.1. Variabilité dans le temps

Les hauteurs mensuelles, varient beaucoup avec la période considérée comme cela ressort de la comparaison des différents diagrammes des figures 4, 5 et 6, qui nous permettent de distinguer deux périodes tout à fait différentes :

a) La période de sécheresse qui correspond à la période de l'été :

b) La période pluvieuse qui englobe les autres saisons.

La première période, regroupe 4 mois seulement : début Juin-Fin Septembre avec un minimum au mois de Juillet, le caractère estival de sécheresse apparaît en classant les mois les plus secs dans l'ordre croissant suivant :

Septembre - Juin - Août - Juillet.

La période pluvieuse débute à partir du mois d'octobre, pour se terminer fin mai; elle regroupe 8 mois de l'année. Cette période peut être divisée en mois humides et semi humides qui ne sont pas successifs dans certains cas (stations de

Fig.6

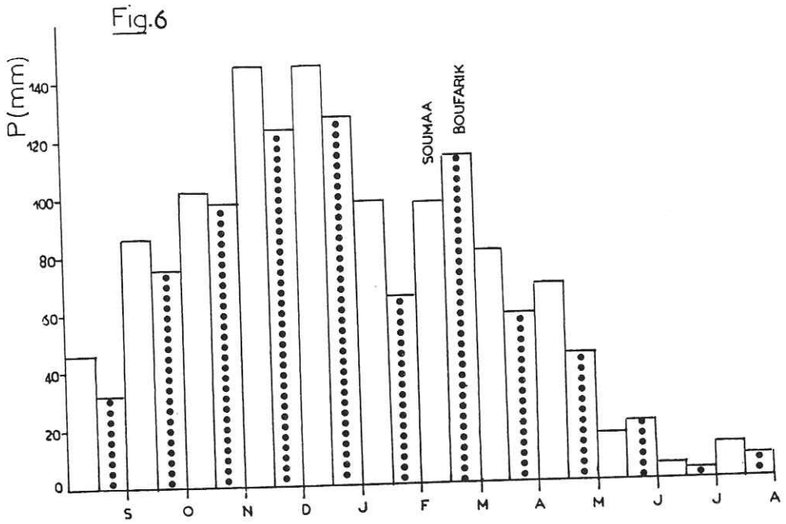


Fig.4,5,6 : REPARTITIONS DES MOYENNES MENSUELLES DES PRECIPITATIONS

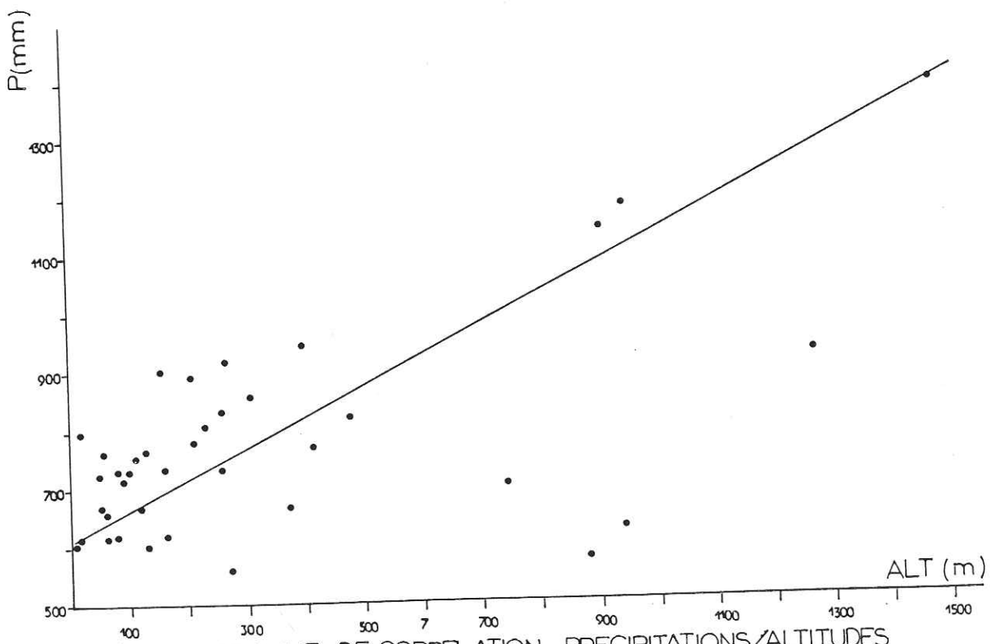


Fig.6b: DIAGRAMME DE CORRELATION PRECIPITATIONS/ALTITUDES

Chréa, Blida et Boufarik), ce qui nous interdit de regrouper les mois en saisons.

Les séries de jours sans pluie sontfréquentes en hiver, elles constituent l'une des caractéristiques du climat du pays : donnons comme exemple une série sèche de 28 jours pour le mois de Février 1957 à la station de Blida, un record !

Le mois le plus arrosé diffère d'une station à l'autre et d'une époque à l'autre : Décembre est le plus arrosé à Chréa, ensuite vient Novembre, puis Avril (période 1931-60). Décembre reste toujours le plus arrosé pour la période de 1931-1953, tandis qu'Avril et Novembre sont inversés. Pour la station de Blida, Janvier est le plus arrosé. Ce déphasage des mois les plus humides entre la plaine et la montagne reste nettement visible.

On note également la forte variabilité des précipitations entre les mêmes mois de la période 1931-60 ; visualisée par les fortes valeurs de l'écart type cette variabilité est beaucoup plus marquée en montagne (l'écart type des écarts type est de 48,7) qu'en plaine (σ_σ de 25) ; l'exemple suivant, illustre bien ceci ; Avril 1954, Chréa a enregistré 838 mm et seulement 3,3 mm pour Avril 1945.

1.2.2. Variabilité dans l'espace

Dans l'atmosphère, la quantité de vapeur d'eau étant très variable, donne des précipitations non homogènes. Un nuage peut présenter des hétérogéneités dans sa surface : par exemple dans un endroit, les nuages sont plus denses et plus bas , dans l'autre le ciel est dégagé ou couvert de nuages moins denses et plus hauts; ainsi s'expliquent les différences de chutes de précipitations d'un endroit à l'autre.
Le tableau 4 montre nettement la différence des moyennes mensuelles des précipitations entre les différentes stations.

Pour tous les mois, la station de Chréa, située sur la crête de la montagne reçoit une lame d'eau plus haute que les autres stations; viennent ensuite en ordre décroissant les stations du lac de Mouzaia et de Blida et enfin les stations de la plaine proprement dite.

1.3. Les précipitations annuelles

Les valeurs des précipitations annuelles dépendent des valeurs mensuelles qui se compensent; la dispersion des valeurs inter annuelles est souvent plus atténuée.

Les résultats des hauteurs de pluie sont résumés dans le tableau suivant :

Stations	1913-1953	Stations	1913-1953	1913-38	1931-1960
Meurad b	691	Ouzera	570	-	-
Hadjout	620	Ain Zaaf	622	-	-
Tipaza	620	Lac Mouzaia	916	933 L	-
T. Chrétienne	834	Chiffa	755	-	-
Bou-Ismail	605	Mauzaiaville	599	-	-
Fouka-Ville	728	Tisraouine	1141	1089 A	-
Mahelma	652	Soumaa	900	886 L	942
Souidania	706	Koléa PC	730	-	-
S.b Berkissa	727	Blida	915	95 A Q	85 A
Ain Dem	697	Douaouda	618	-	-
O. Zeboudj	661	Boufarik	723	772 A	747
H. Righa	819	Ghellaie	1369	1360 A	1197
Bou Medfa	560	I H'lima	868	888 A	1092
Tala-Oul-Kheir	768	Takitount	729	-	-
El-Affroun	714	Tamesguida	688	-	-
A-El-Ain	664	Ben Chicao	594	615 L	-
Sidi Rached	617	Ain Soltane	443	-	-
Attatba Cave	663	Médéa Drs	764	-	-
El-Hamdania	938	Chréa Col	1382	1493 A	1393
Rn 4	669	Hakou F.	1173	-	-

Tableau 5 : Précipitations annuelles (en mm) ; périodes SES (1913-53) Seltzer (1913-38) et Période 1931-60.

Q : série presque complète

L : importantes lacunes

D'après ce tableau, on relève que :

- les valeurs annuelles des précipitations sont plus grandes dans les stations situées sur les versants Nord-Ouest que dans les stations situées sur les versants Sud-Est avec une décroissance du Nord au Sud.

- les stations les plus arrosées font face aux vents humides : lac de Mouzaia (916), El-Hamdania (938), Chréa col. (1382), Ghellaie (1369), Tisraouine (1141).

- la hauteur de pluie croît avec l'altitude mais est plus élevée sur les versants situés à l'abri des vents : à titre d'exemple, nous citerons les stations de Chréa et de Takitount, distantes de près de 6 km l'une de l'autre, mais la précipitation est bien plus importante à Chréa (1382 mm) qu'à Takitount (729 mm) abritée des vents humides.

1.4. Détermination du volume et de la lame d'eau tombée sur le Bassin-Versant

Pour l'évaluation de la précipitation moyenne, nous disposons de trois méthodes :

- Méthode de Thiessen;
- Méthode des isohyètes;
- Méthode du gradient altimétrique de la pluviometrie.

La configuration des courbes en isohyètes (cf. fig. 7), nous obligerait à planimétrer des surfaces très irrégulières, donc avec des risques d'erreurs appréciables; pour cette raison, nous avons préféré la méthode de Thiessen qui permet un calcul beaucoup plus rigoureux des surfaces et des résultats fiables, vu le nombre important de stations.

La méthode de la variation altimétrique consiste à évaluer la lame d'eau tombée, par tranches d'altitudes successives; elle est applicable dans le cas où la pluviométrie est fonction de l'altitude; nous verrons plus loin que, pour nous, cette fonction n'est pas la même en plaine et sur le versant.

1.4.1. Méthode de Thiessen

Elle consiste à attribuer pour chaque station, une zone d'influence, de manière à ce qu'un point quelconque situé sur cette surface, soit le plus près de ce poste que des autres : sur la fig. 7, on a réuni les différentes stations par des droites dont les médiatrices détermineront une surface polygonale autour de chaque poste de mesure. La précipitation moyenne à chaque station est supposée uniformément répartie sur l'aire polygonale correspondante.

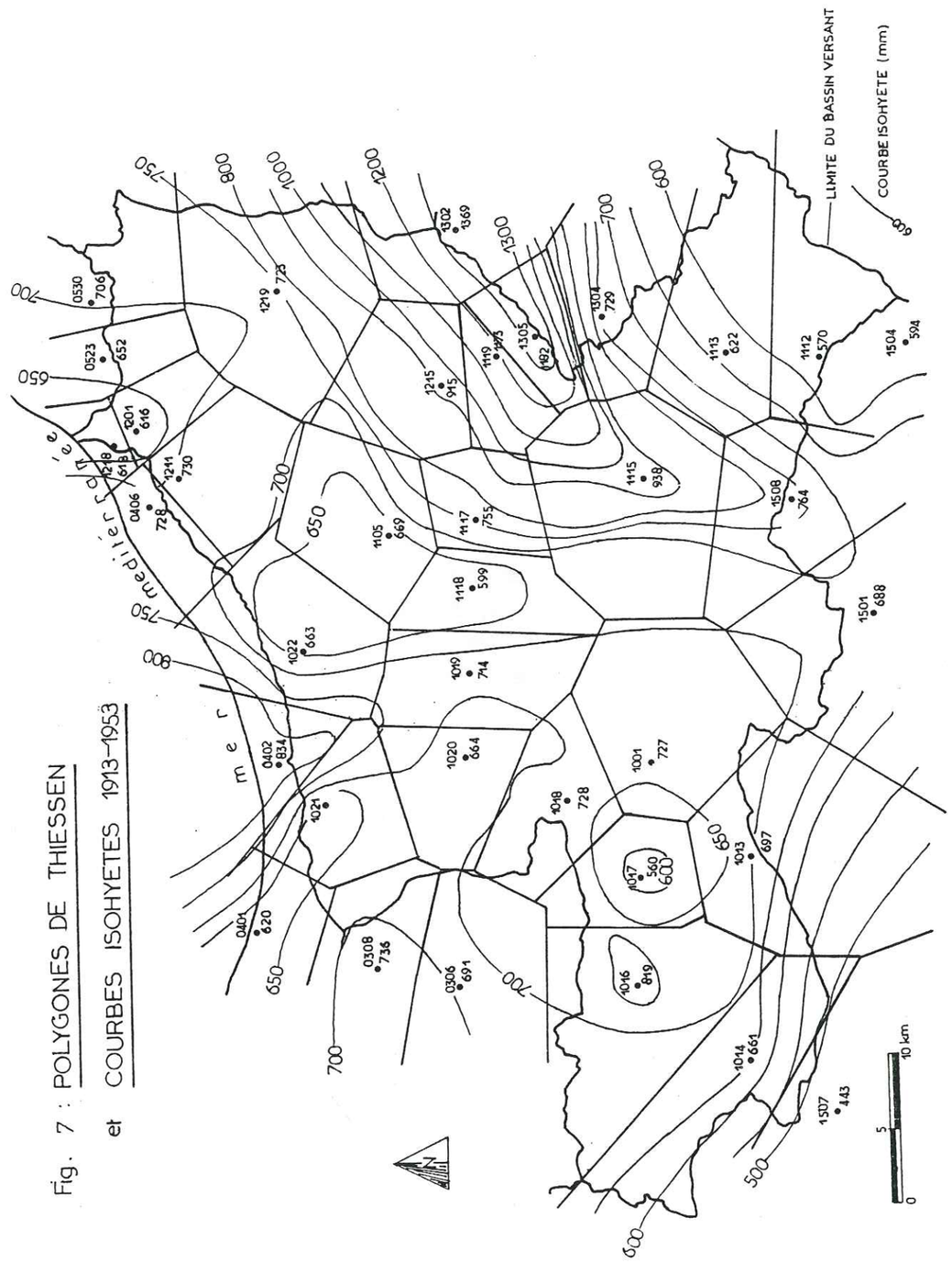


Fig. 7 : POLYGONES DE THIESSEN
et COURBES ISOHYETES 1913-1953

Stations n°	Surface des Polygones en $10^6 m^2$	Précipitations moyenne (m) 1913-1953	Volume $10^6 m^3$	Précipitations moyennes (m) 1910-1979	Volume $10^6 m^3$
0306	0,5	0,691	0,3455	0,689	0,3445
0308	15	0,736	11,04	0,654	9,81
0401	1,5	0,62	0,93	0,604	0,906
0402	12	0,834	10,0	0,817	9,8
0496	5	0,73	3,64	0,70	3,5
0523	19	0,65	12,4	0,625	11,9
0530	35	0,71	24,7	0,624	21,8
1001	125	0,73	91	0,695	87
1013	50	0,7	34,8	0,678	33,9
1014	95	0,66	62,8	0,64	61
1016	122	0,82	100	0,82	100
1017	48	0,56	26,9	0,565	27,1
1018	56	0,77	43,0	0,75	41,7
1019	81	0,71	57,8	0,65	52,4
1020	63	0,66	41,8	0,65	41,1
1021	54	0,62	33,3	0,617	33,3
1022	74	0,66	49,1	0,65	47,9
1105	87	0,67	58,2	0,59	51,4
1112	62	0,57	35,4	0,604	37,5
1113	100	0,622	62,2	0,61	61
1117	48	0,76	39,2	0,74	35,5
1118	56	0,6	33,5	0,59	33,3
1119	35	1,17	41,1	1,17 *	41,1
1201	30	0,62	18,5	0,621	18,6
1115	150	0,94	141	0,95	142,5
1215	74	0,915	67,7	0,932	69
1211	68	0,73	49,6	0,73	49,4
1218	6	0,62	3,7	0,62	3,7
1219	138	0,72	99,8	0,69	95,4
1302	30	1,37	41,1	1,36	40,6
1304	24	0,73	17,5	0,76	18,3
1501	44	0,69	30,3	0,65	28,7
1507	6	0,44	16	0,45	2,7
1508	57	0,76	43,6	0,795	45,3
1305	22	1,38	30,4	1,21	26,6
Total	1893		1429		1384
P. moy.			0,755		0,73

Tableau 6 : Volume et lame d'eau tombés sur le bassin : méthode des polygones de Thiessen

(*) Valeur reprise de la période 1913/53.

La lame d'eau moyenne tombée sur le Bassin Versant est :

$$Pt = \frac{\Sigma\ Pi\ Si}{S} = \frac{Vt}{S}$$

Vt : Volume d'eau total tombé sur le bassin

S : Surface totale du bassin

P : Précipitation au sein du polygone considéré

Si : Surface du polygone

1.4.2. Volume et lame d'eau tombée

Cette estimation concerne la période 1913-1953, durant laquelle le nombre de stations de mesures était suffisant.

Nous disposons également de moyennes standard pour la période 1910-1979. La comparaison des résultats de cette évaluation (tableau 6) montre que les valeurs obtenues sont du même ordre de grandeur, soit un volume moyen précipité de $1429.10^6 m^3$ en 1913-53 et de $1384\ .10^6 m^3$ pour 1910-79 correspondant respectivement à des lames d'eau de 755 et 730 mm, soit en moyenne 743 mm, alors qu'elle est de 824 mm pour l'Atlas Blidéen (A. HALIMI).

1.5. Les gradients altitudinaux des précipitations annuelles

L'augmentation des hauteurs de pluie en fonction de l'accroissement de l'altitude s'observe dans la région.

De nombreux auteurs (BOYERS, 1950, COUTAGNE, 1954...) ont remarqué que sur une grande dénivellation, la relation P (h) (Précipitation/Altitude) est du type exponentiel. Ceci est mis en évidence en groupant les stations pluviométriques par régions naturelles ou par altitudes et en pointant sur un graphique les hauteurs de pluie en fonction de l'altitude; on trace ensuite les courbes représentatives de l'accroissement de la pluie avec l'altitude.

Cette relation complexe peut être remplacée par les deux premiers termes de son développement en série qui est l'équation d'une droite :

$$P\ (h) = a + bh$$

P (h) : pluie probable au niveau de l'altitude h

h : pluie connue à une station voisine dans la région.

a : pluie au niveau de la mer.

b : gradient altitudinal.

Nous avons essayé de porter toutes les stations du Bassin Versant sur un graphique, mais celui-ci ne montre pas une corrélation évidente, on observe plutôt un nuage de points. Nous avons alors distingué 4 régions naturelles pour grouper nos stations (fig. 8).

- Région I : le littoral
- Région II : la basse plaine
- Région III : la plaine et le piedmont
- Région IV : le versant nord

Le calcul des coefficients de corrélation montre que :

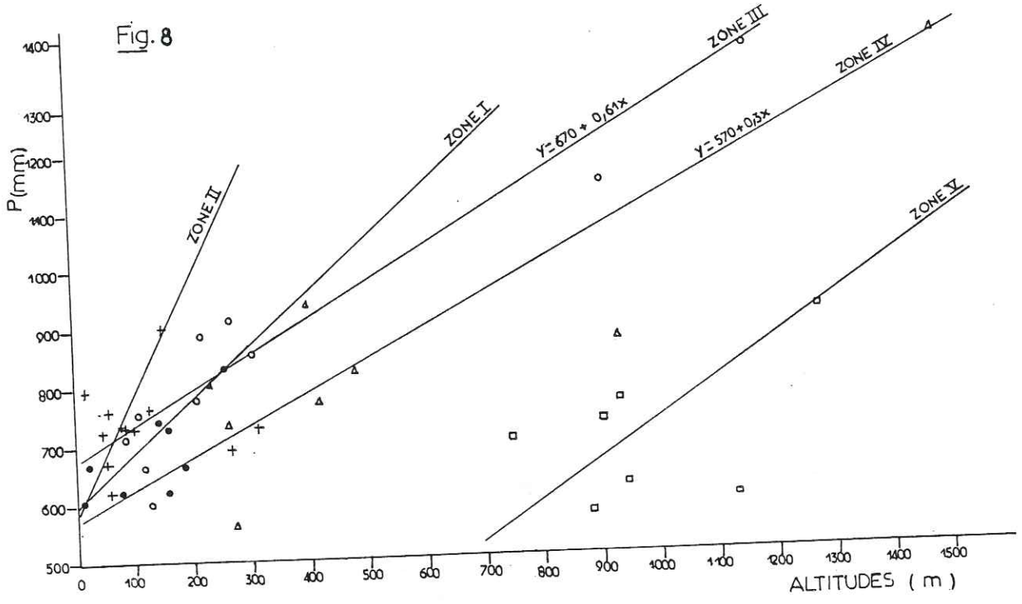
- Il n'existe aucune corrélation entre les précipitations et l'altitude pour la zone I, le coefficient étant supérieur à 1, de plus l'influence maritime doit être prépondérante.
- r : 0,04, proche de zéro, pour la zone II, la dépendance des deux paramètres est très faible.
- Il existe des corrélations pour les zones III et IV, les valeurs de r : 0,45 pour la zone III et r : 0,66 pour la zone IV, montrent qu'il y a dépendance entre les deux paramètres, dépendance mieux marquée pour le versant que pour la plaine. En regroupant les deux zones, on obtiendrait un coefficient de 0,58.

Le tableau suivant regroupe le détail des calculs pour les zones III et IV.

Tableau 7 : Calcul des droites de régression pour les zones III et IV.

Zone	Station	Alt. x	Pluv. y	Zone	Station	Alt. x	Pluv. y
III	1214	310	855	IV	1206	910	1141
	1215	267	915		1302	1161	1369
	1220	210	782		1029	1270	916
	1116	210	890		1113	940	622
	1117	110	755		1304	900	729
	1118	130	599		1305	1480	1382
	1019	92	714		1303	930	868
	1020	120	669		1112	880	570
	1016	480	819		1113	745	697
	1017	270	560		1119	950	1173
	1018	414	768				
	1012	230	804				
	1001	260	727				
	1115	400	938				

$\bar{x}$	250	1017
Ecart type σx	115	209
$\bar{y}$	771	947
σy	108	286
r	0,45	0,66
ay/x	0,42	0,9
by/x	666	31,8
Droite de régression	y = 0,42 x + 666	y = 0,9 x + 31,8



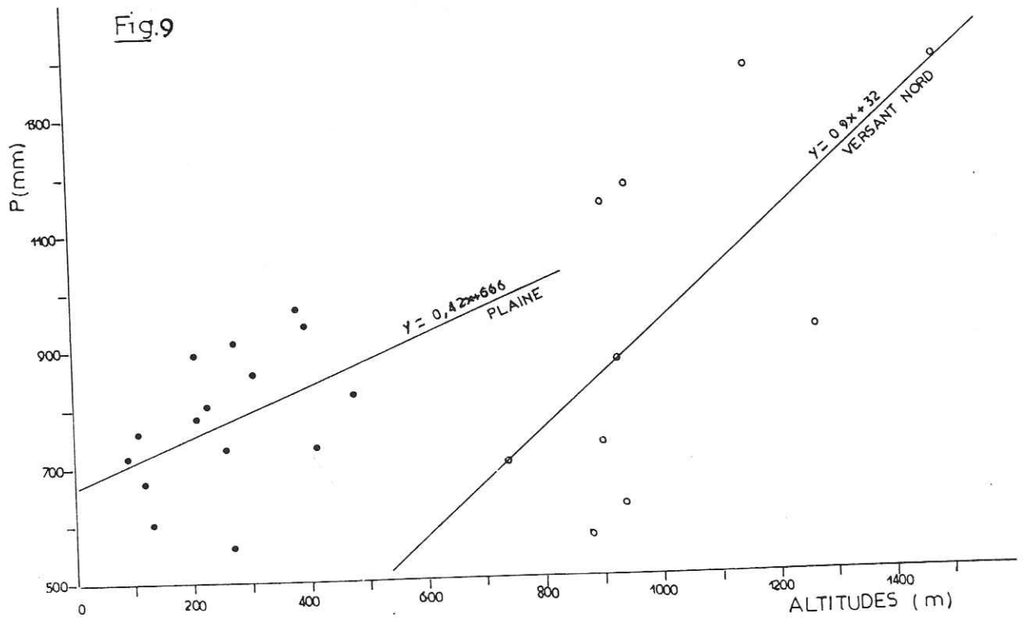


Fig.8,9 : DROITES DE CORRELATIONS PRECIPITATIONS/ALTITUDES

La figure 9 porte les droites de régression des précipitations avec l'altitude : on voit que le gradient est plus fort pour le versant (0,9) que pour la plaine (0,42).

D'après les deux droites, on connaît les précipitations sur une courbe de niveau de la région, si l'on connaît seulement son altitude, mais cette estimation doit être prise avec précaution car d'autres facteurs influent sur le phénomène de variation, on peut citer pour exemple, la distance à la mer, car l'on remarque que les hauteurs de pluie diminuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, par appauvrisement progressif de l'atmosphère en vapeur d'eau.

1.6. Variations inter-annuelles

Les stations de Chréa et Blida sont choisies comme stations type pour 1931-1960; on relève que les moyennes des deux stations sont assez proches des médianes; ceci explique la faible variabilité inter-annuelle confirmée par les coefficients de dispersion.

Paramètres/ Stations	Chréa	Blida
Hauteur moyenne (mm)	1393	854
Médiane (Me)	1362	813
Ecart type (σ)	418	216
Coef. de variation (%)	30	25
Maximum	2364	1308
Minimum	527	470
Max/mini	4,5	2,8

Tableau 8 : Analyse des précipitations inter annuelles à Chréa et à Blida

Le rapport max/mini des précipitations indique qu'il pleut à Chréa 4,5 fois plus l'année de forte pluviosité que l'année de faible pluviosité, 3 fois plus à Blida en 30 ans.

1.7. Régimes pluviaux

Les régimes pluviaux se trouvent sous l'influence de deux groupes de facteurs :

1. les facteurs géographiques : altitude, distance à la mer, orientation des versants.
2. les facteurs météorologiques : masses d'air, centres d'action, trajectoire des dépressions.

Si l'influence des premiers facteurs est évidente sur les précipitations, elle ne rend cependant pas compte de la répartition saisonnière, ni de l'irrégularité inter annuelle.

Suivant la dominance des facteurs météorologiques, on distingue dans notre région d'étude, les régimes suivants :

- Le régime méditerranéen, qui règne à partir du mois d'octobre est constitué par des précipitations dues aux pertubations du front polaire océanique, dégradées par leur passage sur l'Europe continentale et régénérées par la Méditerranée. Ces précipitations fournissent, entre Décembre et Mars, environ 60 % des précipitations totales annuelles. On observe également des pluies orageuses dues aux contrastes thermiques, mer-continent et montagne-vallée, elles sont très fréquentes en automne et au printemps.
- Le régime sub-tropical : caractérisé par des précipitations qui viennent du Sud-Ouest, événement rare; les pluies sont violentes et se manifestent seulement en été.

En conclusion, il apparaît que notre région est dominée par le régime méditerranéen. Les précipitations s'étendent de Septembre à Juin et un été sec de Juillet à la fin Août.

1.8 Les régimes saisonniers

Nous avons groupé les mois 3 par 3 pour six stations (tableau 9). Il en résulte 4 totaux pluviométriques saisonniers moyens, période 1913-1953.

Stations	Total Annuel	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Chréa	1382	431	477	404	70
Lac Mauzaia	916	248	364	257	47
Blida	915	245	364	265	41
Soumaa	900	234	388	245	33
Boufarik	723	205	315	175	28
El-Affroun	714	211	305	175	25

Tableau 9 : Régimes saisonniers, période 1913-1953

Les indicatifs saisonniers pour les 6 stations s'établissent comme suit :

- Chréa : Hiver : 477 ; automne : 431 ; Printemps : 404 ; Eté : 70 donc : H.A.P.E.
- Lac de Mouzaia : H.P.A.E.
- Blida : H.P.A.E.
- Soumaa : H.P.A.E.
- Boufarik : H.A.P.E.
- El-Affroun : H.A.P.E.

Pour toutes les stations, l'hiver est la saison la plus arrosée et l'été est la plus sèche.

On note une ressemblance entre la station de haute montagne (Chréa) et les stations de la plaine : Boufarik et El-Affroun avec un automne plus arrosé que le printemps ; et une ressemblance entre les stations intermédiaires (Lac de Mouzaia, Blida et Soumaa) avec un printemps beaucoup plus arrosé que l'été.

Une autre méthode consiste à diviser la somme des précipitations trimestrielles par le total annuel, le régime saisonnier s'établissant alors comme suit :

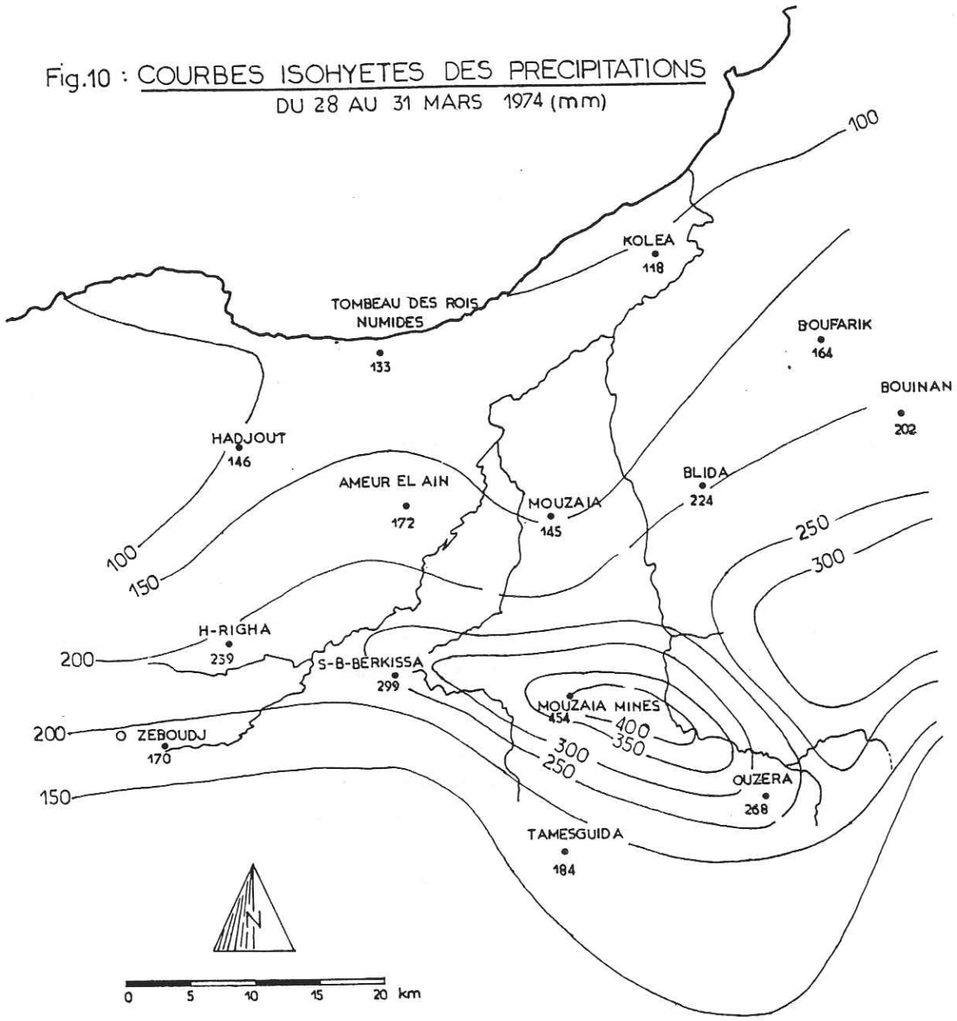
Stations	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Chréa	0,31	0,35	0,29	0,05
Lac Mouzaia	0,27	0,40	0,28	0,05
Blida	0,27	0,40	0,29	0,04
Soumaa	0,26	0,43	0,27	0,04
Boufarik	0,28	0,43	0,24	0,04
El-Affroun	0,3	0,43	0,24	0,035

Tableau 10 : Régimes saisonniers (1913-1953)

On remarque que l'été est plus sec en montagne qu'en plaine, la répartition des précipitations entre H.A.P.[1] est presque égale dans la station de haute montagne. Par contre le contraste est beaucoup plus net pour les autres stations où l'hiver reçoit la plus grosse quantité des précipitations. Ce contrasteest plus accentué pour les stations de la plaine, où l'hiver est bien marqué, que pour celles du piedmont.

(1) : hiver-automne-printemps.

Fig.10 : COURBES ISOHYETES DES PRECIPITATIONS
DU 28 AU 31 MARS 1974 (mm)



1.9. Intensité des chutes de pluie

L'intensité est la quantité d'eau reçue en une unité de temps. Peu intense, la pluie s'évapore à mesure qu'elle tombe ; les pluies très intenses saturent rapidement le sol et une grande partie ruisselle.

L'intensité des précipitations est très importante à connaître en agriculture, en Génie Civil; elle joue un grand rôle dans le lessivage des terres agricoles, entraînant avec elle les engrais.

La moyenne annuelle des jours d'orage pour les stations de Meurad, Sidi-Rached, El-Affroun et l'Arba est respectivement de 27,6 ; 20,9 26,1 et 27,6 jours. Les pluies torrentielles (supérieures à 30 mm/j) ne sont pas rares, surtout aux mois de Décembre, Janvier et Février.

Le tableau suivant résume le nombre d'orages et leurs intensités.

Stations	Nombre d'orages	Intensités (mm/j)				Moy. ann. (J)	Max. (mm)
		30-50	50-70	70-100	>100		
Meurad	137	106	21	7	3	5,5	135
El-Affroun	145	109	28	7	2	5,8	122
Blida	195	135	38	16	6	7,8	162

Tableau 11 : Nombre d'orages et leurs intensités à Meurad, El-Affroun, et Blida, période 1913-38.

En moyenne 5 à 8 jours de pluies torrentielles sont enregistrées par an. Certains orages ont deversé en une seule fois le 1/6 des hauteurs annuelles, ce qui caractérise une pluviosité mal répartie sur l'ensemble de l'année agricole.

Sur la carte (fig. 10) sont reportées les courbes isohyètes des précipitations mémorables du 28 au 31 Mars 1974 où une grande quantité d'eau s'est déversée sur la plaine en 4 jours. On peut relever une pluviosité de 454 mm à Mouzaia les Mines, soit une intensité de 4,7 mm/h pendant 96 heures ! représentant 61 % des précipitations moyennes annuelles.

1.10. Continentalité pluviale moyenne

Définition : la continentalité pluviale permet de définir le climat continental; d'après COUTAGNE (1954), elle s'exprime par le rapport "R" de la somme des coefficients pluviométriques relatifs mensuels des mois les plus chauds à la somme des coefficients pluviométriques relatifs mensuels des

Stations	Alt. (m)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An	
Bou-Ismaïl	10	72	70	68	67	70	72	70	72	72	71	71	71	69	hr %
		7,7	7,8	8,1	8,7	10,6	13	14,6	16	14,7	11,9	9,5	8,1	10,3	ha (g/m³)
Blida	267	74	70	71	66	65	61	60	57	66	69	71	73	67	hr %
		7,5	7,4	8	8,5	10,5	12,3	14,4	14,4	13,8	11,4	9,4	8	9,7	ha
Chréa	1480	86	77	76	77	66	61	48	45	57	74	81	85	70	hr %
		4,1	4,1	4,2	4,1	5,2	6,6	6,4	6,6	8,3	5,8	5,2	4,5	5,6	ha (g/m³)

Tableau 13 : Humidité relative et absolue : moyennes mensuelles période 1952-1960

Stations	M	Mois Chauds J	J	A	S	O	Somme	Mois Froids N	D	J	F	M	A	S	R
Soumaa	0,89	0,22	0,065	0,17	0,62	1,13	3,1	1,4	1,9	1,9	1,4	1,3	1,1	8,9	0,35
Boufarik	0,72	0,34	0,05	0,13	0,54	1,22	3	1,7	2,0	2,1	1,2	1,2	1	9	0,33
El-Affroun	0,81	0,31	0,02	0,1	0,58	1,4	3,2	1,5	2	1,8	1,3	1,2	0,9	8,7	0,37
Blida	0,99	0,4	0,04	0,064	0,60	1,04	3,2	1,6	1,7	1,7	1,3	1,3	1,1	8,8	0,36
Chréa	0,96	0,38	0,02	0,21	0,73	1,36	3,7	1,6	1,6	1,2	1,3	1,2	1,3	8,3	0,44
Lac Mouzaia	0,85	0,29	0,013	0,17	0,29	1,05	2,7	1,2	1,7	1,6	1,1	1,4	0,8	7,5	0,35

Tableau 12 : Indice de continentalité pluviale. Période 1913-1953.

mois les plus froids.

- R > 1,75 : climat continental
- 1,75 > R > 1 : Climat semi-continental
- R < 1 : climat non continental.

L'année peut être divisée en deux grandes saisons : la saison chaude, qui va de Mai à fin Octobre, la saison froide qui va de Novembre à Avril.

Calcul des coefficients pluviométriques :

Ce coefficient a été défini pour la première fois par ANGOT en 1895 :

$$Cp = \frac{365 \times P\,i}{P \times n\,i}$$

P : Précipitation moyenne annuelle

Pi: Précipitation du mois de rang i

ni: Nombre des jours du mois de rang i.

Cp exprime le caractère plus ou moins pluvieux du mois considéré dans l'ensemble de l'année. Le tableau suivant exprime les résultats.(tableau 12)

Ces valeurs confirment la non continentalité du climat de notre région, qui n'est d'ailleurs pas très éloignée de la mer.

L'influence maritime décroît à mesure que l'on s'éloigne de la mer ; Chréa (0,44) est plus continentale que El-Affroun (0,37) ou Boufarik (0,33).

Ces chiffres montrent également qu'il existe une diversité dans le climat de la région.

1.11. Les chutes de neige

Elles sont exceptionnelles : en 24 ans la neige n'est tombée que 18 fois et le plus souvent elle n'a jamais constitué une couche notable, excepté l'année 1954, où une couche de 10 à 20 cm a recouvert la plaine pendant 10 jours, et l'année 1974 où elle avait persisté pendant 3 jours.

Par contre, l'Atlas enregistre chaque hiver des précipitations neigeuses :

- Chréa, la station climatique de Blida à 1400 m d'altitude où on a relevé jusqu'à 50 à 60 cm de neige et même 150 cm exceptionnellement en Janvier 1934.
- La station du Lac de Mouzaia connaît un enneigement comparable. C'est à partir du mois de Décembre que la neige fait son apparition sur les cimes de l'Atlas, les plus fortes sont enregistrées en Janvier. La neige persiste jusqu'à la fin du mois d'Avril.

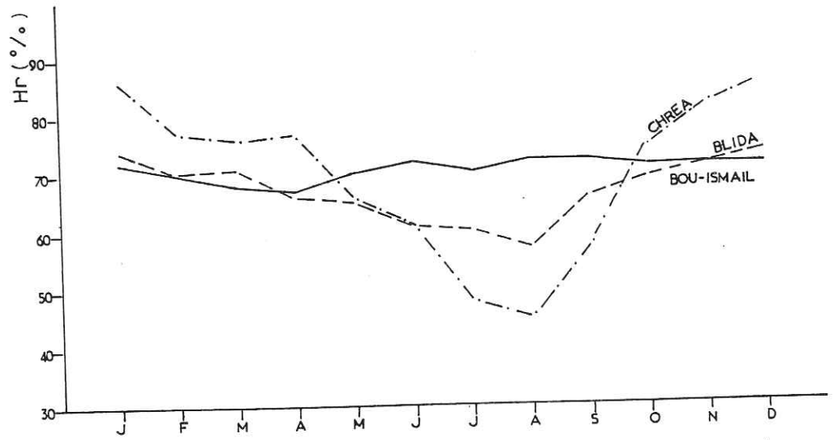


Fig.11 : MOYENNES MENSUELLES DE L'hr (%)

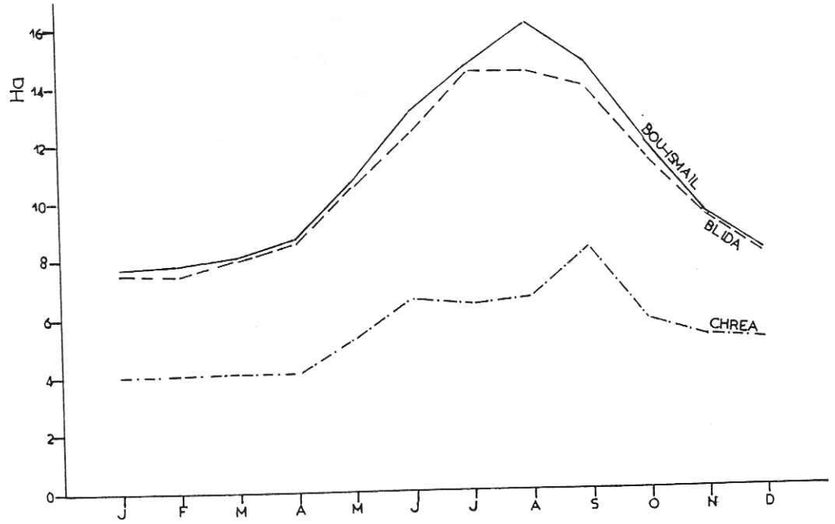


Fig.12 : MOYENNES MENSUELLES DE L' ha (gr/m³)

1.1.2. L'humidité atmosphérique

Nous disposons de données pour la période 1952-1960 pour 3 stations qui s'étendent du littoral à l'Atlas.

- La station de Bon-Ismaïl, située à quelques mètres de la mer, la station de Blida et celle de Chréa.

Definition : L'humidité relative (hr) représente le rapport entre la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air humide (e) et la pression de saturation (es) à la même température. Elle est exprimée en % :

$$hr = \frac{e}{es} \; 100$$

Les données de l'h r et de l'humidité absolue (ha) pour les 3 stations sont consignées dans le tableau 13. Les figures 11 et 12 illustrent graphiquement les résultats. L'examen du tableau et des figures nous permet de faire les remarques suivantes :

- l'humidité relative est plus élevée en hiver qu'en été, ce qui est dû a une température plus élevée en été; elle est plus faible à Blida qu'à Bou-Ismaïl, par suite de l'apport d'humidité dû à la proximité de la mer.

au-dessous de 50 % à Blida et à Bou-Ismaïl.

- les courbes de l'humidité absolue (ha) vont en sens inverses des courbes de l'humidité relative (hr).

2. Etude des températures

La température est un facteur très important, qui conditionne le déficit d'écoulement.

Disponibilité des données :

Les données des températures sont très peu disponibles dans notre région d'étude ; en effet la plupart des stations ne sont équipées qu'en pluviographes.

2.1. Répartition géographique des températures : Températures de l'air sous abri.

A Chréa, Blida et Boufarik, les observations sont satisfaisantes pour la période 1948 à 1952 et 1952 à 1960 pour Bou-Ismaïl (tableau 14).

St.	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An	
Blida	7,5	7,7	9,5	11,1	14,1	17,5	19,9	21,5	19,2	15,0	11,7	9,0	14,2	m
	15,2	16,7	19,1	20,8	24,8	28,9	32,8	33,6	30,2	24,7	19,8	16,7	23,6	M
	11,3	12,2	14,7	15,9	19,5	23,2	26,3	27,5	24,7	19,8	15,7	12,8	19,5	$\frac{M+m}{2}$
Chréa	0,4	0,4	2,4	4,2	9,4	12,4	17,6	18,1	14,3	7,9	3,8	1,1	7,6	m
	5,6	6,2	7,6	11,9	16,0	20,8	26,0	26,3	22,3	14,9	10,0	6,3	14,4	M
	3,0	3,3	5,0	8,0	12,7	16,6	21,8	22,2	18,3	11,4	6,9	3,7	11,1	M + m/2
Boufarik	5,9	7,5	9,5	10,1	13,5	17,2	19,0	20,2	18,9	14,5	11,4	8,7	13,0	m
	15,6	17,1	19,5	21,3	25,2	28,9	32,2	33,2	30,6	25,2	20,6	17,5	23,9	M
	10,7	11,8	14,0	15,7	9,3	23,0	25,6	26,7	25,2	19,8	15,5	12,8	18,3	M + m/2
Bou-Ismaïl	12	12,6	13,7	15,2	17,7	20,7	23,2	24,2	22,8	19,4	15,7	13,0	17,5	$\frac{M+m}{2}$

Tableau 14 : Moyenne mensuelle des températures.

m : minimum

M : Maximum

$\frac{M+m}{2}$ = moyenne

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	I / ETP
Bou-Ismaïl	t	12	12,5	13,7	13,2	7,7	12,7	23,2	24,2	22,8	15,4	15,7	13	
	i	3,76	4,05	4,6	5,38	6,78	9,59	10,21	10,89	9,95	7,79	5,65	4,25	81,9
	E.T.P. brute	32	35	40	48	63	85	105	115	100	75	55	37	
	E.T.P. corrigée	27,8	29,8	41,2	52,8	76,2	103,7	130,2	133,4	103	72,75	47,.	31,1	849,2
Boufarik	t	10,7	11,8	14	18,7	19,3	23	25,6	26,7	25,2	19,8	15,5	12,8	
	i	3,16	3,67	4,75	5,67	7,73	10,1	11,8	12,6	11,6	8	5,6	4,2	88,8
	E.T.P.b	24	28	40	49	73	105	125	135	120	78	50	33	
	E.T.P.c	20,9	23,8	41,2	53,9	88,4	128,1	155	156,6	123,6	75,7	43	27,7	938
Blida	t	11,3	12,2	14,7	13,9	19,4	23,2	26,3	27,5	24,7	19,8	15,7	12,8	
	i	3,44	3,86	5,12	5,76	7,79	10,2	12,4	13,2	11,2	8	5,7	4,2	91
	E.T.P.b	25	29	42	49	75	100	130	140	122	72	48	32	
	E.T.P.c	21,8	24,6	43,3	53,9	90,8	122	161	162,6	126	70	41	27	944
Chréa	t	3,0	3,3	5,0	8,0	12,7	16,6	21,8	22,2	18,3	11,4	6,9	3,7	
	i	0,46	0,53	1,0	2,04	4,1	6,15	9,03	9,6	7,1	3,5	1,6	0,6	46
	E.T.P.b	9,5	11	18	32	55	75	105	108	85	48	26,5	12,5	
	E.T.P.c	8,3	9,4	18,5	35,2	66,6	91,5	130,2	125	87,6	46,6	22,8	10,5	653
	C	0,87	0,85	1,03	1,10	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84	

Tableau 15 : E.T.P. selon la méthode THORNTHWAITE

i : Indice mensuel
I : Indice thermique annuel
ETPb : Evapotranspiration potentielle brute (mm)
ETPc : Evapotranspiration potentielle corrigée (mm)
C : Facteur de correction

2.1.1. Les extrêmes mensuels (1948-1962)

-Température maximale moyenne (1948-1962)

Dans les stations de Blida, Chréa et Boufarik,les maximums moyens atteignent leurs plus fortes valeurs soit en Juillet, soit en Août.

- Température maximale absolue

On remarque que les valeurs maximales absolues sont plus fortes sur la plaine que sur l'Atlas. Ceci est dû à l'effet du sirocco.

- Température minimale moyenne

Le minimum des minimums moyens sesitue en Janvier dans toutes les stations, il est plus accusé dans les stations de hautes altitudes (Chréa 0,4°C) que dans les stations de basses altitudes (Blida 7,5°C).

Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en Août où les minimums moyens varient entre 18° et 21,5°C.

2.2. Les températures moyennes mensuelles

Les graphiques de la figure 13 montrent que pour celles-ci:

- le minimum se situe entre Janvier pour toutes les stations; on remarque également une faible différence en Janvier et Février. Il est beaucoup plus accentué à Chréa qu'à Bou-Ismaïl; il y a d'ailleurs décroissance du littoral à l'Atlas,ceci étant dû à l'influence maritime qui adoucit les températures.
- le maximum a lieu en Août, mais plus important au niveau des stations intermédiaires (Blida, Boufarik) qu'à Bou-Ismaïl (effet de la brise de mer) et Chréa (effet de l'altitude).

2.3. Les températures annuelles

De Novembre à Avril, la température moyenne est inférieure à la moyenne annuelle,ce qui permet de diviser l'année en deux semestres :

- l'HIVER ou semestre froid qui s'étend de Novembre à Avril.
- l'ETE ou semestre chaud, de Mai à Octobre.

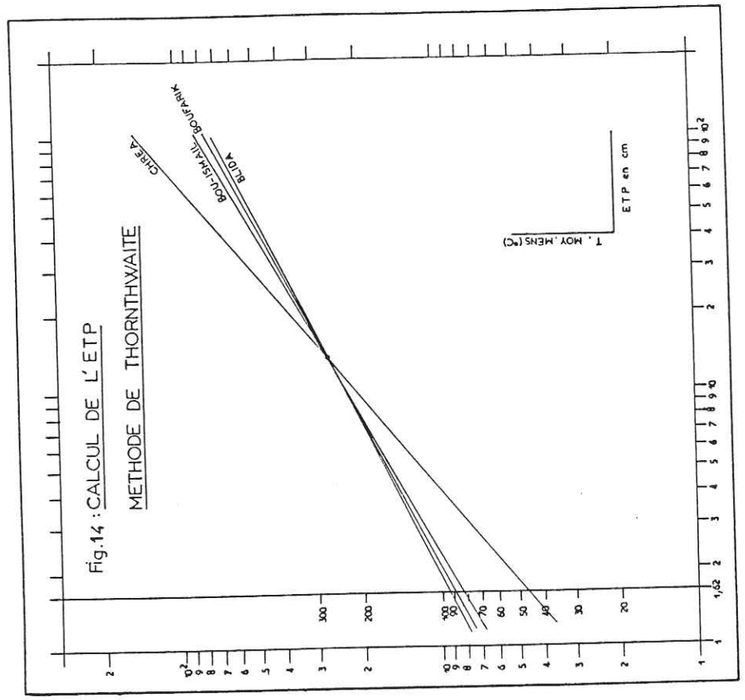


Fig.14 : CALCUL DE L'ETP
METHODE DE THORNTHWAITE

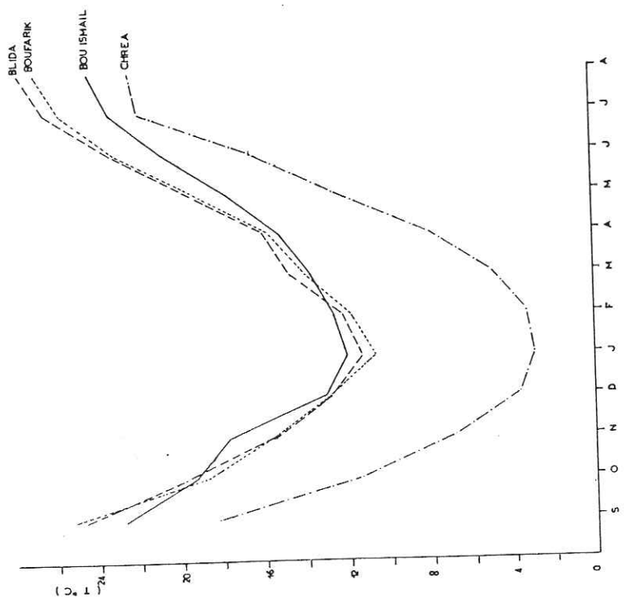


Fig.13 : TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES

III. EVAPOTRANSPIRATION

Le bilan d'eau d'une région consiste à évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique : l'écoulement, l'infiltration et l'évaporation.

Définition : Restitution de l'eau sous forme de vapeur de la surface terrestre, à l'atmosphère. Cette notion engloble aussi bien la lame d'eau évaporée à partir du substratum terrestre, que celle transpirée par les végétaux.

Il faut distinguer entre l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) employée lorsque la surface évaporante est convenablement alimentée en eau et l'évapotranspiration réelle (E.T.R.) qui tient compte de l'abondance de l'eau à la surface évaporante. L'E.T.R. est par définition inférieure ou égale à l'E.T.P.

1. Calcul de l'E.T.P. climatique

De nombreuses formules ont été établies pour calculer l'E.T.P. à partir de 4 éléments fondamentaux (température, déficit de saturation, vent et radiation globale). Mais ces 4 éléments ne sont pas tous mesurés dans toutes les stations. Ce problème de dispobibilité des données à orienté les auteurs vers la recherche de formules plus convenables, qui permettent d'estimer l'E.T.P. à partir d'un ou plusieurs paramètres climatiques qui régissent en priorité ce phénomène.

La température, élément le plus disponible, a été intégrée à toutes les formules.

1.1. Méthode de Thornthwaite

C.W. THORNTHWAITE, présenta en 1948, sa première formule au calcul de l'E.T.P., qui ne tient compte que de la température :

$$E.T.P. = CT^a \quad \text{où}$$

c = facteur de correction (donné par des tables) qui dépend du temps, en mois, et de la latitude du lieu ; par lequel on doit multiplier les valeurs de l'E.T.P. pour obtenir les valeurs corrigées.

T = température moyenne mensuelle en °C.

a = indice lié à la température; on le calcule par la relation suivante :

$a = 67{,}5.10^{8} I^{-3} - 77{,}1.10^{-6} I^{2} + 0{,}0179\ I + 0{,}492$, dans laquelle I est l'indice thermique annuel qui s'obtient en sommant les 12 valeurs mensuelles de $(t/5)^{1{,}154}$ ou t est la température moyenne mensuelle.

SERRA. L, en 1954, a proposé de la simplifier en :

$a = 0{,}016\ I + 0{,}5$

Selon certains auteurs, la méthode de THORTHWAITE donne par rapport aux mesures des lysimètres soit des résultats sous-estimés en zones arides et semi-arides, soit des valeurs surestimées dans les zones tropicales humides ou équatoriales.

Cette méthode convient seulement aux régions humides et sub-humides de la zone tempérée (là où elle a été mise au point aux Etats-Unis); en dehors de ce pays, on a remarqué qu'elle donne des valeurs trop faibles pour le printemps et trop élevées pour l'automne.

Représentation graphique :

Partant du principe que pour une même région, c et a sont des constantes, la fonction E.T.P. = f(t) peut être représentée par une droite sur un graphique bi-logarithmique.

Nous avons construit un abaque (fig. 14) pour le calcul de l'E.T.P. dans notre région :

- à partir de la valeur 1,62 de l'abscisse, la droite représentant l'indice annuel I, est tracée parallèlement à l'échelle des températures mensuelles. Elle est graduée selon (I) égale à 10 fois l'échelle (t).
- Calcul de I et porté sur son échelle.
- toutes les droites passent par un point, t = 26,5 °C et E.T.P. = 13,5cm ; vers lequel on a remarqué, d'après des expériences effectuées aux U.S.A., que toutes les droites convergent ; on lit directement, l'E.T.P. en cm, à partir de la température moyenne mensuelle du mois, ensuite on procède à la correction.

1.2. Formule de Blaney-Criddle (1931)

C'est l'une des plus anciennes formules, elle s'exprime par :

E.T.P = F . K (114 - H) où

F : Force évaporante (température moyenne et rapport d'éclairement);

H : Humidité relative de l'air où déficit de saturation;

K : Facteur de correction qui dépend du sol et du type de plante.

En 1945, les auteurs, simplifient leur formule qui devient :

E.T.P. = K F, en pouces.

L'importance du facteur K, coefficient cultural n'est pas à négliger, il varie entre 1,20 et 1,50. Pour simplifier les calculs, des tables ont été établies qui donnent directement K suivant les différentes cultures, dans différentes zones climatiques.

La formule a été mise au point au Sud-Ouest des U.S.A., dans des zones sub-humides et semi-arides.

Le tableau suivant porte les calculs de l'E.T.P. moyenne mensuelle pour la période 1948-1962. (tableau 16).

- le calcul du coefficient de correction, exige des mesures faites sur le terrain; nous allons simplement nous référer à la valeur calculée par les auteurs de la formule :

K = 0,60

- F est obtenu en faisant le produit de la température (°F) par P%.
- L'E.T.P. est obtenue en pouces (1 pouce : 25,4 mm).

1.3. Formule de L. Turc

Après avoir étudié les bilans hydrologiques sur 254 bassins versants à travers le monde, et les expériences faites sur les lysimètres à Versailles, Rothamsted et Groninger . L. TURC a publié à partir de 1954 une gamme de formules permettant les calculs de l'E.T.P. TURC a fait entrer dans ses expressions les principaux facteurs qui régissent l'évapotranspiration : la température, la radiation solaire, la précipitation et la réserve en eau du sol.

En 1961, et après son article sur "l'évaluation des besoins en eau d'irrigation", L. TURC distinguait entre l'évapotranspiration potentielle et réelle, journalière, décadaire, mensuelle et annuelle et a suggéré pour chaque période la formule convenable, les plus simples étant les deux dernières.

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An.
	P (%)	6,92	6,84	8,34	8,86	9,87	9,89	10,0	9,44	8,36	7,84	6,88	6,66	
Bou-Ismail	Tf	53,6	54,7	56,7	59,4	63,9	69,3	73,8	75,6	73	66,9	60,3	55,4	
	E.T.P.p	2,23	2,25	2,84	3,16	3,78	4,11	4,43	4,28	3,66	3,15	2,49	2,23	
	:E.T.P. mm	56,6	57,2	72,2	80,3	96	104,4	112,5	109	93	80	63	56	980
Boufarik	Tf	51,3	53,2	57,2	60,3	66,7	73,4	78,1	80,1	77,4	67,6	60	55	
	E.T.Pp	2,13	2,18	2,86	3,2	3,95	4,4	4,7	4,5	3,9	3,2	2,5	2,2	
	E.T.P mm	54,1	55,4	73	81	100	111	119	115	98,5	81	63	56	1007
Blida	Tf	52,4	53,9	58,4	60,6	67,0	73,7	79,3	81,5	76,4	67,6	60,2	55	
	E.T.P.p	2,17	2,21	2,9	3,2	4	4,4	4,8	4,6	3,8	3,2	2,5	2,2	
	E.T.P. mm	55	56	74	82	101	101	121	117	97	81	63	56	1013
Chréa	Tf	37,4	37,9	41	46,4	54,8	61,8	71,2	71,9	64,9	52,5	44,4	38,6	
	E.T.P.p	2,6	1,6	2,1	2,5	3,2	3,7	4,3	4,1	3,3	2,5	1,8	1,5	
	E.T.P. mm	39,4	39,4	52	62,5	82	93	102,5	103,4	82,6	62,5	46,5	39	811

Tableau 16 : E.T.P. selon la méthode de BLANEY-CRIDDLE

P % : Durée d'éclairement en % (latitude 36°)
ETPp : Evapotranspiration en pouces
ETPmm : Evapotranspiration en mm
Tf : Température en degré Farenheit (°F $= \frac{(°C \times 9)}{5} + 32$

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An.
Blida	t	11,3	12,2	14,7	15,9	19,4	23,2	26,3	27,5	24,7	19,8	15,7	12,8	
	Ig	192	287	391	471	587	617	657	599	484	331	229	184	
	E.T.P mm	41,6	61	87	107	143	162	180	168	136	89	57	43	1275
Chréa	t	3,0	3,3	5,0	8,0	12,7	16,6	21,8	22,2	18,3	11,4	6,9	3,7	
	Ig	15	247	339	385	533	611	663	604	465	291	193	146	
	E.T.P. mm	13,2	21,5	39	60,5	107	139	69	156	113	59	30,5	15	828

Tableau 17 : E.T.P. selon L. TURC à Blida et Chréa

La formule de l'estimation de l'E.T.R. annuelle donne une idée générale ; pour une estimation moins générale, TURC développe une deuxième formule pour les calculs de l'E.T.R mensuelle.
Après avoir corrigé la température, il ajoute à sa formule, le bilan radiatif , cette formule s'écrit:

$$\text{E.T.P. mm/mois} = 0{,}40 \frac{t}{t + 15} (Ig + 50)$$, dans laquelle

Ig : Moyenne annuelle de la radiation solaire globale exprimée en cal/cm²/jour.

t : Moyenne mensuelle de la température en °C (sous abri).

La constante 0,40 est le résultat du produit 0,013 j par le nombre de jours du mois.
Le tableau 17 porte les résultats de l'évaporation selon L. TURC pour les stations de Blida et Chréa.

2. Calcul de l'E.T. réelle

2.1. Formule de L. TURC

La formule de l'E.T.R. annuelle s'applique surtout aux grandes surfaces et minimise au maximum l'erreur ; plus on augmente l'unité du temps et la surface, plus on échappe à l'effet d'oasis et de turbulences, plus la différence entre l'E.T.R. calculée et mesurée devient négligeable.

$$\text{E.T.R. (mm/an)} = \frac{P}{\sqrt{0{,}9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$ où

P : Précipitations annuelles en mm

L : Pouvoir évaporant.

TURC, note que lorsque "P" devient grand, l'évaporation tend vers une limite "L" observée effectivement. "L" est une première approximation de l'E.T.R., valable pour les régions bien arrosées.
"L" s'exprime par :

$L = 300 + 24\,t + 0{,}05\,t^3$ ou t représente la température moyenne annuelle.

Stations	P (mm)	t° (C)	E.T.R. (mm)
Bou-Ismaïl	605	17,5	536
Boufarik	723	18,3	616
Blida	915	18,5	714
Chréa	1382	11,08	581

Tableau 18 : E.T.R. annuelle, selon L. TURC

2.2. Formule de COUTAGNE

L'E.T.R. annuelle calculée est :

$$E.T.R. = P - \lambda P^2 \quad \text{où}$$

P : hauteur moyenne des précipitations (m)

λ : $\dfrac{1}{0,8 + 0,14\ t}$

t : température moyenne annuelle en °C.

Cette formule n'est pas valable à la station de Chréa où la valeur annuelle des précipitations (1,38 m) n'est pas comprise entre $1/8\lambda$ et $1/2\lambda$, condition nécessaire à l'application de cette formule.
La valeur trouvée à Chréa : 0,56 m (voir tableau 19) est donnée à titre indicatif.

3. Comparaison des résultats

Il est utile de comparer entre eux les résultats obtenus par les différentes méthodes pour voir s'il existe des différences significatives. Les tableaux 19 a, b, c et d rassemblent les résultats des différentes méthodes pour les différentes stations.

Les résultats de l'E.T.P. par les différentes méthodes, nous permettent de faire les remarques suivantes :

- les cinq formules donnent des valeurs inégales, chacune ayant été élaborée dans un lieu différent.
- les méthodes de BLANEY-CRIDDLE et THORNTHWAITE présentent pour l'E.T.P. un écart faible en Juin et accusent un maximum d'écart en Janvier. D'une manière générale, la méthode de TURC, présente des valeurs mensuelles supérieures à celles obtenues par la méthode de THORNTHWAITE, par contre la valeur annuelle est moins forte.

	Méthodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	% P
E.T.P (mm)	B.C	56,6	57,2	72,2	80,3	96	104,4	112,5	108,7	93	80	63,2	56,1	980	162
	Th	27,8	29,8	41,2	52,8	76,2	103,7	130,2	133,4	105	72,8	47,3	31,1	849	140
E.T.R (mm)	T													536	88,6
	C													492	81
	P (mm)													605	

Tableau 19a : Station de Bou-Ismail

	Méthodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	% P
	P (mm)	127	65	73	58	44	20	3	8	32	75	98	123	726	
E.T.P. (mm)	B.C	54	55,4	72,6	81,3	100,3	110,7	119,1	115,3	98,5	80,8	62,7	55,9	1007	139
	Th	20,9	23,8	41,2	53,9	88,4	128	155	157	123,6	75,7	43	27,7	938	129
E.T.R. (mm)	TURC													616	85
	C													568	78

Tableau 19b : Station de Boufarik

	Méthodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	% P
	P (mm)	134	95	102	86	77	30	3	8	45	81	119	135	915	
	E.T.P. (mesuré)	75,1	76,2	80,6	95,0	124,1	148,6	198,4	149,5	141,5	97,6	83,0	82,1	1392	150
E.T.P (mm)	B-C	55,1	56,2	74,2	81,8	100,6	111,1	120,7	117,2	97,3	80,6	63,0	55,7	1013	111
	Th	21,8	24,6	43,3	53,9	90,8	122	161	162,6	125,7	69,8	41,8	26,9	944	103
	Turc	41,6	61	87	107	143	162	180	168	136	89	57	43	1275	139
E.T.R. (mm)	Turc													714	78
	C													668	73

Tableau 19c : Station de Blida

	Méthodes	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année	% P
	P (mm)	142	143	142	149	113	43	2	25	83	160	188	192	1382	
E.T.P. (mm)	B-C	39,4	39,4	52,9	62,5	82,3	93,0	102,5	103,4	82,6	62,5	46,5	39,1	811	59
	Th	8,3	9,4	18,5	35,2	66,6	91,5	130,2	125,3	87,6	46,6	22,8	10,5	652,5	47
	T	13,2	21,5	39	60,5	107	139	69	156	113	59	30,5	15	828	60
E.T.R. MM	T													581	42
	C													560	41

Tableau 19d : Station de Chréa

Tableau 18: Comparaison des résultats de l'évapotranspiration réelle (E.T.R) et potentielle (E.T.P), obtenus par les méthodes de BLANEY-CRIDDLE (B-C), THORNTHWAITE (Th), TURC (T) et COUTAGNE (C).

que celle obtenue par la méthode de BLANEY-CRIDDLE, l'écart est beaucoup plus important à Blida qu'à Chréa où les valeurs sont concordantes.
- On note pour toutes les stations, que les résultats obtenus par la méthode BLANEY-CRIDDLE sont supérieurs à ceux obtenus par la méthode de THORTHWAITE de Octobre à Mai ; ils sont inférieurs de Juin à Septembre.
Certains auteurs ont remarqué que la méthode de THORNTHWAITE donne des valeurs trop faibles pour le printemps et trop élevées pour l'automne. Pour la station de Blida (pour laquelle on dispose de valeurs de l'E.T.P. mesurée) les deux méthodes ont données à chaque fois des valeurs inférieures.
- Mis à part la station de Chréa, les valeurs de l'E.T.P. annuelles sont supérieures aux précipitations, qui elles sont supérieures aux valeurs obtenues pour l'E.T.R.
- L'E.T.R. à Chréa (580 mm), ne représente que 42 % des précipitations, ce qui explique un fort ruissellement sur les pentes de l'Atlas.

IV. LE BILAN HYDRIQUE

1. Termes entrant dans le bilan

Le bilan hydrique vise à déterminer la répartition des précipitations reçues par une surface, entre les termes suivants :

E : évaporation

D : écoulement

R : quantité d'eau stockée dans le sol.

Le bilan hydrique exprime donc le processus que peut suivre normalement une quantité d'eau arrivant au sol avant son retour à l'atmosphère. Ce processus est résumé par l'expression suivante :

$$P = E + D + R$$

Nous venons d'examiner les précipitations et l'évaporation, il nous reste à expliquer sommairement l'écoulement et la réserve utile du sol.

L'écoulement , peut être, soit mesuré, soit calculé, ou estimé d'après les règles empiriques.
G.W. THORNTHWAITE imagina l'idée suivante : soit un bassin versant qui serait rempli d'eau au bout d'un mois jusqu'à concurrence de 100 mm, 50 % du surplus d'eau percolent vers les rivières pendant ce mois et le reste rejoint les nappes aquifères. Sans nouvel apport, ce reste va s'écouler par l'intermédiaire des sources, mais cette fois en fonction décroissante qui est environ un quart du surplus pour le deuxième mois, ensuite 1/8 du surplus pour le troisième et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ne reste plus d'eau susceptible de couler ; le processus de recharge par moitié, continue donc pendant l'été, à partir de la réserve hydraulique qui n'est plus alors alimenté par les pluies.

La quantité d'eau stockée dans le sol (R)

On l'appelle réserve utile (Ru), quantité d'eau stockée dans le sol et qui peut être utilisée par les plantes.
THORNTHWAITE est arrivé en 1957, après de nombreuses observations, a estimer la réserve utile entre 100 et 300 mm d'eau, il a ensuite établi des tables qui permettent de déterminer les valeurs successives de Ru en fonction du stock initial et de la cumulation des déficits pluviométriques au cours des mois pour lesquels les précipitations utiles (P- ETP) avaient été négatives.

Paramètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P = Précipitations	127	65	73	58	44	20	3	8	32	75	98	123	726
ETP = Evapotranspiration potentielle	21	24	41	54	88	128	155	157	124	76	43	28	938
P-ETP = Précipitations utiles	106	41	32	4	-44	-108	-152	-149	- 92	- 1	55	95	
Cumul du déficit					44	152	304	453	545	546			
Ru = Réserve Utile	100	100	100	100	64	22	5	1	1	0	55	95	
d.Ru = Déficit de la réserve utile	0	0	0	0	-36	-42	-17	-4	0	-1	55	40	
E.T.R. = Evaporation réelle	21	24	41	54	80	62	20	12	32	76	43	28	493
E.T.P.-E.T.R : Déficit Agricole	0	0	0	0	8	66	135	145	92	0	0	0	
Surplus	106	41	32	4							0	55	
E = Ecoulement calculé	53	20	16	2	1							27	119

Tableau 20 : Bilan d'eau à Boufarik

Paramètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P	134	95	102	86	77	30	3	8	45	81	119	135	915
E.T.P.	22	25	43	54	91	122	161	163	126	70	41	27	945
P-E.T.P.	112	70	59	32	-14	-92	-158	-155	- 81	11	78	108	-30
Cumul du déficit					14	106	264	419	500				
Ru	100	100	100	100	85	30	7	1	1	11	78	100	
d. Ru	0	0	0	0	-15	-55	-23	- 6	0	+10	+67	+22	
E.T.R	22	25	43	54	92	85	26	14	45	70	41	27	544
E.T.P.-E.T.R.	0	0	0	0	-1	37	135	149	81	0	0	0	401
Surplus	112	70	59	32	0	0	0	0	0	1	11	86	371
E	56	35	30	16	8	4	2	1	0	1	5	43	201

Tableau 21 : Bilan d'eau à Blida

Paramètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P	142	143	142	149	113	43	2	25	83	160	188	192	1382
E.T.P.	8,3	9,4	18,5	35,2	66,6	91,5	130,2	125	88	47	23	10	653
P-E.T.P	134	134	123,5	114	46,4	-48,5	-28	-100	-5	113	165	182	
Cumul du déficit						48,5	176,5	276,5	281				
Ru	100	100	100	100	100	60	16	6	6	100	100	100	
d. Ru						-40	-44	-10	0	+94			
E.T.R.	8,3	9,4	18,5	35,2	66,6	83	46	35	83	47	23	10	465
E.T.P-E.T.R						8,5	84,2	90,3	7,6				
Surplus	134	134	123,5	114	46,4					19,4	165,2	181,5	918
E.	67	67	62	57	23	11	5	2	1	10	83	91	470

Tableau 22 : Bilan d'eau à Chréa

2. Le bilan

Les tableaux 20 à 22 portent les bilans respectivement à Boufarik Blida et Chréa. Pour les précipitations on a retenu les moyennes mensuelles de 40 ans (1913-1953). L'estimation de la réserve utile a été limitée à 100 mm sauf pour la station de Chréa où nous avons essayé successivement Ru = 150 et Ru = 200 mm.

3. L'interprétation

Les figures 15 et 16 illustrent les résultats des tableaux précédents, qui nous permettent les observations suivantes :

- les résultats du bilan sont assez cohérents , en raison de la faible différence entre la somme annuelle des précipitations et l'expression E + D + R.
- A Blida, P- (E + D + R) = 10 mm avec l'ETP de TURC et Ru = 100 mm et P- (E + D + R) = -2 mm avec l'ETP de THORNTHWAITE, mais avec une Ru de 150 mm, par contre avec une Ru de 100 mm, la différence est de 70 mm.
- A Boufarik, avec une Ru de 100 mm, la différence est acceptable : 14 mm.
- A Chréa, il semblerait que la méthode du bilan d'eau soit mal adaptée. Avec une Ru de 200 mm et l'ETP de TURC, on obtient une différence de 157 mm alors qu'elle est de 283 pour une Ru de 100 mm.

Pour une Ru de 100 mm et l'ETP de THORNTHWAITE, cette différence est de 347 mm. Les valeurs de l'écoulement sont faibles, eu égard à la position géographique de la station (versant Nord de l'Atlas, où une fissuration importante favorise l'écoulement et minimise par contre les réserves du sol).

Lecture des graphiques

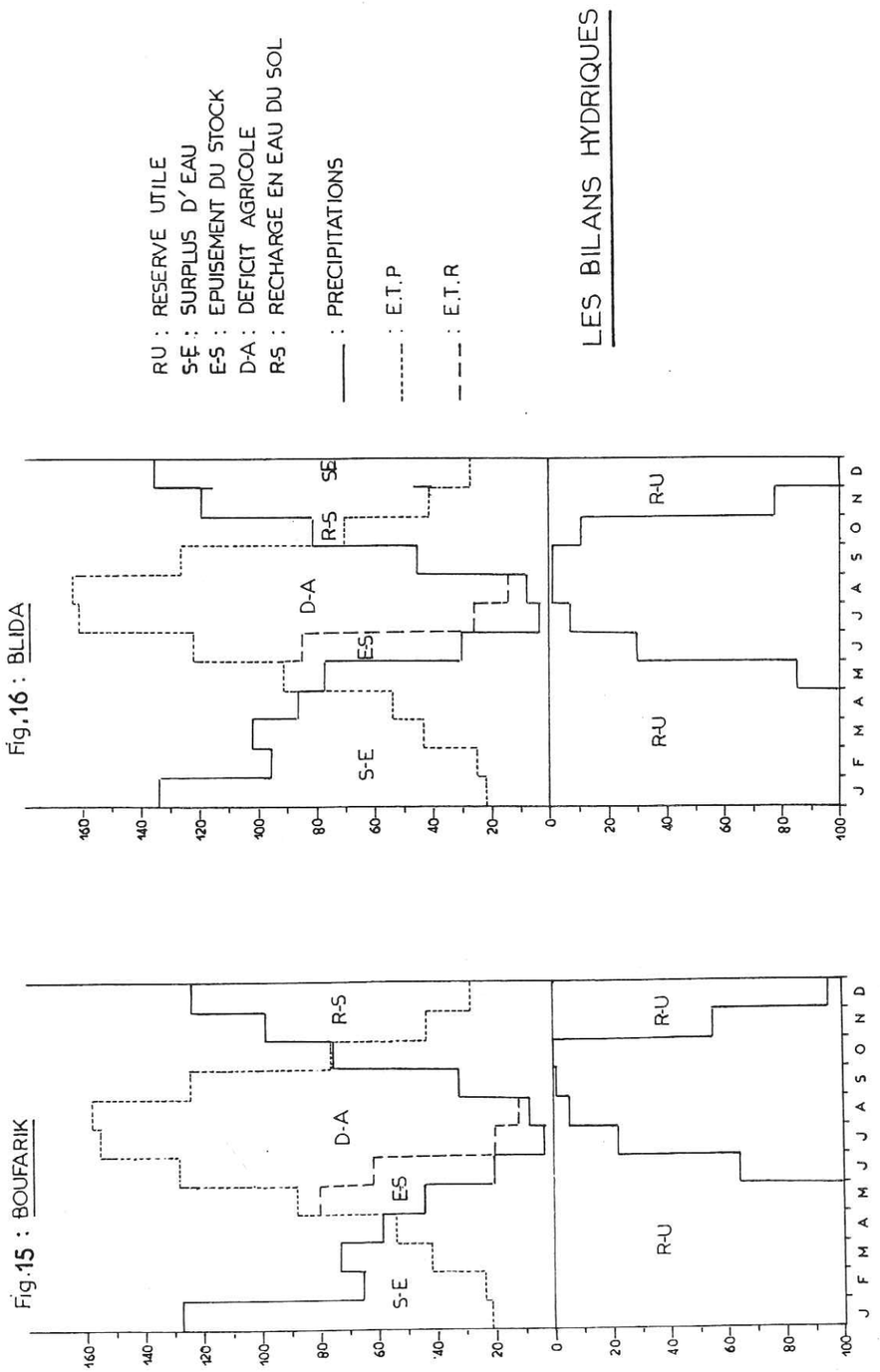
Les graphiques (fig. 15 et 16), nous permettent une lecture directe des ressources mobilisables durant le cycle annuel.

- Lorsque la réserve utile (Ru) est totale, il y a un surplus d'eau. Dès que la Ru diminue il y a épuisement du stock; la Ru diminuant , l'épuisement du stock est accompagné d'un déficit agricole, à partir du mois de Mai : début de la période d'irrigation, qui devient nécessaire au mois de Juin et indispensable pendant Août et Septembre, période pendant laqelle la RU est épuisée.

Octobre-Novembre est la période de reconstitution du stock.

A Boufarik, l'écoulement commence en Décembre et se termine au mois de Mai avec un maximum au mois de Janvier.

A Blida, l'écoulement a lieu pratiquement toute l'année; il est nul en Septembre, minim pour les mois d'Octobre-Juillet et Août et maxim en Janvier.



V. CONCLUSION

Dans notre approche climatologique, nous avons essayé d'analyser les paramètres climatiques, dans le but de les définir quantitativement et qualitativement.

Nous avons malheureusement été limité par la non disponibilité des données. Nous nous sommes surtout penché sur l'analyse des températures et des précipitations, paramètres qui semblent avoir la dominance en matière de définition du climat de notre région d'étude. Et lorsque ces deux paramètres sont en étroite corrélation avec l'altitude, l'exposition et l'éloignement de la mer, nous avons essayé de mettre en évidence le poids de chaque facteur.

La température moyenne annuelle dans l'ensemble de la région varie dans l'intervalle de 11°C pour la station de haute montagne (Chréa), à 18°C pour les stations de basse altitude (plaine et littoral).

Les moyennes annuelles des précipitations, qui varient de 1400 mm (Chréa) station exposée aux vents pluvieux, à 600 mm pour la station de Bou-Ismaïl sur le littoral, au niveau de la plaine, sont de l'ordre de 700 à 900 mm.

Annuellement on distingue, deux régimes climatiques, l'été qui est la saison la plus sèche de l'année et l'hiver qui est la saison la plus humide.

La hauteur moyenne annuelle des précipitations sur le bassin versant est d'environ 740 mm, alors qu'elle est de 824 mm pour l'Atlas, ce qui donne un total de 1,4 milliard de m^3/an. Quantité énorme, dont malheureusement une grande partie se perd à cause de l'écoulement et de l'évapotranspiration qui diminue l'éffacité des précipitations, puisqu'elle représente une moyenne de 80 % des précipitations en plaine et 42 % en montagne.

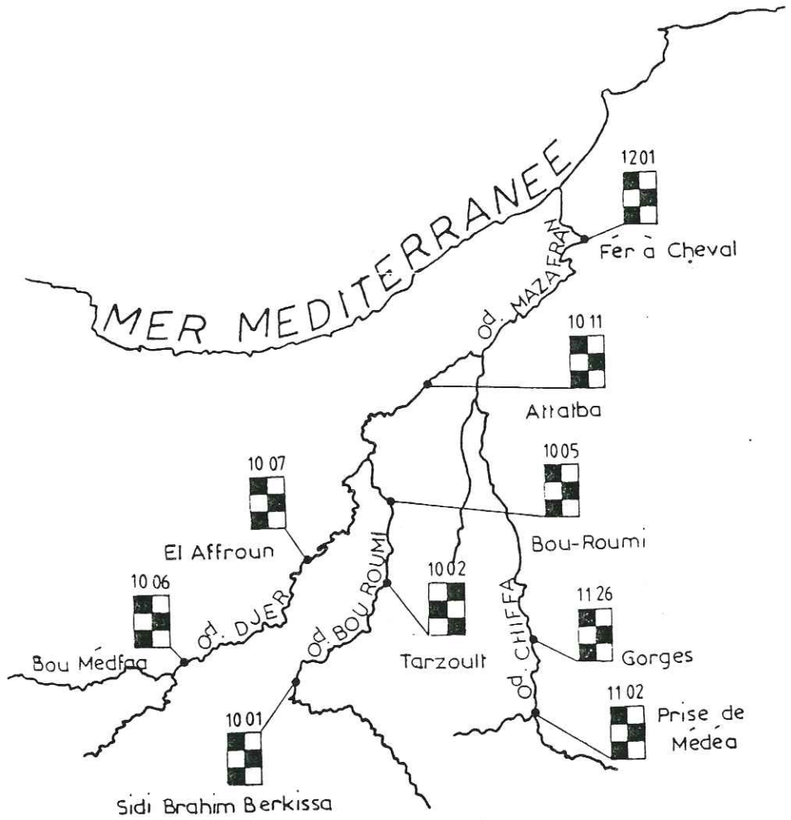
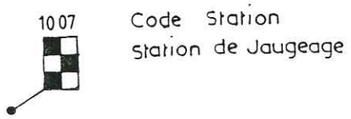


Fig. 17 EMPLACEMENTS des STATIONS de JAUGEAGES



B. HYDROLOGIE DES COURS D'EAU

I. Les observation hydrologiques

1. Les stations et leurs codes (fig.17)

Code	Stations
021001	Sidi Brahim Berkissa
021002	Tarzoult
021005	Pont du Bou-Roumi
021006	Bou-Medfa
021007	El-Affroun
021011	Attatba
021102	Gorges I
021102	Prise de Médéa
021126	Amont des Gorges (II)
021101	Fer à Cheval

02 : Numéro du bassin versant

10, 11 et 12 : numéros des sous-bassins.

2. Description

2.1. Sidi-Brahim-Berkissa

Sur le cours de l'oued Bou-Roumi, la station a été établie en Novembre 1968 et a cessé de fonctionner en Septembre 1980.
Le lit de l'oued est bordé de rives abruptes, l'écoulement est contrôlé par un déversoir en béton de 17 m de large avec une section centrale de 5 m de large et 1,7 m de profondeur. A une profondeur de 2,5 m au-dessus du point le plus bas de la crête du déversoir, les eaux ont dépassé les limites de la structure du déversoir pour atteindre une largueur de 28 m, lorsque le débit était d'environ 60m³/s.

2.2. Tarzoult

Etablie en Septembre 1969 sur le Bou-Roumi, la station a fonctionné en permanence. La rive droite au niveau de la station est quasiment verticale, mais sur la rive gauche, à une hauteur d'environ 2 m, l'on trouve une large plaine alluviale à végétation abondante. Le lit constitué essentiellement de graviers est particulièrement érodable.

2.3. Pont du Bou-Roumi

Il s'agit du pont SNTF, situé à 2 km à l'Est d'El-Affroun, 100 m en aval du pont routier de la R.N 4.
La station a été établie en Novembre 1973, et fonctionne en permanence.
Le lit de l'oued est rectiligne sur plusieurs centaines de mètres en amont et en aval de la station. La largeur du cours au niveau du pont est de 35 m.

2.4. Bou-Medfaa

Elle est située sur l'oued Djer, sur la R.N.4 à 4 km au Nord ESt de l'intersection avec la W8, à 6 km par route du village de Bou-Medfaa.
Etablie en Septembre 1960, a fonctionné en permanence.
La rive gauche est un affleurement rocheux en pente, la rive droite est un conglomérat érodable. Le lit est composé de graviers.

2.5. El-Affroun

A 4 km au Sud-Ouest de la ville, le pont est situé sur une petite route entre la R.N.4 et la R.N.42.
Etablie en 1969, la station a fonctionné en permanence.
Le lit de l'oued est fait de graviers dans une matrice compactée de matériaux à granules plus fines. Il a été noté un exhaussement du niveau du lit, dû à l'alluvionnement.

2.6. Attatba

La station est située au niveau d'un pont sur l'oued Bou-Roumi sur la W 108, à 1 km au Sud d'Attatba;elle a été créée en Septembre 1969.
Le lit est rectiligne sur plusieurs centaines de mètres en amont. En coupe, le cours d'eau est profond, régulier et bien délimité, avec des rives abruptes et un lit de sableset graviers fortement érodable.

2.7. Gorges I

Située sur la R.N.1, à un km au Sud du"ruisseau des singes", sur l'oued Chiffa.
Station créée en 1952, en Septembre 1969, elle a été remplacée par une station à 1 km en amont (amont des Gorges ou Gorges II).

2.8 Amont des Gorges

Le lit de l'oued est en V, avec des parois rocheuses stables et des dépôts de graviers le long du fond.

2.9. Prise de Médéa

Sur l'oued Chiffa, la station est situéesur la R.N.1., en aval d'une prise pour l'alimentation en eau, à 16 km au Nord de Médéa et à 200m en aval du point de confluence des oueds Chiffa et Mouzaïa.
Créée en Septembre 1969, elle a cessé de fonctionner en Mai 1973.
Le lit constitué par des graviers est très instable.

2.10. Fer à Cheval

Sur l'oued Mazafran, la station est située au niveau d'un pont sur la W.12, à 2 km au Nord de l'embranchement avec la W.7 et à 4 km au Sud de l'embranchement avec la R.N.11.
La station a été établie en 1945, elle a fonctionné sans arrêt depuis Janvier 1964. Le lit est profondément encaissé avec des rives abruptes en argiles. atteignant 9 m des deux côtés. Il est composé de graviers et semble très mobile.

II. ASPECTS GEOMETRIQUES DU BASSIN VERSANT

1. Indice de compacité

Il est censé répresenterla plus ou moins grande compacité du bassin, c'est-à-dire qu'il rend compte de la plus ou moins grande vitesse de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement en provenance des diverses parties du bassin.
L'indice se calcule en appliquant la formule :

$$C = \frac{0,28\ P}{\sqrt{A}}$$

ou A : superficie du bassin versant
P : périmètre du bassin versant

Il est égal à 1 pour un bassin circulaire et croît d'autant plus que la compacité diminue.
Avec une superficie de 1893 km² et un périmètre stylisé de 315 km, on obtient un indice de l'ordre de 2, ce qui revient à un bassin de type allongé.

2. Le rectangle équivalent

Pour un bassin de forme quelconque, ayant une surface A, un périmètre P et une compacité C, on calcule les dimensions d'un bassin de forme rectangulaire ayant même superficie , même périmètre et même indice de compacité.

Il est donné par la formule :

$$L = A\ 1/2\ \frac{C}{112}\ \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1\ 12}{C}\right)^2}\right) \text{ qui donne}$$

L = 131 km et l = 14,5 km.

III. 1. Les grands traits des cours d'eau majeurs

La dépression de la Mitidja ne correspond pas à l'existence d'un réseau hydrographique bien hiérarchisé.

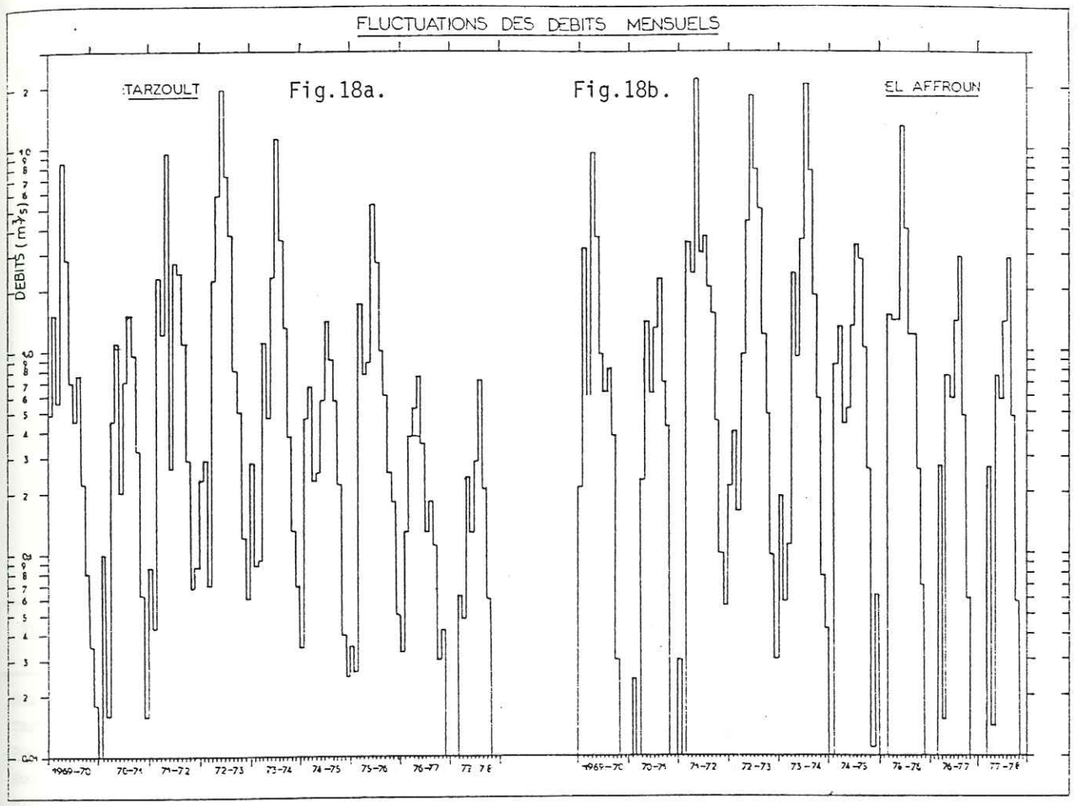
Les cours d'eau traversent la plaine perpendiculairement. Les principaux oueds du Mazafran, présentent tous des caractères communs. Ils prennent tous naissance dans l'Atlas et sont de dimensions restreintes. Leurs profils longitudinaux se divisent en deux parties : en montagne, leur pente est très forte, ce sont des oueds aux vallées étroites, profondes, encaissées ; en plaine la pente est très réduite, voire nulle dans certains secteurs.

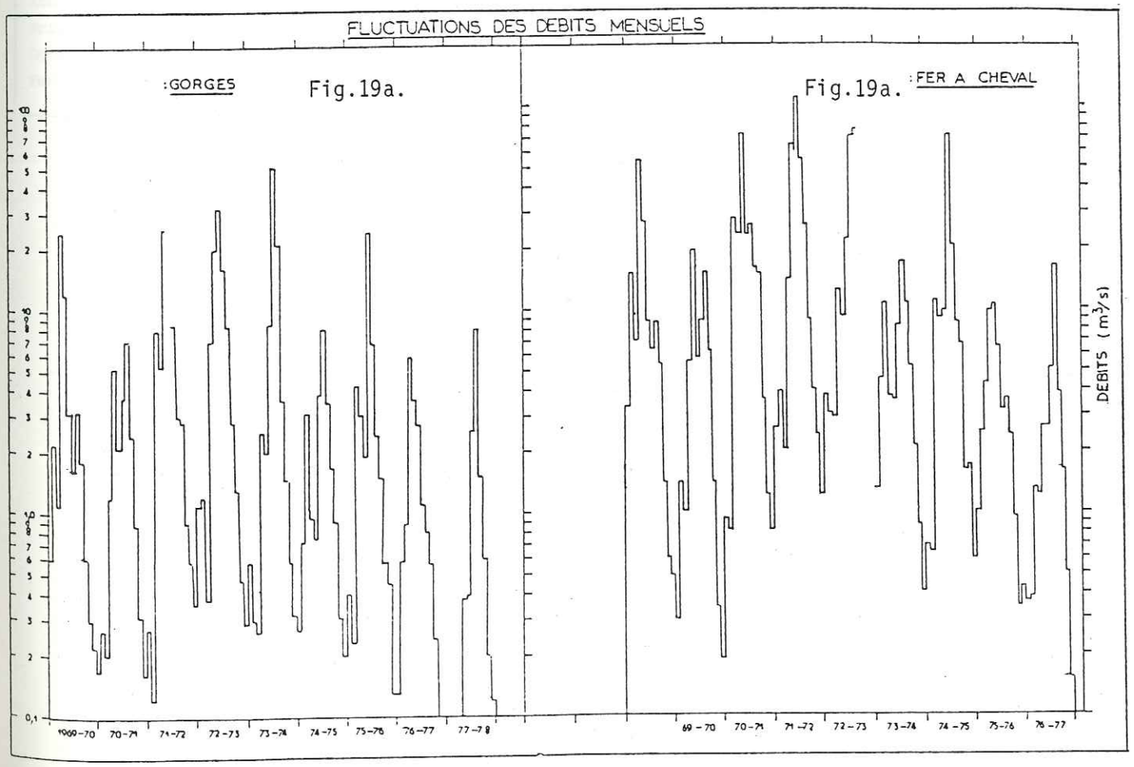
Le tableau suivant montre la différence de pentes entre la plaine et la montagne :

Oueds	Bou-Roumi				Djer	Chiffa	Mazafran
	Sidi Br-B	Tarzoult	Pont	Attatba	Bou-Medfa El-Affroun*	Gorge	Fer à Cheval
Pente 85/100 m/km	7,8	7,9	7,6	5,6	13,7 8,2*	12,9	4,3

Tableau 26 : Pentes des rivières : moyenne 85/10

En basse plaine, la morphologie nous permet d'imaginer, que les oueds butant contre la ride du Sahel et incapables de la franchir indivuduellement se réunissent en un seul : l'Oued Mazafran, qui résulte de la confluence des 3 oueds principaux : le Djer, le Bou-Roumi et la Chiffa, et qui





traversent la ride en cluse.
L'oued Djer prend naissance dans les montagnes du Djebel Gventas (versant oriental du Zaccar) et traverse ensuite l'Atlas.
L'oued Bou-Roumi descend du Djebel El-Hamar, dans la commune de Mattaïzia.
L'oued Chiffa, prend naissance dans les monts de Médéa, et traverse en gorges étroites le Djebel Ferroukha.

2. Régimes comparés des oueds Djer, Bou-Roumi et Chiffa

2.1. Le régime annuel

L'oued Chiffa, qui a un bassin de 316 km², arrêté à la station Amont des Gorges a un débit plus important que les oueds Bou-Roumi et Djer. L'oued Bou-Roumi, dont le bassin arrêté à la station d'Attatba a une superficie de 680 km², a un débit plus important que l'oued Djer, dont la superficie arrêtée à la station d'El-Affroun est de 395 km².
L'oued Mazafran qui constitue l'exutoire de la plaine, à la station du Fer à Cheval, présente bien évidemment le plus grand débit (tableaux 27 et 28).
Les modules spécifiques annuels moyens traduisent le caractère de rivière de montagne pour l'oued Chiffa (10 à 12 l/s/km²) et l'oued Djer (4 à 5l/s/km²).
L'oued Mazafran s.s présente un module de 24 l/s/km², mais cette valeur tombe à 5 l/s/km² pour l'ensemble du bassin.

2.2. Débits d'étiage

Les débits d'étiage sont importants à connaître en hydrochimie car la conséquence d'un grand écart entre les débits de crue et d'étiage sera une plus grande possibilité de pollution des rivières, due à l'insuffisance de dilution lors des mois secs.
Les régimes des oueds sont très semblables et sont le reflet des courbes pluviométriques avec un maximum en hiver et début de printemps et un minimum d'été, très accusé (fig. 18 et 19).

En se référant au tableau n° 29, concernant la distribution mensuelle des apports, on se rend compte qu'au cours des cinq mois de Décembre à Avril, les oueds écoulent en moyenne 85 % de leurs eaux.
En période d'étiage, de Juin à Septembre, la Chiffa et le Mazafran écoulent 4 % de leurs eaux, alors que les oueds Bou-Roumi et Djer n'en écoulent respectivement que 2 et 1,7 %.

n°	Stations	Oueds	Superficie du B.V km²	Nombre d'années utilisées	Débit moy. annuel 10^6 m³	Débit moy. annuel m³/s	Module spécifique l/s/km²
1001	S.B Berkissa	Bou-Roumi	150	73/74/77/78	26,2	0,85	5,7
1002	Tarzoult	Bou-Roumi	215	69/70-78/79	56,8	1,8	8,4
1005	Pont du Bou-Roumi	Bou-Rouli	238	74/75-79/80	31,7	1	4,2
1006	Bou-Medfa	Djer	336	69/70-78/79	50,5	1,6	4,8
1007	El-Affroun	Djer	395	69/70-78/79	53,6	1,7	4,3
10011	Attatba	Bou-Roumi	680	69/70-77/78	107,2	3,4	5
1102	Prise de Médéa	Chiffa	219	69/70-72/73	69,4	2,2	10
1126	Gorges II	Chiffa	316	69/70-78/79	117	3,7	11,7
1201	Fer à Cheval	Mazafran	1893	68/69-77/78	320	10,14	5,4
		Mazafran ss	427				23,7

Tableau 27 : Caractéristiques des bassins jaugés.

Stations	1968/69	69/70	70/71	71/72	72/73	73/74	74/75	75/76	76/77	77/78	78/79	79/80	Moy. m³/s	Ecart-Type T
S.B Berk.	-	0,8	0,38	1,48	-	1,78	0,51	1,44	0,25	0,13	-	-	0,85	0,59
Tarzoult	-	1,34	0,46	1,66	3,3	1,7	0,45	1,1	0,22	0,15	7,66	-	1,8	2,15
Pont	-	-	-	-	-	1,85	0,6	1,64	0,37	0,12	1,25	1,2	1	0,6
Bou-Medfa	-	1,68	0,59	2,8	2,13	2,5	0,7	2,38	0,43	0,54	1,81	-	1,6	0,86
El-Aff	-	1,68	0,55	3,24	3,1	3,14	0,98	1,93	0,44	0,53	1,34	-	1,69	1,07
Attatba	-	2,92	1,05	5,6	7	6,45	1,67	4,1	0,75	0,91	-	-	3,4	2,37
Prise	-	1,6	0,78	3,2	3,3	-	-	-	-	-	-	-	2,2	1
Gorge II	-	4,3	1,97	5	7,46	7,7	2	3,7	1,38	1,1	2,4	-	3,7	2,3
Fer à Cheval	3,1	11,5	5,5	17,3	23,4	16,8	5,6	11,6	3,7	2,9	-	-	10,14	6,8

Tableau 28 : Débits moyens annuels aux stations de jaugeages.

Oueds	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	S
Chiffa à Amont Gorges	0,8	1,65	4,3	11,7	16,5	19	26	12,5	4,5	1,7	0,8	0,5
Bou-Roumi au pont	0,25	2	6,3	5	11,6	20,5	37,5	12,1	3,3	1	0,4	0,1
Bou-Roumi à Attatba	0,9	3	5	9,5	17,8	22,2	22,5	13,2	4,5	1	0,4	0,15
Djer à El-Affroun	0,32	2,7	4,2	9	18,5	20,5	26,6	12,3	4,5	1,1	0,2	1,07
Mazafran à Fer à Cheval	1,2	2,5	5,6	11,5	18,5	19,8	18	15	5	1,6	0,8	0,4

Tableau 29 : Distribution mensuelle des apports annuels en %.

Les chiffres traduisent bien que pendant les 4 mois de l'été, les rivières ne coulent pratiquement plus. Les figures 18 et 19 montrent que les variations entre années successives peuvent être également très importante : en 1972/73, le débit moyen de l'oued Mazafran a été prés de 8 fois celui de 1968/69 et de 1977/78 et plus de 4 fois celui de 1974/75 (740 millions de m³ contre respectivement 95, 93 et 180 de m³).

Pour les oueds Chiffa, Bou-Roumi et Djer, on note les mêmes rapports de variations, mais d'amplitude moins importante.

Les figures 18 et 19, nous permettent de distinguer en général deux périodes :

- Pont Amont des Gorges : les débits mensuels augmentent de 1969/70 jusqu'à 1973/74 et diminuent ensuite progressivement jusqu'à 1977/78.
- Pour Tarzoult et Fer à Cheval, le maximum est atteint en 1972/73 et diminue jusqu'à 1977/78.
- A El-Affroun, le débit maximal enregistré englobe 3 années successives : de 1971/72 à 1973/74, puis diminue progressivement jusqu'à 1977/78.

Ainsi on peut considérer que les années 1971/72 à 1973/74 sont des années exceptionnelles, où l'on a noté les plus forts débits dans la région.

2.3. Débits de crue

Les crues sont très fortes et apportent chaque hiver, leur cortège de difficultés. Le débit du Mazafran peut être augmenté de plus de 70 fois. La cluse est complétement engorgée quand le débit de 650 m³/s est atteint ; les débordements sur la plaine sont importants.

	Crue moyenne m³/s	Crue instantanée Max. m³/s	Débit moyen m³/s	Rapport Crue Inst/ Débit moyen
O. Mazafran	300	750	10,2	74
O. Chiffa	65	220	3,7	60

Crues historiques :

Celle de Mars 1974, qui entraîna la mort de 52 personnes et détruisit où endommagea sérieusement 4570 maisons et 13 ponts.

Des montées de 250 m³/s en 3-6 heures furent enregistrées aux stations de Fer à Cheval et El-Affroun.

D'autres grosses crues survinrent en Avril 1959, Octobre, Novembre, Décembre 1957, Novembre 1971, Mars 1973 et Septembre 1979.

3. Mobilisation des eaux de surface : Projets d'aménagements hydrauliques

La plus grande partie des eaux qui traversent la plaine, est inutilisée : les écoulements se font pendant la saison froide, lorsque l'irrigation n'est pas nécessaire, 80 à 90 % des débits s'écoulent pendant les cinq mois d'hiver.

Certes il existe un certain nombre de syndicats d'irrigation, qui utilisent l'eau à partir d'un barrage de déviation : le long de la Chiffa et du Bou-Roumi; et un certain nombre d'exploitations qui puisent leurs eaux par pompage dans l'oued, avec ce que cela représente comme risque de pollution, mais ceci est bien insuffisant, sans l'aménagement de retenues importantes.

En prévision de l'augmentation des besoins en eaux pour tous usages : irrigations, urbain, industriel, il a été décidé d'équiper un certain nombre d'oueds le long des pentes de l'Atlas.

Le plus important est le barrage de Sidi-Brahim sur l'oued Bou-Roumi à environ 13 km au Sud d'El-Affroun.

De capacité effective de 141 millions de m³, ce barrage pourra fournir environ 120 millions de m3. Des dérivations de l'oued Djer, de l'oued Chiffa en galeries à travers la montagne seront aménagées pour fournir le volume nécessaire.

De plus l'idée d'un projet de recharge artificielle de la plaine, est en train de faire son chemin au niveau de la D.H.W. de Blida; cette recharge à l'amont de la plaine à partir des principaux oueds, se fera grâce à des galeries creusées perpendiculairement aux axes de ces derniers.

C. ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE

L'équation du bilan hydrologique s'écrit :

$P = E + R + I \pm W$, dans laquelle

P : Précipitations annuelles (mm)

E : Evapotranspiration réelle (mm)

R : Ruissellement moyen (mm)

I : Infiltration moyenne (mm)

W : Variation des réserves (mm)

1. La pluviométrie moyenne annuelle a été estimée par la méthode de THIESSEN pour la période 1913-1953, soit une lame d'eau de 743 mm.
2. Par les méthodes de TURC, COUTAGNE et du bilan de THORTHWAITE, nous avons estimé l'évapotranspiration moyenne annuelle à 563 mm.
3. Le ruissellement a été déterminée de deux façons différentes :

- Formule de TIXERONT-BERKALOFF

$$R = \frac{P^3}{3E^2} \quad \text{en m avec,}$$

P : Pluviométrie moyenne annuelle en m

E : Evaporation potentielle annuelle en m.

La moyenne annuelle de l'E.T.P. par la méthode de BLANEY-CRIDDLE est de 953 mm, et est de 846 mm par la méthode de THORTHWAITE, nous avons retenu une moyenne de 900 mm.

Nous obtenons un ruissellement de 170 mm.

La formule de TIXERONT-BERKALOFF, ayant été établie pour les zones arides, nous recourons à une autre méthode pour le calcul du ruissellement.

- Volume annuel moyen transitant à la station de Fer à Cheval :

Le volume moyen annuel transitant à cette station qui constitue l'exutoire du bassin versant est de 320.10^6 m³ pour une surface de bassin de 1893 km², soit une lame d'eau de 170 m.

Les deux méthodes ont donné la même valeur, qui correspond à 23 % des précipitations.

4. L'infiltration, calculée en remplaçant tous les termes de l'équation du bilan donne une valeur de 10,0 mm soit 1,4 % des précipitations.

D. CONCLUSION

L'étude hydroclimatologique, nous a permis de mettre en évidence les potentialités importantes de notre région d'étude, mais aussi et surtout le fait que ces ressources importantes sont très peu exploitées, alors que la disponibilité de l'eau, surtout en saison estivale, pose chaque année les mêmes tracas.

En effet, seulement 1,4 % des précipitations contribuent à alimenter les nappes souterraines, l'évaporation étant très importante (76 %), alors que 23 % des précipitations traversent la cluse du Mazafran et partent se jeter en mer .

Si l'on ne peut rien récupérer de ce qui est pris par l'évaporation, on peut par contre, par des moyens appropriés, récupérer une partie de ce qui se perd en mer.

Le barrage de Sidi-Brahim, devant récupérer 120 millions de m³, resteront 200 millions de m³, dont une partie pourra être récupérée en aménageant de petites retenues le long des oueds et en augmentant l'infiltration au moyen de la recharge souterraine. Ceci va, bien sûr, diminuer le débit des oueds et par là même leur pouvoir d'auto-épuration, en les transformant en véritables foyers de pollution si les rejets ne sont pas systématiquement traités.

APERCU GEOLOGIQUE.

A- INTRODUCTION

En Afrique du Nord, se trouve une région d'une structure particulièrement originale, où, sur une bande étroite se succédent du Nord au Sud : le Domaine plissé Alpin Rifo-Tellien, la plate-forme épihercynienne composée de la Méséta Marocaine et Oranaise et la partie active de cette plate-forme qui sont les édifices plissés des Atlas, et enfin la plate-forme précambrienne Nord-Africaine. Le Nord de l'Algerie comporte des domaines qui diffèrent par la tectonique et la sédimentation.
On distingue du Nord au Sud (fig. 20)

- Le Domaine Rifo-Tellien, continuité de la chaine Alpine, qui se raccorde à l'ouest au niveau de l'arc de Gibraltar à la chaine Bétique et à l'Est à l'Apennin par l'intermédiaire du système sicilo-calabrais : Domaine très tectonisé correspondant en grande partie à la zone des nappes de glissement.

- La Plate-forme épihercynienne ou domaine Atlasique, avant-pays Tellien de la chaîne Alpine.

- Le Domaine Saharien, partie stable appartenant au Craton Africain, limité au Nord par l'accident Nord-Saharien.

Le Bassin-Versant du Mazafran, se situe dans le domaine Rifo-Tellien; nous en exposerons brièvement l'histoire géologique.
L'étude à laquelle nous nous consacrons se situe essentiellement sur la plaine; pour cette raison nous insisterons plus particulièrement sur le remplissage QUATERNAIRE qui renferme les nappes aquifères Mitidjiennes. En effet, les terrains d'âge primaire à tertiaire n'affleurent que sur les bordures (fig.21).

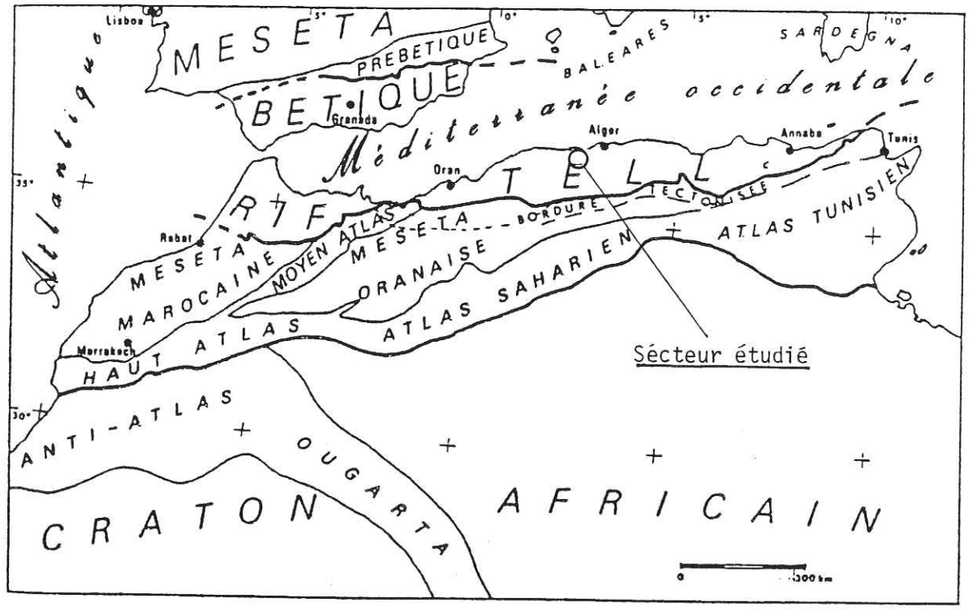


Fig.20 : LES GRANDS ENSEMBLES STRUCTURAUX DE L'AFRIQUE DU NORD

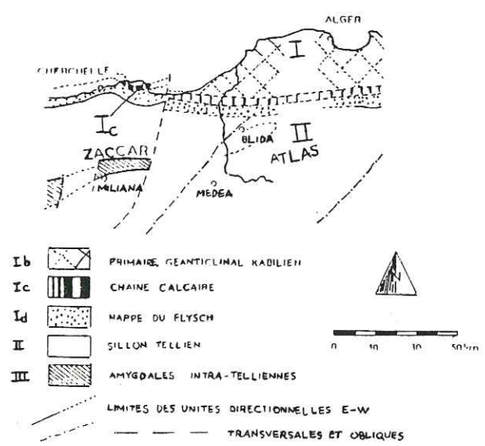


Fig.22 UNITES PALEOGEOGRAPHIQUES D'AGE SECONDAIRE

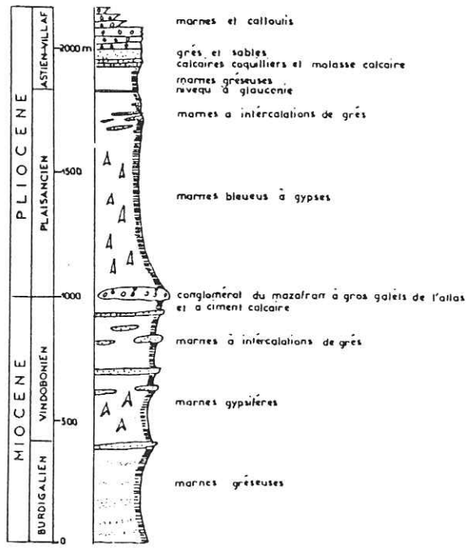


Fig.23: Log STRATIGRAPHIQUE DU MIO-PLIOCENE DU MAZAFRAN

d'après J.Magne et J.M.Ayme .

B- STRATIGRAPHIE

I. LE PRIMAIRE

Le primaire est connu par les affleurements de la bordure cotière (fig. 22 Zone I) attribués au Dévonien (Eifélien). Des schistes légèrement déversés sur les grès rouges Permiens affleurent sur le versant Nord du Chenoua. Au-dessus du primaire apparaissent des schistes et des quartzites présentant des analogies de faciès avec le flysh Albo-Aptien du flanc Sud. FICHEUR attribue au Silurien, les schistes à aspect lustrés qu'il nomme "Schistes de la Chiffa", mais ces schistes sont en réalité d'âge secondaire (L. GLANGEAUD, 1932).

Les calcaires métamorphiques à Crinoïdes de Bouzaréah peuvent être attribués au Dévonien.

II. LE SECONDAIRE

1) TRIAS

Sur le flanc Nord du massif de Blida, au Nord du Koudiat Esserdj , E.FICHEUR décrit des gisements de Trias, sous la mention de gypses éruptifs, c'est une série de lentilles gypseuses intercalées à la base des écailles.

Caractères du Trias : Dans la région étudiée, le Trias présente le faciès classique du Trias gypseux de l'Algérie du Nord. Il est formé de gypses avec des marnes bariolées, cargneules et dolomies; on observe dans ces affleurements des roches éruptives qui sont pour la plupart post-triasiques.
Ce Trias ne se présente pas en place, mais toujours dans des plis plus ou moins complexes.

2) JURASSIQUE

Le Lias Inférieur (Rhétien) a été découvert dans les écailles du Sud de la nappe du Flysch. Le Lias moyen est absent du Nord des massifs primaires où l'Aptien et l'Eocène reposent directement sur le Paléozoïque. Dans la partie Nord du Sillon Tellien, les calcaires compacts recristallisés, attribués au Lias, n'ont jamais fourni de fossiles.

Le Jurassique moyen et supérieur est désigné sous le nom d'oolithique.

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

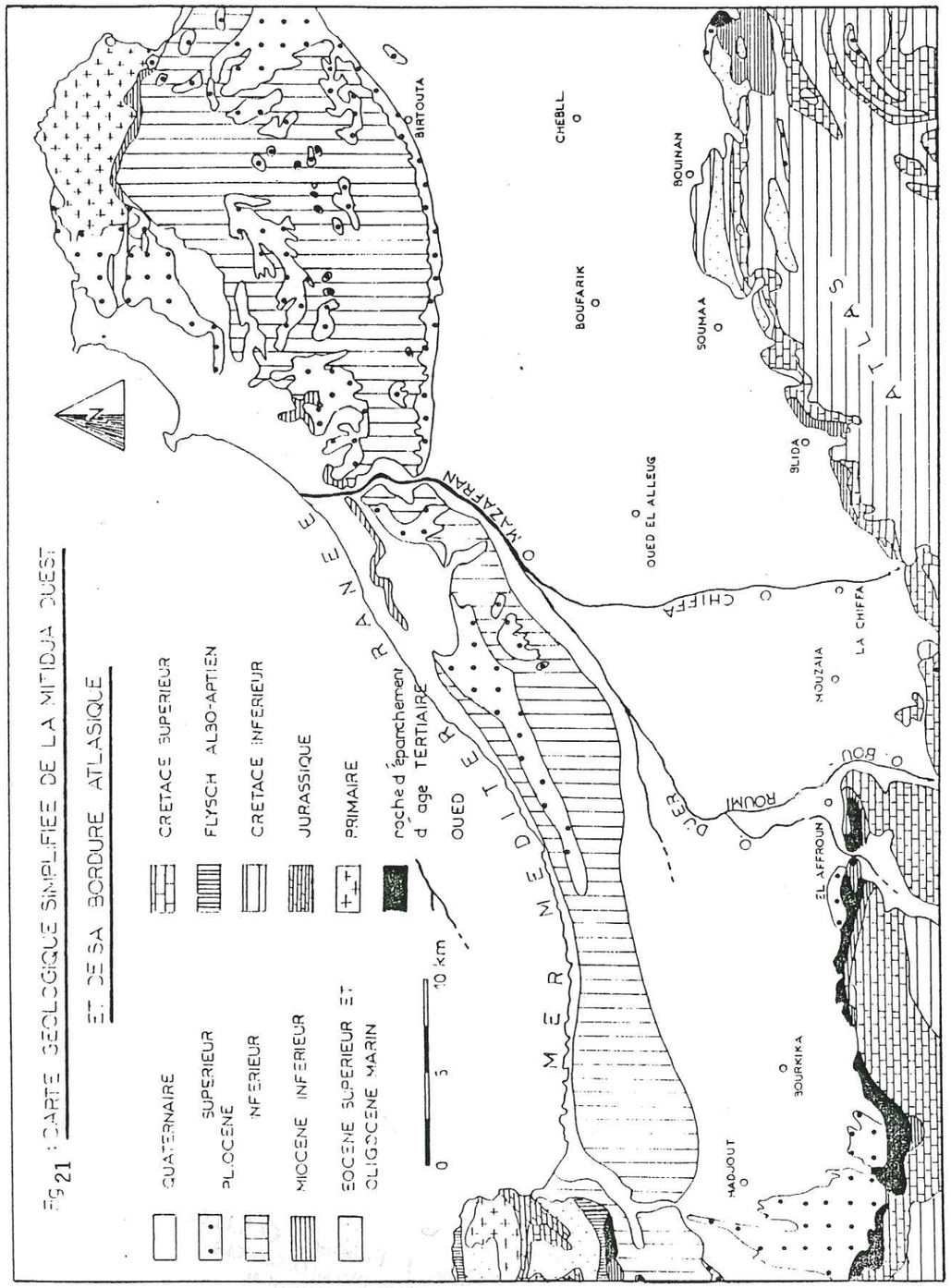


Fig 21 : CARTE GEOLOGIQUE SIMPLIFIEE DE LA MITIDJA OUEST ET DE SA BORDURE ATLASIQUE

Le Dogger n'affleure pas dans la partie Nord du sillon tellien. L'oolithique moyen, n'a jamais été trouvé dans la zone I; il en est de même pour la partie Nord du sillon Tellien, où cette division, ainsi que l'oolithique supérieur, existent peut-être dans la série compréhensive des schistes de la Chiffa. Les calcshistes jaunes à aptychus retrouvés dans le sillon sud kabyle représentent le faciès tithonique.

Le problème de la présence du Jurassique dans la zone II, et des faciès qu'il peut présenter, n'a pas encore été résolu d'une façon définitive faute de fossiles. Le Lias paraît y être représenté par des calcaires bleus et violets et des calcaires métamorphiques. L'oolithique offrirait des marno-calcaires à intercalations schisteuses jaunes à Aptychus d'âge probable jurassique supérieur (Tithonique). Il est probable qu'une partie des schistes de la Chiffa soit d'âge jurassique. Le sillon ou géosynclinal de Blida aurait dans ce cas débuté à l'époque Jurassique et il s'y serait accumulé une série compréhensive correspondant aux schistes de la Chiffa.

3. CRETACE INFERIEUR

Une série de plus de 1000 mètres d'épaisseur, constituée de schistes, grès et calcaires siliceux à fins grains de quartz, connu sous le nom de "schistes de la Chiffa", est attribuée au Néocomien.

Le Barremien termine cet ensemble schisteux par 100 à 200 m de calcaires schisteux généralement jaunes. Aymé, Savornin et d'autres auteurs y ont trouvé de petites ammonites à l'entrée des gorges de la Chiffa.

Dans la zone II, l'Aptien est interstratifié entre le Barremien et l'Albien inférieur, il est alors possible de distinguer deux niveaux :
Le niveau inférieur contient des calcaires attribués au Bédoulien ; le niveau supérieur correspondant au Gargasien est formé par des lumachelles et des calcaires à Orbitolina lenticularis. Il affleure dans les anticlinaux du massif de l'Atlas de Blida.

Le faciès de L'Aptien supérieur présente des caractères très constants de l'Est à l'Ouest; on y distingue des calcaires à Orbitolines, des calcaires lumachelliques à petites huitres, des calcaires à entrogues, des calcaires à foraminifères, ces différentes sortes de calcaires sont interstratifiés entres des couches marneuses blanches.

Dans la zone II, on peut généralement distinguer deux horizons :

3.1./ A la base une assise marno-calcaire formée par une alternance de calcaires compacts à patine jaune et de marnes argileuses bien stratifiées.

3.2./ Au-dessus apparaissent les calcaires à Orbitolina lenticularis (Gargasien ?) accompagnés de lumachelles à petites huîtres, de calcaires à entroques et de marnes blanches.

L'Albien présente des faciès assez semblables, dans les différentes zones considérées. Il est formé par des schistes et quartzites généralement en petits bancs.

Dans la zone II, l'Albien se présente sous un aspect sombre, avec des couches de schistes durs et assez calcareuses; les bancs de quartzites y sont rares et à grains fins, présentant par place de petits nodules ferrugineux : c'est un faciès profond.

L'épaisseur de cette formation peut atteindre 600 à 700 mètres dans certains endroits.

4. CRETACE SUPERIEUR

Les calcschistes blanchâtres ou jaunâtres pulvérulents, que l'on rencontre dans la zone II peuvent être attribués au Vraconien.

Des lentilles d'un calcaire compact, dont la surface offre une patine blanche, apparaissent sporadiquement dans cette formation.

Sur le flanc Nord du massif de Blida, on trouve aux environs de Ouelid Yaïch et de Bouinan, quelques lambeaux qui présentent le faciès crayeux blanchatre, qui peut être ici plus compréhensif et englober une partie du Cénomanien.

Au Djebel Mrid, le Vraconien présente un faciès de calcaire crayeux avec des bancs de marnes assez importants ; c'est le faciès de la région littorale.

Au pied du Koudiet Guerouaou, apparaît un affleurement de Vraconien directement recouvert au Sud par les poudingues de base du Burdigalien qui l'ont remanié.

L'épaisseur du Vraconien varie de quelques mètres à 40 mètres.

Au Nord, le Vraconien se présente sous l'aspect de marnes et de calcaires à teinte claire parfois riches en foraminifères. Quelques rares rudistes isolés, quelques oursins et des empreintes de Mortoniceras y constituent les principaux fossiles. Il semble que ce faciès soit un faciès de bordure de la zone I qui devait être émergée ou constituer un haut-fond.

Le Cénomanien est représenté par des marnes et calcaires. Il comprend 300 m de marno-calcaires, les marnes et schistes étant surtout à la partie inférieure et les calcaires dominant à la partie supérieure.

L'épaisseur des couches de la zone II varie depuis quelques dizaines de mètres à 400 m, soit par suite d'étirements, soit par suite de lacunes d'origine stratigraphique. Des niveaux plus riches en couches siliceuses, présentant de gros bancs de calcaires siliceux et de calcaires sublithographiques très compacts à stratification bien réglée, sont attribués au Crétacé supérieur ou au Turonien.

Le Sénonien, présente un faciès de schistes noirs à lentilles jaunes et des marnes foncées assez dures à cassures conchoidales; des lentilles de calcaires siliceux, longues de 50 centimètres jusqu'à plus d'une dizaine de mètres, sont intercalées au milieu des schistes et des marnes. Les calcaires durs et riches en silice, présentent généralement une surface grise à jaune, et une cassure noire. Le plus souvent à la partie supérieure du Senonien apparaissent des microbrèches contenant des foraminifères, des débris d'oursins et de lamellibranches ; ces niveaux détritiques sont généralement peu étendus et de faible épaisseur .

III. LE TERTIAIRE

Les sédiments marins du Tertiaire se localisent essentiellement sur le littoral, dans le sillon Pré-Tellien et dans les dépressions telles que le Cheliff et la Mitidja. L'épaisseur maximum du Cénozoïque atteint 4000 à 4500 mètres.

1. Le PALEOGENE

Dans la région d'Alger, la partie inférieure de l'Eocène supérieur-Oligocène est formée de marnes et d'argiles schisteuses et la partie supérieure de grès quartzeux, avec des passées et des lentilles de conglomérats constituant le faciès numidien (J.FLANDRIN , 1948).

L'Eocene est représenté par un affleurement très éxigu au confluent de l'oued Masselmoun et de l'Oued Djer : marnes noires avec lentilles jaunes, et un faciès marno-gréseux jaune et calcaréo-gréseux intercalé dans des formations crétacées suivant une bande comprise entre Soumaa et l'Oued El-Harrach, C G G. 1967.

2. Le NEOGENE

MAGNE et MATTAUER (1956) ont parlé de l'existence de roches gréso-marneuses du Miocène inférieur sous le Néogène autochtone de la dépression Cheliff- Soummam

Sur le bassin de la Mitidja sont surtout connus les faciès de bordure du bassin subsident ainsi que ceux des extrémités. Le Miocène offre plusieurs petits affleurements au Sud de la Mitidja (plaine).
Le faciès des argiles bleues affleure en bandes étroites le long de la bordure Sud de la Mitidja.
- Au SW de Bourkika jusqu'à El-Affroun.
- De l'Oued Marsoum à l'Oued El-Khémis (à l'ouest et à l'est de Blida).
Ce sont des marnes argileuses bleues, souvent jaunes en surface, présentant à l'affleurement de nombreux filonnets de calcite; les marnes renferment parfois de petits bancs noduleux de lumachelles calcaires et des bancs de grès jaunes.
L'examen de la microfaune par A. CHINO (Demrh, 1965), à confirmé l'âge miocène de ces argiles.
On doit à J. MAGNE et J.M AYME une coupe du Mio-Pliocène (fig. 23), prise au niveau de la cluse du Mazafran, creusée dans la ride du Sahel.
Le Miocène y est épais de 1000 m, le faciès est marneux avec des intercalations de bancs de grès dans la partie supérieure.
Deux étages, peuvent être distingués dans le Pliocène inférieur, le Plaisancien et l'Astien.
Le Plaisancien est formé principalement de marnes bleues et localement de bancs de grès, faiblement glauconieux; cet étage peut atteindre une épaisseur considérable sous le Sahel et sous le Nord de la MItidja. Au niveau du Sahel, cet étage a une puissance de 1000 mètres.
Le début de l'Astien, coïncide avec un mouvement tectonique certain; la profondeur de la mer a subitement diminué, ce qui a permis l'invasion d'une faune néritique, l'apparition de la glauconie formant des accumulations locales au gré des courants, sur des épaisseurs variées. Enfin la mer astienne s'étale jusqu'au pied de l'Atlas où l'on rencontre ses dépôts. L'apparition de la glauconie constitue un critère pour placer une coupure à l'intérieur du Pliocène.

L'Astien se présente sous des faciès différents :
- Le faciès marno-sableux domine par la puissance et l'étendue. Tantôt la marne domine et les fossiles sont rares, tantôt c'est le sable; alors des bancs de grès durs apparaissent et peuvent prédominer; en général les fossiles sont abondants.
- Le faciès gréso-calcaire repose en général sur les argiles bleues du Miocène inférieur ; parfois il vient directement sur le Miocène éruptif. Les couches

pendent généralement vers le Nord.
Le plus souvent les calcaires sont gréseux et granuleux, parfois glauconieux, on peut parfois rencontrer des faciès de calcaires lumachelliques à huîtres, échinodermes et gastéropodes. On peut également observer des intercal-ations de marnes brunes ou d'argiles jaunes vers la base.
- Le faciès Molassique : récifal ou sub-récifal. Il est représenté par un calcaire granuleux, tendre ou encore par des dalles de calcaires durs pouvant avoir un mètre d'épaisseur ; ce faciès est très localisé : dans la banlieue d'Alger, en très petites agglomérations dans la banlieue de Koléa ; au niveau d'Alger et Chenona, la molasse Astienne repose sur le Plaisancien par l'intermédiaire du niveau à glauconie dont la puissance varie de quelques centimètres à 4 mètres.
- Le faciès gréseux et sableux : l'Astien se termine par un dépôt d'une trentaine de mètres d'épaisseur, très détritique, continental en bordure de la Mitidja, du Semmar jusqu'au delà de l'Oued Nador (dépôt de sables de plage ou dépôts éoliens).
Phénomène important : l'allure transgressive des couches gréso-sableuses, car leur arrivée met fin aux trois faciès précédents. Le plus souvent le faciès gréso-sableux débute par un lit de galets de l'Atlas, libres ou soudés : première arrivée de galets de l'Atlas annonçant le remblaiement villafranchien de la Mitidja.

Roches d'épanchement d'âge Tertiaire :
Cette série est inter stratifiée ou intrusive dans les couches de l'Oligocène et du Miocene.
L. GIANGEAUD décrit des roches d'épanchement inter stratifiées dans les couches marines du Miocène. Ces roches sont formées de dacitoïdes labradoriques à hypersthène; dans le centre éruptif d'El-Affroun, ces roches éruptives sont contemporaines des marnes burdigaliennes.

IV. Le QUATERNAIRE

Les sédiments quaternaires recouvrant la majeure partie du territoire de l'Algérie du Nord, reposent en discordance sur les formations plus anciennes. Le schéma actuel de leur stratification et sa comparaison avec l'échelle européenne est la suivante :

Europe Occidentale Echelle stratigraphique principale		Algérie Echelle locale	Mitidja	
HOLOCENE		Q Récent	Q actuel	
PLEIS-TOCENE	NEOPLEISTOCENE		Q récent = Rharbien	Flandrien Marin
	MESO-PLEISTOCENE	Q Moyen	Soltanien	Thyrrhenien II
	EOPLEISTOCENE		Tensiftien	Thyrrhenien I
VILLAFRANCHIEN-CALABRIEN		Q Ancien	Q ancien	
			Villafranch supérieur	

Le Villafranchien supérieur est localisé sur la couverture du glacis supérieur (100 à 300 mètres d'altitude,aux contreforts de l'Atlas). Il est formé par des graviers siliceux fluviatiles et des graviers de grés crétacés mélangés à une argile rougeâtre.
Le Quaternaire ancien forme des reliques sur les bordures, le faciès étant formé par des cailloutis.
Le Tensiftien,d'une épaisseur de 15 à 30 mètres,est formé d'alluvions fluviatiles éléments subanguleux disposés dans une matrice argilo-terreuse rouge ou brun-rouge. Les alluvions sont finement litées, horizontales, des passées limoneuses brun rouge alternent avec des galets gris.
Le Soltanien, est formé de cailloutis silteux, semblables aux précédents : on rattache à cette période la base des formations grossières qui comblent les chenaux profonds creusés dans les marnes de "Maison Carrée".
Le Quaternaire récent (Rharbien), présente dans la plaine un faciès de limons gris, argileux, des argiles noires ou bleues de sols asphyxiés qui passent à des limons sableux en bordure du piedmont.Près des oueds,on note un faciès de limon caillouteux. La puissance de cette formation est en moyenne de 30 mètres.
Les cailloutis fluviatiles grossiers à galets roulés, plats et à blocs volumineux qui occupent les lits mineurs et majeurs des oueds sont attribués au Quaternaire actuel, de même que des formations marécageuses limono-argileuses et des limons d'épandage des crues.

1. Les terrasses alluviales

L'existence des terrasses alluviales à de tout temps été controversée par les différents auteurs qui ont travaillé sur la région.
Pour L. GIANGEAUD, il n'est pas aisé de dénombrer les terrasses littorales, à cause

de leur déformation et la présence de carapaces calcaires. Néanmoins il distingue que les diverses terrasses quaternaires offrent toujours la succession suivante : elles débutent par un calcaire coquillier (Lumachelles) avec galets de l'Atlas; un grés termine cet épisode marin dont la puissance peut atteindre 10 mètres, surmonté par des dépôts dunaires, soit lapidifiés quand il s'agit d'anciennes terrasses soit simplement consolidés quand il s'agit des terrasses les plus récentes; ces dépôts éoliens peuvent atteindre une trentaine de mètres.

Les terrasses occupent tout le versant Nord du Sahel. Sous le méridien de Bou-Ismaïl,la terrasse la plus élevée retombe un peu sur le flanc sud du Sahel. Au-delà du Méridien de Sidi-Rached, il y a abaissement de la dernière terrasse,de la Crête au niveau de la mer, soit 150 mètres sur 3 kilomètres.

ENGALENC, distingue trois grands niveaux de terrasses :

1.1.- le Quaternaire ancien ; forme les terrasses du Sahel, échelonnées entre 50 et 150 mètres au dessus des oueds; on les rattache au Salletien et à l'Amirien.
1.2.- le Quaternaire moyen : forme des terrasses qui s'étagent entre 30 et 15 mètres au-dessus des oueds sur le versant sud du Sahel et de la plaine, constituant la majeure partie du piedmont de l'Atlas.
1.3.- le Quaternaire récent : Rharbien , forme la terrasse de 5 mètres.
La terrasse alluviale de 5 mètres de la Chiffa présente une lithologie voisine de celle du lit majeur actuel.

Plus récemment, G. MUTIN soutient que,du fait que les cours d'eau ne sont pas encaissés, les formations quaternaires sont empilées, il n'existe donc aucun système de terrasses étagées. La seule exception est constituée par la traversée du cone d'accumulation de Blida par l'oued Chiffa :au pont, la rivière coule à 110 mètres, les berges taillées dans le matériel du cône sont à 150 mètres, on distingue trois niveaux :
- Rharbien inférieur ;
- Rharbien supérieur ;
- Soltanien.

Cet étagement disparaît rapidement au bout de quelques kilomètres, vers le Nord.

V. TABLEAU RECAPITULATIF DES FORMATIONS GEOLOGIQUES DU REMPLISSAGE DE LA MITIDJA

EPOQUES	FORMATIONS	LITHOLOGIES	EPAISSEURS (m)
QUATERNAIRE			
Présent/récent	Alluvions des oueds	Sables et graviers	< 15
	Dunes	Sables éoliens	10 à 20
	piedmont de l'Atlas	Matériaux hétéromorphes, limons argileux	-
PLEISTOCENE			
Flandrien (2)	Formation du Mazafran	Limons et argiles limoneuses	10 à 60
Rharbien (1)	Formation du Halloula Formations dunaires	Sables consolidés et lumachelles	15 à 50
Tyrrhenien (2) Soltanien (1) Tensiftien	Formation de la Mitidja	Alternances de graviers et d'argiles	100 à 200
Sicilien (2), Amirien (1) Saletien	Dépôts non identifiés		
Calabrien (2), Villafranchien	Formation d'El-Harrach	Argiles et cailloutis	0 à 20
TERTIAIRE			
Pliocène supérieur	ASTIEN	Grès, sables et calcaires	100 à 130
Pliocène inférieur	PLAISANCIEN	Marnes et argiles bleues	200
MIOCENE et roches plus anciennes	Roches sédimentaires Roches métamorphiques Roches éruptives	Divers mais peu significatifs dans l'évolution du bassin sédimentaire	

(1) Nomemclature de l'Afrique du Nord
(2) Nomenclature de la Méditerranéen.

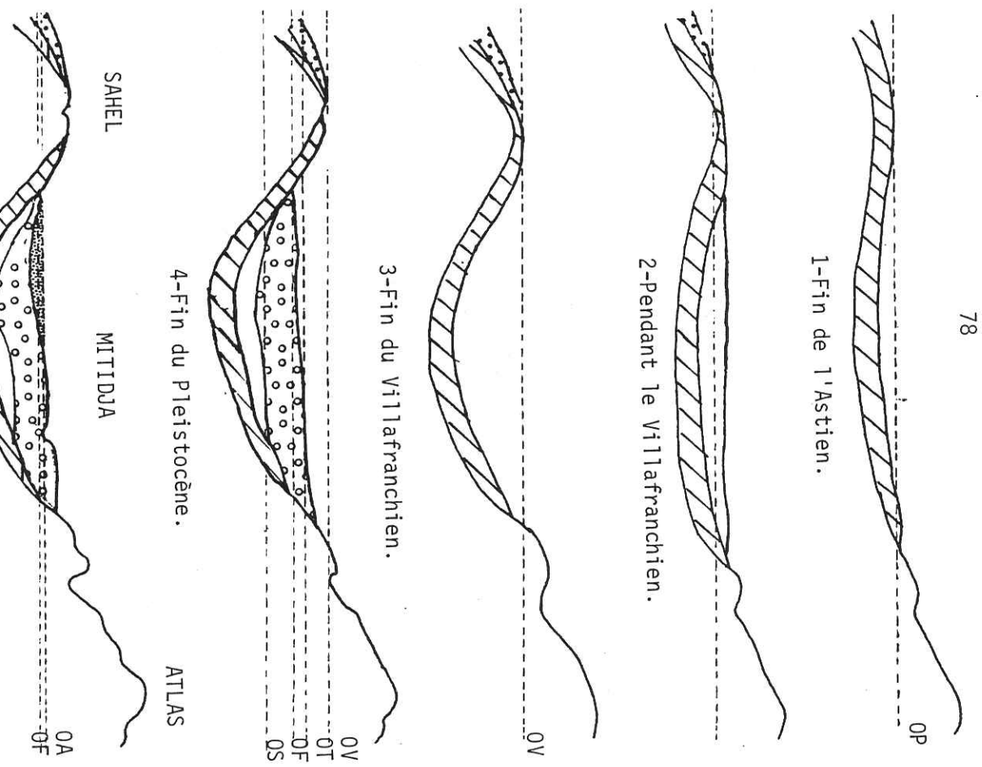


Fig 24 : EVOLUTION DE LA MITIDJA PENDANT LE PLIOCENE ET LE QUATERNAIRE.

D'après Binnie Atkins, 1982.
in R. Sekkal, 1986.

Quaternaire récent: alluvions limoneuses.

Dépôts marins du Quaternaire.

Tensiftien: Formation de la Mitidja, alluvions graveleuses.

Villafranchien: Formation d'El Harrach.

Astien: Gres et calcaires.

OP : niveau de la mer au Pliocène supérieur. OV : niveau fin du Villafranchien. OS : fin du creusement, Quaternaire ancien. OT : fin du remblaiement Soltano-Tensiftien. OF : fin du creusement préflandrien. OA : niveau actuel .

C. PALEOGEOGRAPHIE

Au Trias, les lagunes occupent la zone II (cf. fig.22), les zones I et III doivent être émergées. Pendant le Lias moyen, les zones I, II et III formaient un bloc recouvert par une mer assez profonde dont témoignent les dépôts de calcaire à Brachiopodes et a Ammonites. Au Jurassique moyen, les zones I, II et III devaient émerger en un géanticlinal unique au milieu de la mer jurassique.

Au Jurassique supérieur, les dépôts à faciès profond seraient apparus dans la zone II. Au Néocomien, dans la zone II, se déposent de fines couches argileuses contenant de petits grains de quartz, de quartzites et des calcaires; au Nord la zone II était probablement émergée, tandis qu'au Sud, un haut-fond correspondait à la zone III. La mer diminue fortement de profondeur à l'Aptien. A l'Aptien supérieur les faciès néritiques s'installent dans la zone II et en même temps la mer s'avance en transgression sur la zone I.

Approfondissement des mers albiennes sur toute la région.
Au Vraconien, les mers abandonnent de nouveau la zone I et diminuent de profondeur dans la zone II; on y trouve des couches crayeuses et des rudistes isolés. De nouveaux approfondissements se manifestent au Cenomanien et au Senonien.
L'Emschérien s'étend en transgression au nord sur la zone I qu'il recouvre de dépôts néritiques.
En résumé, pendant la période secondaire, la zone II avait tendance à s'affaisser tandis que la zone III et surtout la zone I avaient tendance à s'élever.

Du Miocène inférieur au Pliocène, longue série de sédimentation. La mer occupe des emplacements changeants, ce qui a pour effet le dépôt de couches à faciès et épaisseurs très variables. Cette longue période de sédimentation se termine par les dépôts gréseux de la mer astienne peu profonde.

Les séquences du Pliocène supérieur donnent à la plaine sa physionomie actuelle (fig.24). Des mouvements tectoniques importants se dessinent : la surrection de l'Atlas, le plissement du Sahel, la subsidence de la Mitidja qui se maintient depuis le Miocène jusqu'à nos jours.

Pour L. GIANGEAUD, la Mitidja est un vaste synclinal bordé au NOrd et au Sud par des flexures (fig.25). Mais en même temps, l'Atlas en surrection, subit une érosion avec assez d'intensité pour que les fleuves qui en descendaient aient

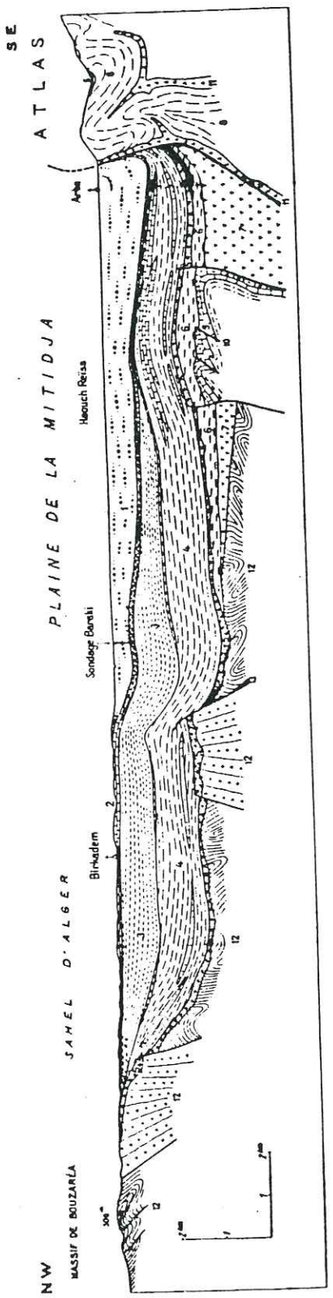


FIGURE 25

Coupe de la Mitidja passant par le massif de Bouzaréa, Birkadem, le sondage de 427 m de Baraki et l'Arba (d'après L. Glangeaud et alt., 1952, pl. C).

1 : remplissage plio-quaternaire de la Mitidja (marnes de Maison-Carrée et cailloutis calabro-villafranchiens); 2 : Astien; 3 : Plaisancien; 4 : marnes et calcaires à Lithothamnium du Vindobonien et du Burdigalien; 5 : poudingue et grès du Burdigalien; 6 : flysch oligocène; 7 : flysch crétacé de la zone Id; 8 : série crétacée de la zone II; 9 : calcaires lutétien et liasique de la chaine calcaire (zone Ic, non séparés); 10 : Permo-Trias de la zone I; 11 : Trias gypso-salin de la zone II; 12 : Primaire et Cristallin (schistes, cipolins, micaschistes et gneiss); 13 : éruptif miocène (en noir).

pu charrier des galets jusque sur l'emplacement du Sahel, non encore émergé; la mer repoussée par l'afflux des alluvions (remblaiement villafranchien) abondonnera la plaine pour ne plus y revenir. Dès lors, s'entasse sur plusieurs centaines de mètres la puissante formation continentale de marnes jaunes dites de "Maison Carrée" constituée par une alternance d'argiles et de marnes jaunes, d'argiles graveleuses et de quelques lits de graviers, grés et sables.
A la fin du Pliocene supérieur, la Mitidja est une plaine alluviale qui s'étend du pied de l'Atlas jusqu'à la mer ; la ride du Sahel était enfoncée sous cette couverture (L. GLANGEAUD).
La fin de la période d'intense plissement de l'Atlas, marque l'achèvement du remblaiement.

I.- LES EPISODES QUATERNAIRES

1) L'explication eustatique

Elle a été la seule retenue par L. GLANGEAUD pour expliquer l'évolution de la Mitidja depuis les mouvements post- astiens.
Aux phases plissement-remblaiement a succédé une troisième phase : le déblaiement marqué par l'oscillation des niveaux marins. L'importance du déblaiement s'explique par le fait qu'à chaque oscillation, le niveau de base s'est retrouvé plus bas qu'à la fin de l'oscillation précédente et qu'à chaque remontée le niveau restait inférieur au niveau précédent.
Au cours de ces abaissements successifs toujours plus accentués, les rivières issues de l'Atlas ont commencé à creuser profondement leur lit et à déblayer la plaine.
Ces rivières ont franchi l'anticlinal du Sahel en creusant des cluses. A chaque régression, l'érosion et le creusement reprennent, entraînant une nouvelle tranche d'alluvions anciennes et abaissant le niveau général de la plaine. Le dernier abaissement a porté le niveau à -60 mètres (régression pré-flandrienne). Le Sahel a été entièrement dégagé, les cluses approfondies.
La transgression flandrienne à clos ces épisodes : la mer a remonté jusqu'au zéro actuel, nous assistons :
1. Au remblaiement par les fleuves de leurs cluses et de la partie basse de la plaine qui s'est couverte de marécages.
2. A la formation au pied de l'Atlas de cônes de déjection qui ont conservé leurs pentes et s'avancent pour certains jusqu'au milieu de la plaine : le cône de l'oued

El-Kébir s'avance jusqu'à Oued El Alleug.
L'ensemble de ces dépôts constitue les "alluvions récentes" qui sont demeurées dans leur position originelle ; par contre les alluvions anciennes sont plissées en forme de cuvettes.
Telles sont résumées les positions eustatiques, mais des géomorphologues pensent que l'eustatisme n'est pas le seul facteur explicatif, il faut aussi faire intervenir les mouvements tectoniques du Quaternaire récent.

2) Le rôle de la tectonique

Les mouvements tectoniques ne peuvent être décelés que sur les bordures : soit sur le Sahel, soit sur les pentes de l'Atlas.

2.1. Dans le Sahel : J. CABOT, A. PRENANT prouvent l'existence dans le Sahel de mouvements récents par l'observation d'une double discordance, les auteurs en déduisent l'existence d'une déformation des niveaux du Quaternaire ancien sur l'ensemble du littoral. L'examen de dépôts à Tipaza les conduit à admettre que le soulèvement de la ride du Sahel se serait poursuivi jusqu'à une période récente et au moins jusqu'au Soltanien continental.
Pour l'ensemble du Sahel, il est proposé l'existence de 4 niveaux, tous plus ou moins déformés :
- une plage calabrienne, très deformée, n'est présente que dans le Sahel Occidental,
- une plage du Thyrrhenien s'est élaborée ensuite,
- un niveau ouljien très bombé à l'est,
- enfin, un niveau soltanien précédant la régression pré-flandrienne.

La position des auteurs est résumée comme suit "la ride sahelienne aurait commencé à s'élaborer d'Ouest en Est et du Sud au Nord, en même temps que s'amorçait la subsidence Mitidjienne. Son axe se déplacerait vers le Nord au cours du Quaternaire en même temps que se serait accru son commandement par rapport à la Mitidja".
Bien que la démonstration des auteurs ne repose que sur un nombre restreint d'observations, ceci permet néanmoins de mettre en relief le rôle de la Néotectonique.

2.2. Sur les pentes de l'Atlas Blideen : A. LEDRAN, 1968, parvient à dater 3 phases tectoniques
- l'une entre le Moulouyin et le Salétien,
- l'autre entre l'Amirien et le Tensiftien, c'est au cours de cette période que des

mouvements se localisent sur le piedmont, près de la plaine.
- enfin, une flexure déforme le bas du versant et provoque au contact de la plaine la disparition des nappes alluviales.
Une preuve certaine est apportée par l'instabilité de la bordure méridionale de la plaine. Des séismes ont provoqué des dégats importants à Blida en 1825, à El-Affroun en 1867. Les faibles séismes qui se produisent de temps en temps dans cette zone, sont dus semble-t-il aux jeux de failles verticales, au contact plaine-Atlas.

II.- LES MODALITES DE FACONNEMENT QUATERNAIRE

C'est à partir de la surface plio-quaternaire du remblaiement des marnes de Maison Carrée, sur laquelle existe un écoulement de type fluviatile, que se dessine le façonnement quaternaire de la plaine.
Les variations du niveau marin, les agents morpho-climatiques, et les mouvements tectoniques récents constituent les agents de l'évolution.
Après la régression post-calabrienne, le réseau hydrographique se trouve plus ou moins canalisé entre les parois de marnes de Maison Carrée, avec des chenaux très larges (L. ENGALENC, 1971).
Les alluvions du Saletien (Quaternaire moyen) ne parviennent pas à combler les dépressions creusées et la régression post-sicilienne déclenche une érosion totale dans le matériel quaternaire.
Au Tensiftien, le climat devenant plus rigoureux provoque la dénudation des versants de l'Atlas, ce qui a pour conséquence un ennoyage de la Mitidja; les chenaux sont comblés par des dépôts grossiers, mais les hauts fonds marneux épargnés par la phase érosive précédente, cloisonnent toujours les marnes alluviales.
La régression post-Thyrrhenienne I (RISS), faible, épargne l'amont du piedmont et les fonds de chenaux.
Les dépôts soltaniens s'emboitent dans les chenaux et recouvrent dans la partie inférieure de la plaine, les alluvions tensiftiennes.
La régression Post-Thyrrhenienne II (WURM) provoque une nouvelle érosion : les oueds bien que toujours guidés par les chenaux antérieurs, s'encaissent fortement dans le piedmont et la basse plaine.

Le Rharbien, épais de 20 à 30 mètres, débute par des sédiments grossiers qui comblent les chenaux précédemment érodés; il se termine par des dépôts limoneux qui couvrent toute la basse plaine.

Remarques :
Les différentes formations quaternaires, se trouvent non pas étagées, mais empilées les unes sur les autres, c'est pourquoi leurs épaisseurs sont relativement faibles : 50 à 70 mètres; il faut supposer donc qu'en même temps que variaient les niveaux marins, la subsidence s'accentuait.

IV. RESUME DES EVENEMENTS GEOLOGIQUES DU BASSIN DE LA MITIDJA

(voir tableau page 85)

Epoque	Niveaux approximatifs de la mer	Evènements
MIOCENE	Baisse importante du niveau marin	Isolement de la Mitidja en tant qu'unité structurale, à la fin de la phase principale de l'orogenèse alpine qui amorça un affaissement ; apparition de roches volcaniques en bordure du bassin.
PLIOCENE-PLAISANCIEN	Elévation du niveau marin	Dépôt de couches épaisses de marnes en mer profonde sur la surface d'érosion antérieure du MIOCENE.
ASTIEN	Baisse du niveau marin (?)	Dépôts de grès et de calcaires en mer peu profonde et léger plissement continuel des sédiments.
PLEISTOCENE-VILLAFRANCHIEN	+ 200 m	Développement du bassin isolé de la mer par l'anticlinal du Sahel. Dépôt d'épaisses couches d'argiles et de limons avec des couches minces de graviers en milieu fluvio-lacustre.
	- 50 m (?) Fluctuation du niveau marin, mais baisse progressive jusqu'à -50m à la fin de cette période.	Période d'érosion interne et continue avec enlèvement jusqu'à 300 m de sédiments du VILLAFRANCHIEN. Mise à nu du Sahel et creusement de cluses dans l'anticlinal.
TENSIFTIEN	+ 30 à 35 m	Rajeunissement de l'Atlas, entraînant une sédimentation rapide et le remblaiement du bassin par des colluvions et des alluvions caillouteuses d'origine continentale
	- 60 m (?)	Erosion des graviers et affouillements de la cluse du Mazafran.
SOLTANIEN	+ 10 à +15 m	Remblaiement du bassin par des graviers fluviaux, et avancement des cônes de déjection dans le piedmont de l'Atlas. Elévation du niveau marin insuffisamment rapide pour donner lieu à une transgression marine.
	- 20 m	La baisse du niveau marin provoque l'érosion et l'enlèvement de quelques 30 m de graviers. Les oueds adoptent leur tracé actuel.
RHARBIEN	+ 5 m	Drainage médiocre, remblaiement des cluses par de fins sédiments, formation de marécages et dépôts de limons et d'argiles dans des lacs peu profonds
QUATERNAIRE récent/actuel	0 m	Dépôts de dunes sableuses et de sédiments marins autour de la baie d'Alger, creusement des oueds et formation des lits actuels encaissés.

D. ETUDE DU REMPLISSAGE PLIO-QUATERNAIRE

I. ESQUISSE MORPHOSTRUCTURALE DE LA PLAINE ET DE SON ENCADREMENT MONTAGNEUX

1. Le cadre structural

Au Nord se développe l'anticlinal du Sahel que les oueds traversent en cluse.

A l'Ouest de la cluse, les grès de l'Astien forment une topographie tabulaire ; par contre les marnes plaisanciennes affleurent très souvent à l' st du Mazafran, donnant une topographie de collines.

Au Sud, la barrière de l'Atlas ferme la plaine, elle présente un certain nombre de caractères qui ne sont pas sans influencer la mise en valeur de la plaine.

- ce sont des montagnes assez élevées, aux très fortes pentes, conséquence des mouvements tectoniques récents.
- dans l'ensemble le matériel est tendre : les marnes et les argiles dominent ; combinées aux conditions climatiques méditerranéenes, aux fortes pentes, ceci explique la gravité des processus érosifs.
- à l'Ouest, un abaissement d'axe méridien a été mis en valeur par le réseau hydrographique : la zone d'ennoyage de l'Oued Djer, sépare l'Atlas de Blida du Nador des Soumatras.

2. La plaine

Elle forme un vaste couloir dissymétrique, où l'on peut distinguer un certain nombre de petites unités géomorphologiques.

- le contact avec l'Atlas Blidéen est complexe; il est marqué le plus souvent par des cônes de déjections.

Le cône de Blida, qui s'étend du Sud de la Chiffa jusqu'à la hauteur de Boiuman, est formé par des accumulations datées de la fin du Tensiftien, remaniées topographiquement en cônes.

Près de la montagne, le matériau est grossier, hétérométrique, lié par une matrice limono-argileuse; on y trouve des cailloux siliceux, schisteux. En profondeur, le matériau a pu être daté du Tensiftien; au sommet il a été remanié au Soltanien.

Plus en aval entre les courbes 130 et 50 m, le matériel soltanien présente un matériau plus fin, plus limoneux; on peut également retrouver une surface polygé-

nique résultant de remaniements Rharbiens.

Ces accumulations masquent le contact structural avec la montagne, il apparait à l'ouest d'El-Affroun où il s'effectue par des flexures ou par des cassures locales, jalonnées par des venues éruptives.

- Au Nord, la flexure du Sahel est masquée par des dépôts tensiftiens et soltaniens descendus du Sahel.

Le reste de la Mitidja n'est qu'une zone d'épandage, dans laquelle on peut distinguer en fonction de la nature du remblaiement entre les terrains du Rharbien ancien et ceux du Rharbien récent.

- la zone d'épandage du Rharbien ancien.

Ces terrasses s'étendent du pied de l'Atlas, dans la région d'Ameur El-Aïn et de Bourkika jusqu'au bord de la dépression de l'ancien lac Halloula.

- la zone d'épandage du Rharbien récent, constituée par des zones traversées par les oueds actuels et leurs divagations.

- en basse plaine, s'étendent de vastes zones hydromorphes, notamment sur la localisation de l'ancien lac et dans le bas Mazafran. L'hydromorphie résulte de la subsidence de la plaine qui est à l'origine de difficultés d'écoulement des eaux de surface; l'ancien lac est une véritable cuvette : dans le bas Mazafran, les altitudes tombent à 16 m alors que la cluse est à 18 mètres.

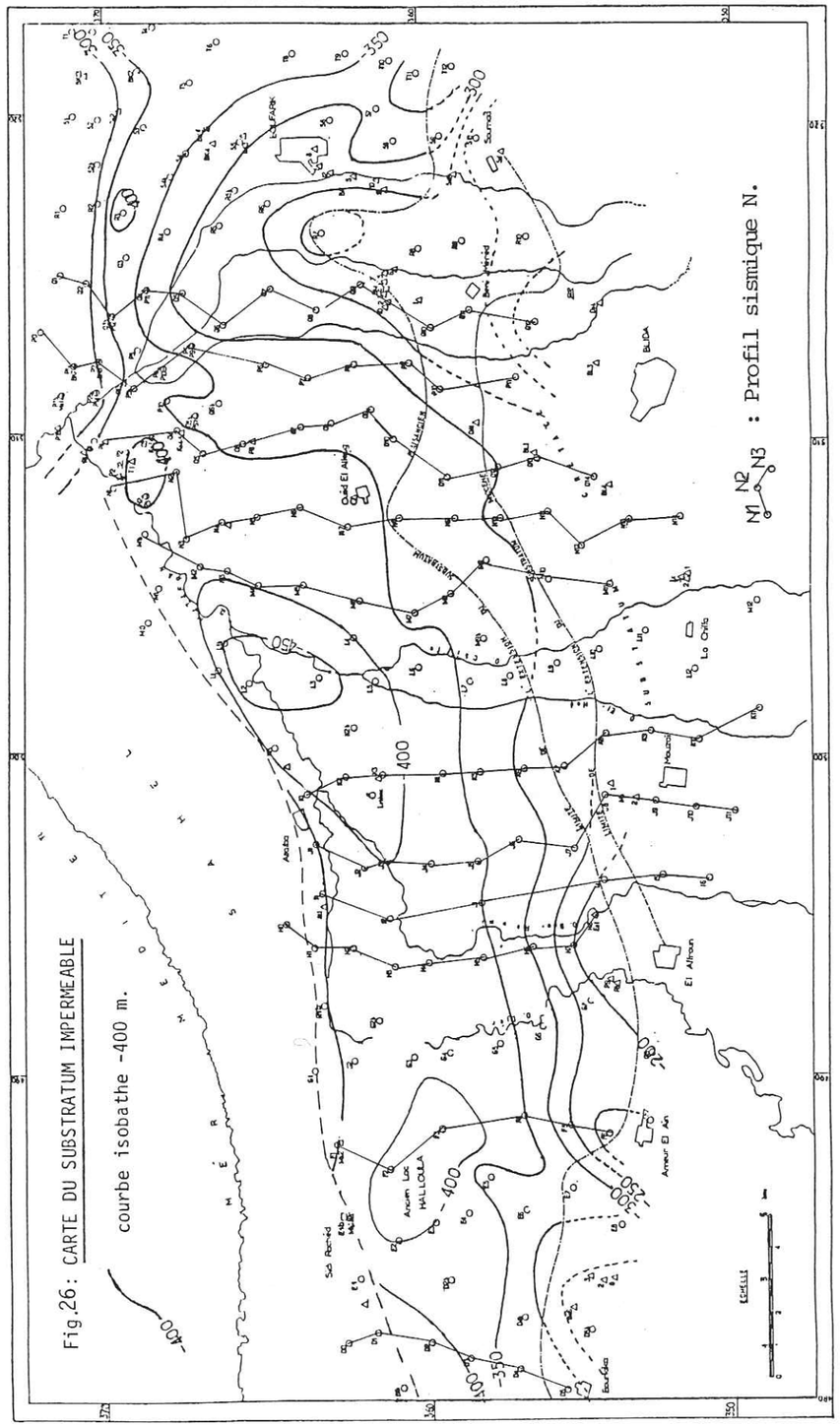
II.- LES RESULTATS DE LA PROSPECTION ELECTRIQUE

En 1967 et à la demande de l'INRH (ex DEMRH), la CGG avait mené une campagne de prospection électrique sur une superficie de 1 350 km², située au sud-ouest d'Alger; il s'agissait de :

- déterminer la profondeur du toit des argiles bleues du Plaisancien et du Miocene, ainsi que celle du toit des faciès gréso-calcaires du Pliocene supérieur (Astien).
- déterminer les zones des meilleures perméabilités dans les alluvions.
- déceler les variations latérales de faciès, en particulier dans le Pliocene supérieur.

L'étude géophysique ayant déjà été traitée dans d'autres travaux, nous nous contenterons pour notre part d'exposer les principaux résultats.

L'interprétation des résultats est rendue difficile par le fait que le recouvrement quaternaire présente une succession de graviers et d'argiles résistants et profond ,d'importance et de répartition très inégales.


N1 N2 N3 : Profil sismique N.
courbe isobathe -400 m.
Ameur El Ain
Aïn Lec HALLOLA
El Affroun
Bourkika
Mouzaïa
Sidi Rached
Sidi Amar
Oued El Alleug
Sidi Ali
Sidi Fares
Sidi Ali
Sidi Rached
Sidi Amar
Oued El Alleug

1. Toit du Substratum imperméable (fig. 26)

Le toit du substratum imperméable est formé de marnes bleues PLAISANCIENNES, de marnes miocènes ou de marno-calcaires crétacés.

Le bassin post-Plaisancien se présente comme un synclinal au fond relativement plat, parfois légérement bombé en son centre et aux flancs très relevés.

Le pendage est sud-nord, au nord les cotes atteignent -400 à -500 m, ce qui confère à la plaine une allure de gouttière le long de la bordure Nord.

Le flexure Nord Mitidjienne suit les affleurements de grès du Sahel; cette flexure est représentée sur les cartes comme une véritable faille d'effondrement.

La présence du cône de déjection de Blida, la différenciation faite entre les formations post-plaisanciennes et le substratum crétacé font que la flexure Sud-Mitidjienne est moins accentuée.

2. Nature du substratum

Du Nord au Sud, le substratum change de nature : Plaisancien, puis Miocène, puis rétacé. Il est Plaisancien sur la grande majorité de la surface du bassin : marnes bleues de résistivité 2 à 5 ohm-m.

Le substratum miocène ; marnes de résistivité 7 à 10 ohm-m, forme une bande assez étroite le long de la flexure Sud, qui s'étendrait davantage sur le cône de Blida, en direction de Boufarik.

Le substratum crétacé est limité généralement aux affleurements du Sud, il forme une avancée vers le Nord-Est entre Mouzaia et Beni-Méréd.

3. Les réservoirs (fig. 27)

On distingue deux ensembles de réservoirs :

- l'Astien gréseux ou gréso-calcaire,
- les alluvions du Quaternaire.

3.1. Le Réservoir ASTIEN :

Une valeur de résistivité de 70 ohm-m a été en général adoptée. L'Astien se limite à une gouttière synclinale au Nord du bassin où l'épaisseur peut atteindre 200 mètres; elle va diminuant vers le Sud passant à un faciès de plus en plus argileux.

3.3. Le Réservoir QUATERNAIRE :

Il est constitué par la superposition des alluvions du Quaternaire moyen et récent. Son substratum est formé par la série d'alluvions peu perméables du Quaternaire ancien.

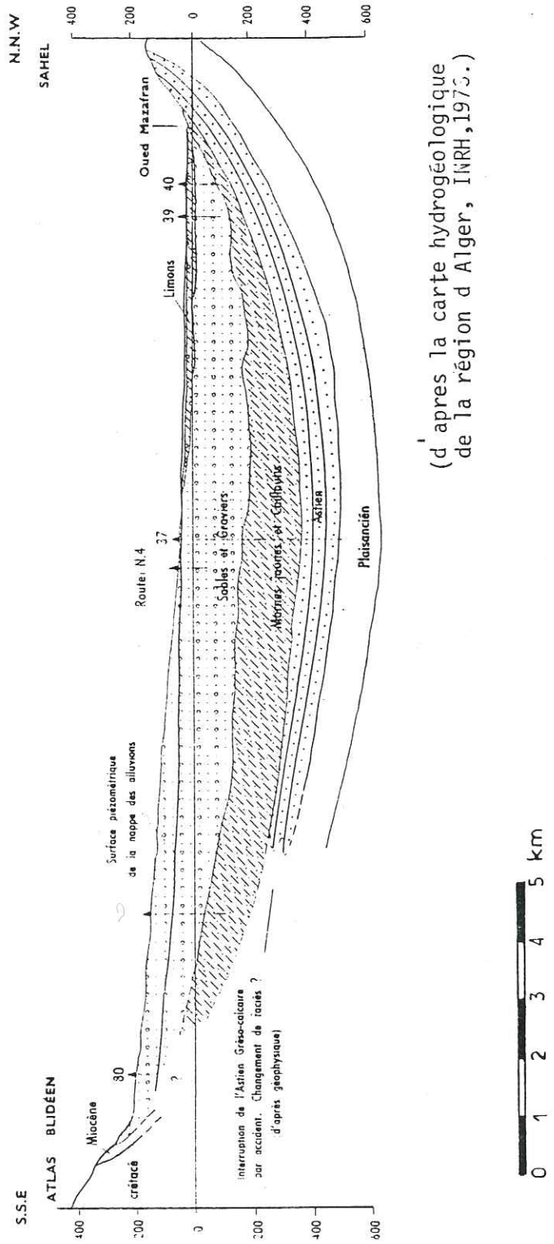


Fig. 27.

Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le Bassin du Mazafran

(d'apres la carte hydrogéologique de la région d Alger, INRH, 1975.)

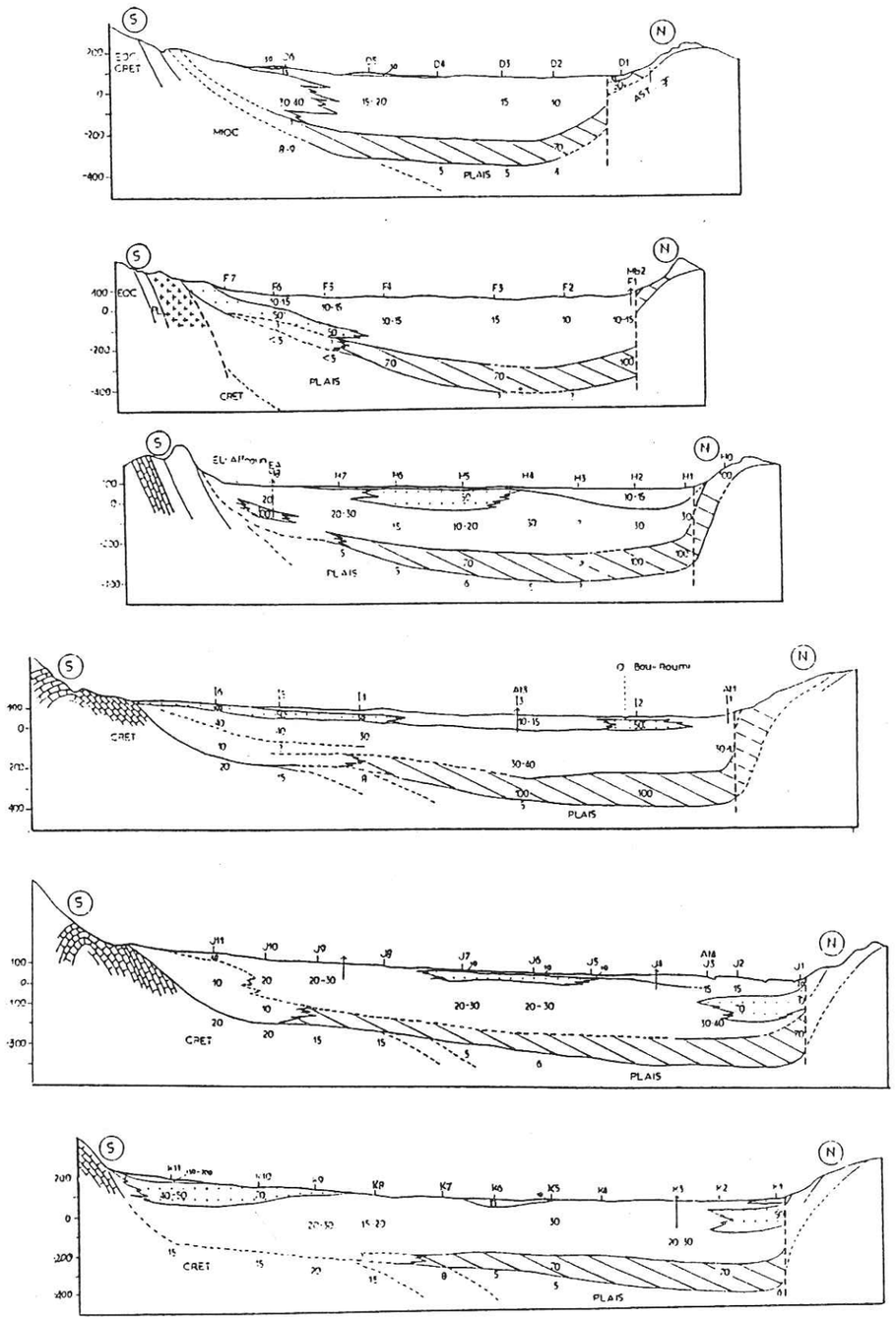
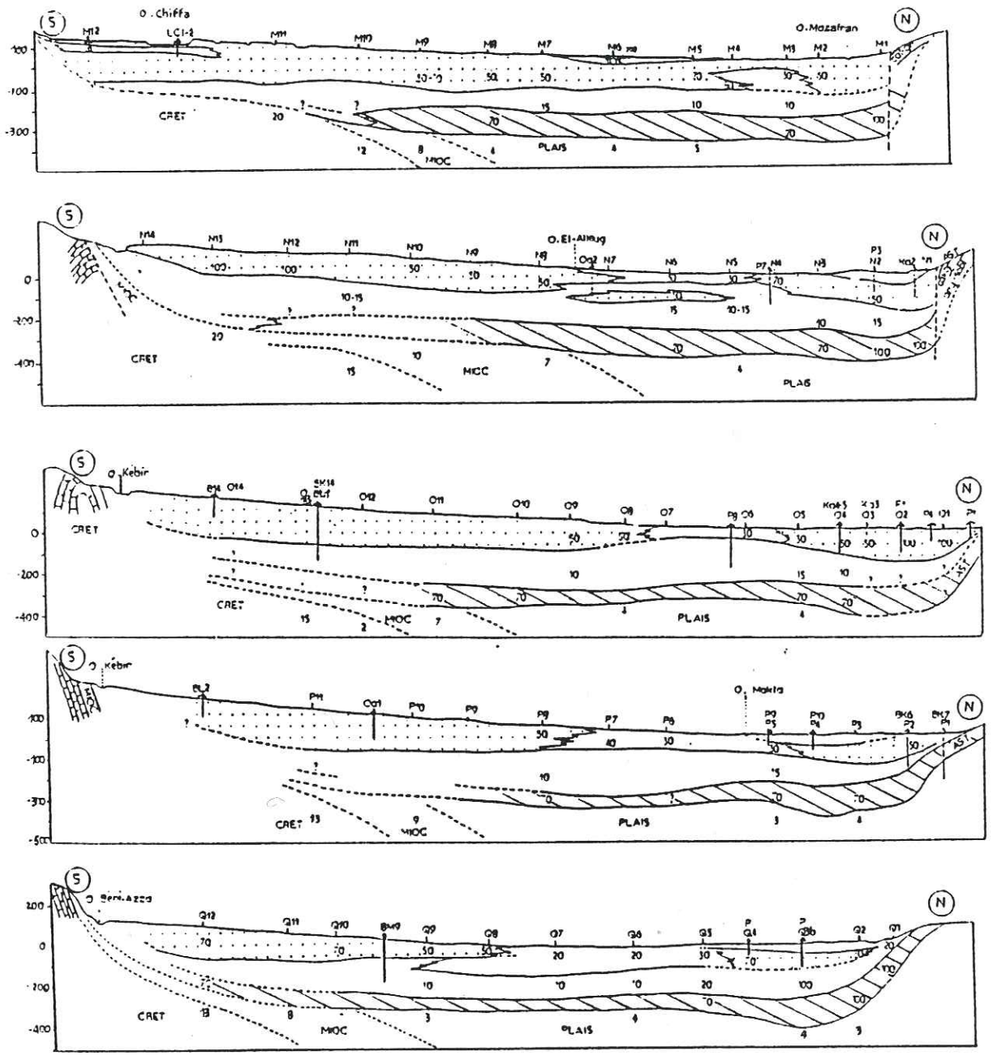


Fig 28 : COUPES GEOELECTRIQUES, profils D,F,H,I,J,K.

Légende voir figure 29, page 92.

Emplacement des coupes, voir figure 26, page 88.

Fig.29 : COUPES GEOELECTRIQUES,profils M,N,O,P,Q.



LEGENDE

50-100	Alluvions perméables	CRET	= CRETACE
5-30	Alluvions peu perméables	MIOC	= MIOCENE
70	ASTIEN gréseux	PLAIS	= PLAISANCIEN
3-20	Substratum marneux	0 — 3 — 6 Kms	

-La nappe des "limons" : les limons de la basse plaine sont hydromorphes et localement saturés d'eau; ceci est dû à la position topographique de la plaine, la porosité élevée permet un bon emmagasinement d'eau,mais la mauvaise perméabilité de cette assise fait qu'elle ne peut être considérée comme un aquifère.

-La formation des marnes jaunes, formant les alluvions anciennes, contient des passées graveleuses lenticulaires, localement aquifères et de faibles importances.Le forage profond d'Oued Alleug a traversé 343 mètres de marnes jaunes dont 16 % de graviers seulement.

La sédimentation très hétérogène, les niveaux de sables et graviers répartis souvent irrégulièrement dans un ensemble très argileux, donnent à l'ensemble une morphologie de cañons et de hauts-fonds marneux qui fait qu'on ne peut que considérer des résistivités d'ensemble :

- des ensembles conducteurs de 10-20 ohm-m, en majorité très argileux, mais qui peuvent contenir quelques lentilles de graviers argileux.
- des ensembles résistants de 30-100 ohm-m où la proportion des niveaux grossiers est importante,
- les profils géo-électriques font apparaître à l'Oued Djer, une forte épaisseur d'alluvions argileuses,jusqu'à 300 à 400 mètres; ce sont des marnes imperméables qui produisent l' artésianisme de la basse plaine (fig.28 , profils D,F). Plus à l'Est, les alluvions grossières sont toujours très peu importantes (profils H,I) et se limitent aux alluvions de surface des oueds Djer et Bou-Roumi, d'une extension très faible et très exploitées.

Dans la zone comprise entre la cluse du Mazafran et Attatba, les dépôts grossiers sont importants (profils J,K).

Le profil I, fig. 29 , met en évidence les dépôts grossiers de l'oued Chiffa, se traduisant par des épaisseurs de 150 à 200 mètres.

Les profils M à Q mettent en évidence des formations résistantes de l'ordre de 200 mètres.

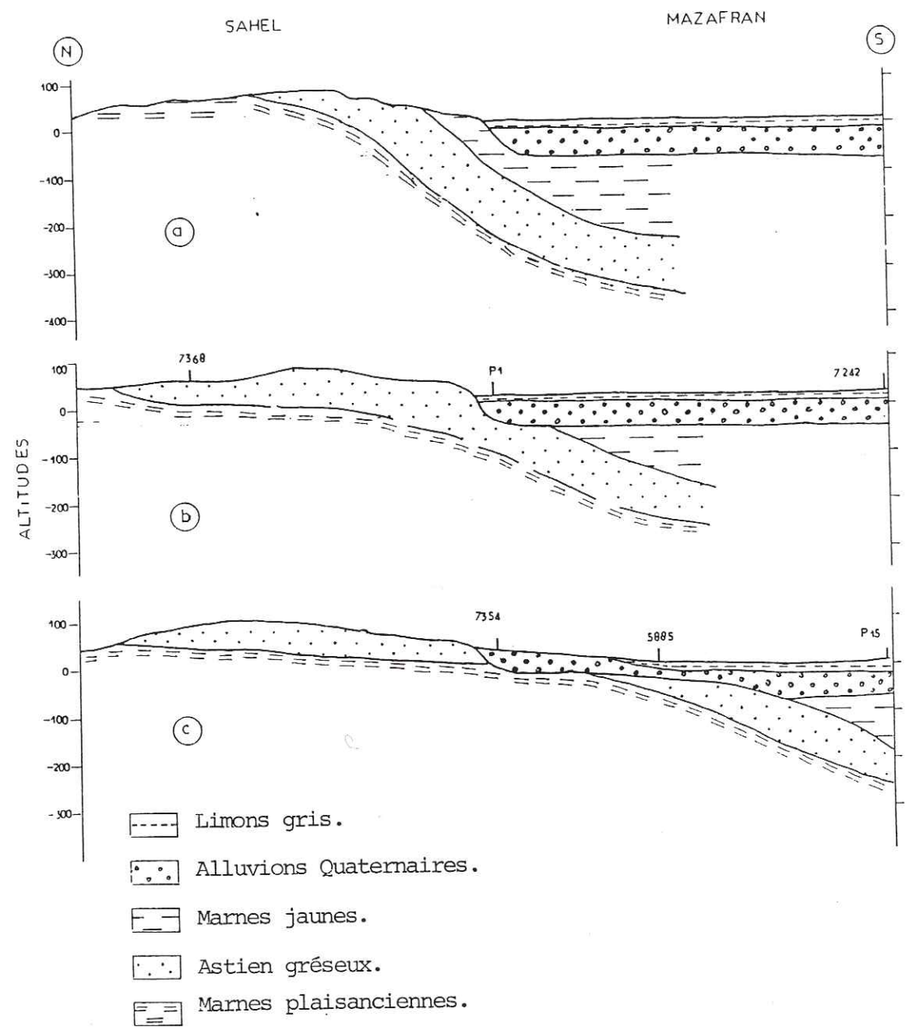
3.3. Relations hydrogéologiques entre l'ASTIEN et les alluvions QUATERNAIRES:

Le relèvement de l'Astien, le long du flanc sud du Sahel, permet un rapprochement avec le réservoir alluvial.

ENGALENC , définit trois types de contacts (fig. 30) :

- Superposition et emboîtement des formations avec continuité absolue des marnes jaunes (a),

Fig. 30 : RELATIONS ENTRE L'ASTIEN ET LES ALLUVIONS DU QUATERNAIRES.
d'après M.Engalenc,1971.



- Erosion des marnes jaunes, donc communication possible entre les aquifères (b)
- Emboîtement plus poussé des alluvions jusqu'aux marnes Plaisanciennes (c)

Au niveau de l'Atlas, les profils électriques montrent une remontée des calcaires crétacés là ou s'arrête l'Astien.
Les relations entre l'aquifère alluvial et l'Atlas sont localisées au pied des reliefs, surtout au niveau du cône de déjection de Blida.

E. Conclusion

L'étude géologique nous a permis de dégager certains traits essentiels grâce auxquels ont été définis les formations aquifères et leurs substratums imperméables dans la région du bassin versant du Mazafran.

L'allure synclinale du bassin est bien confirmée et accusée par la présence de flexures bordières, le fond du bassin restant en général relativement plat.
La flexure Nord est plus accentuée, les profondeurs atteignant 500 mètres.
Les variations verticales peuvent se ramener schématiquement à la succession suivante, de bas en haut :
- le Plaisancien formant le substratum marneux imperméable,
- l'Astien à faciès gréseux, en général d'épaisseur de l'ordre de 100 à 200 mètres.
- les alluvions argileuses sur l'ensemble du bassin sauf en certains endroits où des dépôts grossiers viennent s'y intercaler.
- les alluvions grossières en surface, cônes de déjection et anciens lits d'oueds; les épaisseurs sont en moyenne de 200 mètres.

Les réservoirs aquifères sont constitués par la formation astienne et par celle des alluvions grossières.
Le relèvement de l'horizon astien, le long du flanc Sud du Sahel, induit parfois un contact avec le réservoir alluvial. Au Sud les relations entre le réservoir alluvial et l'Atlas sont localisées au piedmont.
Nous sommes donc en présence d'un modèle à deux nappes superposées et il serait intéressant de savoir si éventuellement il existe des échanges entre les deux ; nous essaierons de donner une réponse à cette question dans les chapitres suivants.
Nous venons de décrire le contexte géologique des aquifères de la plaine du Mazafran, nous allons tacher, dans le prochain chapitre, de définir les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir alluvial du Quaternaire.

OBSERVATIONS DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE

OBSERVATIONS DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE

I. LA PIEZOMETRIE

1. Les iezometres et les cartes piézometriques

Un piézomètre est un dispositif permettant la mesure de la charge hydraulique, définie par la hauteur de niveau d'eau ou la pression d'une nappe en un point donné. Le réseau piézométrique, constitué par des piézométres (tubes crépinés à faible diamètre), des puits ou des forages qui ne sont pas en pompage, peut avoir différents rôles dans le cadre des études hydrogéologiques.

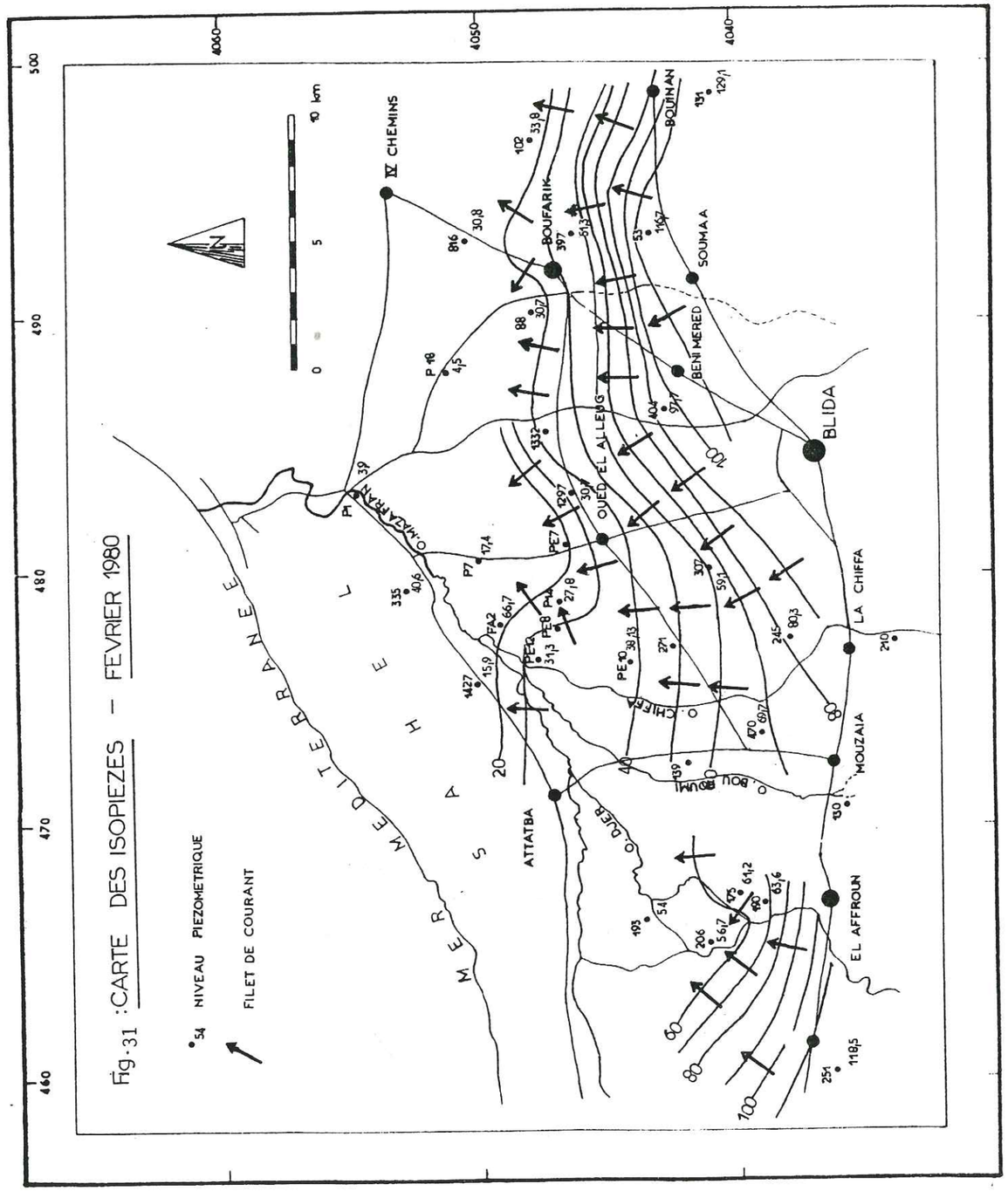
- Observations synchrones d'une nappe en vue de la construction d'une carte piézométrique permettant la détermination des sens d'écoulements et des gradients, les limites d'alimentation, les drainages, les différentes zones de transmissivités,etc
- Observations permanentes de durée limitée , utilisée dans le cadre de l'étude hydrodynamique de l'aquifère (dimensions, transmissivités, natures des conditions aux limites), c'est le cas par exemple des pompages d'essais.
- Observations de durée illimitée, utilisée dans le cadre de la gestion de nappe. On attend de ces observations la détermination des fluctuations pluri-annuelles ou des variations des réserves.

2. Rationalisation d'un réseau piézométrique et réseau de la Mitidja

La rationalisation pourra s'appliquer à la disposition judicieuse du réseau, à la distribution spatiale et à la fréquence des mesures ; or ce n'est pas le cas observé actuellement en Mitidja :

Des 100 piézométres, dont était couverte la plaine au début des années 70, seuls sont restés intacts quelques uns,concentrés autour des champs de captage principaux (MAZAFRAN I et II). Les mesures que donnent ces piézométres ne reflètent pas la réalité, car la nappe est influencée par les intenses pompages des champs de captage.

Le tableau suivant résume l'état des piézometres, établi par l'I.N.R.H.



Champs	Piézomètres	Observations
MAZAFRAN I	P16, P2, P9, P20, P4, P15, POA7	Colmatés
	P1, PO19, PA1	A reprendre
	P8	Détruit
	P6, P17, PFA1, POA7	Scellés
	FA2 (P1), P2, P3, FA3 (P1), P2, P3	Mauvais état
	PFAG, PFAGbis, P7	Bon état
MAZAFRAN II	PE1, P7, P6	Colmatés
	P2, P10, P11, P13, P15, P17	Détruits
	P1, P8, P9	A reprendre
	PE10, PE12, PE8, PE7, PE4, P14	Bon état
BLIDA	RA5, RA5bis, RA1bis, RA2	Colmatés
	RA9, RA10, RA41, RA42, RA43, RA44, RA45, RA46, LA7	A reprendre

Sur 56 piézomètres des champs de captage, 15 sont en état de servir; on peut y ajouter quelques puits éparpillés à travers la plaine et servant de piézomètres ; tel est le réseau piézométrique de la plaine du MAZAFRAN, qui depuis une décennie à subi une véritable hécatombe.

3. Relevés piézométriques : données disponibles

Dans le cadre de notre travail, nous n'avons pu procéder à des relevés piézométriques du fait des difficultés citées plus haut. Nous nous sommes donc contenté d'utiliser les données existantes :

Relevés des mois de : Février, Avril, Juin et Octobre 1980 ;
Juin, Juillet 1981 ;
Mai 1985.

4. Examen des cartes piézomètriques (fig.31 à 36)

Les filets de courant sont matérialisés par de petites flèches normales aux équipotentielles que forment les courbes de niveau.

On notera le caractère nettement convergent de l'écoulement, l'écoulement général se faisant du Sud vers le Nord; cependant sur la plupart des cartes, apparaît un

050 030841 0

RESULTATS DES ESSAIS DE POMPAGE.

Ouvrages	T_d	T_r	T moy.
F1(19)	6.3	10	8
P1(29)	9.5	8	9
89	2.3	2.4	2.3
87		2.3	2.3
118	1.7	1.1	1.4
77	.3	.9	.6
72	5.5	5	5.2
112	.6	1.6	1
W25	24	10	17
127	4.6	6.4	5.5
131	12	34	23
F4	18.8	18.3	18.5
F1D3			17.4

ESSAIS REALISES PAR LA DHW-BLIDA.
(valeurs en 10^{-3}.)

Ouvrages	T_d1	T_r1	S1	T2	S2	T.moy.
B2		6				6
G4b	4.4	3.1				3.8
A3		8.8		9		9
C1b		1-5		1-80		1
I11b	10			10		10
E6b		28		28		28
D7b	15			15		15
J8		40		40		40
P15b		20		20		20
M12	40			40		40
D17b	26			27		27
R19b	7.7					8
F5b	31.4					31
L13	26.6					27
N14	76		3.3	10	1-3	9
K9	23	48		35-78	.5-	46
O16				9.7		10
Q18b				15		15
FA2						29
FA3						27

Essais éffectués sur le champ Mazafran II
(valeurs en 10^{-3} m^2 s.)

1: Essais éffectues par l'INRH(1978-1979).
2: Essais éffectues par *
T_d: T calculée a partir de la descente.
T_r: T calculée a partir de la remontée.

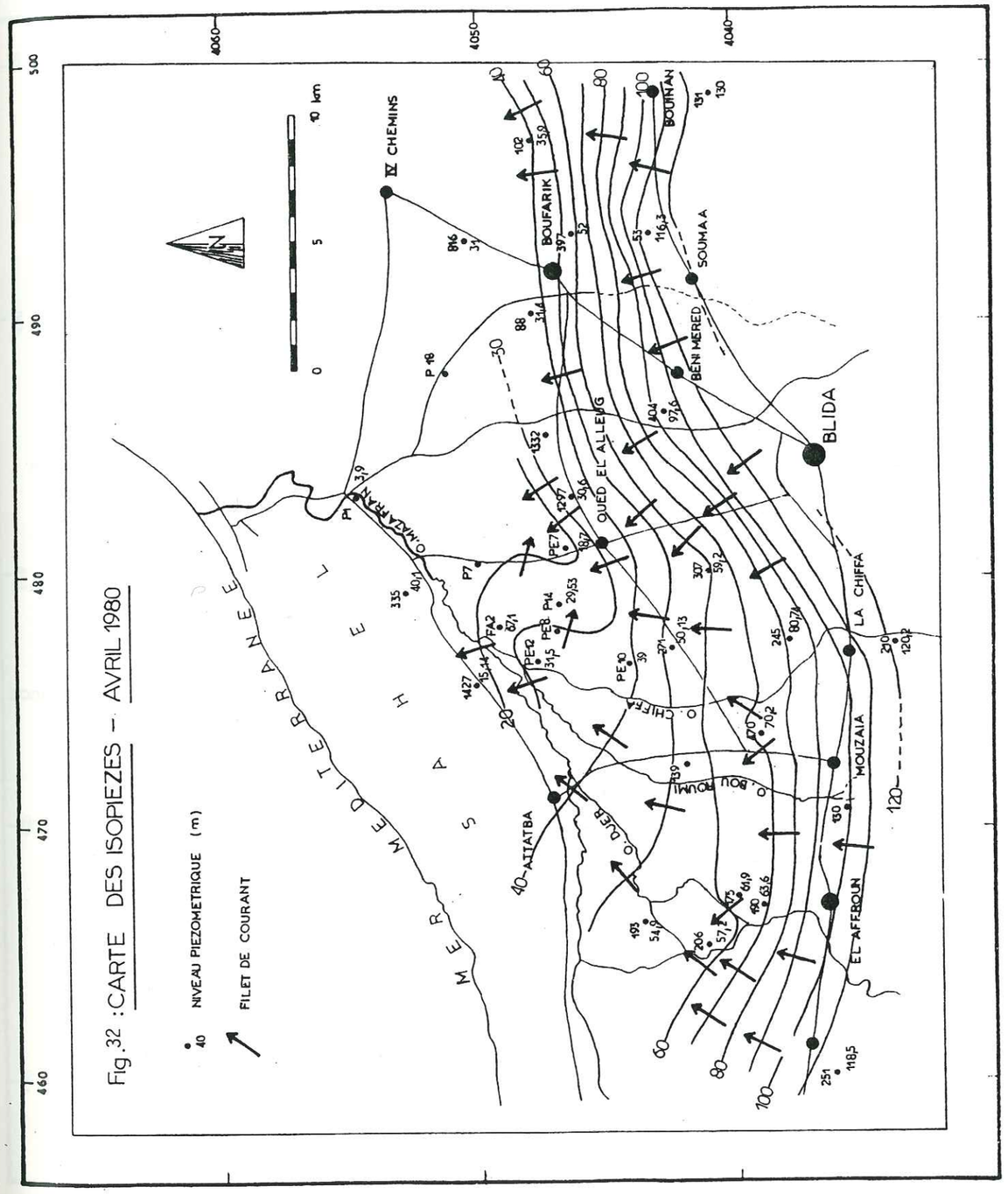
* BENNIE and partners.(1980).

Ouvrages	T_d	T_r	T.moy.	S
1204	19	20	19.5	
192	18-34	14-16	20	
P(192)	28		28	1.5
	24		24	1.3
18	2.3	4	3	
41	29		29	.1
844	5.1	3.9	4.5	
772	2.6	2.6	2.6	.9
771	2.6		2.6	
95			6.1	
985	2.3	1.7	2	
6459		.3	.3	>1
67		17.6	17.5	>5
69	3.4	1.6	5	>.3
172	.7	.5-.7	.6	
354			10	>4
150			20	
7543	1.4	2	1.7	2.4
PFA6			.3	

ESSAIS REALISES PAR L'INRH.
(valeurs en 10^{-3}.)

Ouvrages	T $10^{-3} m^2/s.$	S $10^{-3}.$
F10(28)	10	
F3(21)	4	
F5(23)	10	.2
F4(22)	6	
F9(27)	10	
F6(24)	9	
F2(20)	14	
F8(26)	13	
F7(25)	14	

ESSAIS REALISES SUR LE CHAMP BLIDA I.



axe de divergence (ligne de flux nul, qui peut se déplacer dans l'aquifère selon les variations de potentiels), parallèle à la limite sud du Sahel, l'écoulement se faisant alors latéralement à cette bordure vers l'aval de la nappe.

Un axe principal de drainage se dégage dans toutes les cartes, axe de direction NE-SW , passant à l'ouest de Oued El-Alleng.

La convergence des écoulements se fait dans la zone située au nord de Oued El-Alleug zone des champs captants MAZAFRAN (MZ I et II).

On peut également observer des déformations locales de la surface piézométrique, selon les différentes cartes :

- les cartes de Février, Avril et Juin 1980, montrent une convergence des isopièzes au Nord d'El-Affroun, au niveau de l'Oued Djer.
- sur les cartes d'Avril 1980 et Mai 1985, on observe une divergence des lignes de courant au nord de Mouzaia, les filets de courants sont dirigés vers les oueds Bou-Roumi et Chiffa. Le même phénomène s'observe au nord de Boufarik pour les cartes de Février, Juin 1980 et Mai 1985. Cependant sur la carte de Juin/Juillet 1981, on observe sur cette zone un axe de convergence des eaux de direction NW-SE ;

les niveaux aquifères, près de l'Atlas, sont profonds: l'isopièze 120 m passe au Nord de Blida ; exceptionnellementsur la carte Juin/Juillet 1981, on note une valeur piézométrique de 170,5 m (?).

Vers le Nord, l'écoulement, favorisé par la pente topographique, entraîne un fractionnement de la nappe, induisant des axes d'écoulements différents dus à l'existence de lentilles argileuses imperméables, allongées nord-sud, perturbant ainsi les mouvements de l'eau.

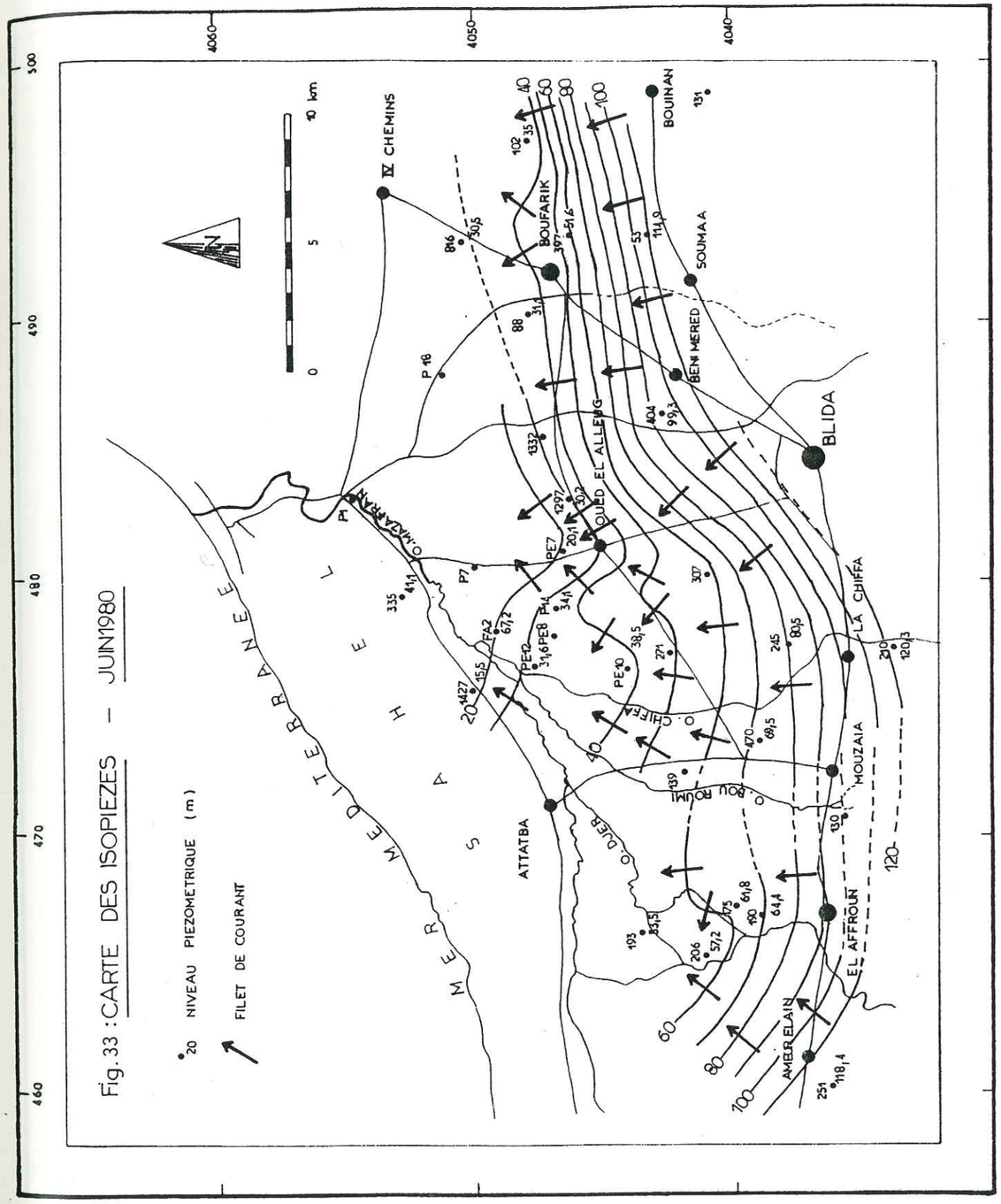
L'écoulement régulier de la nappe vers le Nord se fait jusqu'à l'isopièze 40 m.

L'allure générale des courbes est la même en saison sèche (Juin-Juillet) et en saison humide (Février).

Au Nord de Blida et de Beni-Méréd, la nappe s'écoule du Sud-Est au Nord-Ouest; le gradient hydraulique est en moyenne de 1,4 10^{-2}. Plus à l'Est, entre Boufarik et Bouinan, la pente de la nappe est forte; on note un gradient moyen de $1,7.10^{-2}$.

A partir de l'isopièze 50 m, se produisent des irrégularités dans les courbes et on observe un gradient hydraulique différent, variant de 0,8 à 1.10^{-2}.

A l'Est de Boufarik, se dessine, un véritable chenal qui ressort bien sur la carte de Juin-Juillet 1981, correspondant à une zone de drainage importante; le gradient hydraulique est de l'ordre de 10^{-2}.



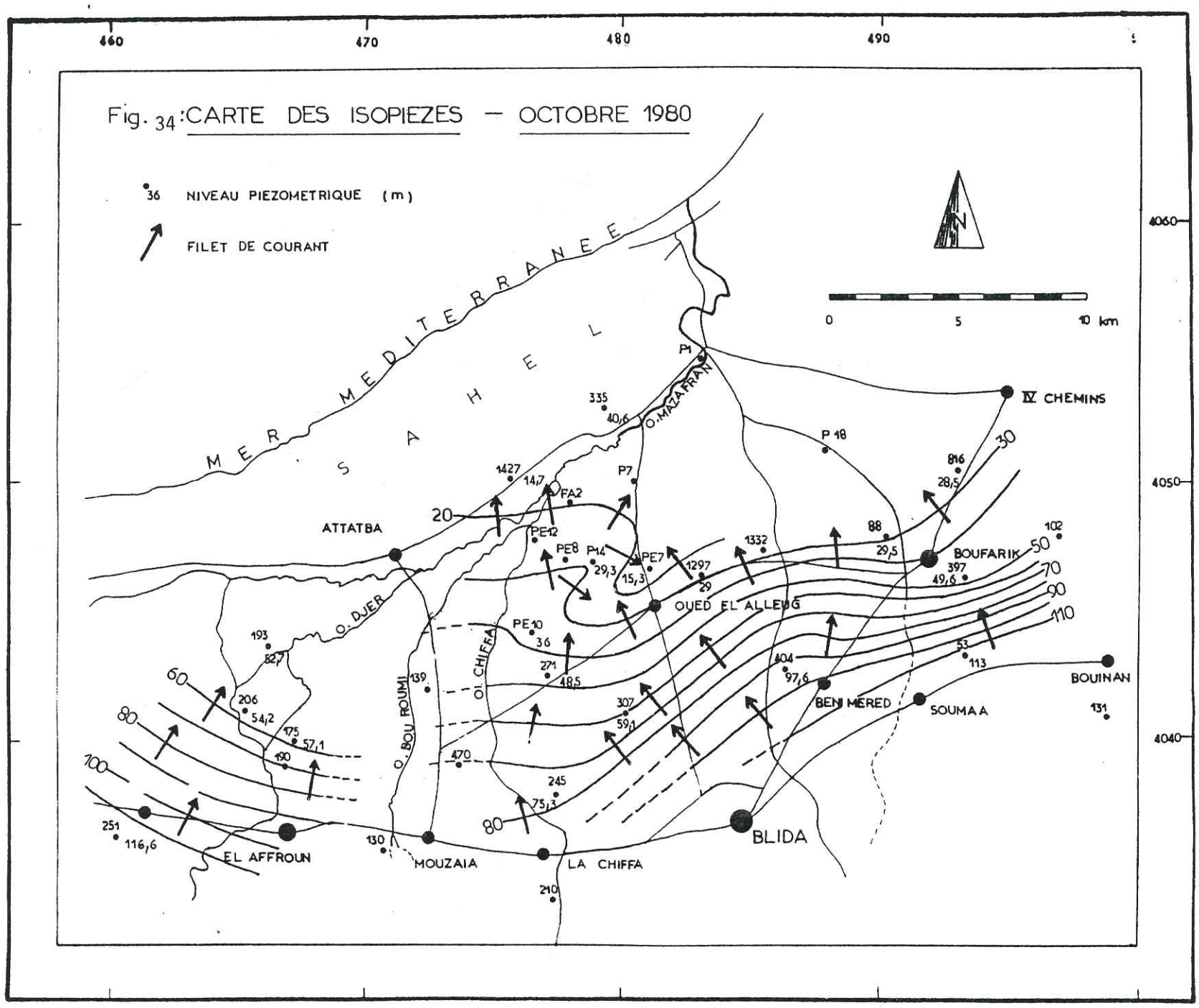


Fig. 34 : CARTE DES ISOPIEZES — OCTOBRE 1980
36 NIVEAU PIEZOMETRIQUE (m)
FILET DE COURANT
MER MEDITERRANEE
SAHEL
0 5 10 km
IV CHEMINS
ATTATBA
BOUFARIK
OUED EL ALLEUG
BOUINAN
BENI MERED
SOUMAA
BLIDA
EL AFFROUN
MOUZAIA
LA CHIFFA
O. MAZAFRAN
O. DJER
O. BOU ROUMI
O. CHIFFA
460
470
480
490
4060
4050
4040

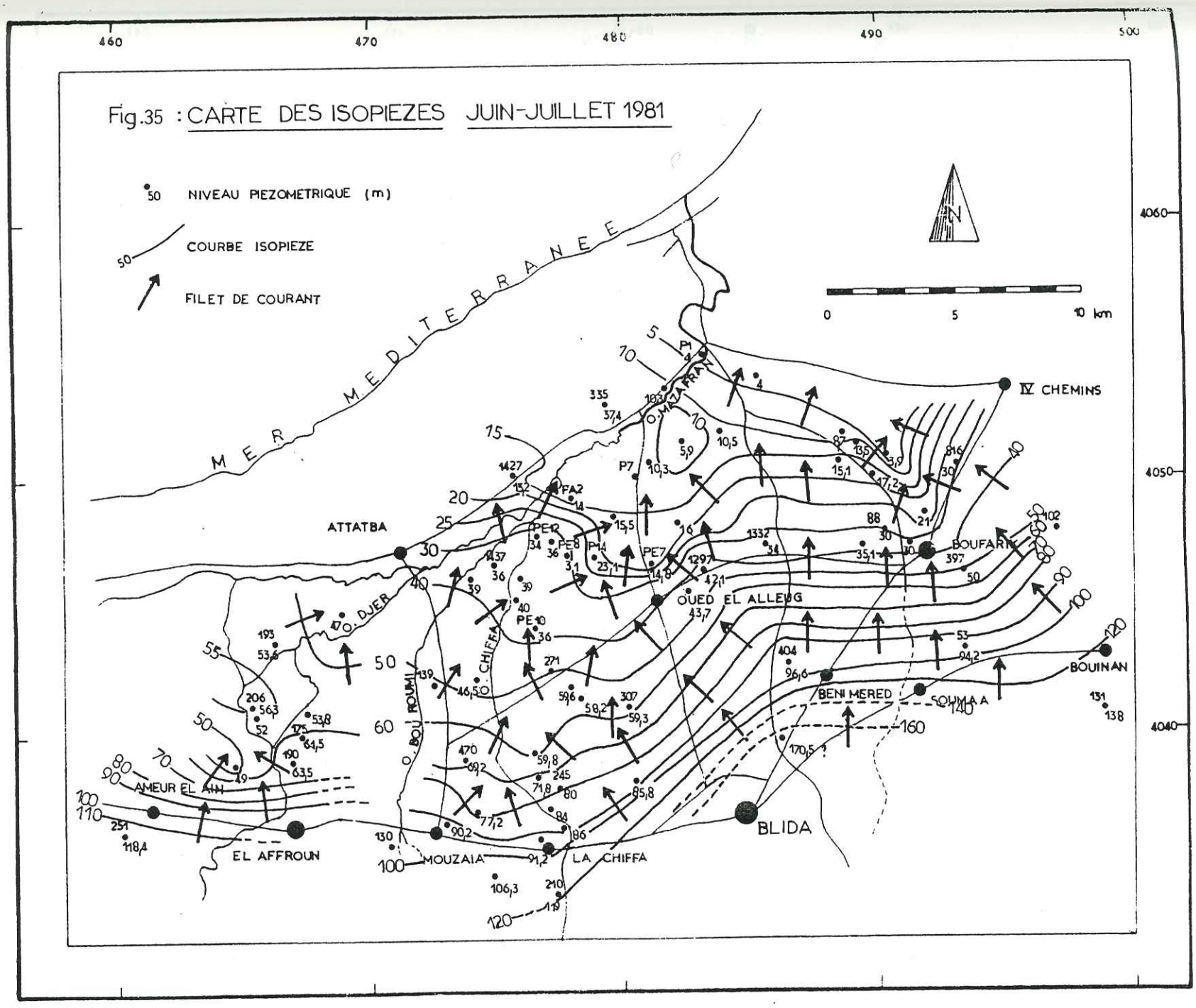


Fig.35 : CARTE DES ISOPIEZES JUIN-JUILLET 1981
50 NIVEAU PIEZOMETRIQUE (m)
COURBE ISOPIEZE
FILET DE COURANT
MER MEDITERRANEE
0 5 10 km
IV CHEMINS
ATTATBA
BOUFARIK
OUED EL ALLEUG
BOUINAN
BENI MERED
SOUMAA
AMEUR EL AIN
BLIDA
EL AFFROUN
MOUZAIA
LA CHIFFA
O. MAZAFRAN
O. DJER
O. BOU ROUMI
O. CHIFFA
460
470
480
490
500
4060
4050
4040

A partir de l'isopièze 40 m, l'écoulement converge vers la cluse du MAZAFRAN. Plus à l'ESt, l'influence de la cluse se fait sentir à l'Est d'une ligne El-Affroun-Attatba, car l'écoulement devient SW-NE ; le long de la bordure sud du Sahel, le gradient varie de 0,4 à 1,4 10^{-2} ; une accentuation de l'espacement des isopièzes indique une zone d'écoulement très faible. Des axes d'écoulement préférentiels sont visibles dans la direction des lits des oueds Bou-Roumi et Chiffa, où l'on note un gradient de l'ordre de 0,7 10^{-2}. Encore plus vers l'Est, on observe un important axe de drainage qui aboutit à la zone des champs MZ I et II, où les gradients sont faibles, car à partir de l'isopièze 15 m (fig. 35), on constate la présence d'un plateau, d'où un écoulement quasi-nul; cette zone et celle située au Sud d'Attatba (zone de l'ancien Lac Halloula), correspondent à d'anciennes zones marécageuses, disparues à cause de la baisse de la surface piézométrique.
A l'Ouest, au Nord d'El-Affroun, les gradients sont de l'ordre de 1,2 10^{-2} ; l'isopièze 60 m traduit une zone de convergence des eaux.

5. Appréciation indirecte des paramètres hydrodynamiques

Les cartes piézomètriques reflètent des conditions hydrodynamiques relevées à un instant donné, elles peuvent également faciliter l'approche de la transmissivité ou de la perméabilité.

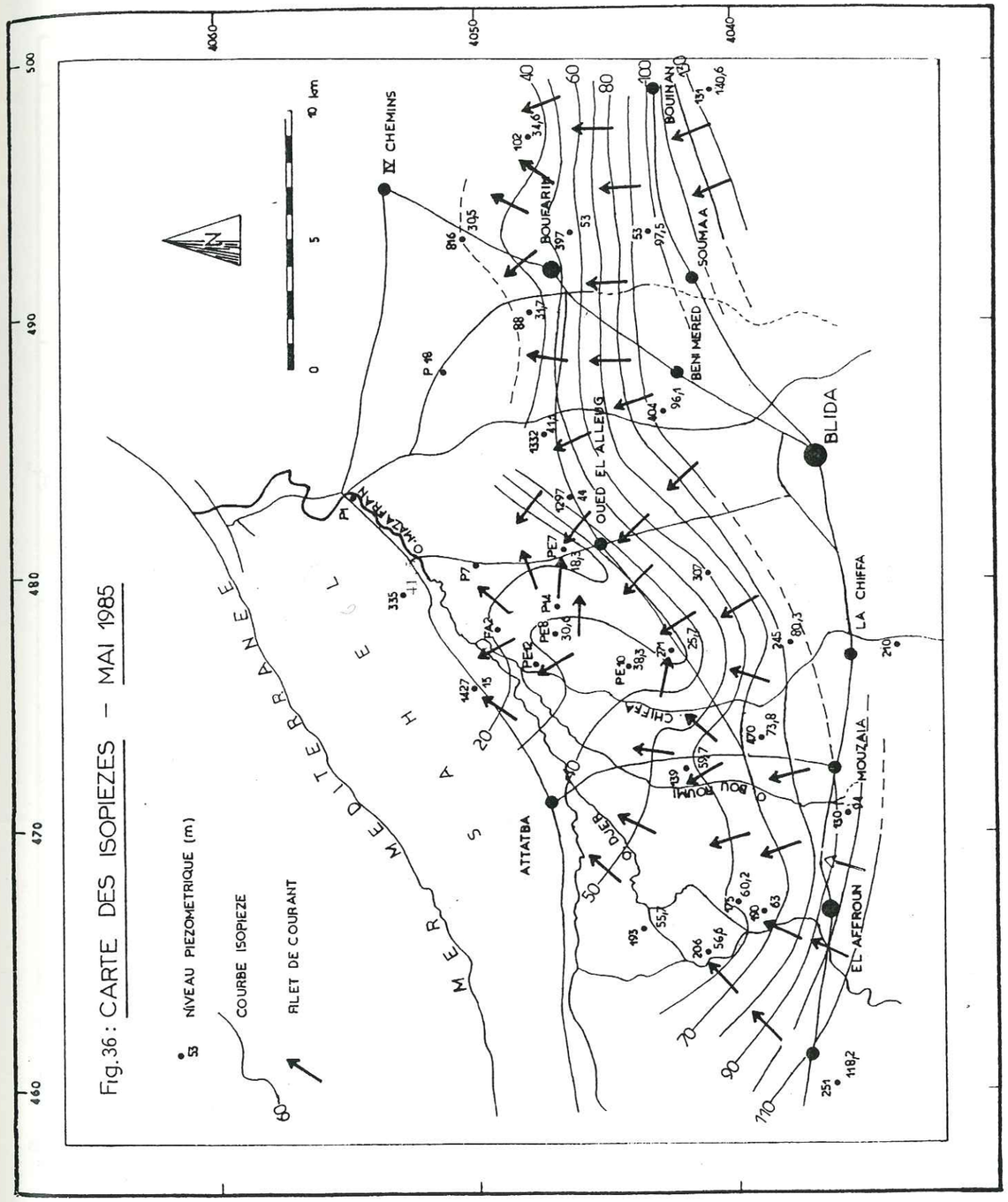
J. MARGAT (1963), a mis au point une formulation rigoureuse de l'analyse de la piézométrie, qui comporte l'étude approfondie du gradient, sous forme de courbes dites "isoclines", à partir de la relation issue de la loi de DARCY :

$Q = TLi$ T = Transmissivité
L = Largeur du front de nappe
i = Gradient hydraulique
Q = Débit de la nappe transitant par le front de la nappe

$$T = \frac{Q}{Li} \quad \text{ou}$$

$$T = \frac{Qu}{i}$$; Qu : débit unitaire (débit par unité de largeur de front).

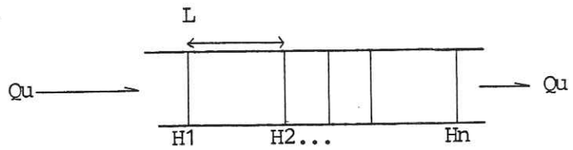
En première hypothèse, Qu est constant, d'où T est une fonction inverse de i, c'est-à-dire que les zones à gradient élevé sont, dans ce cas, des zones de



moindre perméabilité .

i, s'obtient sur une portion rectiligne de la surface piézometrique en faisant le rapport :

$$i = \frac{H1 - H2}{L}$$



H1, H2, : cotes des isopièzes considérées,
L : distance entre les deux isopièzes.

En examinant les différentes cartes piézométriques nous observons en gros 4 zones de gradient hydraulique différents.

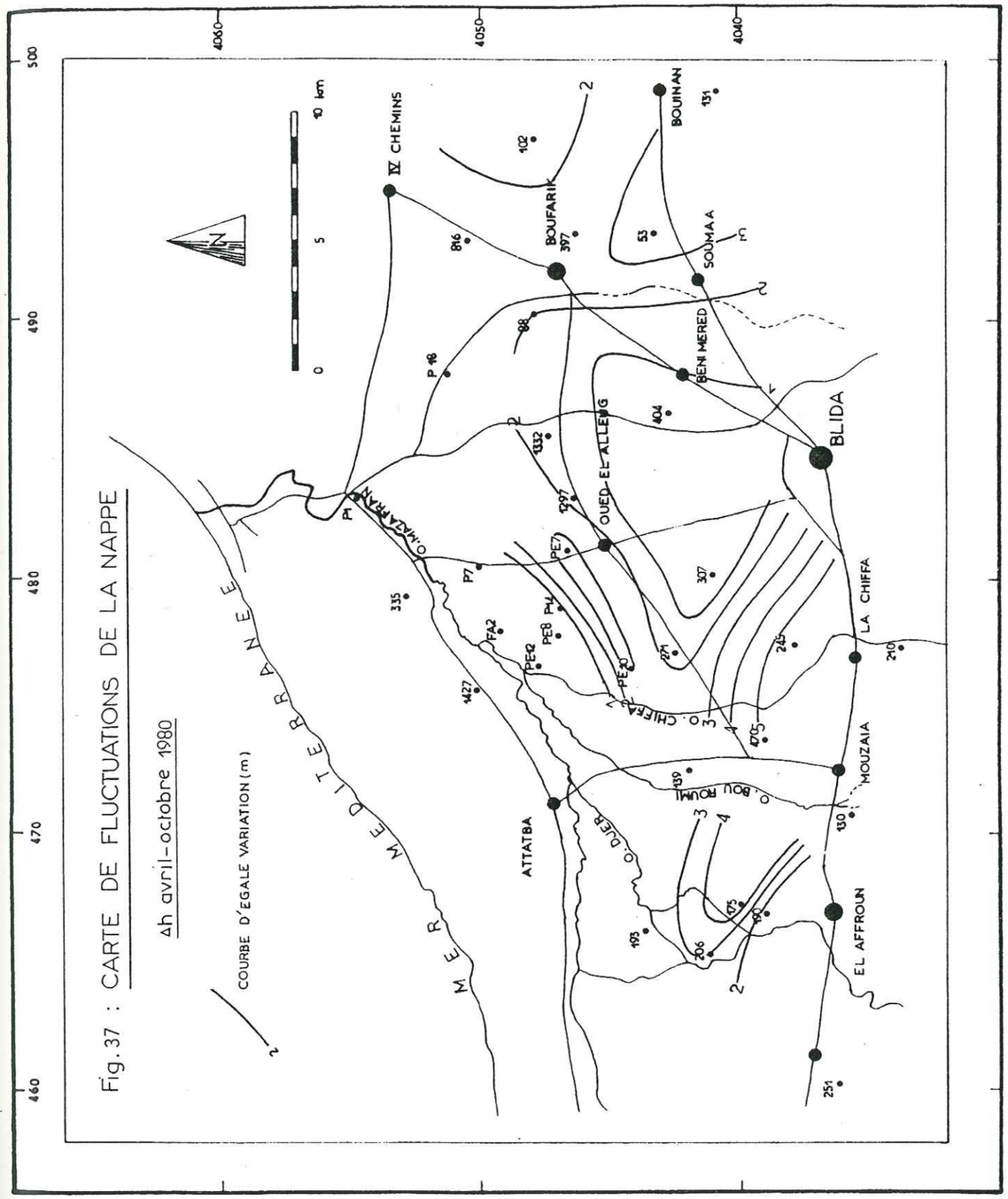
- une zone comprise dans un périmètre formé par les villes de Bouinan-Boufarik-Oued Al.-Alleug-La Chiffa-Blida, avec un gradient relativement fort variant de 1,4 à 1,7 10^{-2}, zone correspondant à la bordure sud du système aquifère; cette forte valeur n'est pas à notre avis un indice d'une faible transmissivité, mais doit être interprétée comme un accroissement important de Qu, engendré par les bordures ;
- le même cas se présente dans la zone située au nord d'El-Affroun avec un gradient de 1,2 10^{-2} ;
- une zone située au nord de Boufarik, avec un indice moyen de l'ordre de 10^{-2} ;
- enfin, une zone centrale qui, allant jusque dans la région Mouzaia-La Chiffa, où le gradient est assez faible :0,4 à 0,7 10^{-2}. On note cependant un gradient assez fort (1,4 10^{-2}) au droit du champ MZII; ceci ne peut être interprété comme étant une conséquence d'une faible transmissivité, mais plutôt d'un accroissement de Qu, engendré par les pompages importants dans cette région.

Plus au Nord, au niveau de la zone de convergence vers la cluse, les faibles gradients sont dus, non pas à de fortes T, mais à la présence de terrains limoneux.

6. Conclusion

Les différentes périodes que nous avons utilisées pour la confection de nos cartes piézométriques, montrent, dans leur ensemble, une analogie dans la configuration générale des courbes isopièzes.

D'une manière générale, nous pouvons diviser notre région en deux parties selon un axe de direction Est-Ouest passant par Attatba et Boufarik.



+ Dans la partie sud, le gradient est en général élevé, les isopièzes régulières, attestant d'une bonne circulation des eaux; cependant à l'Ouest de cette partie, on peut noter :

. Espacement des isopièzes aux abords des oueds Djer, Bou-Roumi et Chiffa, mettant en valeur des terrains plus fins induisant des circulations lentes, ce qui d'ailleurs peut expliquer en partie, les valeurs élevées des résidus secs des eaux.

. Formation d'une zone de convergence des eaux due probablement à l'influence des pompages, nombreux dans cette région.

- Dans la partie nord on note un "appel d'eau" vers la zone des champs MZ I et II dont les pompages intensifs induisent un cône de convergence des eaux.

Fluctuations de la nappe :

Les données dont nous disposons ne nous permettent pas de tracer des cartes de fluctuation Hautes Eaux-Basses Eaux.

Pour approcher la réalité, nous avons essayé de tracer une carte des variations "Δ h", par soustraction des cotes piézomètriques d'Avril et Septembre 1980. Cette carte (fig.37) fait apparaitre des zones de fluctuations allant de 1 à 5 m. Dans les parties est et nord de la plaine, les fluctuations varient entre 1 et 3 m tandis que dans la partie est, elles sont plus importantes, entre 2 et 5 m. Sauf entre Bouinan et Boufarik, les gradients hydrauliques varient peu entre les deux périodes de mesures, il n'y a donc guère de variations de charge, d'où peu de différences de débits dans la nappe.

II. LES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES

L'étude des paramètres hydrodynamiques constitue une tâche importante de l'hydrogéologue ; en effet c'est sur la base des valeurs numériques ainsi obtenues que seront vérifiées nombres d'hypothèses concernant les mouvements de l'eau souterraine. Parmi les nombreuses méthodes de récolte des paramètres hydrodynamiques offertes pour une étude telle que celle du système aquifère du Mazafran, nous n'avons pu mettre à profit que les essais hydrauliques globaux en forages, c'est-à-dire les pompages d'essai, dont nous avons pu sélectionner un certain nombre.

1. Les pompages d'essai

La technique du pompage d'essai est destinée à tester, par le biais de la production d'un ouvrage, les qualités de l'aquifère. Technique aisée à concevoir dans la mesure où l'on constate des grandeurs simples : débit, abaissement du niveau. Ces grandeurs sont pourtant appelées à des interprétations les plus affinées ; une abondante bibliographie existe, qui offre une multitude de méthodes interprétatives. Mais il ne suffit pas de disposer de bonnes théories pour l'interprétation, il faut d'abord disposer de bonnes mesures.

Pour notre travail, nous avons dû utiliser des pompages d'essai faits par la D.H.W. de Blida ; le travail de dépouillement des fiches de tests nous a permis de sélectionner quelques essais. Ces essais avaient pour but le développement de l'ouvrage et non les qualités de l'aquifère.

La conduite de ces essais n'a comporté aucune surveillance des piézométres, et nous met dans l'impossibilité d'obtenir des valeurs du coefficient d'emmagasinement. A partir de ces essais sur des forages atteignant la nappe alluviale, on a calculé sur les courbes de descente et de remontée du niveau de l'eau, les transmissivités T, grâce aux méthodes dérivées des hypothèses de DUPUIT :

Lorsque le temps de pompage est suffisamment grand, la formule de THEIS, se réduit à celle de JACOB :

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

Δ : rabattement de la nappe
Q : débit de pompage
t : temps de pompage
r : distance du puits d'observation à l'axe du puits de pompage
s : coefficient d'emmagasinement de l'aquifère

Cette formule s'applique à un écoulement en régime transitoire.
On connaît généralement Q et Δ, avec une assez bonne précision. Pendant le pompage, on tracera, sur un papier semi-log, la fonction $\Delta = f(t)$; la pente de la droite obtenue est égale à $0{,}183 \frac{Q}{T}$. Pendant la remontée du niveau, on procédera de même, mais en traçant $\Delta = f(t/t')$, t' étant le temps écoulé à partir de l'arrêt du pompage.
Le tracé des courbes en phase descente (en cours de pompage) et de remontée (en phase de repos ou post-pompage) nous montre plusieurs cas de figures : pour tous les essais que nous avons eu à interpréter, les mesures du rabattement ont été faites dans les puits de pompage ; pour arriver à une interprétation acceptable, il faut supposer que l'écoulement est plan, radial, circulaire, ce qui n'est pas toujours le cas; il faudrait supposer alors un effet de puits négligeable.

1.1. Courbe de descente

a) Cas d'une nappe infinie

F1 Blida I (fig. 38 a) ; P1 (fig. 38 b)

b) Les essais F4 Koléa et 131 CD1 (fig. 38 e, d), montrent qu'il y a atteinte d'une limite à charge constante.

c) Les essais 72, 112, W25, 127 et 89 (fig. 38 e, g, h, i) montrent soit qu'on est en présence d'une limite perméable, soit qu'on est en présence d'un cône qui se développe et atteint des zones moins perméables.

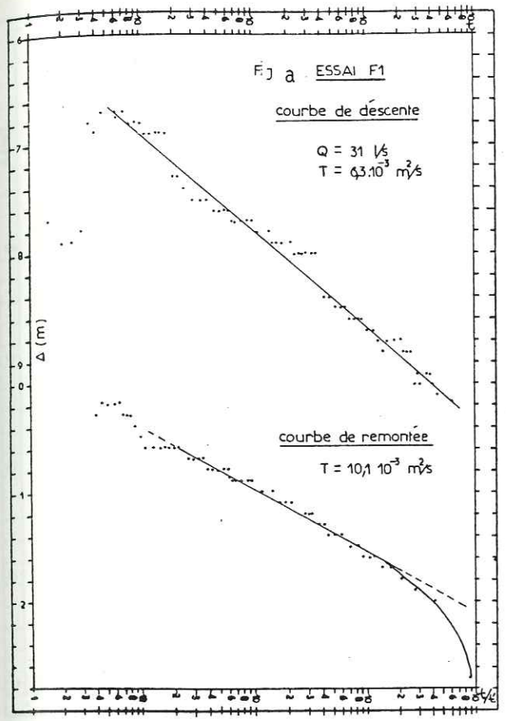
d) Les essais 87, 77, et 118 (fig. 38 j, k, l) sont caractéristiques d'une nappe couverte d'un terrain à perméabilité faible.

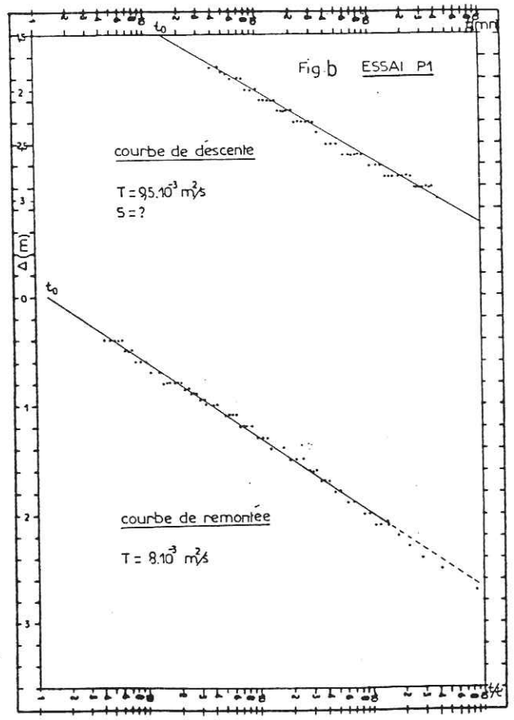
1.2. Courbe de remontée

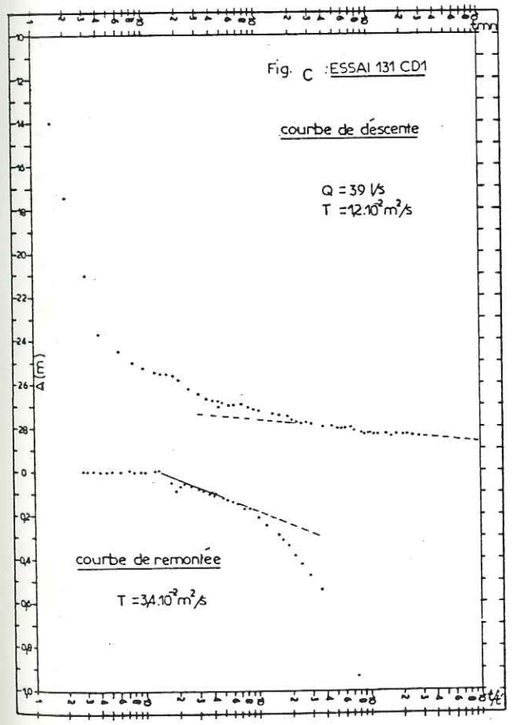
Si la remontée est observée suffisamment longtemps, elle reflètera aussi les déformations dues au puits, ainsi que les conditions introduites par les limites du système aquifère. La remontée à l'avantage de ne pas être influencée par de petites variations de débit.

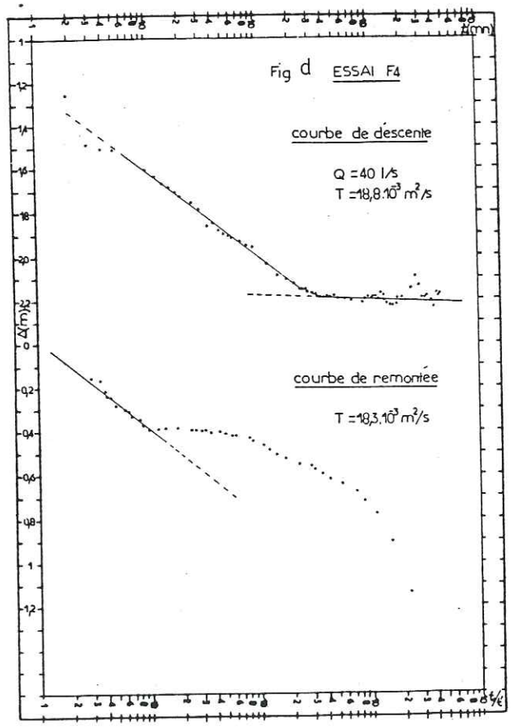
-Cas d'une nappe libre ou captive sans effet d'égouttement, homogène, isotrope et infinie : les rabattements résiduels, s'aligneront sur une droite qui coupera l'axe des rabattements nuls pour des valeurs de t/t' le plus proche possible de 1.

Figures n°38









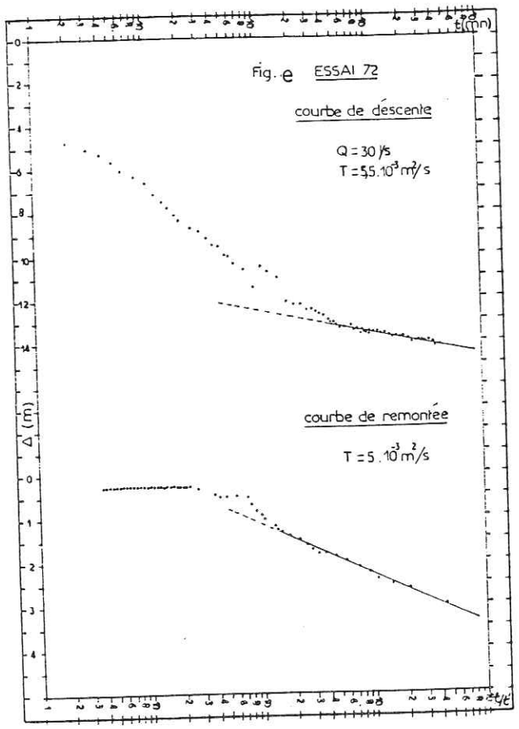


Fig. e ESSAI 72
courbe de descente
Q = 30 l/s
T = 5,5.10⁻³ m²/s
courbe de remontée
T = 5.10⁻³ m²/s
Δ (m)
t(mn)
t/t'

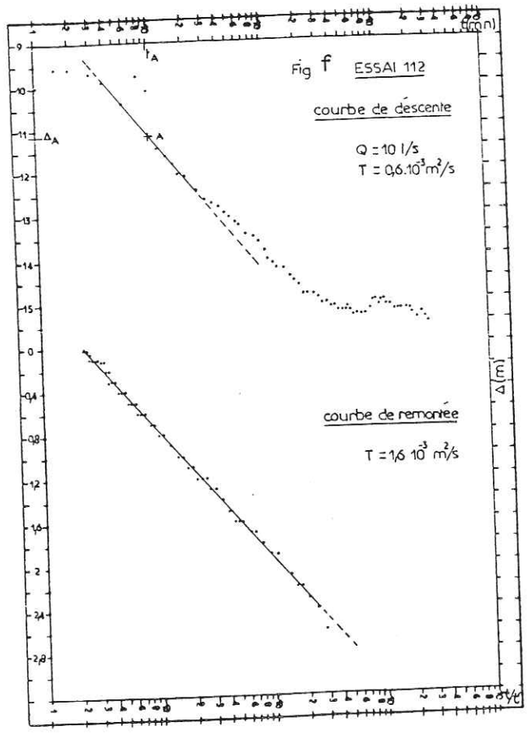


Fig f ESSAI 112
courbe de descente
Q = 10 l/s
T = 0,6.10⁻³ m²/s
courbe de remontée
T = 1,6 10⁻³ m²/s
Δ (m)
t(mn)
t/t'

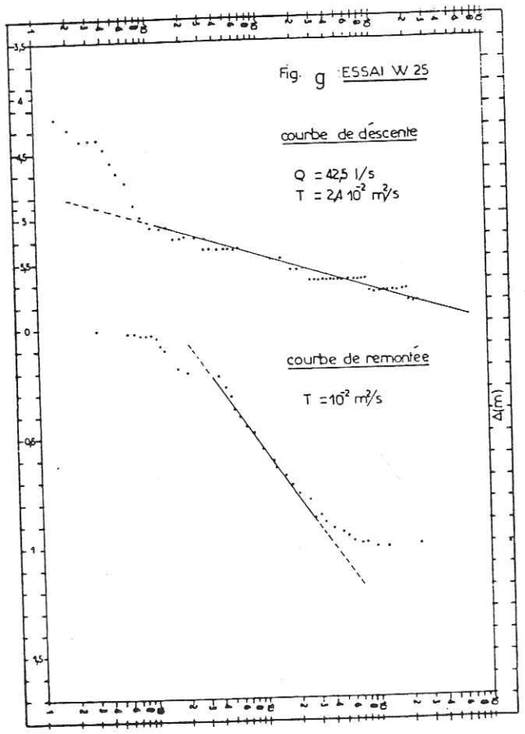


Fig. g ESSAI W 25
courbe de descente
Q = 42,5 l/s
T = 2,4 10⁻² m²/s
courbe de remontée
T = 10⁻² m²/s
Δ (m)

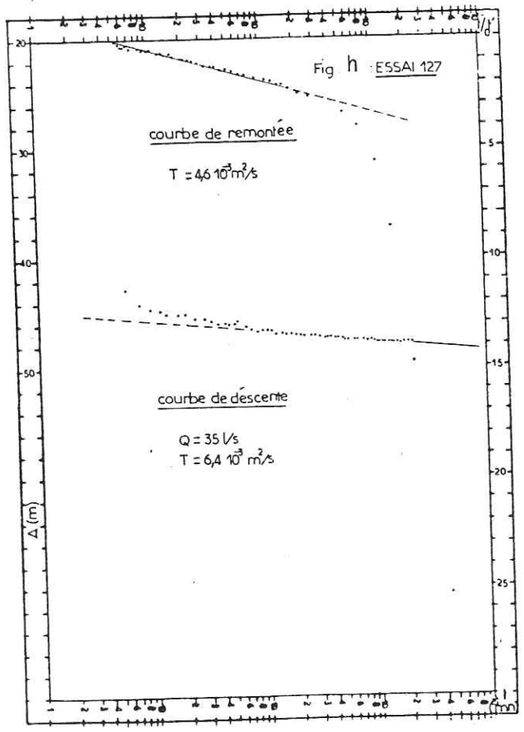


Fig h ESSAI 127
courbe de remontée
T = 4,6 10⁻³ m²/s
courbe de descente
Q = 35 l/s
T = 6,4 10⁻³ m²/s
Δ (m)
t(mn)

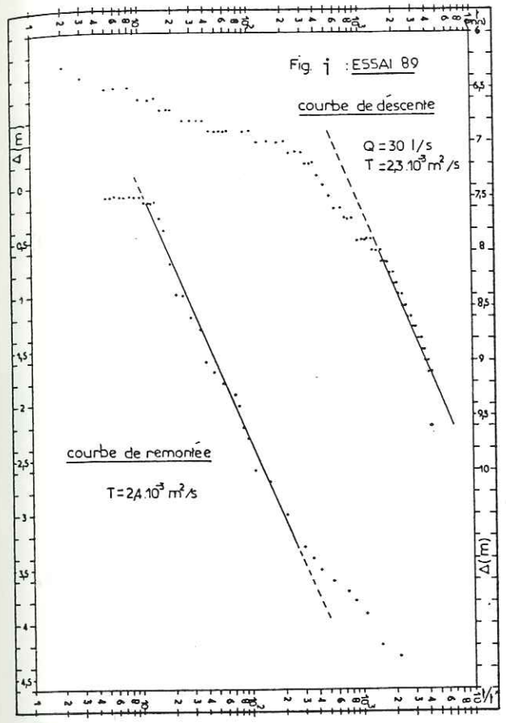


Fig. i ESSAI 89
courbe de descente
Q = 30 l/s
T = 2,3.10⁻³ m²/s
courbe de remontée
T = 2,4.10⁻³ m²/s
Δ (m)

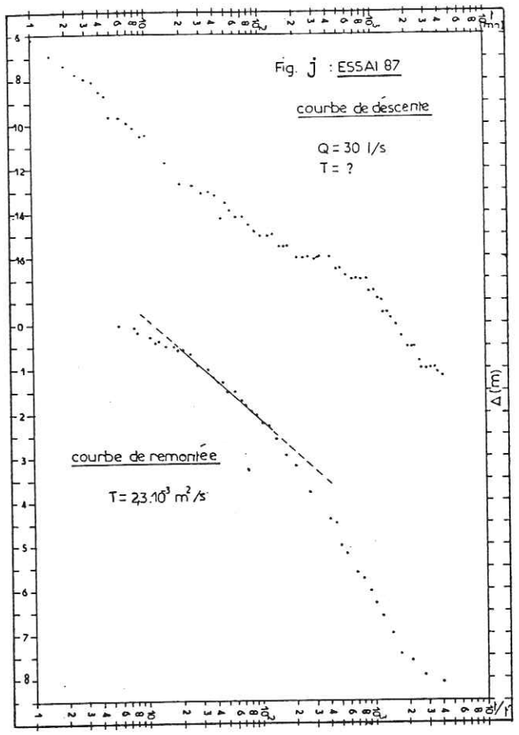


Fig. j ESSAI 87
courbe de descente
Q = 30 l/s
T = ?
courbe de remontée
T = 2,3.10⁻³ m²/s
Δ (m)

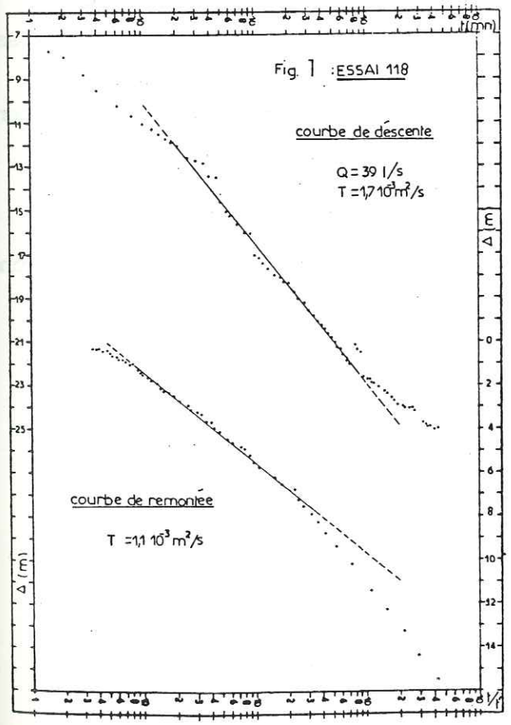


Fig. l ESSAI 118
courbe de descente
Q = 39 l/s
T = 1,7 10⁻³ m²/s
courbe de remontée
T = 1,1 10⁻³ m²/s
Δ (m)
t(mn)

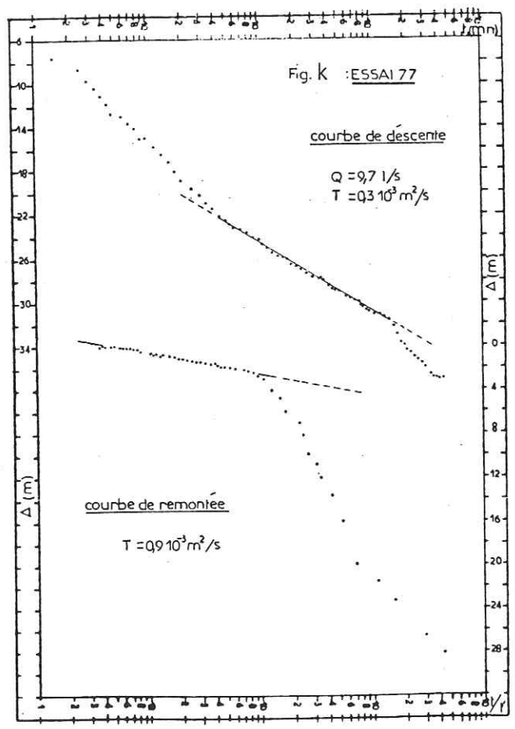


Fig. k ESSAI 77
courbe de descente
Q = 9,7 l/s
T = 0,3 10⁻³ m²/s
courbe de remontée
T = 0,9 10⁻³ m²/s
Δ (m)
t(mn)

-Cas d'une nappe libre ou captive, sans effet d'emmagasinement, homogène, isotrope et semi-infinie : La courbe observée s'éloigne de la droite théorique de l'aquifère infini, en diminuant sa pente, ce qui conduit à une amélioration de "T "(P1, 112 Blida I F1) à l'existence d'une limite d'alimentation si la pente devient nulle(89).

-Cas d'une nappe captive avec une strate conductrice d'eau et nappe semi-captive ou libre avec un débit retardé non négligeable, homogène, isotrope et infinie :

- l'essai F4, illustre le cas d'une nappe captive avec une strate conductrice d'eau
- les courbes 118, 77, 82, 87, 131, 72 caractérisent le cas d'une nappe semi-captive avec un débit retardé diminuant avec le temps ou une nappe libre avec un égouttement lent donnant un palier de durée limitée (palier de Boulton).

Le début de la majeure partie des courbes montre l'influence de l'effet de capacité du puits ou les pertes de charge. Les puits de pompage ont un certain diamètre et, au cours du pompage, une partie du débit prélevé provient donc directement du puits, sans avoir transité dans la couche, c'est l'effet de post-production.

2. La carte des Transmissivités

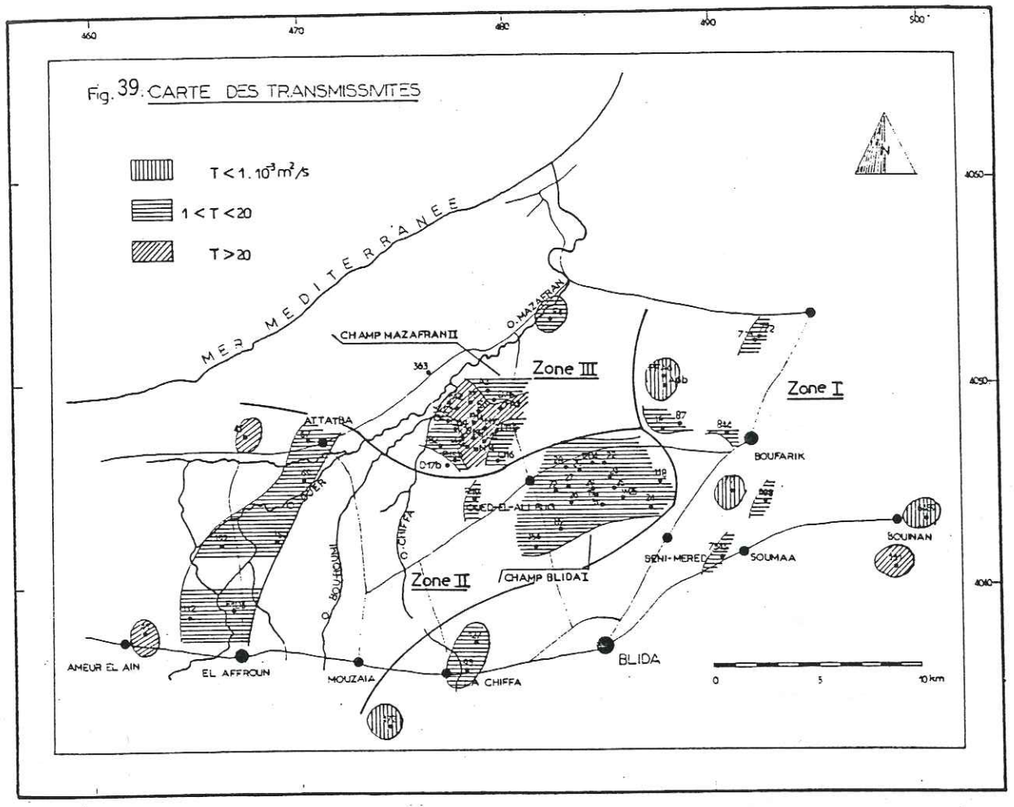
A partir des valeurs des transmissivités (Tableaux p.100), que nous avons d'une part calculées à partir d'essais de pompage réalisés par la D.H.W. de Blida et d'autre part trouvées dans la documentation (essais réalisés par l'I.N.R.H. d'Alger en 1970 et 1978/79 et BENNIE and PARTNERS en 1980), nous avons tenté de dresser une carte des transmissivités (fig.39).

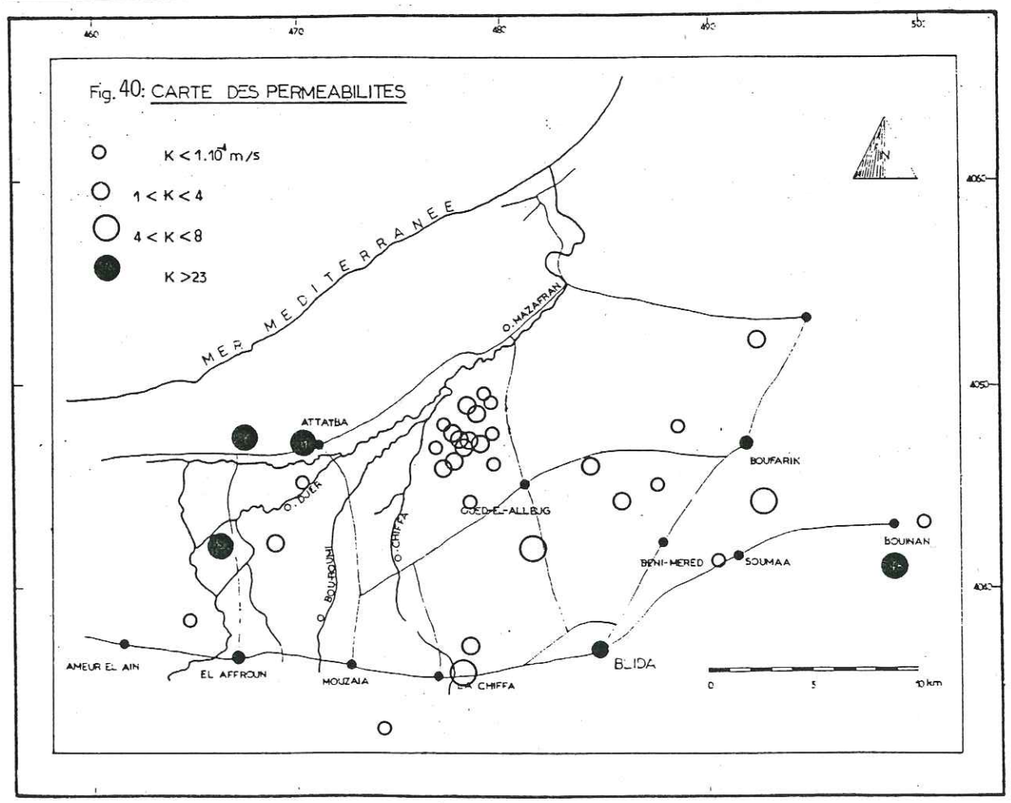
Le choix du mode de représentation a été dicté par l'inégale répartition des essais sur le terrain, la majeure partie des tests se situant au niveau des champs de captage MZ II et Blida I.

Le choix des trois classes de répartition a été dicté par le fait que les valeurs de "T" varient de 0,1 à 46 10^{-2} m^2/s; des classes beaucoup moins larges donneraient une carte illisible.

Enfin nous avons essayé de matérialiser sur cette carte, trois grandes zones de transmissivités différentes :

- Zone I : zone que nous considérons de faibles transmissivités, T variant de 0,6 à 6 10^{-3} m^2/s, avec une valeur exceptionnelle de 23 10^{-3} m^2/s au point 131.
- Zone II : au niveau de Blida I, les transmissivités varient de 4 à 14 $10^{-3} m^2/s$, alors qu'au niveau de la région El-Affroun-Attatba, on note une valeur moyenne de 20 10^{-3} avec des valeurs faibles au niveau des points 112 (10^{-3}) et 69 (5 10^{-3}).





Zone III : le champ MZ II avec des transmissivités relativement fortes allant de 4 à 46 $10^{-3} m^2/s$. Dans cette zone, le tracé d'isotransmissivités aurait donné des courbes fermées avec un pôle fort dirigé vers le centre de la région. Les forages testés sont à peu près de même profondeur, avec une moyenne de 100 à 150 m. Ils ont donc atteint le même horizon aquifère, ce qui rend encore plus difficile l'explication des grands écarts des valeurs de transmissivités.

3. Le coefficient d'emmagasinement

C'est le rapport du volume d'eau libérée ou emmagasinée par unité de volume d'un aquifère, à la variation de charge hydraulique correspondante, sans référence au temps (ou en temps illimité).

Dans un aquifère captif, ce paramètre est lié à la compressibilité et à l'expansibilité de l'eau et du milieu aquifère, ainsi qu'à la puissance de la couche aquifère. Dans un aquifère libre, il équivaut en pratique à la porosité efficace et sa signification n'est pas indépendante du temps.

Les valeurs que nous présentons dans le tableau ci-dessous sont tirées d'essais de pompage :

Ouvrages	N14	K9bis	23	192	41	771	6959	67	69	354	7543	29
S °/oo	1-3	0,5	0,2	1,5-1,8	0,1	0,9	>1	5	0,3	4	2,4	3,5

Le peu de valeurs de "S" dont nous disposons ne nous permet pas de tirer des conclusions sur l'emmagasinement global de la nappe; néanmoins, nous pouvons constater que, dans les zones I et II (fig. 39), S varie de 0,3 à 5 °/oo, alors qu'il est moins fort dans la zone III où il varie de 0,5 à 2 °/oo.
On observe donc une diminution de l'emmagasinement au niveau du MZ II, due à la nature plus argileuse de l'aquifère.

4. Répartition des perméabilités K

C'est le rapport entre la transmissivité T et l'épaisseur e de la couche de terrain saturée d'eau : $K = T/e$ (m/s)
La perméabilité exprime donc la facilité avec laquelle le terrain alluvial se laisse traverser par l'eau.

La fig. 40 représente une carte des perméabilités en points qui montre que, d'une manière générale, les valeurs de "K" varient de 0,3 à 8 10^{-4} m/s, perméabilités moyennes à bonnes pour un réservoir alluvial; cependant on relève quelques fortes perméabilités :

- à l'Est, point 131 : (23.10^{-4} m/s)
- à l'Ouest, point 192 (32.10^{-4}), 41 (80.10^{-4})

Ces fortes valeurs sont probablement dues à l'épaisseur de la tranche de terrain saturée.

Sur la carte, nous pouvons distinguer, deux zones de perméabilité différentes, la première au Nord où "K" varie de 0.3 à 4.10^{-4} m/s, la seconde au Sud où la perméabilité atteint 9.10^{-4} m/s et plus, ceci étant du fait que, dans la partie nord, les terrains sont plus limoneux, d'où une chute de la perméabilité.

III. CONCLUSIONS

Le réseau piézomètrique du bassin versant du Mazafran n'est pas rationalisé ; en effet parmi les piézomètres qui sont encore fonctionnels, la plupart sont concentrés autour des champs de captages principaux; de plus les mesures sont irrégulières et de surcroît influencées par les forts pompages.

Sur les 24 piézomètres du MZI, seuls 9 peuvent être utilisés; au niveau du MZII, 6 piézomètres sur 18 sont encore utilisables; au niveau de Blida, tous les piézomètres portent la mention "colmaté" ou " à reprendre".

L'écoulement général de la nappe se fait du Sud vers le Nord, avec un caractère nettement convergent vers l'aval de la plaine. On note une ligne de flux nul, parallèle à la limite Sud du Sahel, l'écoulement se faisant le long de cette bordure vers l'aval de la nappe. Les niveaux aquifères près de l'Atlas sont profonds : l'isopièze 120 m passe au Nord de Blida. Plus au Nord, l'écoulement favorisé par la pente topographique, produit un fractionnement de la nappe, induisant des axes d'écoulement différents dus à l'existence de lentilles argileuses. L'écoulement régulier de la nappe se continue vers le Nord, jusqu'à l'isopièze 40 m; au-delà, l'écoulement converge vers la cluse du MAZAFRAN.

D'une manière schématique, nous pouvons diviser notre région en deux parties selon un axe Est-Ouest, passant par Attatba-Boufarik :

Dans la partie Sud, le gradient hydraulique (i) est en général élevé ($1,2-1,7\ 10^{-2}$); les isopièzes régulières attestent d'une bonne circulation des eaux, avec à l'Ouest un espacement des courbes aux abords des oueds Djer, Bou-Roumi et Chiffa; la présence de terrains moins grossiers, induisant des circulations lentes, peut expliquer, en partie, les valeurs élevées des résidus secs des eaux.

Dans la partie Nord, on note une convergence des filets de courants vers la zone des champs de captage MZI et II, induite par des pompages intensifs; les gradients varient entre 0,4 et $1,4\ 10^{-2}$.

Mis à part une zone située entre Bouinan et Boufarik, les gradients hydrauliques varient peu entre les différentes périodes de mesures; il n'y a donc guère de variation de charges, d'où peu de différences de débit dans la nappe.

Les fluctuations de la nappe varient de 1 à 5 m : dans la partie est et nord de la plaine, elles sont de 1 à 3 m, tandis que dans la partie sud, elles sont plus importantes, entre 2 et 5 m. Les valeurs de la transmissivité, regroupées surtout au

niveau des champs captants MZI et Blida I, mais très différentes (0,1 à $46\ 10^{-3} m^2/s$), ne nous permettent pas de voir une évolution régulière sur le terrain; néanmoins nous avons distingué trois zones de transmissivités.

- la zone I : de faible "T", T variant de 0,6 à $6\ 10^{-3} m2/s$.
- la zone II : comprenant le champ de Blida I, avec des T. variant de 4 à $14\ 10^{-3} m^2/s$ et la région comprise entre Attatba et El-Affroun avec une T. moyenne de $20\ 10^{-3} m^2/s$,
- enfin, la zone III ou champ MZII avec des "T" allant de 4 à $46\ 10^{-3} m^2/s$.

On peut donc, en déduire que la transmissivité augmente du Sud vers le Nord.

Le coefficient d'emmagasinement varie de 0,3 à 5°/₀₀ dans les zones I et II, alors qu'il est moins fort dans la zone III où il varie de 0,5 à 2 °/°°. On observe donc une diminution de S, au niveau du MZII, due à la présence de terrains limoneux.

La perméabilité, qui exprime la facilité avec laquelle le terrain se laisse traverser par l'eau, varie de 0,3 à $8.10^{-4} m/s$, perméabilités moyennes à bonnes pour un réservoir alluvial.

Au Nord du bassin, "K" varie de 0,3 à 4.10^{-4} m/s, au sud elle atteint $8.10^{-4} m/s$ et plus.

En résumé, s'il n'est pas aisé de déduire une évolution spatiale des transmissivités, nous constatons que "K" et "S" diminuent du Sud au Nord, ce qui confirme, la nature plus argileuse des alluvions, au Nord du bassin.

L'étude piézométrique a revélé une alimentation dans la région d'El Affroun-Mouzaïa, des eaux de la nappe Quaternaire par les eaux des oueds Djer et Bou-Roumi. Ceci n'étant pas mis en évidence dans le reste de la plaine, nous tenterons grâce aux analyses chimiques des eaux des oueds et de nappe de préciser les zones d'alimentation, donc les zones susceptibles de véhiculer les polluants des eaux superficielles vers les eaux souterraines.

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX.

I. LES EAUX DE NAPPE

1. Analyses effèctuées sur les prélèvements de Septembre 1986, au niveau de la nappe du QUATERNAIRE

Une campagne de prélèvements a été effectuée sur un certain nombre de forages de la région; ses résultats servent de base au présent travail.

1.1. Concentration totale

La figure 41 représente l'évolution spatiale de la concentration exprimée en somme des milli-- équivalents que l'on peut assimiler à la minéralisation totale; ce mode de représentation est plus proche de la notion de conductivité électrique. Si l'on parcourt la plaine du Sud au Nord, suivant le sens d'écoulement moyen de la nappe, on observe à proximité de l'Oued Bou-Roumi une zone où les concentrations sont faibles, puis elles augmentent vers le Nord. On observe aussi une zone de faibles concentrations dans la région centrale, où les valeurs varient entre 12 et 19 mé/l sans que l'on puisse mettre en évidence une progression régulière.

Plus au Nord, les valeurs sont beaucoup plus élevées et atteignent 25 mé/l. A l'Ouest, on observe des concentrations dépassant en général 30mé/l. A la limite du Sahel, les concentrations dépassent 30mé/l.

D'une manière générale, trois zones se dégagent : à l'Ouest et au Nord des zones à fortes concentrations, séparées par la région centrale, où l'on observe des valeurs relativement faibles.

1.1.1. Commentaire

En comparant les concentrations avec celles mesurées aux différentes stations de jaugeage (cf. chimie des oueds), on peut faire les remarques suivantes : Dans la partie ouest, on observe des concentrations des eaux de nappe nettement supérieures à celles des eaux superficielles ; aux stations de Bou-Medfaa, Pont, El-Affroun et Attatba, les concentrations varient entre 22 et 25 mé/l, alors que dans les eaux de nappe elles sont de l'ordre de 30mé/l.
La concentration à Gorges est de 14 mé/l (fig. 42); beaucoup plus vers le Nord, celle des eaux de nappe est du même ordre de grandeur, il semblerait donc qu'il y ait une zone de mélange.

Source	pH	Cond.	Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3
1	7.8	5	26	32	15	1	183	0	82	0
3	7.7	12	68	67	55	14	207	260	85	76
4	7.9	4	38	23	5	1	165	0	39	0
5	7.6	3	30	8	5	1	85	0	10	0
6	7.6	3	18	20	15	1	75	0	74	0
7	7.1	1	14	1	8	0	37	0	15	0
8	7.8	5	28	43	8	10	165	0	81	0
9	7.8	4	28	34	15	1	189	20	15	0
10	7.7	5	38	37	10	1	146	93	30	3
11	7.8	7	28	55	40	1	165	85	82	0
12	7.8	5	26	42	13	0	140	0	85	0
13	7.8	5	26	40	13	1	159	0	92	0
14	7.8	5	26	30	18	1	140	50	71	0
15	7.8	5	34	30	20	1	140	63	64	0
16	7.8	4	28	29	8	0	134	0	50	0
17	8.0	4	30	32	5	0	146	55	10	0
18	7.8	7	44	29	30	0	183	90	75	0
19	7.9	5	36	24	10	0	171	0	82	0
20	7.8	6	30	47	15	0	183	0	121	0
21	7.8	3	26	18	8	0	104	0	46	0
22	7.9	6	38	44	8	0	262	0	46	0
23	7.8	3	26	23	5	0	104	0	39	3
24	7.6	4	38	23	5	0	128	0	50	0
25	7.9	4	34	23	8	0	165	0.	46	0
26	7.8	4	26	30	30	5	183	0	46	0
27	7.8	4	28	24	5	0	159	0	46	0
28	7.9	3	28	19	5	0	146	0	20	0
29	7.9	7	34	54	18	1	201	100	57	0
30	7.9	4	26	30	8	0	159	0	46	0
31	7.9	4	34	25	8	0	153	0	46	0
32	7.9	4	30	28	5	0	134	0	75	0
33	7.8	3	34	25	5	0	171	0	46	0
34	7.8	3	30	18	10	0	122	0	50	0
35	7.5	14	108	77	60	2	195	215	170	47

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES. EAUX DE L'ATLAS (Unités, mg/l; la conductivité est éxprimée en m.mho/cm.). Sept-Oct. 1981.

Forage	pH	RS	Cond.	Na	Mg	Ca	K	HCO_3	SO_4	Cl	NO_3
900	7.4	2057	31	178	111	235	5	378	315	540	175
1255	7.4	1112	17	100	50	133	0	257	168	230	105
R19	7.7	602	9	23	34	83	1	291	50	55	48
41	7.5	1102	17	88	50	158	4	397	113	230	57
65	7.8	1061	16	88	63	130	0	295	338	100	38
W11	7.8	468	7	20	26	73	0	257	20	30	40
W30	7.8	600	9	15	36	83	1	285	65	60	31
W38	7.8	1131	17	105	73	120	5	335	303	120	46
W36	7.8	474	7	23	23	65	6	265	23	35	31
F1D1	7.7	1155	18	93	89	110	0	295	445	90	26
74	7.8	474	7	20	33	65	0	266	55	25	8
F33	7.7	838	12	90	37	103	0	286	118	180	15
W18	7.9	452	7	28	19	65	0	255	30	25	17
W8	8.0	424	6	25	27	45	1	230	28	40	14
W34	7.9	398	6	25	23	45	1	234	40	15	11
St.Kol	8.0	688	10	70	40	78	2	278	90	115	11
D8	7.9	1021	15	90	58	123	0	298	200	200	16
D17	7.9	502	8	25	30	60	0	199	125	35	8
F1D3	7.8	987	15	85	72	98	0	299	270	130	20
W16	7.9	400	6	23	24	50	1	230	15	34	10
St.Chif	7.6	580	9	25	40	83	0	278	88	50	13
F5	7.8	660	10	38	40	90	1	284	134	55	15
F24	7.7	683	11	63	32	85	1	285	105	100	8
F23	7.7	756	11	70	38	100	1	197	125	110	12
Q18b	7.9	461	7	38	27	50	1	234	43	40	11
F32	7.6	824	13	80	46	100	1	277	150	140	10
FA2	7.8	535	8	25	31	73	1	220	113	50	8
H10b	7.6	710	11	40	41	103	1	367	88	60	13
F13	7.9	795	12	80	39	93	2	262	170	140	8
F22	7.7	791	12	78	41	93	2	307	120	130	12
F11	7.7	861	13	75	45	105	2	298	145	145	14
W9	7.8	558	9	23	32	83	1	251	115	45	4
W20	7.6	613	10	33	33	83	1	356	33	55	8
W31	7.7	670	10	30	35	100	1	290	113	60	18
W27	7.6	440	6	15	30	63	1	243	43	30	14
W2	7.6	478	6	23	29	65	1	245	28	45	25
W6	7.8	451	6	23	25	63	1	225	33	50	25
1266	7.8	782	12	55	46	113	0	257	155	145	4

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES. EAUX DE NAPPE . Sept.1986. Unités,mg/l; la conductivité est éxprimée en m.mho/cm

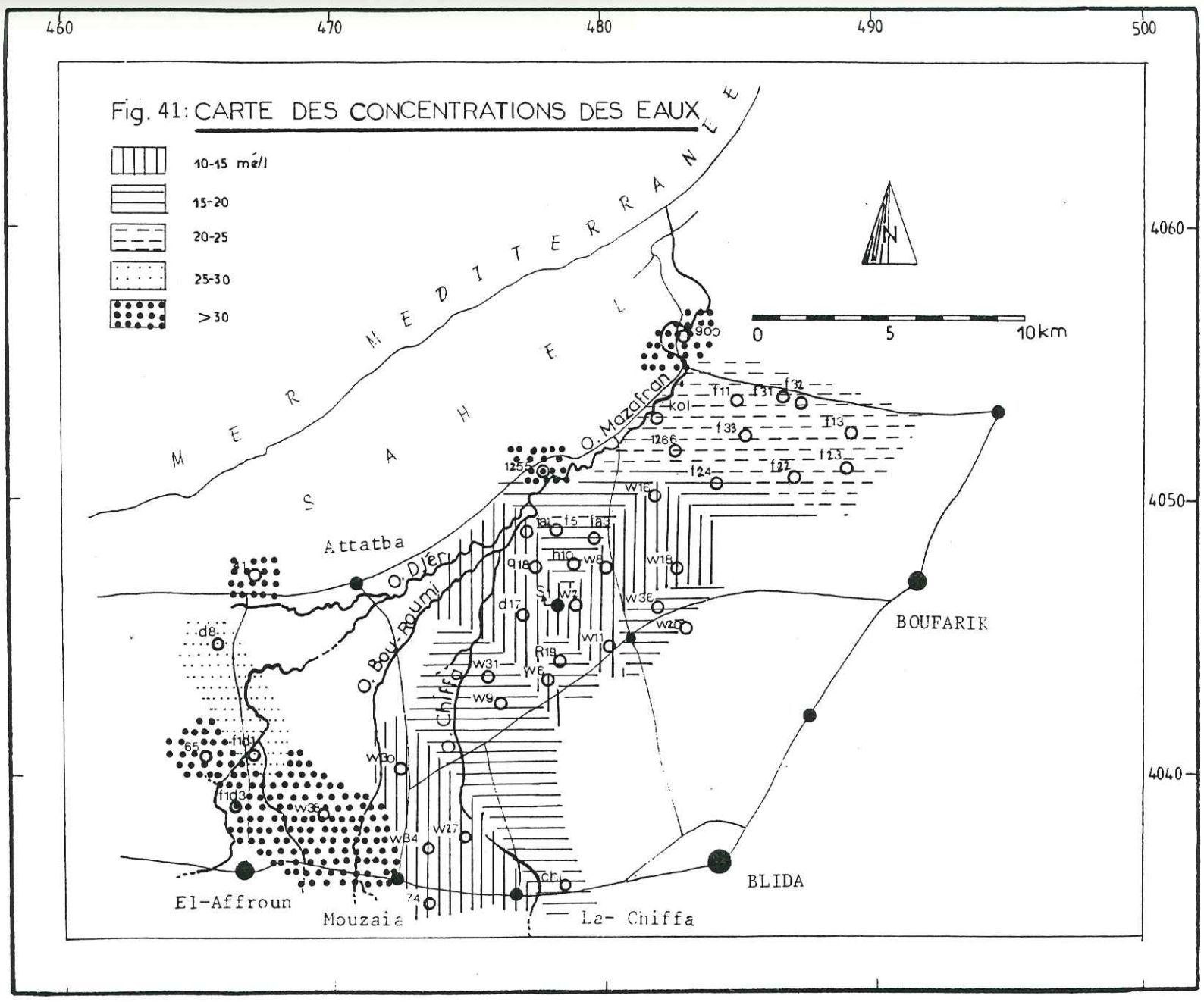


Fig:42 : CARACTERISTIQUES HYDROCHIMIQUES AU NIVEAU DES STATIONS DE JAUGEAGES

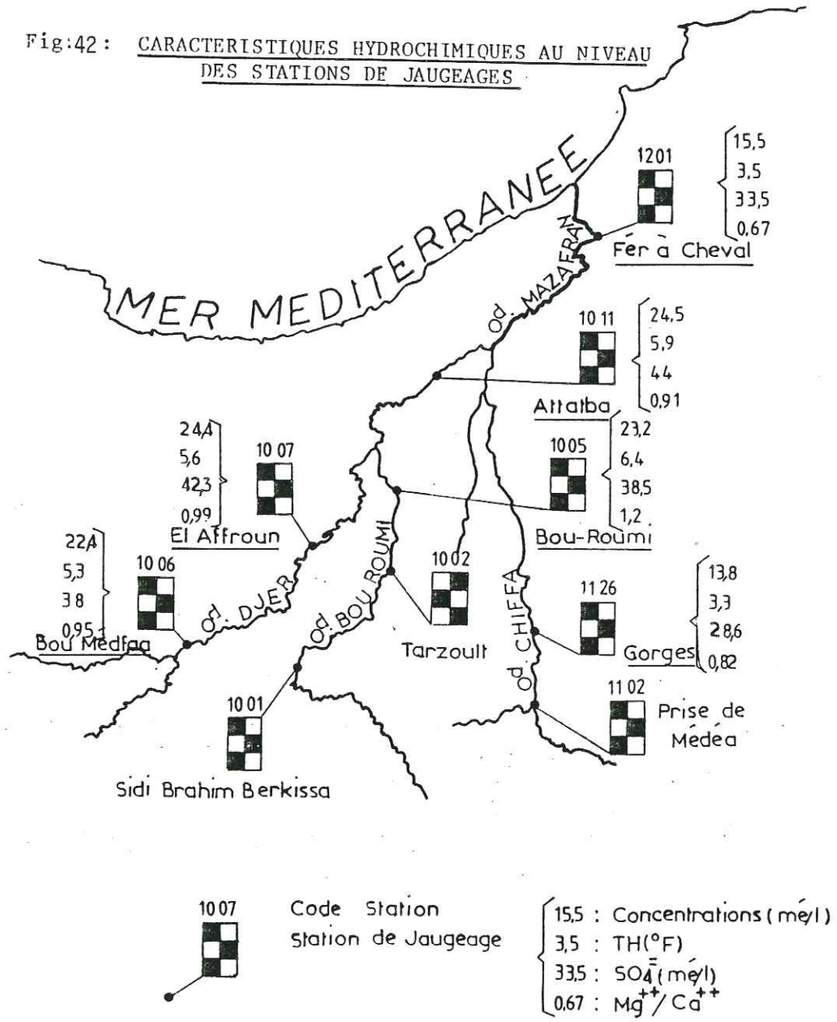


Fig.43 : DIAGRAMME DE CORRELATION CONCENTRATIONS/CONDUCTIVITES

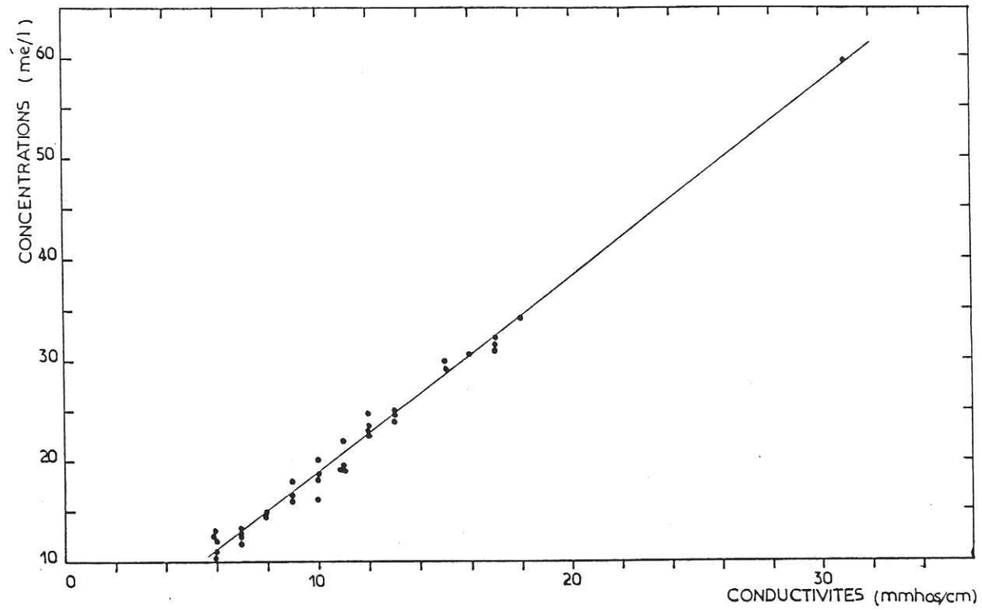
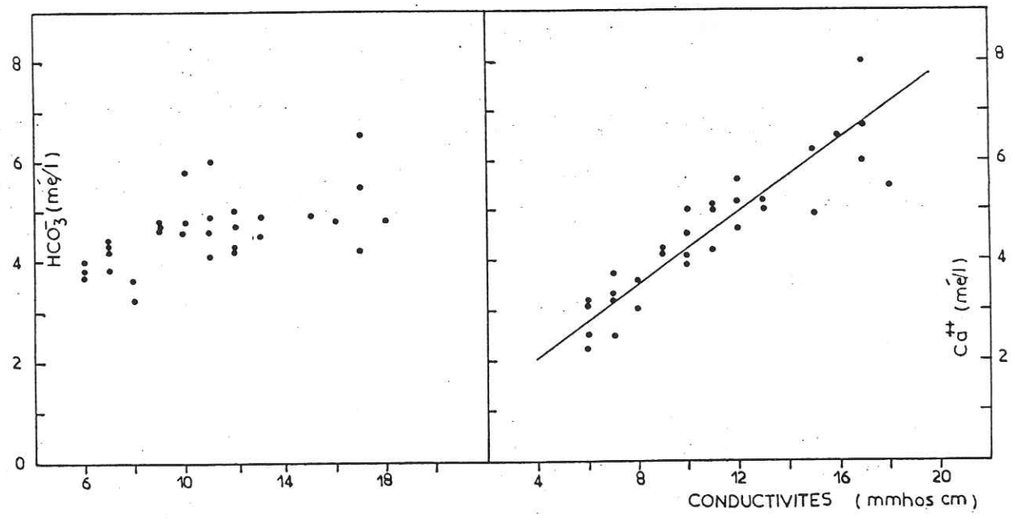


Fig. 44 : DIAGRAMMES DE CORRELATIONS HCO_3^-/CONDUCTIVITES Ca^{++}/ =



La valeur de 54,5 mé/l observée au forage 900, à l'aval du bassin, est due à une très forte concentration des chlorures (15,2 mé/l), du calcium (11,8 mé/l) et du magnésium (9,2 mé/l).

Enfin notons que les apports des oueds Djer et Bou-Roumi (24 mé/l) sont nettement plus concentrés que ceux de l'oued Chiffa (14 mé/l). On retrouve à la station du Fer à Cheval, située à l'embouchure de l'oued Mazafran une valeur de 15 mé/l ; les débits des oueds étant à peu près les mêmes : 3,4 m^3/s pour Attatba contre 3,7 m^3/s à Gorges, il pourrait s'agir d'un mélange des eaux des oueds Djer et Bou-Roumi.

1.2. La conductivité des eaux

Elle est exprimée en m.mhos/cm. Les conductivités varient de 6 à 31 m. mho/cm. Nous avons reporté sur un diagramme à échelle arithmétique, la conductivité en fonction de la concentration. La droite obtenue montre bien une bonne corrélation entre la conductivité et la concentration totale (fig. 43).

Le calcul des pourcentages montre que les éléments Ca++ et HCO_3^- présentent le plus fort pourcentage, ce qui nous a amené à penser qu'ils vont donc influencer la minéralisation. La fig. 44 montre bien que l'élément Ca++ est linéairement corrélé avec la conductivité; par contre l'ion HCO_3^- est moins bien corrélé; nous verrons d'ailleurs par la suite que ces éléments constituent pratiquement l'essentiel des faciès chimiques.

1.3. Le pH

Le pH d'une solution varie en fonction de la concentration en ions $(H_3O)^+$ ou H^+, selon la formule: $pH = \log \frac{1}{(H_3O)^+}$

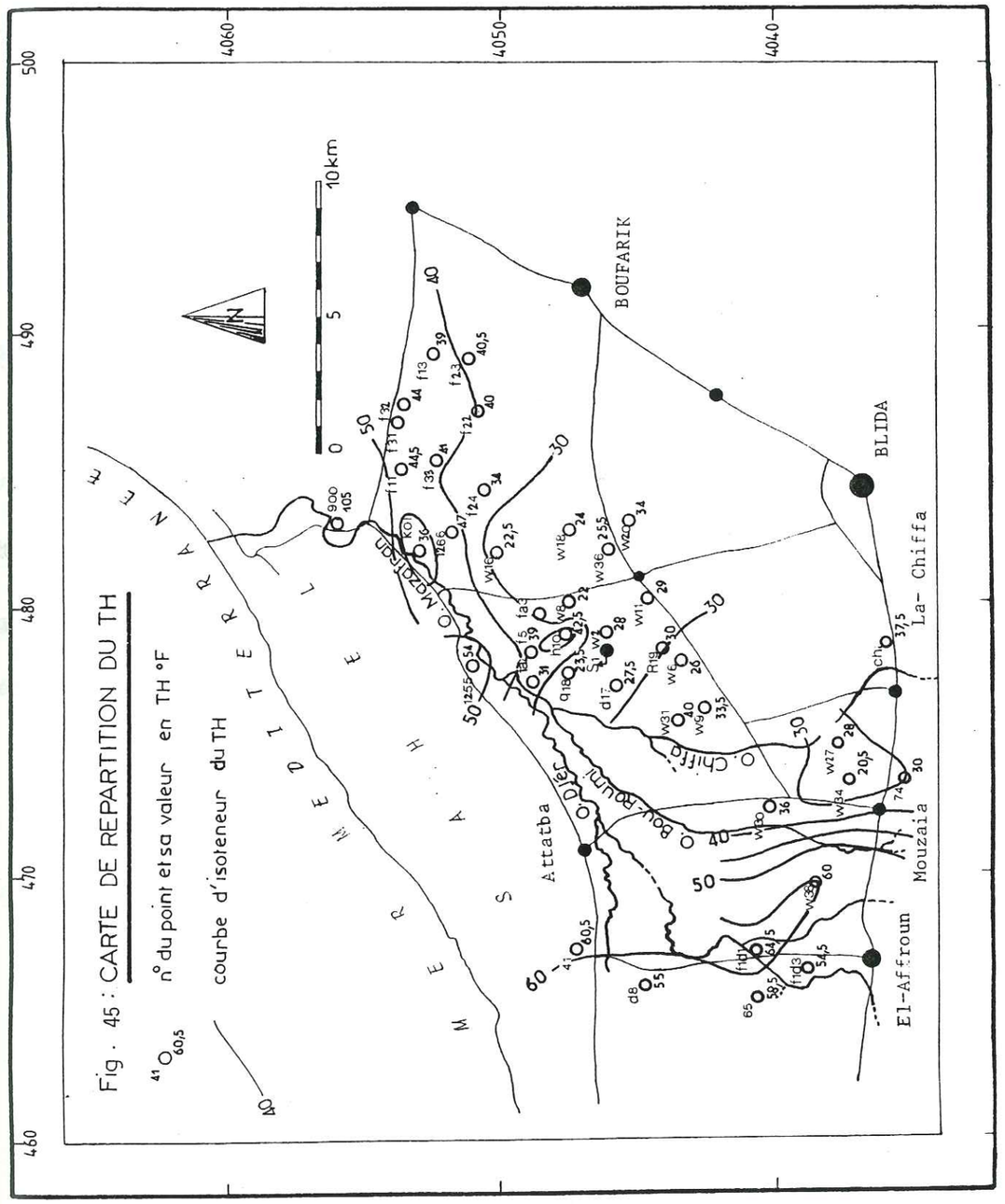
Les valeurs du pH, permettent de définir les milieux suivants :

- pH<7 : milieu acide,
- pH=7 : milieu neutre,
- 7<pH<14 : milieu basique.

Nos eaux présentent des pH variant entre 7,4 et 8, donc légèrement basiques; seul l'échantillon (S1) de l'horizon Astien présente un pH neutre.

Le pH d'équilibre est lu directement sur les diagrammes Schoeller-Berkaloff.

Les résultats montrent que 79 % des eaux de la plaine ont un pH d'équilibre supérieur



au pH mesuré, ce qui confère à l'eau un caractère agressif, donc dissolution du carbonate de calcium.
Seulement 21 % des eaux ont un caractère incrustant (dépôt de carbonate de calcium). Plus pratiquement cela signifie qu'il n'y a aucun danger pour l'inscrustation des canalisations et tuyauteries.

1.4. TH (Titre ou degré hydrotimètrique ou "dureté totale"

1.4.1. Description de la carte (fig. 45)

La carte présente les résultats exprimés en °F (degré Français). Puisque le °F équivaut au 1/5 des méq, les valeurs reportées correspondent donc à 5 fois la valeur de la somme des méq Ca++ et Mg++.

Les zones de fort TH sont assez semblables aux zones de fortes concentrations, ce qui peut s'expliquer par le fait que le Ca++ rentre pour une grande part dans la minéralisation; on remarque en particulier une zone où le TH est relativement faible, dans la partie centrale du bassin à l'Est de l'Oued Chiffa et dans une zone étroite comprise entre les villes de Chiffa et Mouzaia et les oueds Bou-Roumi et Chiffa. Dans le reste de la plaine, les valeurs sont supérieures à 30°F et atteignent 50°F et plus dans la partie est et sur les bordures nord ce qui selon Shoeller confère à l'eau une qualité médiocre.

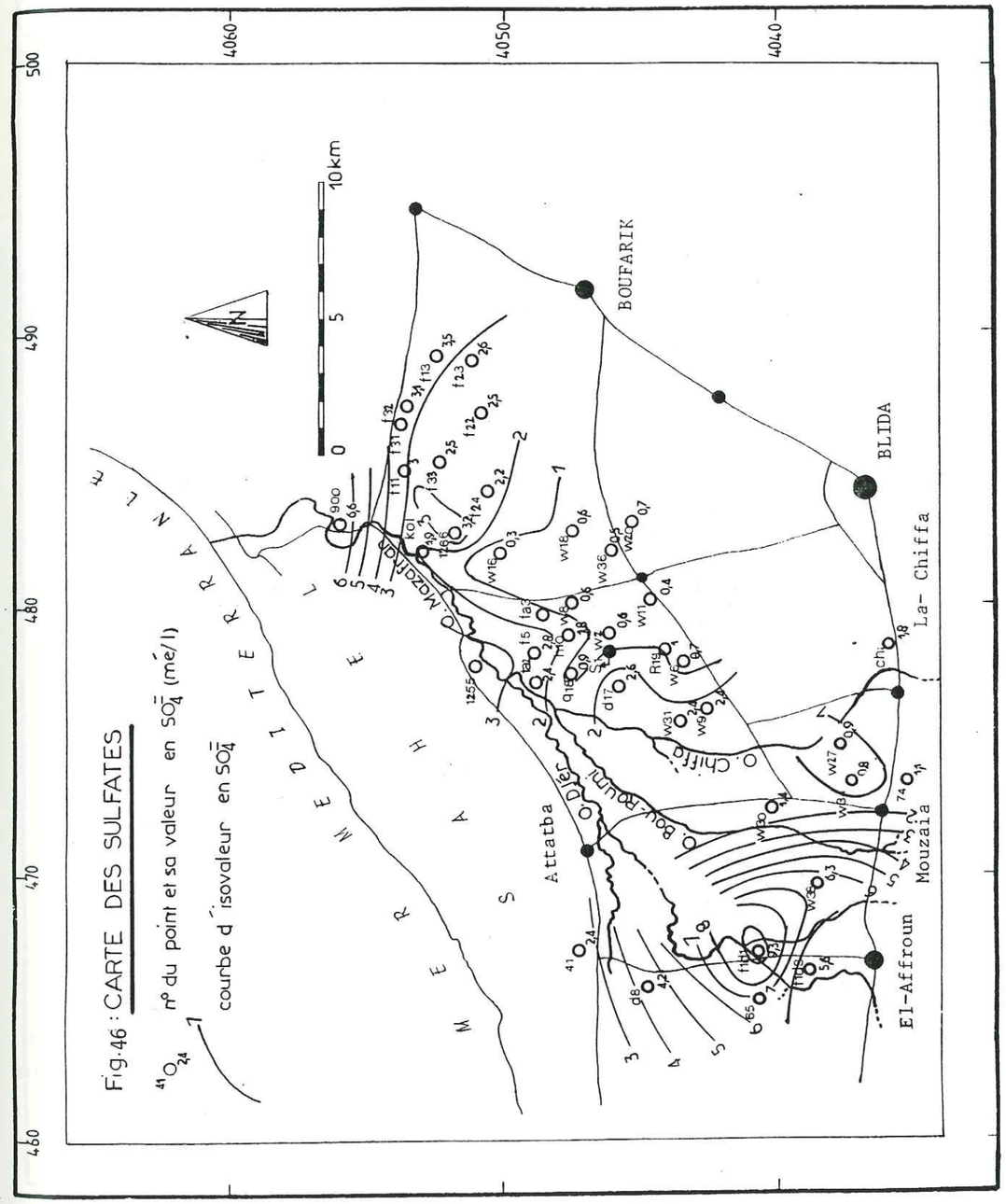
1.4.2. Commentaire

La nappe dans la région de Mouzaia et Oued El-Alleug est d'une dureté modérée; nous pouvons voir dans cette caractéristique une manifestation de l'alimentation de la nappe dans la région de l'oued Chiffa. Nous verrons ultérieurement qu'il s'agit probablement d'un échange de bases qui remplace le Na^+ du sel, par le Ca^{++} contenu dans les argiles; en effet les zones à fort TH correspondent aux zones où l'indice d'échange de bases (ieb) est positif.
Le TH élevé dans la zone de bordure peut être également attribué à des percolations et à une alimentation par l'intermédiaire de la formation astienne du Sahel.

1.5. Les sulfates : SO_4^{--}

1.5.1. Déscription de la carte (fig 46)

Des gisements de Trias affleurent sur le flanc du massif de Blida sous forme de gypse extravasé. Le gypse se retrouve également dans les forma-



tions mio-pliocènes sous la forme de marnes gypsifères, ce qui peut éxpliquer l'abondance des sulfates en certains endroits de la nappe.
La minéralisation par SO_4^{--} est faible dans la partie centrale et est de la plaine. A l'Ouest dans la région d'El-Affroun, la teneur en sulfates est élevée, entre 6 et 9 mé/l.

1.5.2. Commentaire

La plupart des minéralisations élevées en $SO_4^{=}$ semblent être dues à des phénomènes naturels; on ne connaît pas d'activité industrielle susceptible de rejeter des sulfates. On remarque également que les teneurs en sulfates sont beaucoup plus élevées dans les eaux des oueds Djer et Bou-Roumi que dans l'oued Chiffa.

1.6. TAC (Titre Alcalimétrique Complet)

Titre assimilé généralement à (HCO_3^- + $CO_3^=$), nous l'exprimons en °F pour permettre la comparaison avec le TH.
Dans nos eaux, le pH est légèrement basique; il varie de 7,4 à 8; les eaux ne contiennent pratiquement pas de carbonates mais des bicarbonates, ce qui nous amène à assimiler le TAC à la seule valeur du HCO_3^- .

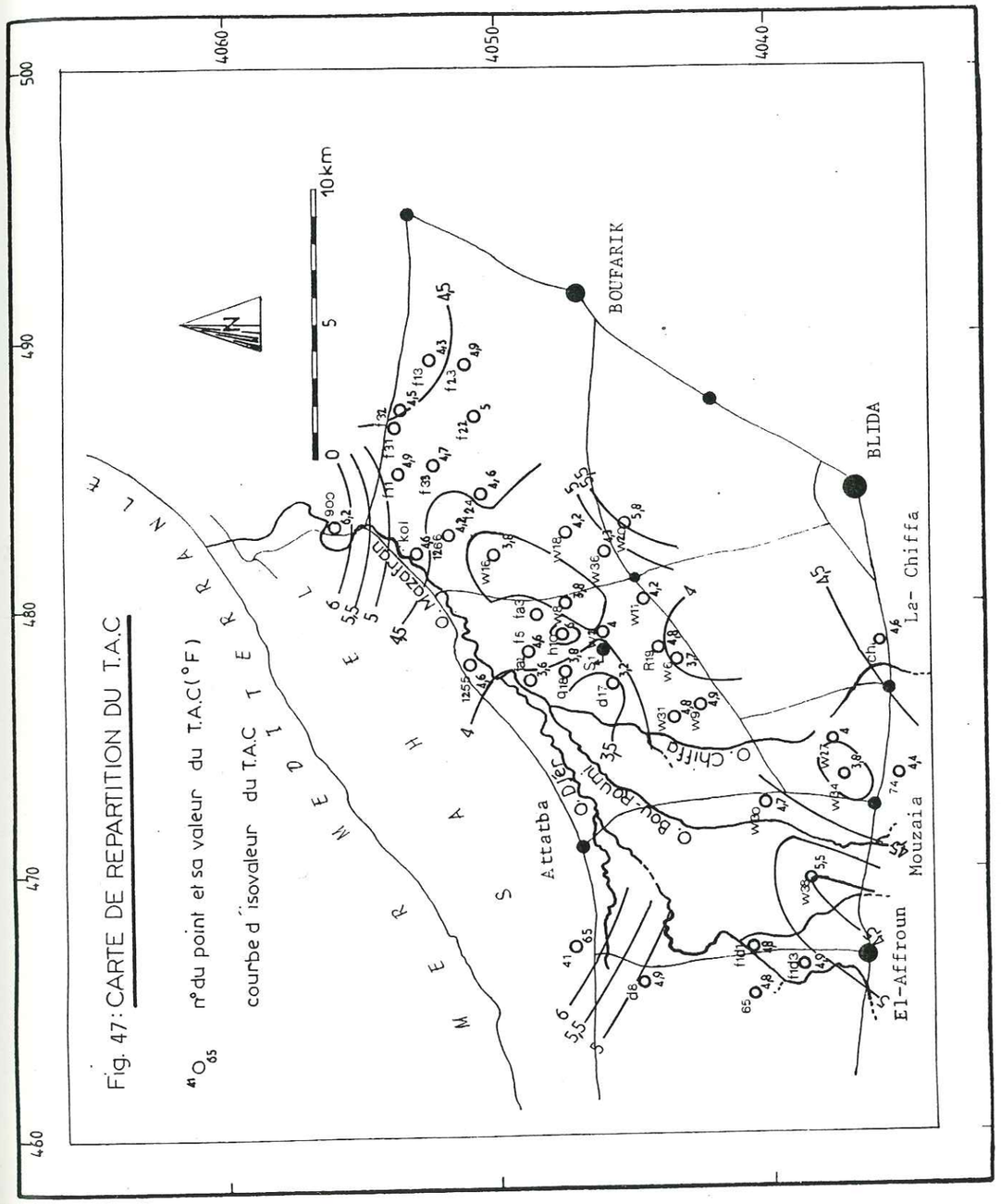
1.6.1. Description de la carte

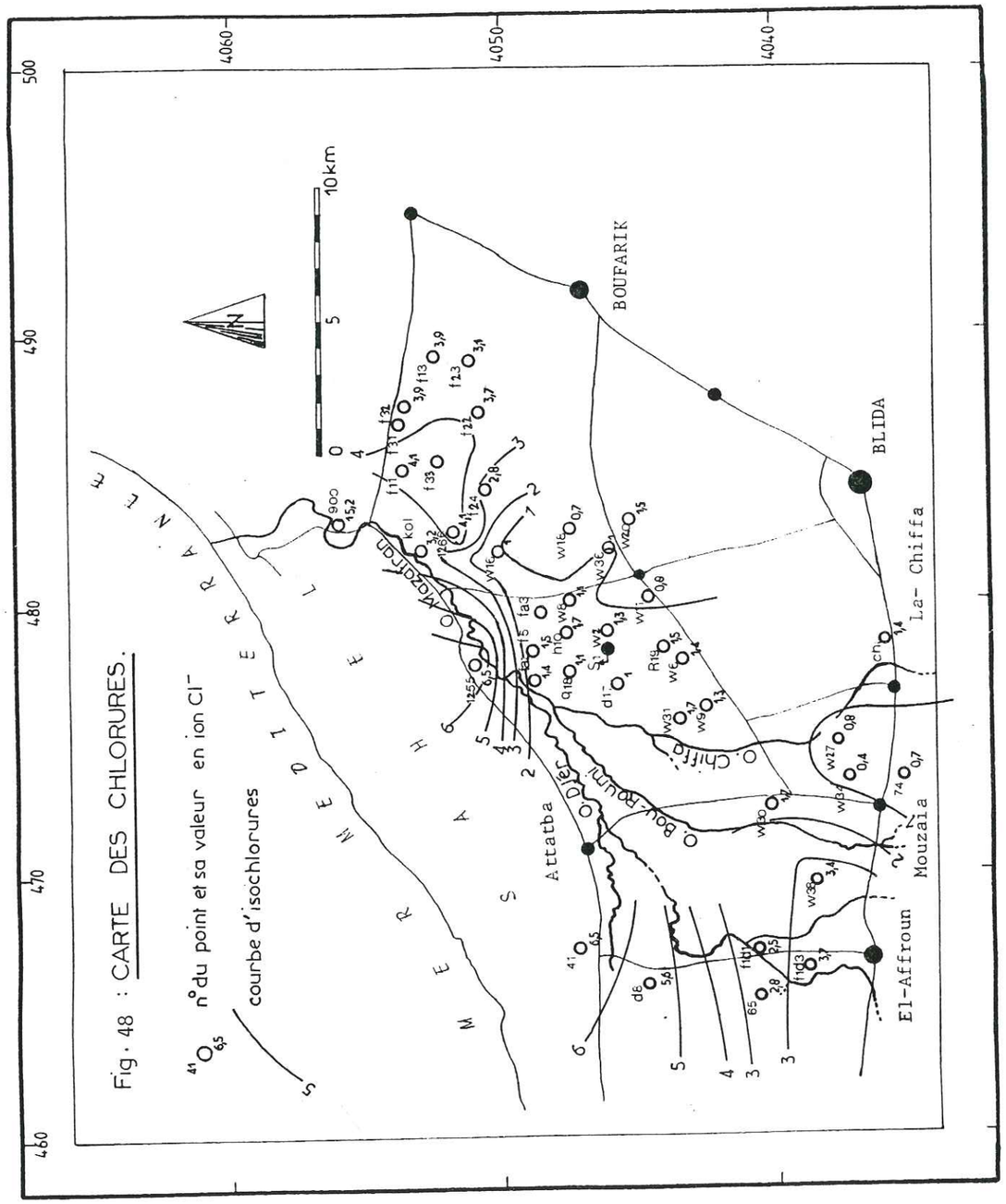
Sur la carte de la figure 47, on observe que la répartition du TAC est assez régulière pour l'ensemble de la plaine. Les valeurs du TAC sont comprises entre 4 et 6 me/l où encore 20 à 30°F, les valeurs les plus fréquentes étant de 20 à 25°F; les valeurs les plus fortes sont observées sur la bordure Nord de la plaine. La nappe du Mazafran recèle donc essentiellement des eaux bicarbonatées qui s'accordent bien avec les valeurs souvent élevées du TH.

1.7. Les chlorures

Description de la carte (figure 48)

La présence de l'ion chlore à des teneurs faibles, est due à des causes naturelles, ce qui ressort sur la carte par une norme hydrochimique, la plus probable de l'ordre de 0,5 à 2 me/l.
La distribution des teneurs se traduit par quelques zones à valeurs élevées à la partie ouest et sur les bordures nord où les teneurs atteignent 6 me/l.





1.7.1. Commentaire

Sachant que la teneur en ion chlore est assez directement liée à la pollution chimique peut-on se demander si dans notre cas cet ion peut servir de traceur ?

Un problème se pose donc à propos de l'origine des teneurs élevées des chlorures dans certains secteurs,apparemment non pollués par activités industrielles, où l'ion chlore est d'origine naturelle, ce qui d'ailleurs semble logique car ce sont les mêmes zones qui recèlent des eaux de nappe assez chargées.
Les eaux des oueds Djer et Bou-Roumi sont beaucoup plus chargées (2,6 à 2,9 mé/l) que les eaux de l'Oued Chiffa (0,9 mé/l); la teneur à l'embouchure n'est que de 1,5 me/l de Cl^-.

On peut également considérer une teneur élevée en Cl^- comme un indice de pollution de contamination fécale, animale ou humaine. L'urine humaine contient en moyenne 11 g/l de NaCl (190 mé/l); la contamination se fait par les purins et les fosses septiques.

Il est significatif de consulter les analyses qui montrent des teneurs élevées en nitrates, qui sont souvent associés aux chlorures. En effet l'urine renferme en moyenne 25g/l d'urée $(Co(NH2)2)$,qui en se dégradant engendre des nitrates.
Une molécule gramme d'urée, soit 1000mé peut engendrer 2000 mé de NO_3^- ; 25g/l correspondant à $\frac{25\ 000}{60}$ = 417 mé d'urée qui au terme de la dégradation engendrent 834 mé de NO_3^-
La contamination par les urines et purins est donc susceptible de créer une pollution où le rapport Cl^-/NO_3^- serait égal à 190/834= 0,23.
Les végétaux ont tendance à fixer naturellement NO_3^- en laissant Cl^- dans le sol; aussi le rapport sera-t-il supérieur à 0,23.

Quelques exemples montrent que si Cl^- est fréquemment associé au NO_3^-, on ne peut tirer de conclusion quant à leur rapport :

Point n°	Cl^- méq	NO_3^- méq	$\frac{Cl^-}{NO_3^-}$
900	15,2	2,8	5,42
1255	6,5	1,7	3,8
R19	1,5	0,8	1,7
41	6,5	0,9	7,2
65	2,8	0,6	4,7

Du chlore peut également être introduit dans le sol, sous forme d'engrais potassique. En conclusion, la relative abondance de l'ion Cl- dans certaines zones de la nappe serait due probablement plus à des causes domestiques ou agricoles qu'à des causes de pollution chimique.

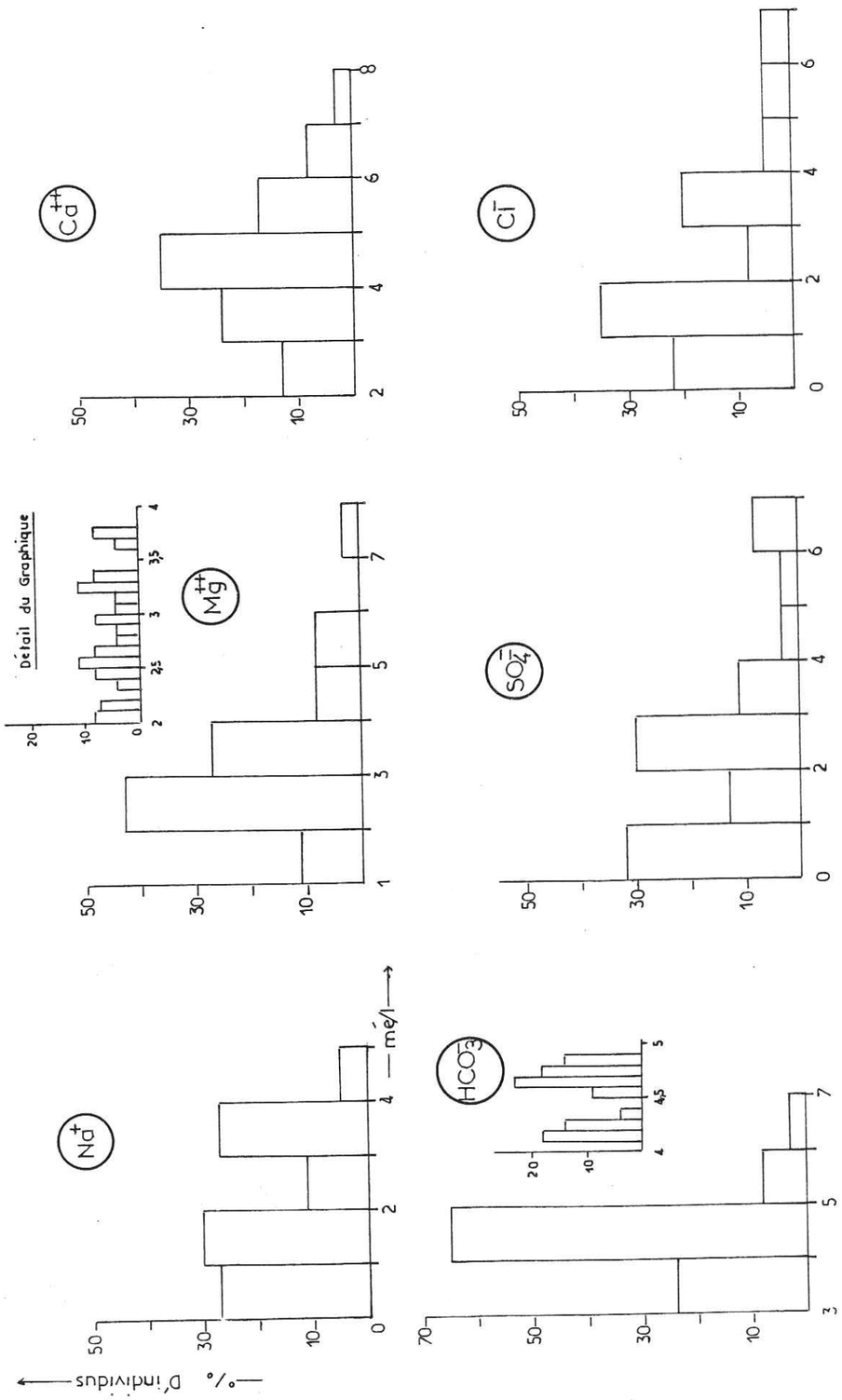


Fig. 49: HISTOGRAMMES EN COLONNES DES PRINCIPAUX ELEMENTS CHIMIQUES.

Fig. 50a: DIAGRAMME GAUSSO-LOGARITHMIQUE Na^+ ; Mg^{++}.

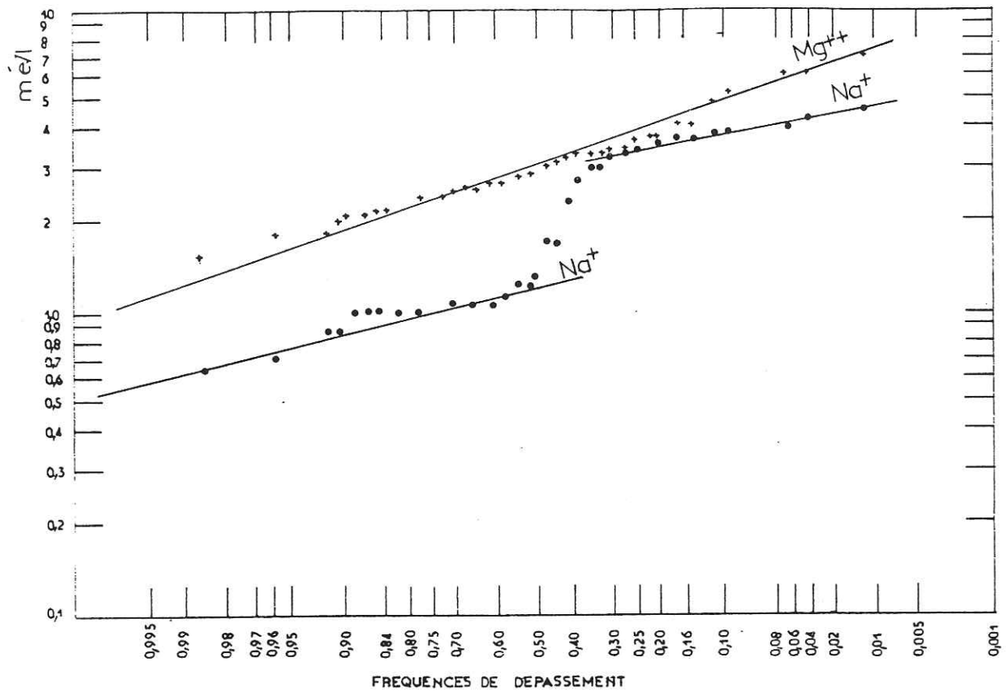
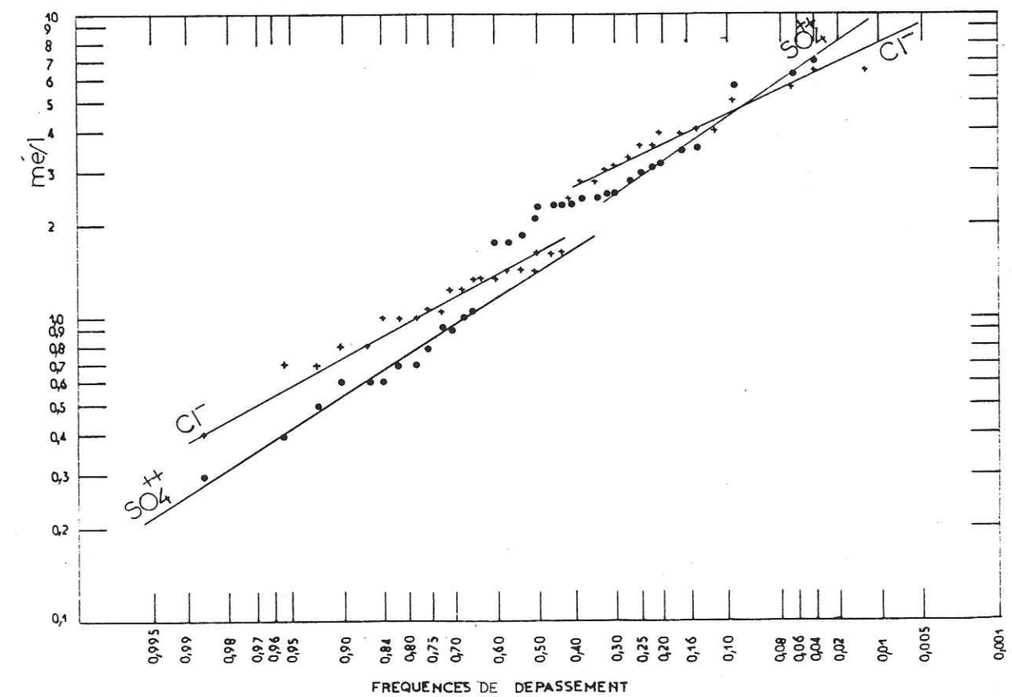


Fig. 50b: DIAGRAMME GAUSSO-LOGARITHMIQUE SO_4^{++} ; Cl^-



2. Recherche d'une norme hydrochimique

La recherche d'une norme hydrochimique nous servira à fixer quelles sont les normes de qualité moyenne ou la plus probable.

Sur un échantillonnage de 40 analyses, nous avons étudié les répartitions des principaux paramètres hydrochimiques.

Les résultats sont exprimés sous la forme d'histogrammes en colonnes (fig. 54) et sous forme de diagrammes gausso-logarithmiques qui nous permettent d'évaluer l'homogénéité ou l'hétérogénéité d'une population, l'écart type étant le demi intervalle entre les valeurs correspondants aux fréquences 16 % et 84 %.

Ce mode de représentation permet de discerner le mélange qui peut exister entre deux aquifères ou avec une quelconque autre source.

L'application de ce mode de représentation à la nappe du Mazafran permet de définir les principales normes hydrochimiques les plus probables.

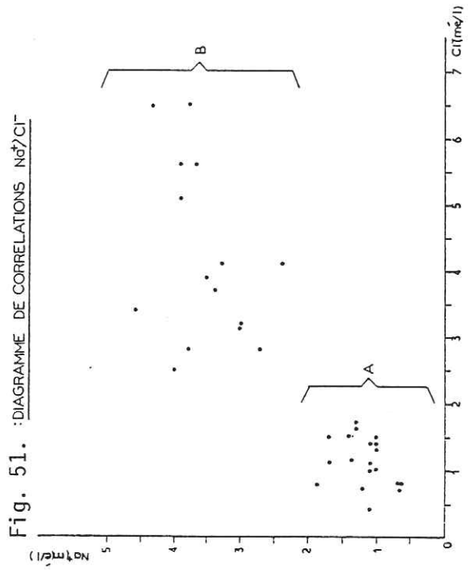
Les caractéristiques statistiques des échantillons de Septembre 1986 pour les principaux ions sont les suivantes :

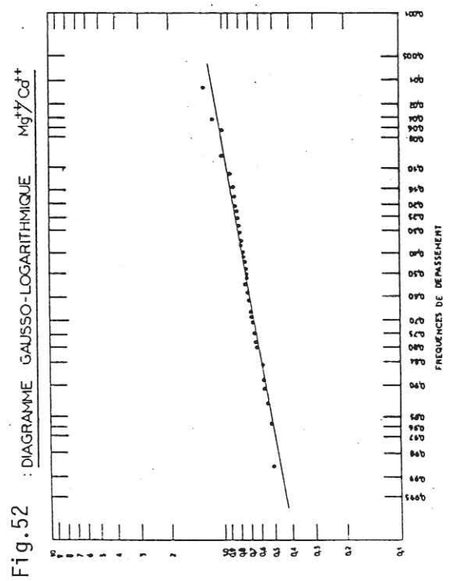
	Moyenne $\bar{x}$	Variance σ^2	Ecart Type σ	Coefficient de Variation $Cv : \frac{\sigma}{\bar{x}}$
Na^+	2,16	0,84	0,92	0,42
Mg^{++}	3,25	1,6	1,26	0,39
Ca^{++}	4,36	1,78	1,33	0,31
HCO_3^-	4,53	0,45	0,67	0,15
SO_4^{--}	2,42	3,94	1,99	0,82
Cl^-	2,43	2,75	1,66	0,68

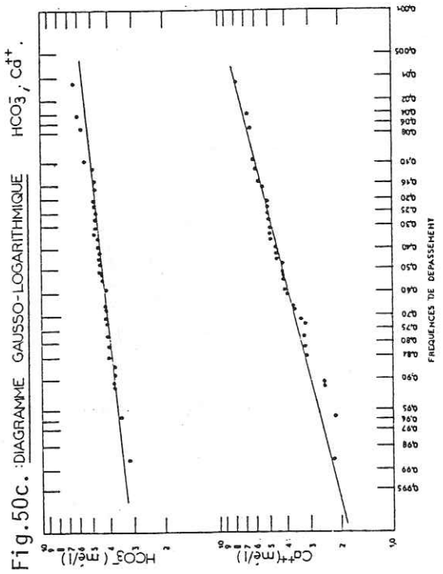
La dispersion de l'échantillon est mise en lumière par le fort coefficient de variation; les valeurs des Cv des ions SO_4^{--} et Cl^- bien supérieures à 0,50 montrent une dissymétrie pour ces éléments. En revanche les ions Na^+, Mg^{++}, Ca^{++} et HCO_3^- suivent vraisemblablement une loi normale.

Les valeurs de l'écart type toujours inférieures à celles des moyennes indiquent néanmoins une certaine homogénéité dans le type d'eau.

On peut aussi dégager à partir des graphiques des fig. 55 a, b, c, les enseignements suivants :







Eléments Valeurs en mé/l	Na+	Mg++	Ca++	Hco_3^-	So_4^{--}	Cl^-
Médiane Teneur de 50 %	—	3,05	4,2	4,4	1,9	1,7
1er quartile Teneur de 25 %	—	3,9	5	4,8	2,9	3,4
3e quartile Teneur de 75 %	—	2,4	3,5	4	0,85	1,22
Teneur de 90 %	—	1,85	3	4	0,55	0,78
Ecart Type	—	1,25	1,22	0,6	1,6	1,56

L'eau la plus probable que l'on puisse analyser dans la plaine des alluvions du Mazafran est donc une eau nettement bicarbonatée calcique, faiblement magnésienne. En analysant plus attentivement les graphiques gausso-logarithmiques, on s'aperçoit qu'on obtient deux segments de droite pour l'élement Cl^- et surtout pour l'élément Na+ où le décalage est très net. Ceci n'apparaît pas par le calcul classique de l'écart type et c'est pour cela qu'on n'a pas pu remplir la colonne du tableau précédent pour Na+. Ce décalage se situe grosso modo dans une zone de fréquence comprise entre 0,4 et 0,6. Il s'agit vraisemblablement de deux populations différentes affectant seulement les éléments Na+ et Cl^-.

S'agit-il d'une contamination par une eau dont la composition chimique globale est identique, mais dont la teneur en ions Na+ et Cl^- est différente ? ou alors de la même eau, mais dont les conditions naturelles influent différemment sur les éléments chimiques.

Enfin, il y a aussi l'hypothèse d'une contamination par des pollutions domestiques, ou agricoles.

Nous avons essayé de tracer un diagramme de corrélations (Fig.51) Na+/Cl^-, nous obtenons un regroupement des points en deux familles A et B.

La famille A correspond à des points situés dans la région centrale de la plaine, la famille B est située au Nord et à l'Ouest, ce qui revient en fait à la zonation définie par la carte des concentrations.

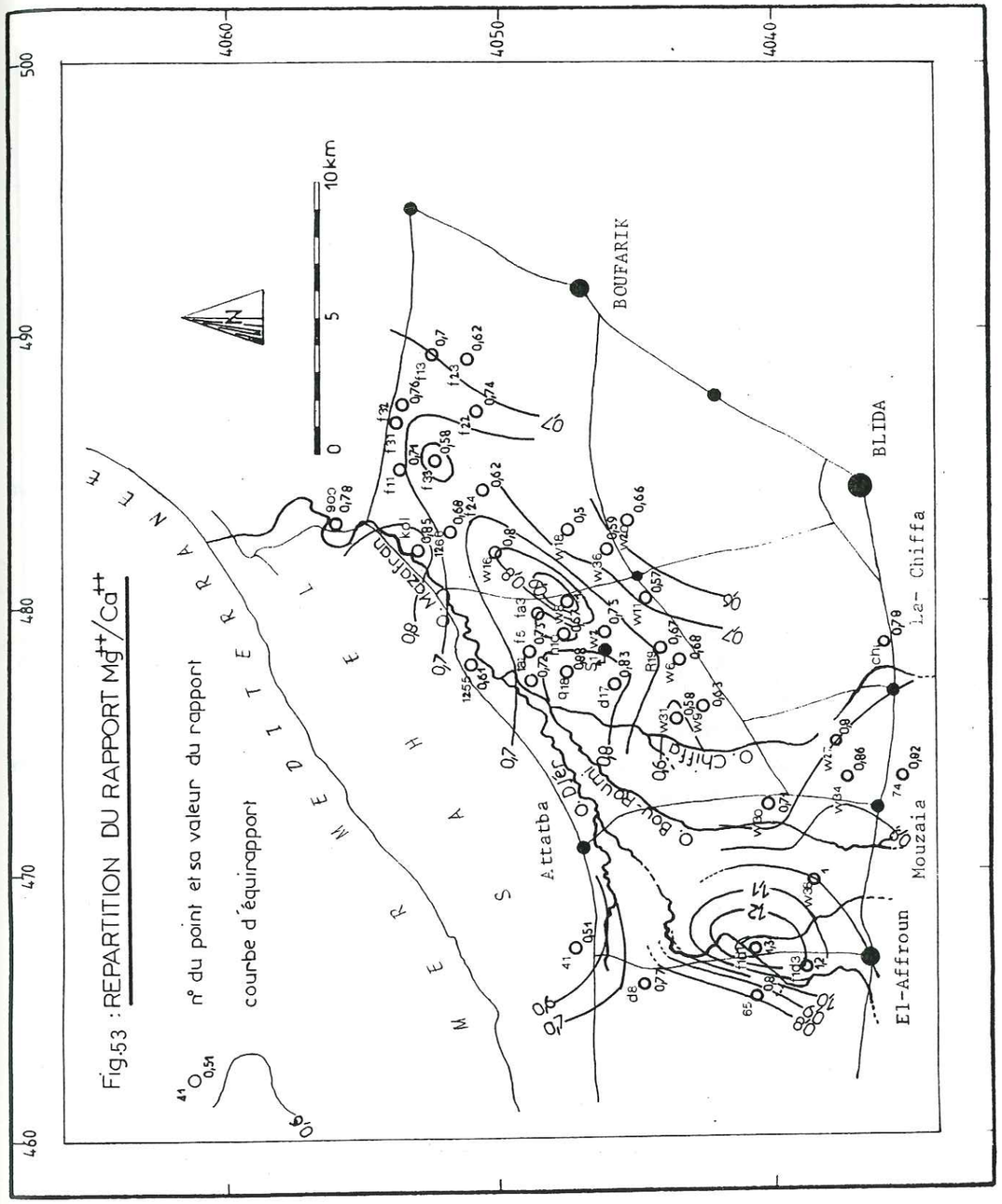


Fig.53 : REPARTITION DU RAPPORT Mg^{++}/Ca^{++}

n° du point et sa valeur du rapport

courbe d'équirapport

2.1. Les rapports caractéristiques

L'examen des résultats d'analyse montre que le faciès des eaux est essentiellement bicarbonaté calcique. Il serait donc inutile de tenter d'établir des rapports associant des éléments qui sont d'intérêt restreint.
Nous retiendrons donc les rapports suivants :

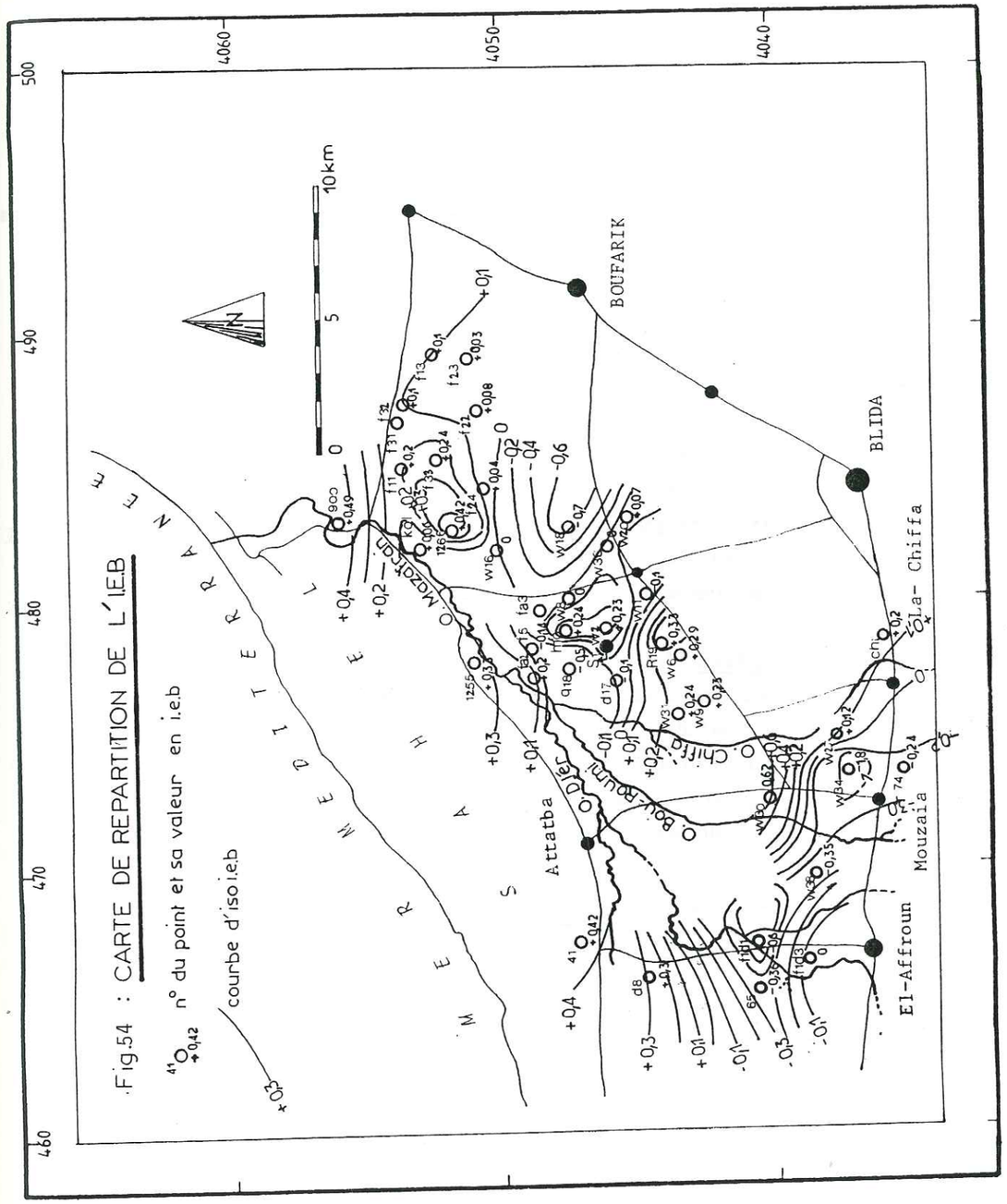
$\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$ et $\frac{Cl^{-} - Na^{++}}{Cl^{-}}$ ou indice d'échange de base de Schoëller

2.1.1. Rapport Mg++/Ca++

Dans la plaine du Mazafran, le rapport $\frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$ apparaît distribué de manière quasi-normale (fig.52) ; les valeurs comprises entre 90 % et 10 % passant de 0,58 à 0,95 soit 0,37 me/l. Ceci tendrait à augurer une distribution qui traduirait une bonne corrélation entre les ions Ca++ et Mg++; la variabilité des teneurs en ion Mg++ : 10 % → 5me/l ; 90 % → 1,8me/l et en ion Ca++ : 10 % → 6 me/l ; 90 % → 3me/l est du même ordre de grandeur.

2.1.1.1. Examen de la carte

La première constatation que l'on peut faire, c'est un rapport toujours supérieur à 0,5 sur toute l'étendue de la plaine, constituée d'alluvions.
Localement sur la zone ouest nous attribuons un faciès très magnésien à des phénomènes géologiques : Mg++/Ca++ est de 1,2 au pont du Bou-Roumi, la première hypothèse pourrait résider dans la présence d'argiles riches en magnésium. Dans la partie centrale, une zone de valeurs élevées (0,8 à 0,9) encadrée par des zones à valeurs moyennes (0,6 à 0,7), fait penser que dans cette zone aux circulations lentes (cf. piézométrie), des échanges ioniques se produisent; comme ces échanges sont réversibles, l'eau reprend à l'aval le faciès qu'elle avait précédemment; la conclusion qui se dégage est que le rapport Mg++/ca++ est plus élevé dans les plages les moins perméables où les échanges sont susceptibles de se réaliser plus facilement.



2.1.2. Rapport Cl^- (Na+ + K+) / Cl^- (fig.54)

Les teneurs en ion K+ étant infimes, on a donc préféré les négliger; l'indice d'échange de base s'écrira : i.e.b = Cl^- - Na+/ Cl^-.

- lorsque Cl^- > Na+, le rapport est positif et tend vers zero si l'échange de base est total puisque les chlorures alcalins font place aux chlorures alcalino-terreux.
- lorsque Cl^- <Na+, le rapport est négatif, les chlorures alcalins sont seuls présents.

L'interprétation de ce rapport est très délicate car un rapport > o n'indique pas forcément un échange de bases ; SCHOELLER indique un rapport positif pour l'eau de mer.

La carte fait apparaître dans la plaine centrale et à l'Ouest de la plaine, une zone négative d' où un déficit en ion Cl^- par rapport au sodium.

Si l'on compare la carte des i.e.b à celle des chlorures, on s'aperçoit que les zones à i.e.b.>o correspondent aux zones à fortes teneurs en ion Cl^- .

Le rapport positif peut être dû à deux causes :

- soit à la présence d'une pollution industrielle à rejet de $CaCl_2$, or on ne connaît pas d'activité industrielle susceptible d'en rejeter dans la région;
- soit à des échanges entre les ions Na+ de l'eau et Ca++ des argiles du terrain.

2.1.3. Les critères d'eau d'irrigation

Les critères d'eau d'irrigation dépendent du type de plantes, du sol, du climat et de la qualité chimique de l'eau.

Une eau très minéralisée peut présenter un danger de salinisation et d'acalinisation des sols par le remplacement des ions calcium et magnésium par l'ion sodium.

Cet échange ionique peut être estimé par le "Sodium Absorption Ration" (SAR) qui s'exprime comme suit :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$ où

Na+, Ca++ et Mg++ sont exprimés en mé /l.

Les valeurs du SAR et des conductivités exprimées en micromhos sont placées sur le diagramme de classification des eaux d'irrigation (fig. 55) qui comporte les subdivisions suivantes :

- SAR < 10 : Eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols
- 10<SAR<18 : Eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalisation
- 18<SAR<26 : Eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation des sols
- SAR>26 : Eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort.

Les eaux de la plaine du Mazafran avec un SAR compris entre 0,34 et 2,39 ne présentent donc aucun danger d'alcalinisation pour les sols.

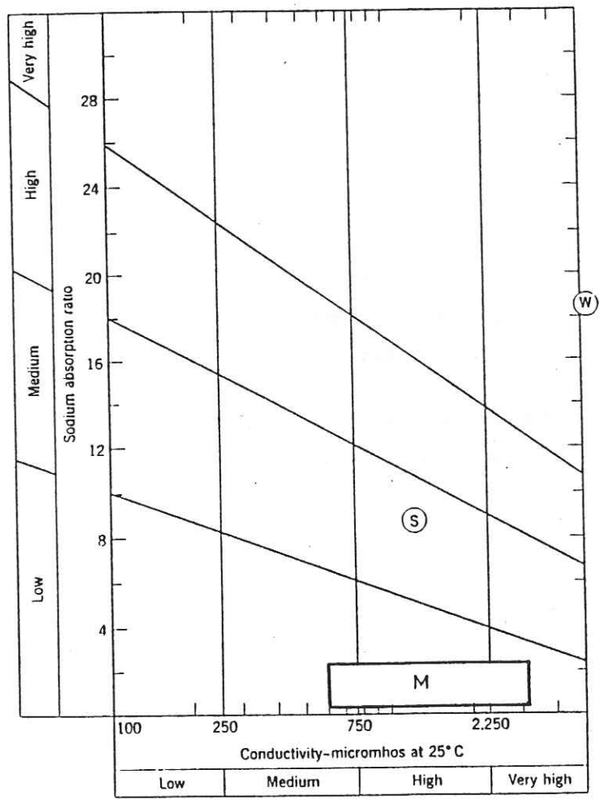


Fig:55 : DIAGRAMME DE CLASSIFICATION DES EAUX D'IRRIGATION.

W: Eau de mer diluée au 1/10 de sa concentration originelle;

S: Eau de mer diluée au 1/50 de sa concentration originelle;

M: Eau de l'horizon quaternaire du Mazafran.

3. Les eaux de l'ASTIEN

Dans la plaine du Mazafran, deux forages atteignent l'horizon astien :

- le forage 8, réalisé en 1968, qui n'est plus en exploitation actuellement.
- le forage que nous avons appellé S1, forage profond d'Oued El-Alleug, réalisé en 1970 à une profondeur de 548 m.

Le réservoir Astien, épais de 130 m de sables et grès, est encadré par deux niveaux de marnes. De ce forage artésien, situé au bord de la route W 60 Oued El-Alleug-Attatba, un tubage dépassant le niveau du sol d'une dizaine de centimètres, obstrué, laisse quand même débiter un faible volume d'eau, accompagné d'un gaz que nous n'avons pu analyser mais que nous attribuons, à l'odeur, à du sulfure d'hydrogène (H_2S). Les populations de la région utilisent cette eau pour guérir paraît-il certaines maladies de la peau : il est admis que les eaux thermales sulfureuses favorisent selon une action catalytique, le métabolisme général du soufre. Le soufre aide à traiter certaines maladies, avec le manganèse et ses associations Manganèse-Cuivre et Manganèse-Cobalt, entre autres les éczémas et les dermatoses en général.

Les caractéristiques physico-chimiques de l'analyse de Septembre 1986 sont les suivantes ; les valeurs sont exprimées en mg/l :

pH	: 7,0	Na+	: 435	Cl^-	: 560
Conductivité	: 46 m.mhos	Mg++	: 136	No_3^-	: 1
Résidu sec	: 3127	Ca++	: 215	Si	: 19
Gaz dégagé	: H_2S ?	K+	: 8	Cu,Fe,Zn	: <0,01
		HCo_3^-	:1225	Al	: <0,2
		So_4^-	: 8	Mn	: <0,05

Il y a une grande différence entre le PS (3127 mg/l) et la somme des ions (2800 mg/l): d'autres éléments doivent entrer en jeu.
L'eau étant bicarbonatée sodique, avec un taux très important de bicarbonates, on ne retrouve pas ce faciès dans les eaux de la nappe du Quaternaire.
Il n'existe aucune analogie entre les compositions chimiques des eaux de l'Astien et du Quaternaire.

Il est bien évident que sur la base d'une seule analyse, on ne pourra pas tirer les conclusions qui s'imposent, mais il serait souhaitable de pousser plus loin les analyses et d'étudier les implications thérapeutiques de cette eau.

Cette analyse chimique vient aussi confirmer ce que l'on soupçonnait déjà par la géologie : il n'y a vraisemblablement pas de contamination des eaux du Quaternaire par celles de l'Astien, dans cette région de la plaine; toutefois le long du flanc Sud, le relèvement de l'Astien, peut induire un contact avec le réservoir alluvial.

4. Conclusion

Les résultats des analyses nous ont servi à définir une norme hydrochimique de qualité moyenne. L'eau la plus probable que l'on puisse analyser dans la plaine alluviale sera une eau nettement bicarbonatée calcique, faiblement magnésienne. Les distributions gausso-logarithmiques font ressortir un décalage des courbes des ions Na+ et Cl^-; il s'agit vraisemblablement de deux populations différentes, donc d'une contamination par une eau dont la teneur en éléments Na+ et Cl^- est différente.

Les valeurs du SAR sont très faibles (0,34 à 2,39), les eaux de la nappe alluviale, utilisées pour l'irrigation ne présentent aucun danger d'alcalinisation des sols.

L'analyse faite sur une eau de la nappe astienne montre qu'elle est bicarbonatée sodique, avec un taux important de carbonates; ce faciès ne se retrouve pas dans les eaux du Quaternaire, et il n'y a pas de communication entre les deux horizons aquifères, au niveau de la plaine proprement dite.

II. HYDROCHIMIE FLUVIALE

1. Présentation du réseau hydrographique

Les grands traits des cours d'eau majeurs sont présentés dans le chapitre hydroclimatologie. Nous rappellerons que le bassin versant du Mazafran compte principalement trois oueds, d'Est en Ouest : l'Oued Chiffa, l'Oued Bou-Roumi et l'Oued Djer. A l'aval, ils se rejoignent pour n'en former qu'un seul, l'oued Mazafran.

Très brièvement, nous décrivons les terrains géologiques traversés par les Oueds :

- l'Oued Djer : il prend naissance dans le Djebel GANNTAS. Jusqu'à la station de jaugeage de Bou-Medfaa (B.M), il est alimenté par ses nombreux petits affluents qui coulent sur des terrains miocènes, formés de marnes et argiles. Le lit principal est constitué d'alluvions à prédominance argileuse. Entre la station B.M et celle d'El-Affroun, l'Oued traverse successivement, des terrains crétacés peu perméables, formés de marnes et de lentilles calcaires; enfin avant d'entrer dans la plaine proprement dite, avec des terrains quaternaires formés d'argiles et graviers, l'Oued traverse une mince bande triasique formée de gypse et de marnes ;
- l'Oued Bou-Roumi traverse la même succession de terrains ;
- l'Oued Chiffa, au niveau de la station de Gorges, creuse son lit dans des schistes du Crétacé, fissurés, altérés.

Des prélèvements d'eau sont régulièrement effectués sur six des neuf stations de jaugeages qui contrôlent ces oueds.

Les valeurs moyennes sont exprimées sur le tableau ci-après :

Valeurs moyennes me/l / Stations	Mg++	Na+	Ca++	K+	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-	NO_3^-	T
Bou-Medfaa	3,7	3,56	3,9	0,23	2,7	5,3	2,83	0,13	22,4
El-Affroun	4,22	3,53	4,24	0,17	2,9	5,6	3,5	0,17	24,3
Attatba	4,2	3,4	4,6	-	2,6	5,9	3,8	-	24,5
Tarzouit	4,2	3,8	3,5	0,2	2,2	6,4	2,7	0,18	23,2
Gorges	2,56	1,12	3,15	0,1	0,9	3,27	2,6	0,12	13,8
Fer A Cheval	2,7	2	4,03	0,13	1,5	3,5	3,6	-	15,5

1.2. La station de Bou-Medfaa

Les résultats portent sur 27 échantillons prélevés entre la période du 1/11/84 au 18/5/85; les éléments prédominants sont $S\bar{\bar{4}}$ (5,3 mé/l), Ca++ (3,9 mé/l) et Mg++ (3,7 mé/l) ce qui confére à l'eau un faciès sulfaté calcique et magnésien. La matrice de corrélation nous montre que certains éléments sont bien corrélés entre eux : $S\bar{\bar{O}}4$/RS (0,87) ; $S\bar{\bar{O}}4$/Na+ (0,74) ; $S\bar{\bar{O}}4$/Cl^- (0,73) ; $S\bar{\bar{O}}4$/ca++ (0,62) ; Cl^-/Na+ (0,93) Cl^-/RS (0,79), RS/Ca++ (0,6) et RS/Na+ (0,84).

Par contre, la hauteur de la tranche d'eau, notée profondeur, n'est corrélée avec aucune variable; dans ce cas nous serons tenté de conclure que la dilution ne joue pas un rôle dans la constitution chimique des eaux. Il n'y a donc vraisemblablement pas de phénomènes de dilution; ceci peut indiquer également que la composition chimique des eaux est acquise bien avant son "arrivée" dans la plaine proprement dite.

1.3. La station d'El-Affroun

Les résultats portent sur 30 échantillons prélevés entre la période du 11/10/84 au 13/4/85. Les éléments qui prédominent sont $S\bar{\bar{O}}4$ (5,6 mé/l), Ca^{++} (4,2 mé/l); Mg++ (4,2 mé/l); on retrouve le même faciès que celui de B-M., nettement sulfaté calcique et magnésien ; la différence réside dans le fait que l'on a une valeur beaucoup plus élevée de l'ion HCO_3^- (3,5 mé/l) contre 2,8 mé/l à B-M; ceci peut s'expliquer par le fait qu'entre les deux stations, l'eau de l'Oued traverse des terrains crétacés marneux à lentilles calcaires :

$$CaCO_3 + H2O + CO2 \rightarrow Ca\ (HCO_3)_2$$

$$(Ca, Mg)\ CO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow (Ca, Mg)\ (HCO_3)_2$$

La matrice de corrélation nous montre une plus grande corrélation entre les éléments. Le résidu sec est beaucoup plus correlé. On notera également la même remarque pour la hauteur d'eau.

1.4. Station de Tarzoult

Les résultats portent sur 30 échantillons prélevés entre la période du 28/4/84 au 13/4/85. Les éléments qui prédominent sont $SO_4^=$ (6,4 mé/l), Mg++ (4,2), Na+ (3,8), Ca++ (3,5); on retrouve le même faciès que précédemment avec une valeur plus élevée pour l'ion Na+.

On retrouve à peu près les mêmes corrélations, pour RS/Cond. (0,88), ce qui n'a pas

été noté pour les stations précedentes. Nous éxpliquons ceci par le fait que dans les cas précédents, l'eau étant chargée en matières en suspension, donne un résidu sec surrestimé. L'importance du taux de matières en suspension, qui d'ailleurs sont constituées de sédiments fins, peut être également soulignée par les différences des hauteurs de tranches d'eau moyennes, 102cm à Tarzoult contre 90cm à El-Affroun et seulement 34cm à B-M .

1.5. Station Attatba

3o échantillons prélevés entre la période du 10/10/84 au 11/3/85 nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

On retrouve le même faciès que ceux des stations précédentes, c'est-à-dire sulfaté calcique et magnésien. Les valeurs moyennes sont : 5,9 mé/l ($SO_4^=$), 4,6 mé/l (Ca^{++}) et 4,2 mé/l (Mg^{++}).

Les eaux analysées à Attatba résultent d'un mélange des oueds Djer et Tarzoult, il est donc normal de retrouver grosso modo, les mêmes proportions d'éléments.

La matrice, montre une bonne corrélation entre les éléments.

Fait nouveau, l'ion NO_3^- est assez bien corrélé avec le reste des éléments, le taux des nitrates est important, il varie de 0 à 88 mg/l avec une moyenne de 21 mg/l. On a donc augmentation sensible des nitrates sur des échantillons prélevés franchement sur la plaine. Sachant que les prélèvements sont intervenus durant la période des pluies, il pourrait s'agir de phénomènes de lessivage des terres agricoles, d'où l'influence culturale.

1.6. Station Gorges

Les analyses ont porté sur 30 échantillons, prélevés entre le 9/5/84 et le 25/3/85. Les résultats font ressortir le même faciès que précédemment : $SO_4^=$ (3,27 mé/l), Ca^{++} (3,15), Mg^{++} (2,56), mais seulement 1,12 mé/l pour l'ion Na^+ et 0,9 mé/l pour l'ion Cl^-. La minéralisation totale est beaucoup plus faible : 13,7mé/l alors qu'elle est de l'ordre de 23 mé/l pour les stations des oueds Djer et Bou-Roumi, ceci peut s'expliquer par le fait que l'Oued Chiffa, au niveau de la station de Gorges, creuse son lit dans des schistes du rétacé, fissurés et altérés, d'où un lessivage moins important.

La matrice de corrélation montre qu'il y a nettement moins d'éléments corrélés entre eux.

On note également une faible valeur pour le résidu sec : RS : 469 mg/l, alors qu'il est d'environ 800 mg/l pour les autres stations; ceci peut s'expliquer par le fait que la hauteur d'eau (en moyenne 257cm) est beaucoup plus importante et aussi et surtout par le fait que les eaux coulent sur un terrain schisteux, donc peu enclin à charger l'eau en matières en suspension (M.E.S.).

1.7 Station Fer à Cheval

24 échantillons prélevés entre le 13/3/85 et 1/4/85.

Les valeurs moyennes enregistrées sont : HCO_3^- (3,6 mé/l) ; $SO_4^=$ (3,5 mé/l) ; Ca^{++} (4 mé/l). On remarque aussi que si le taux de sulfates demeure important, le faciès est désormais bicarbonaté calcique. Les valeurs des ions Na^+ et Mg^{++} sont d'importance modérée.

On retrouve à peu près les mêmes corrélations que précédemment. Le coefficient de corrélation cond/RS est de 0,98, alors que jusqu'à présent et à part pour Tarzoult (0,9), ce coefficient était assez faible. Ceci montre que les eaux analysées à Fer à Cheval, qui ont traversé la plaine sur toute sa largeur,ont pris l'empreinte des terrains quaternaires traversés. Ce changement de faciès est dû à des phénomènes modificateurs dans les argiles quaternaires.

2. Conclusion

Annuellement 202.10^6 m³ d'eau pénètrent dans la plaine par l'intermédiaire des trois oueds principaux : Oued Djer à la station d'El-Affroun, $53,6.10^6$ m³, Oued Bou-Roumi à la station du pont, 32.10^6 m3 et Oued Chiffa à la station de Gorges, 117.10^6 m³.

Alors que les eaux de la nappe présentent généralement un faciès bicarbonaté calcique, les eaux qui viennent du flanc nord du massif de l'Atlas présentent un faciès plutôt sulfaté calcique et magnésien, sauf à l'Oued Chiffa où le faciès est bicarbonaté calcique, les eaux étant nettement moins chargées,car circulant sur les schistes de la Chiffa.

Il est intéressant de comparer les faciès des eaux alluviales à celui des eaux de nappe ; nous avons écrit plus haut que les eaux de la plaine présentent un faciès bicarbonaté calcique, sauf dans la région Ouest où l'on a un faciès sulfaté calcique et magnésien dans les forages 65, F1D1, F1D3, et W8, tous situés dans la région d'El-Affroun, qui représente d'ailleurs une anomalie chimique.

L'analogie chimique entre les eaux de cette région et les eaux des oueds Djer et Bou-Roumi prouve une alimentation et un mélange des eaux dans cette région.

3. Représentation graphique des analyses chimiques

Les diagrammes les plus utilisés pour la représentation graphique des analyses sont les diagrammes Piper et Schoeller Berkaloff.

- Le diagramme Piper ou diagramme losangique consiste à reporter sur deux triangles les r% de chaque cation et anion; ces deux points sont reportés sur le losange, en un seul point qui représente la famille chimique de l'eau. Ce diagramme permet de regrouper un grand nombre d'analyses, sans pour autant faire une subdivision précise.
- Le diagramme Schoëller-Berkaloff, à échelles logarithmiques permet de distinguer par simple lecture des échelles, les concentrations des ions et donc de déduire rapidement les différentes familles des eaux.

De plus le résidu sec, le TH et le pH peuvent être représentés; par contre et contrairement au diagramme Piper, une valeur zéro ne peut être représentée.

Nous avons donc jugé suffisant de ne retenir que le diagramme logarithmique pour la classification de nos eaux.

1. Les eaux de nappe

Nous pouvons tout de suite mettre en évidence plusieurs familles d'eau dont la plus dominante est celle des faciès bicarbonatés calciques.

1.1. Faciès $Ca^{++}>Mg^{++}$; $HCO_3^- > Cl^-$

18 échantillons sont compris dans cette catégorie. Pour des raisons de clarté nous avons préféré porter ces points sur trois diagrammes différents en essayant de tenir compte de la minéralisation.

Les figures 56 , 57 et 58 montrent la même allure pour toutes les courbes avec un décalage vers le haut, Na^+, Cl^- et $SO_4^=$ au niveau des points F22, F23, KoL, 1266, F32, F11 et 41 situés sur les bordures nord et est de la plaine.

1.2. Faciès $Ca^{++}>Mg^{++}$; $HCO_3^- > SO_4^=$

10 échantillons rentrent dans cette catégorie. Dans ce cas également, il nous a semblé plus commode de représenter les eaux sur deux figures différentes en tenant compte de la minéralisation.

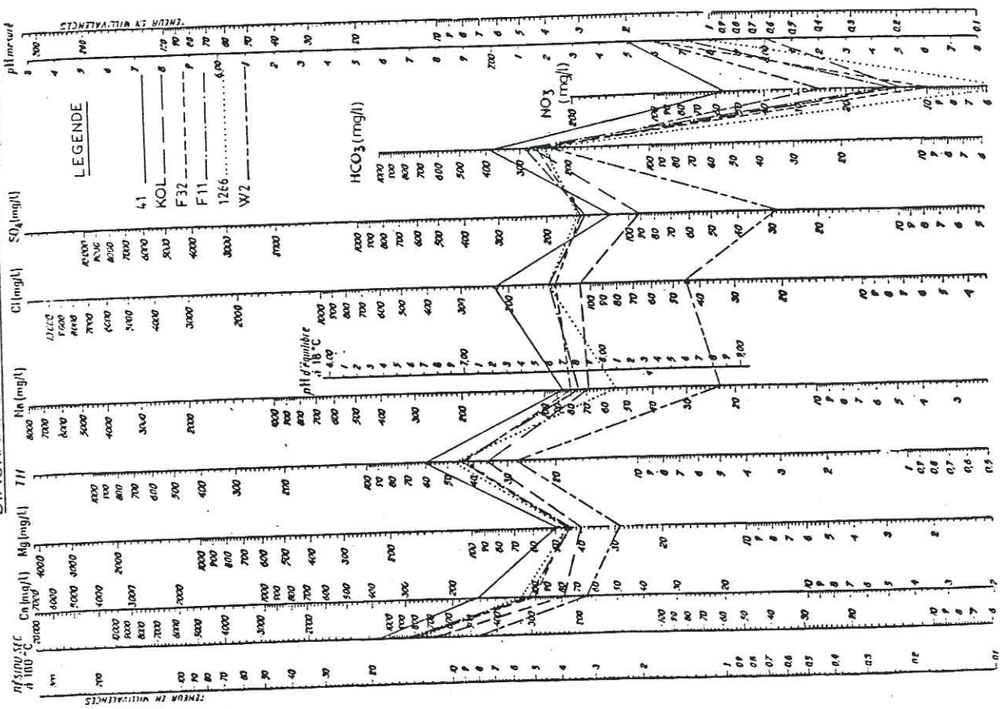


Fig. 57 : LES EAUX SOUTERRAINES
DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

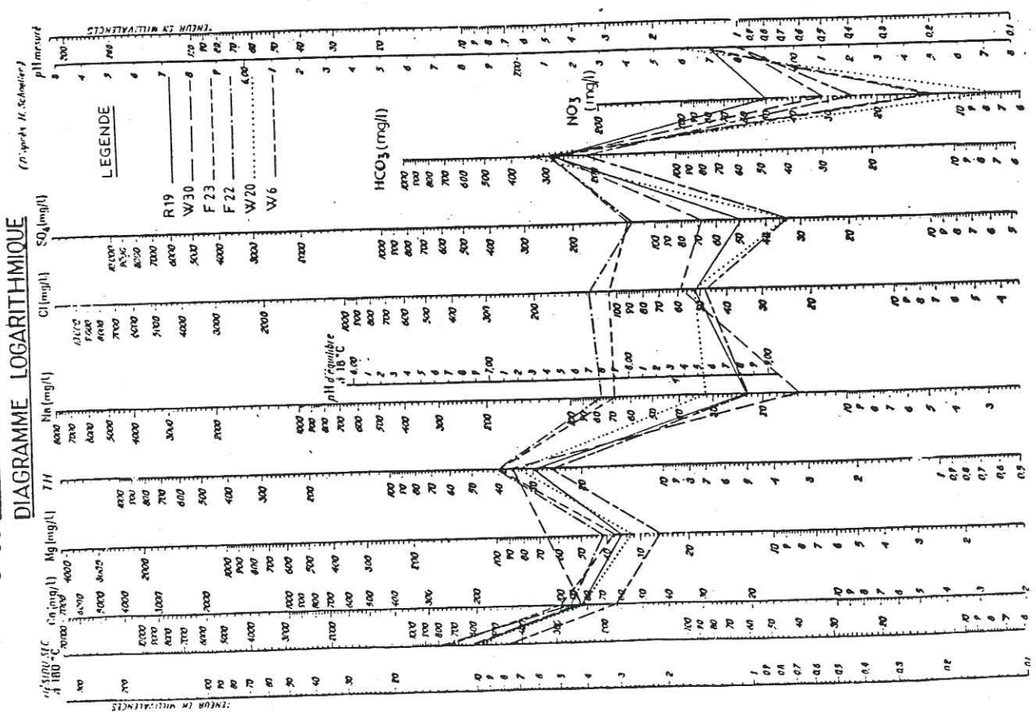


Fig. 56 LES EAUX SOUTERRAINES
DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

Fig. 58 : LES EAUX SOUTERRAINES

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

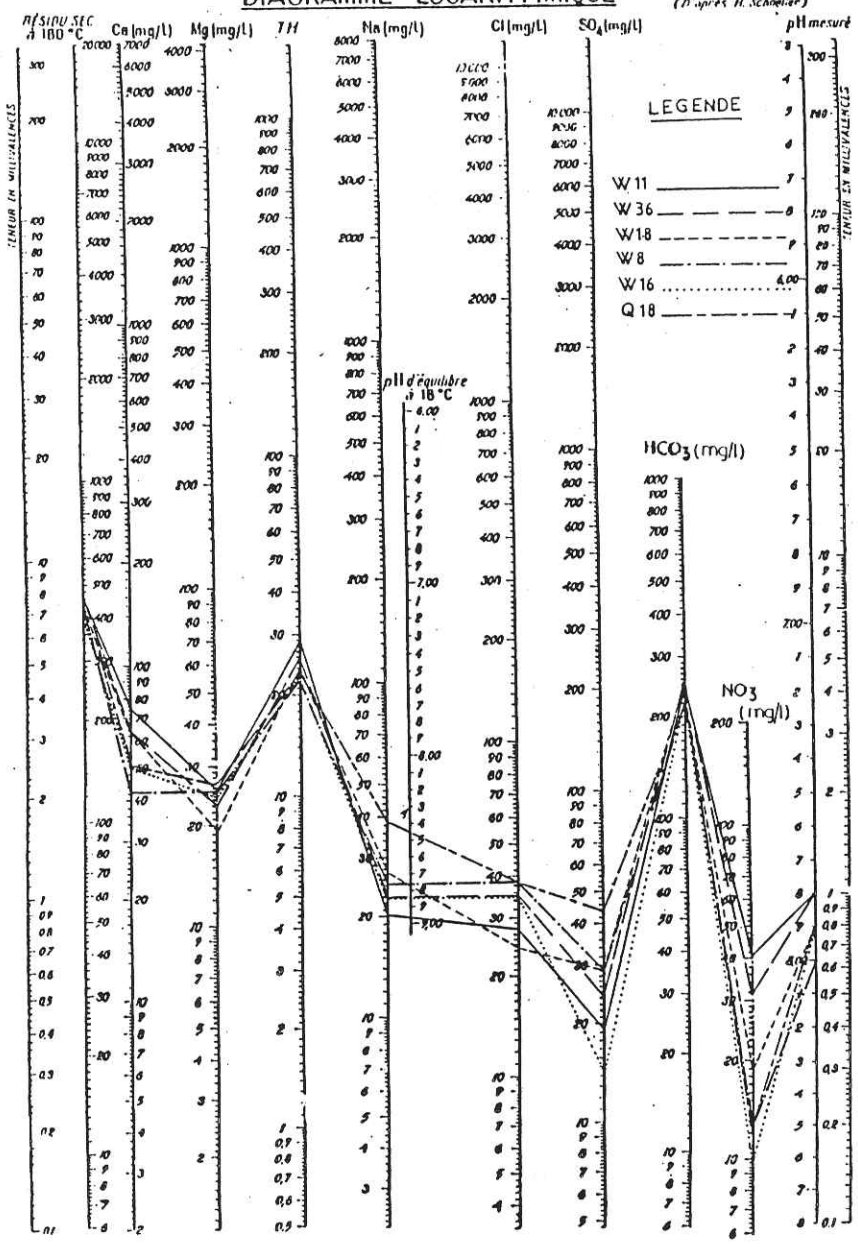


Fig. 59 LES EAUX SOUTERRAINES

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

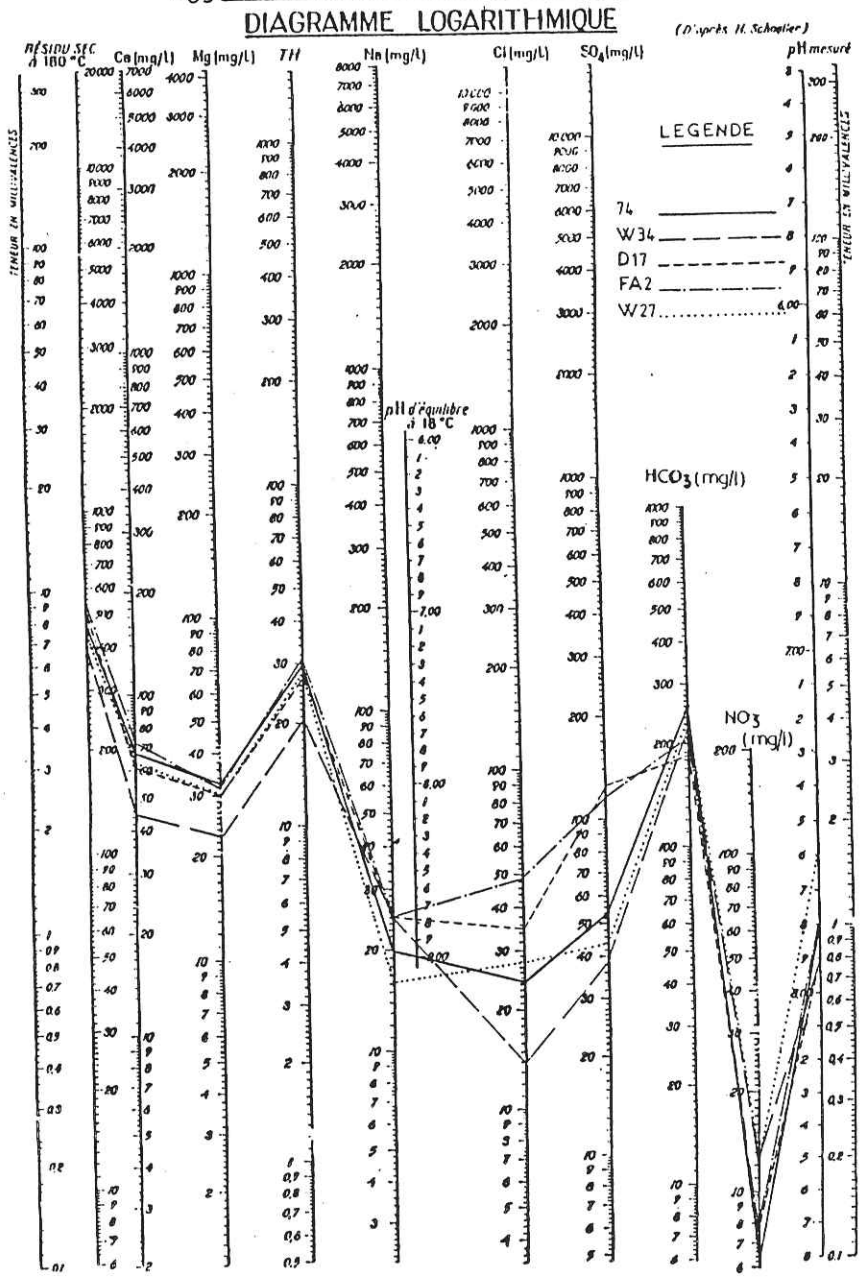


Fig. 60 : LES EAUX SOUTERRAINES

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

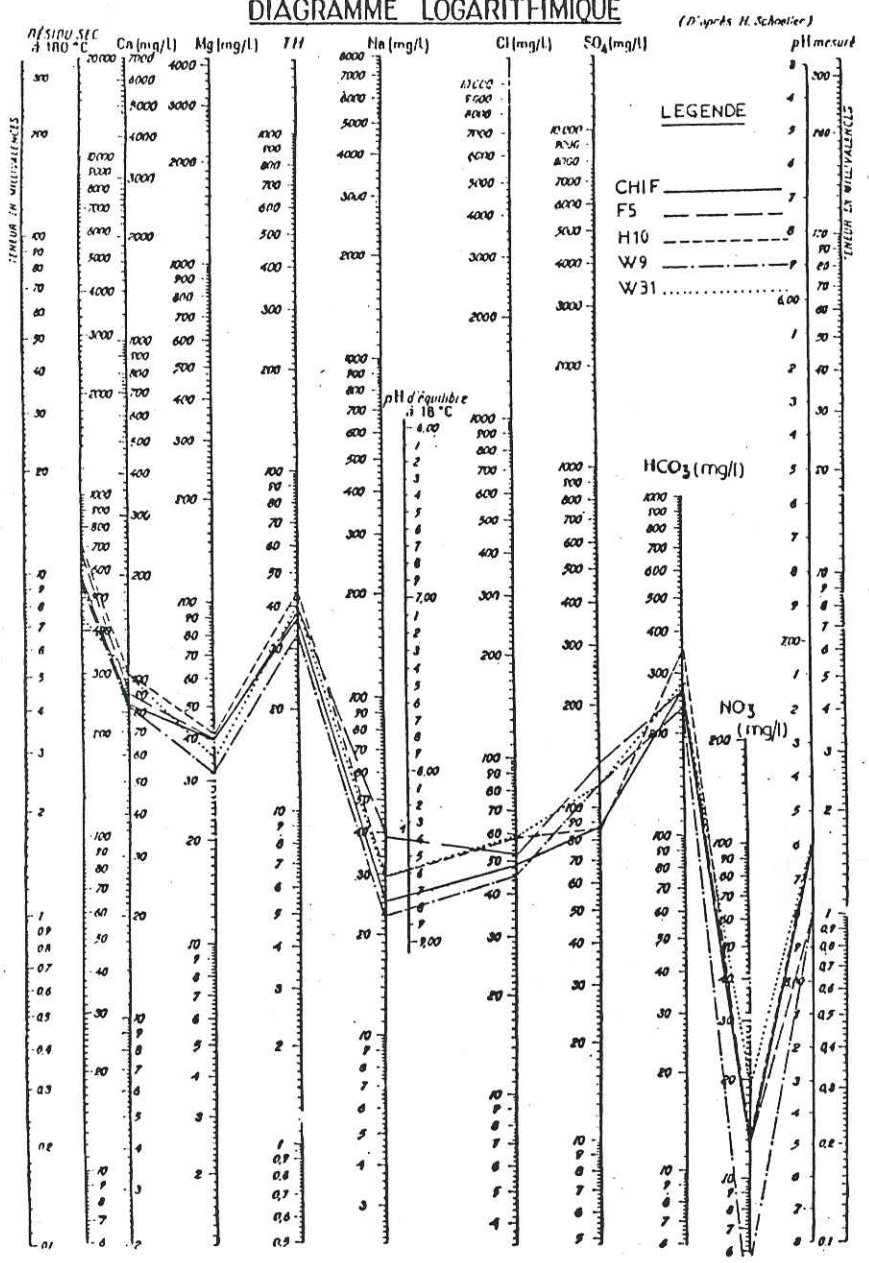


Fig. 61 LES EAUX SOUTERRAINES

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

(D'après H. Schoeller)

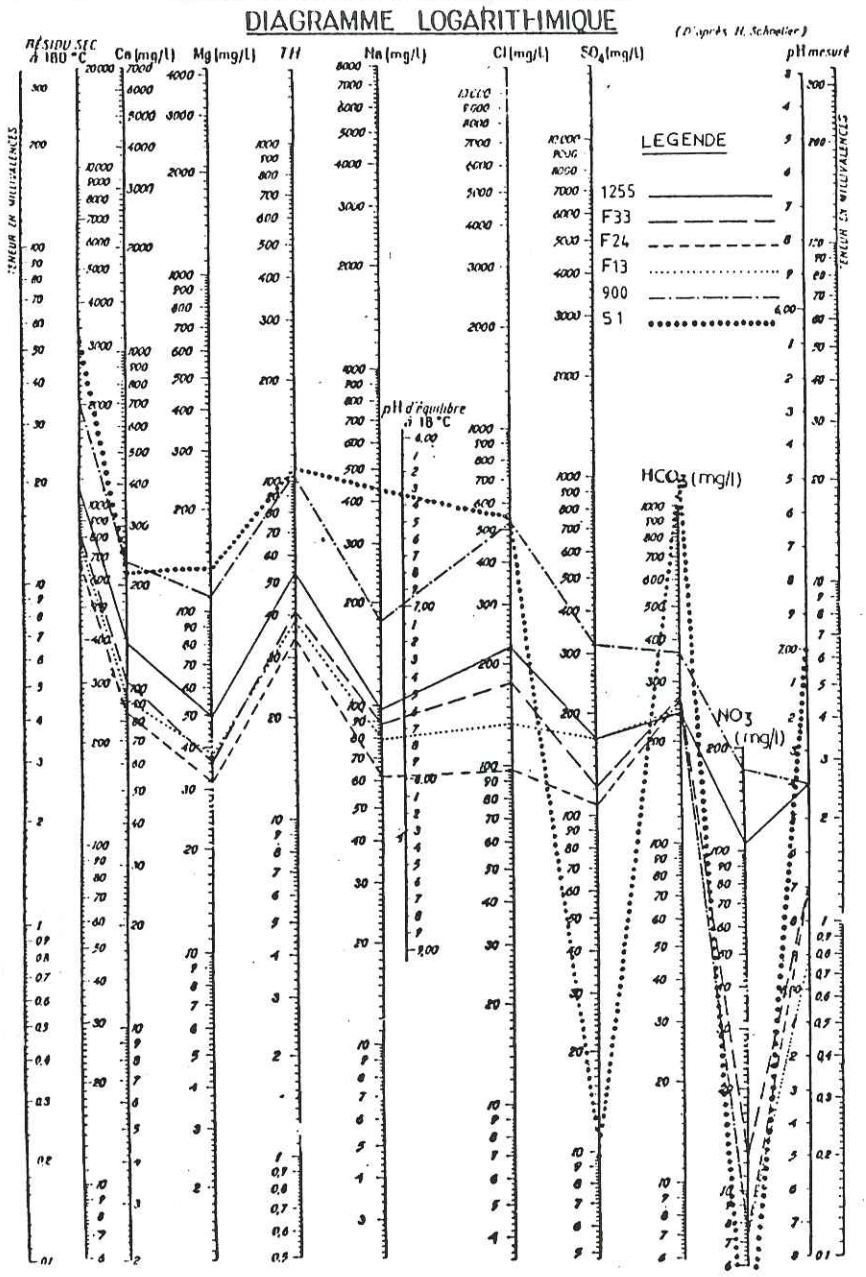


Fig. 62 LES EAUX SOUTERRAINES

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE

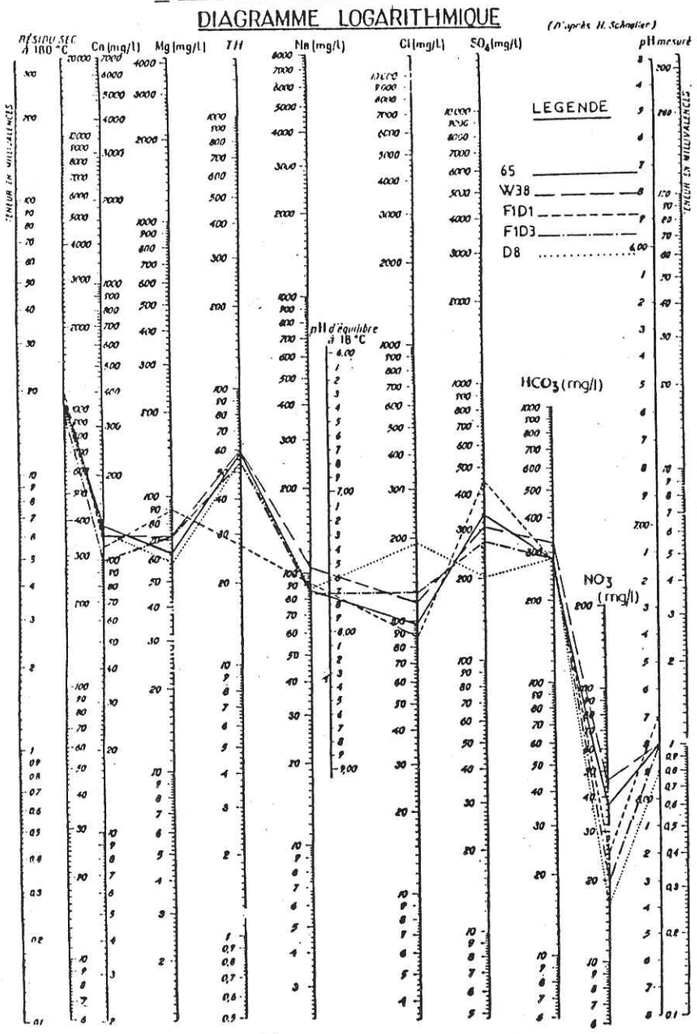
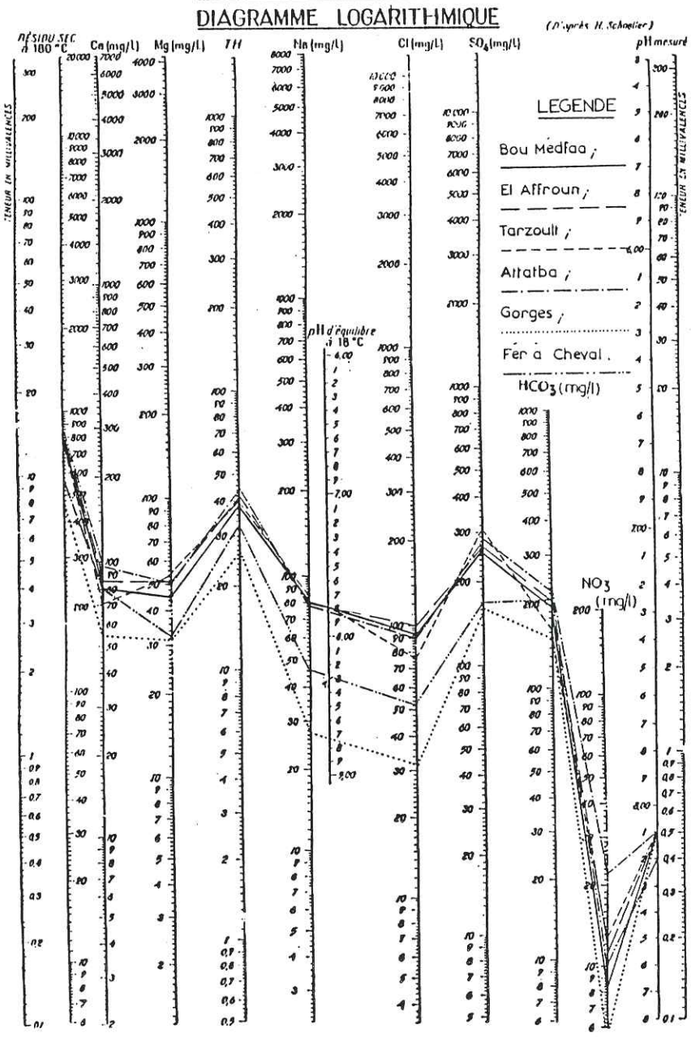
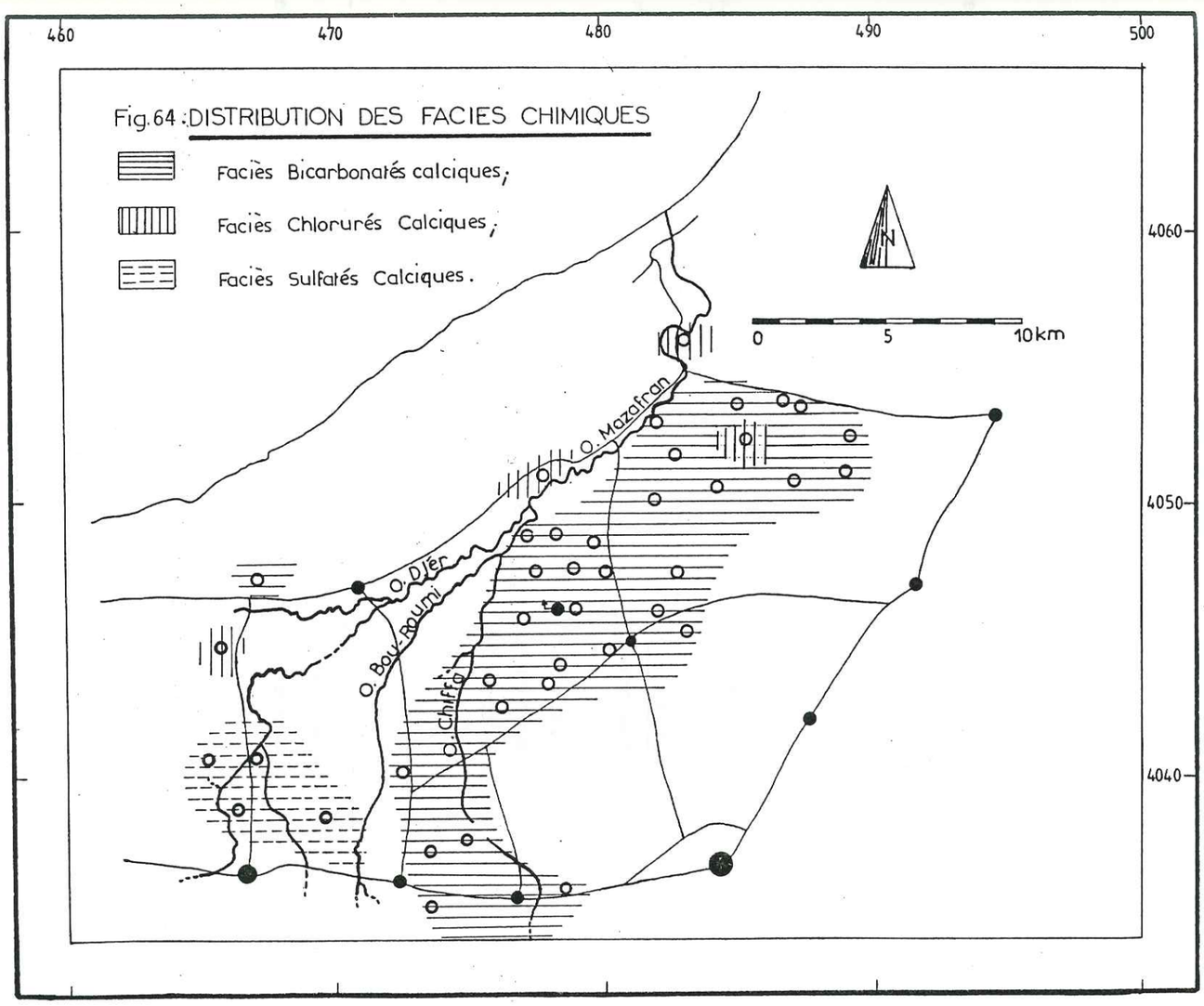


Fig. 63 LES EAUX FLUVIALES

DIAGRAMME LOGARITHMIQUE





La figure 64 montre des eaux moins minéralisées que celles de la figure 65 sans que l'on puisse mettre en évidence une continuité d'amont à l'aval.

1.3. Les faciès minoritaires

Figure 61 : Faciès Ca>Na ; Cl>HCO_3 : points 1255 et F33
Faciès Ca>Na ; HCO_3>Cl : points F24 et F13
Faciès Ca>Mg ; Cl>SO_4 : point 900
Faciès Na>Mg ; HCO_3>Cl : point S1, ce point représente l'horizon astien gréseux.

Tous les points regroupés sur la figure 66 se situent à l'aval de la nappe.

Figure 62 : Faciès Ca>Mg ; SO_4>HCO_3 : points 65, W38, F1D1, F1D3
Faciès Ca>Mg ; Cl>HCO_3 : point D8

Les points regroupés sur cette figure se situent dans la partie ouest de la plaine, dans cette zone la minéralisation est la plus élevée de la nappe.

1.4. Distribution spatiale des faciès hydrochimiques

Nous avons reporté sur la carte figure 64, les trois principaux groupes de faciès chimiques :

- le groupe des eaux bicarbonatées calciques,
- le groupe des eaux chlorurées calciques,
- le groupe des eaux sulfatées calciques.

2. Classification des eaux

Pratiquement toutes les eaux de la nappe sont bicarbonatées calciques. En effet les données des tableaux des caractéristiques des eaux indiquent des concentrations importantes en ions HCO_3^- et Ca++.

En considérant l'ensemble des analyses, nous obtenons en teneurs cumulées 173,7 méq de HCO_3^- et 173,1 méq de Ca++ sur un total de 780,7 méq soit donc 22 % pour chaque ion.

Les autres distinctions se font sur les teneurs en Mg++ (16,6 %) et Cl^- (13,5 %), $SO_4^=$ (12,3 %) et Na+ (11,2 %).

On voit bien qu'il n'y a pas un grand écart entre les différents pourcentages des ions, d'où la distinction de plusieurs sous-classes.

Ainsi, on aura donc :

- des eaux bicarbonatées calciques avec :

$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^=$
et $rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$
où $rHCO_3^- > rSO_4^= > rCl^-$
et $rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$

ou encore :

$rHCO_3^- > rCl^- > rSO_4^=$
et $rCa^{++} > rNa^+ > rMg^{++}$

-des eaux chlorurées calciques avec :

$rCl^- > rHCO_3^- > rSO_4^=$
et $rCa^{++} > rNa^+ > rMg^{++}$
ou $rCl^- > rSO_4^= > rHCO_3^-$
et $rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$

ou encore

$rCl^- > rHCO_3^- > rS_4^=$
et $rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$

-enfin des eaux sulfatées calciques avec

$rSO_4^= > rHCO_3^- > rCl^-$
et $rCa^{++} > rMg^{++} > rNa^+$

qui sont celles de la région d'El-Affroun.Ce type d'eau est exceptionnel dans la région, ce qui est du à une contamination fluviale.

3. Les eaux des oueds

Nous avons constaté que le faciès sulfaté calcique, n'est défini dans les eaux de nappe que dans la partie ouest de la plaine, dans les eaux les plus chargées de la plaine. Le problème qui se pose est donc de savoir pourquoi il y a un faciès différent du faciès général de la nappe.

Trois hypothèses se présentent à nous :

- Des rejets d'éffluents industriels suffisamment chargés en sulfates pour influer sur le faciès chimique des eaux de nappe.

Cette hypothèse est à écarter car d'une part, on ne connaît pas d'activité industriel-

le et d'autre part, ce faciès sulfaté ne se retrouve pas uniquement dans les eaux de nappe, mais aussi comme nous le verrons plus loin dans les eaux des oueds Djer et Bou-Roumi.

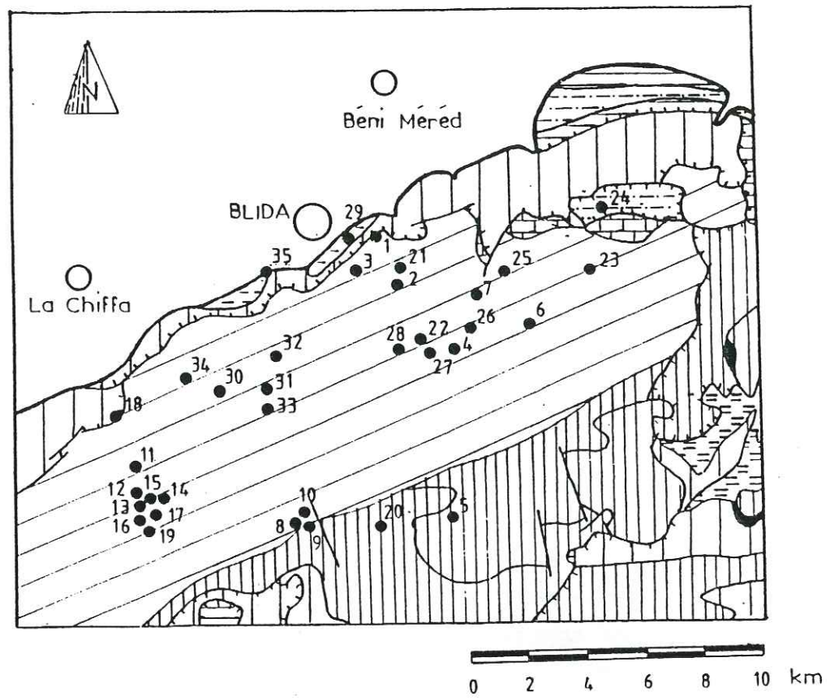
-Contamination par la nappe de l'Astien sous-jacente :

Le seul échantillon de forage Astien que nous avons pu prélever donne une eau au contraire très faiblement chargée en sulfates (8 mg/là. De plus, nous avons essayé de comparer les eaux de la nappe du Mazafran avec celles des nappes astiennes du bassin du Nador situé immédiatement à l'Ouest; on obtient des eaux tout à fait différentes :

- La dernière hypothèse est celle que nous retiendrons : il s'agirait d'une contamination des eaux souterraines par les eaux des oueds.

Sur la figure 63 nous avons reporté la moyenne des analyses pour les six stations de jaugeage après nous être assuré que les erreurs entre les r% des cations et des anions sont faibles; en comparant ce diagramme à ceux des eaux de nappe, nous constatons qu'il existe des ressemblances entre les courbes de Bou-Medfaa, El-Affroun Tarzoult et Attatba et celles de la figure 67 à faciès sulfaté calcique mais avec un décal-age vers le bas pour les eaux des oueds.

Fig:65: EMPLACEMENT DES SOURCES DANS LEUR CONTEXTE GEOLOGIQUE.



	QUATERNAIRE:	Alluvions de la Mitidja.
	MIOCENE inférieur:	Marnes.
	EOCENE:	Marnes-Argiles noires;Marno-Calcaires.
	OLIGOCENE:	Schistes rouges;Poudingues;Sables Argileux.
	CRETACE supérieur:	Marnes Schistoïdes et lentilles Calcaires.
	CRETACE moyen:	Calcaires Marneux très Schisteux.
	CRETACE inférieur:	Calcaires Schisteux.
	CRETACE inférieur:	Schistes fissurés et altérés.
	JURASSIQUE (lias):	Calcaires fissurés et karstifiés.
	TRIAS:	Gypses,Marnes bariolées;Cargneules.

1- contour géologique. 2- faille.3- contact anormal.

Source et son n°

Ville.

IV. LES EAUX DE L'ATLAS

De nombreuses sources jaillissent du flanc nord de l'Atlas Blidéen ; 34 sources ont été recensées entre les coordonnées :

y : 50400 et 52200 Est

x : 34200 et 35400 Nord.

Les analyses chimiques qui ne concernent cependant que les éléments fondamentaux ont été réalisées par l'I.N.R.H. entre le 18/9/81 et le 18/10/82. Les résultats sont reportés sur le tableau page 123.

1. Le contexte géologique

La figure 65 montre que le Crétacé inférieur formé de schistes fissurés et altérés alimente la majeure partie des sources.

Le Crétace moyen, à perméabilité très faible, formé de calcaires marneux très schisteux alimente trois sources (5,9, 20).

Une source (21) est alimentée à partir du Miocène inférieur, constitué de marnes à perméabilité très faible et une source (24) qu'alimente l'Oligocène à perméabilité très faible.

2. Résultats

Le faciès qui prédomine est bicarbonaté magnésien (fig. 71), on note néanmoins quelques faciès isolés ; chloruré magnésien, bicarbonaté calcique et un faciès sulfaté magnésien.

On constate qu'on ne peut pas attribuer un faciès donné à une formation géologique donnée.

2.1. Caractéristiques moyennes des eaux

Nous les dégagerons de l'étude statistique des 34 analyses d'échantillons d'eau.

	Na^+	Mg^{++}	Ca^{++}	HCO_3^-	$SO_4^=$	Cl^-	NO_3^-
Moyenne	0,63	2,6	1,65	2,5	0,58	1,67	0,06
Ecart-Type	0,6	1,34	0,79	0,7	1,27	0,92	0,24

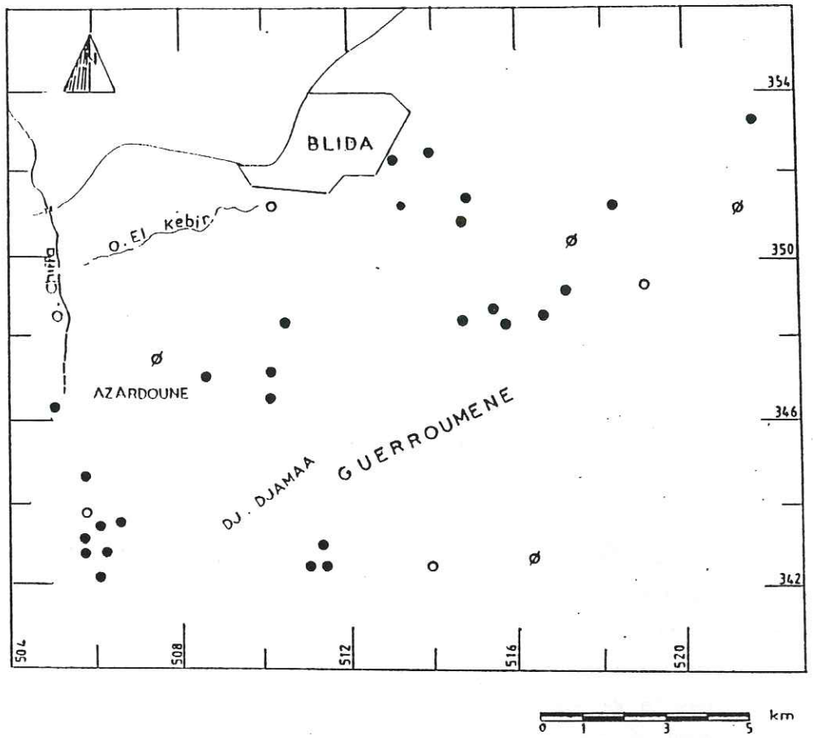


Fig: 66: DISTRIBUTION DES FACIES CHIMIQUES DES EAUX DE L'ATLAS.

● : Faciès bicarbonaté magnésien;

Ø : Faciès bicarbonaté calcique;

O : Faciès chloruré magnésien;

● : Faciès sulfaté magnésien.

Les valeurs du tableau ci-dessus font très bien ressortir les moyennes des différents ions. Exceptions faites pour les ions $SO_4^{=}$ et NO_3^{-}, les valeurs de l'écart-type sont inférieures aux moyennes, ce qui indique une homogénéïsation dans la distribution de ces ions.

Les ions $SO_4^{=}$ et NO_3^{-}, indiquent, par leur fort écart type supérieur à la moyenne, que l'on pourra distinguer des familles d'eau différentes.

On note dans l'ensemble que les eaux sont faiblement minéralisées, ce qui se traduit par de faibles conductivités.

Le pH est d'une manière générale légèrement basique et varie peu par rapport aux concentrations des différents éléments.

Bien que la concentration moyenne de l'ion $SO_4^{=}$ soit de 0,58 mé/l, on note que 70 % des échantillons ont une valeur nulle.

La présence des nitrates est quasiment nulle, sauf pour deux points (les n° 3 et n° 35) où l'on note des valeurs de 76 et de 47 mg/l (contaminations locales probablement dues à la proximité des agglomérations)

Le TH ne dépasse pas la valeur de 30°F (sauf pour les points 3 et 35 où l'on note des TH de 44 et 59°F) ce qui confère à l'eau une bonne potabilité chimique.

2.2. Classification des eaux

La majeure partie des eaux de l'Atlas sont bicarbonatées magnésiennes (fig. 72). En considérant l'ensemble des analyses, nous obtenons en teneurs cumulées et sur un total de 328,76 méq :

- Mg^{++} : 92 méq soit 28 % ; HCO_3^{-} : 84,15 méq soit 25,6 % ; Cl^{-} et Ca^{++} : 56 méq soit 17 % ; Na^{+} 21,4 méq soit 6,5 % ; $SO_4^{=}$: 19,72 méq soit 5,4 %

ainsi on aura donc :

- des eaux bicarbonatées magnésiennes avec :

$HCO_3 \geqslant Cl > SO_4$

et $Mg \geqslant Ca \geqslant Na$

où $HCO_3 > Cl > SO_4$

et $Mg > Cl > SO_4$

ou encore $Mg > Ca > Na$

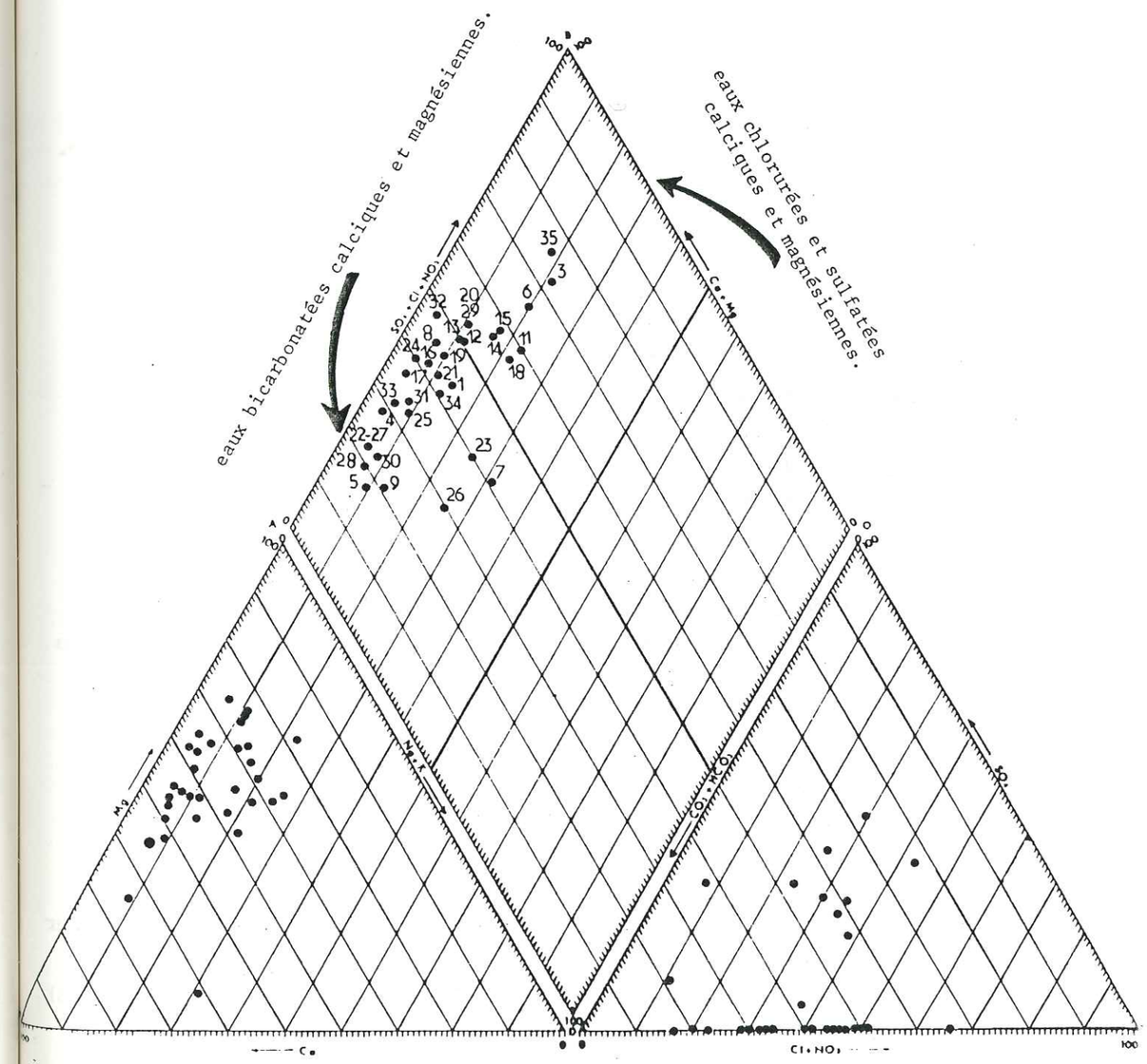
et $HCO_3 > SO_4 > Cl$

ce sont des eaux du Crétacé inférieur, formé de schistes fissurés et altérés, à l'exception de l'échantillon 24, de l'Oligocène schisteux et de l'échantillon 29 du

Fig: 67: LES EAUX DE L'ATLAS

DIAGRAMME D'ANALYSE D'EAU

d'après PIPER (U.S. Geological Survey)



Miocène inférieur marneux.

- des eaux chlorurées magnésiennes avec :

$Cl > HCO_3 > S_4$

et $Mg > Ca > Na$

où $Cl > SO_4 > HCO_3$

et $Mg > Ca > Na$

qui sortent du Crétacé inférieur schisteux et du Crétacé moyen pour l'échantillon n° 20. L'échantillon n° 35 correspond à une source qui sort à la limite Miocène-Quaternaire, ce qui confère à l'eau la même minéralisation que les eaux de la plaine.

- des eaux bicarbonatées calciques avec

$HCO_3 > Cl > SO_4$

et $Ca > Na > Mg$

où $HCO_3 > Cl > SO_4$

et $Ca > Mg > Na$

ce sont des eaux du Crétacé moyen et inférieur.

- Enfin une eau sulfatée magnésienne avec :

$SO_4 > HCO_3 > Cl$

et $Mg > Ca > Na$

Faciès exceptionnel, représenté par un seul échantillon alimenté par des schistes du Crétacé.

2.3. L'indice d'échange de base : $i.e.b = (rCl^- - rNa^+)/rCl^-$

Mis à part l'échantillon n° 9, l'i.e.b est toujours positif c'est-à-dire $rCl^- - rNa^+ > rCl^-$; dans ce cas l'ion Na^+ de l'eau est échangé contre des ions Ca^{++} et Mg^{++} du terrain.

3. Conclusion

Nous avons déjà vu que le faciès bicarbonaté calcique domine en plaine; or dans les eaux de l'Atlas ou tout au moins dans la partie située au Sud de l'axe La Chiffa-Beni-Méréd, les eaux ont un caractère bicarbonaté magnésien. On peut en déduire par là que soit les débits des sources sont trop faibles pour pouvoir influer sur le caractère chimique des eaux souterraines, ce qui induirait donc une faible alimentation par le piedmont (on ne possède pas de valeurs sur les débits des sources), soit que le pôle de l'indice d'échange de bases s'inverse à l'entrée de la plaine ; les eaux de l'Atlas à i.e.b positif, induisent la libération par le terrain des ions Ca^{++} et Mg^{++}.

POLLUTION DES EAUX ET SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION.

I. INTRODUCTION

Les préoccupations qu'entraîne la pollution de l'environnement ont pris ces temps derniers une ampleur considérable devant la situation toujours plus précaire de notre planète.

La pollution des eaux continue de préoccuper les autorités et les populations. Elle compromet la santé, menace la vie, entrave l'activité industrielle. Désormais la lutte contre la pollution doit être l'affaire de tous. Inéluctablement les villes s'étendent un peu plus chaque jour, absorbant l'exédent démographique. De ces phénomènes incontrolables résultent une augmentation et une diffusion de la pollution qui la rendent difficile à maîtriser.

L'eau constitue le principal composant du protoplasme cellulaire; elle représente les 2/3 du poids total de l'homme et jusqu'aux 9/10 du volume des végétaux. Un minimum de 40 à 50 litres d'eau est utilisé par jour et par personne auxquels il convient d'ajouter les besoins en eau pour l'agriculture, l'élevage et l'industrie. Le total représente dans certains pays une consommation courante, journalière de près de 1000 litres/habitant.

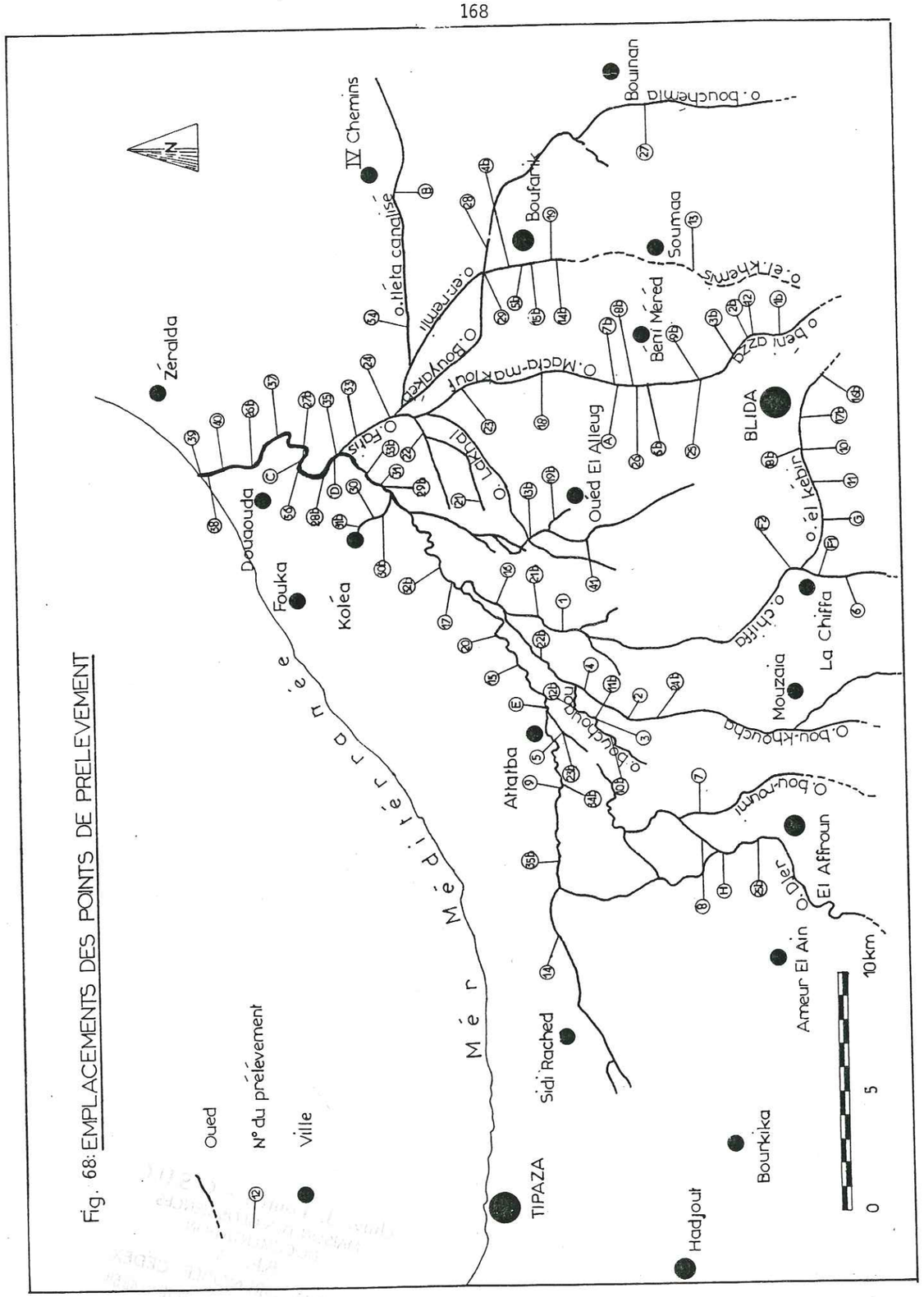
Ces chiffres annoncent de graves difficultés pour les réserves d'eau douce de la planète qui sont estimées à plus de 24 millions de km^3, y compris de nombreuses eaux dont la qualité diminue chaque jour.

Le problème de l'altération des eaux douces continentales est connu depuis longtemps; l'un des premiers témoignage historique est donné par un récit de la bible (Exode 7, 14-25) où l'on décrit la transformation en sang des eaux du Nil (phénomène qui peut-être dû à la contamination biologique produite par des micro-organismes).

L'O.M.S. a fourni en 1961, la définition suivante des eaux douces :

"Un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état des eaux sont directement ou indirectement modifiés du fait de l'activité de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel ou à certaines d'entre elles".

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


Oued
N° du prélèvement
Ville
Mer Méditerranée
TIPAZA
Hadjout
Bourkika
Sidi Rached
Ameur El Ain
El Affroun
Attatba
Mouzaia
La Chiffa
BLIDA
Ouéd El Alleug
Koléa
Fouka
Douaouda
Zéralda
Béni Méred
Soumaa
Boufarik
IV Chemins
Bouman
O. Bou-Roumi
O. Bou-Khoucha
O. Chiffa
O. Kébir
O. Bou-Roumi
O. Bou-Khoucha
O. Mazafran
O. Bou-Roumi
O. Bou-Roumi
O. Bou-Roumi

- du 28/5/1985 : Analyses réalisées à l'Institut Dolomieu (Lab. Chimie)
- du 2/9/1985 au 2/10/1985 : Analyses faites par l'A.N.P.E.
- de Septembre 1986 : Analyses réalisées à l'Institut Dolomieu (Lab. Chimie)

Les éléments analysés sont :

- Mesures physiques : pH, t°, oxygène dissous, conductivité.
- Les éléments nutritifs : les nitrates (NO_3), les nitrites (NO_2), l'ion Ammonium (Am), les matières en suspension totales (MES), les matières organiques, la D.C.O, la $D.B.O._5$.
- Les éléments toxiques et indésirables : le chrome (Cr), le zinc (Zn), le cuivre (Cu), le manganèse (Mn), le Fer (Fe), le cadmium (Cd), l'aluminium (Al), la silice (Si), l'Argent (Ag), le plomb (Pb) et les phénols.

1. Les mesures physiques

D'une manière générale, les valeurs de conductivités demeurent dans les normes, cependant certains échantillons se sont avérés très chargés en ions.

Le point 14, à l'Est de Sidi-Rached avec une valeur de 2,9 m.mho/cm indique une pollution chimique importante, mais il est peu représentatif car prélevé dans une eau quasi-stagnante. L'échantillon de la SATTI avec une valeur de 1,5 m.mho/cm et celui de l'O.N.A.B. avec 2,2 m.mho/cm indiquent également des rejets très chargés. La valeur de 2,1 de l'échantillon 39 est due au fait que le prélèvement se situe à l'embouchure du Mazafran d'où l'influence des eaux marines.

Les analyses de Mai 1984, montrent un pH variant de 7,1 à 8,6; celles plus récentes d'Octobre 1985 montrent parfois des valeurs allant de 4,2 à 6,5 et quelques valeurs de l'ordre de 9. Ces pH acides ou basiques sont dus à la nature des rejets ponctuels. On ne décèle pas d'anomalies thermiques; les températures des eaux sont de l'ordre de 25°C en Octobre et de 14°C en Décembre.

2. Les substances indésirables

2.1. Dans les eaux de surface

Le Zinc (Zn) : Il est présent dans les eaux dans une proportion allant de 0 à 0,8 mg/l, ce qui est compris dans les normes de potabilité.

Forage	Fe	Cu	Zn	n°	Fe	Cu	Zn
41	.11	<.01	.03	F33	.08	.05	.04
65	.30	.02	.82	H10b	.01	.02	.042
74	.24	.02	.09	Q18b	.12	.01	.04
1255	.22	<.01	.03	R19	.01	.02	.01
1266	.54	.01	.01	W2	.04	<.01	.02
St.Ch	.17	.02	.03	W6	.01	<.01	.01
St.Kol	.13	<.01	.01	W8	.32	.01	.07
D8	.09	.02	.04	W9	.39	<.01	.08
D17	1.71	.01	.08	W16	.05	<.01	.01
F1D1	.05	.02	<.01	W18	.13	.01	.08
F1D3	.04	<.01	.01	W27	.09	<.01	.28
FA2	.05	<.01	.04	W20	.02	<.01	.04
F5	.07	<.01	.035	W30	.04	<.01	<.01
F11	3.19	<.01	.09	W31	.08	.01	.03
F13	.05	<.01	<.01	W34	.26	.02	.11
F22	4.39	.74	.73	W38	.53	<.01	.02
F23	.76	<.01	.05	W11	.11	<.01	.07
F24	.34	<.01	.05	W36	.11	<.01	.06
F32	.40	.02	.01				

RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES
EAUX DE NAPPE. Sept. 1986(mg/l)

Pt. n°	pH	DBO_5	MES	NO_3	PO_4	Phenols	Cu	Zn	Cd	Cr	t°
12	8.0	110	14.25	2.5	2.42	1.0	.37	.19	.04	11.4	12
12b	6.7	4	113.8	1.48		tr	.2	.06	0.0		14
18	7.7		27.4	10.2		tr	.17	.18	.07	8.4	15.5
30	7.5		167	2.24	11.4	tr	.44	4.47	0.0		17
32	4.8		3	2.24	tr	tr	.13	.23	0.0		13
31	7.1		10.2	11.4	4.84	tr	.09	.1	.04		12.4
40	7.1		8.2	9.92	4.16	tr	.15	.13	.08		14

RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX FLUVIALES.Dec. 1984
(valeurs en mg/l .)

12:Tannerie du moulin.
18:Rejèt de la BCL.
32:Usine SATTI.
40:Oued Mazafran.
12b: Unité meubles.
30: Oued Kolea.
31: Aval du rejèt SATTI.

Pt.n°.	Al	Si	Fe	Mn	Zn	Cu	Ag	Pb	Cr
A	1.7	10.3	2.93	.4	.05	.01	<.006	.05	<.01
B	.9	6.6	1.09	1.36	.02	<.01	<.006	<.05	<.01
C	5.4	10.0	7.24	.55	.065	.01	<.006	<.05	<.01
D	3.1	7.8	4.55	.37	.004	.01	<.006	<.05	<.01
E	4.9	8.1	8.06	.31	.045	<.01	<.006	<.05	<.01
F1	.3	4.7	.18	.02	.014	<.01	<.006	<.05	<.01
F2	.1	4.7	.21	.01	<.005	<.01	<.006	<.05	<.01
G	.1	6.9	.25	.38	.025	<.01	<.006	<.05	<.01
H	2.4	6.3	4.65	.17	.035	.01	<.006	<.05	<.01

RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX FLUVIALES.Mai 1985.
(valeurs éxprimées en mg/l)

A: Oued Beni Azza à Beni Mered.
B: OUed Tleta à Boufarik .
C,D: Oued Mazafran.
E: Oued Bou Roumi.
F1,F2: Oued Chiffa.
G: Oued El Kebir.
H: Oued Djer.

On note cependant en Décembre 84, une valeur de 4,47 mg/l (?) au rejet de la ville de Koléa.

Le Cuivre (Cu) : La plupart des résultats sont nettement inférieurs aux normes de l'O.M.S., sauf pour les points 14, 28, 29, 32 et 40 où l'on observe des valeurs allant de 0,2 à 0,35 mg/l. Aux échantillons des points 32 et 40, on peut soupçonner la SATTI, usine de textile, d'être à l'origine de cet élément.

Le Manganèse (Mn) : En beaucoup de points, la teneur en Mn dépasse la valeur limite de 0,05 mg/l prescrite par l'O.M.S.; aux points 11, 18, 24 et 28, la teneur dépasse 0,5 mg/l, concentration maximale admissible. On ne peut malheureusement pas établir une progression de cet élément selon les directions d'écoulement des cours d'eau, il aurait fallu pour cela que les prélèvements se fassent dans un laps de temps très court.
Il faut souligner toutefois que cet élément ne se retrouve plus dans les eaux à partir du point n° 37. L'analyse de Mai 85 a donné des valeurs allant de 0,01 à 1,36 mg/l; cette dernière provient de l'échantillon de l'oued Tléta.

Le Fer (Fe) : Les quantités mesurées, sont dans les normes néanmoins , on observe des valeurs de 0,135mg/l (point 18) et 0,4 mg/l (point 37). La présence du fer peut être naturelle dans une eau.
Les analyses de Mai 85, montrent des valeurs nettement plus fortes, allant de 0,2 mg/l aux oueds Chiffa-Kebir à 5 à 8 mg/l sur les oueds Djer et Mazafran.

La Silice (Si) : La silice (Si) est largement présente dans les échantillons analysés en Mai 1985, dans une proportion allant de 5 à 10 mg/l. Les échantillons ne montrent aucune progression dans le sens d'écoumement des oueds.

L'Aluminium (Al) : L'ion Al, varie dans les eaux de 0,1 (oued Chiffa) à 5,1 mg/l (oued Mazafran). Bien que les valeurs augmentent d'amont en aval, le peu d'échantillons prélevés ne nous permet pas de conclure à une évolution spatiale de cet élément.
Le fait que les éléments Al et Fe présentent les plus fortes valeurs au niveau des oueds Djer-Mazafran, nous laisse penser que ces éléments sont d'origine géologique.

Pt. n°(b)	pH	t°	O_2	DBO_5	MES	NO_3	Pt. n°(b)	pH	t°	O_2	DBO_5	MES	NO_3
1	7.25	23	4.2	2.5	7.7	2	18	8.8	25.5	5.2	0	19.8	4
2	7.9	23.5/26		1.0	4.3	7	19	7.0	23.9	4.0	80	6.0	2
3	6.75	24	5.4	38	8.54	3	21	6.5	24	7.5	0	8.8	0
4	7.18	24.4	6.8	.5	31.8	6	22	8.1	25	6.5	0	5.9	0
5	7.53	21.6	4.4	19	8.2	1	23	6.0	25	8.9	0	8.2	6
6	7.85	23.1	8.0	5.0	4.3	2	24	7.5	20	7.5	0	15.7	3
7	6.7	30.6	4.1	15	41.5	12	25	7.0	25	6.1	0	6.8	9
8	7.46	25.4	7.4	3	15.7	14	26	6.0	24	9.2	0	6.4	2
9	7.5	30	4.3	3.5	29.5	6	27	7.5	25.4	5.4	0	7	5
10	7.9	26.6	4.4	18	97.8	2	28	7.0	25.6	9.1	0	12	7
11	5.0	21.3	7.0	15	20.6	4	29	6.0	24.5	9.4	40	2	0
12	5.98	24.4	4.5	32	34.3	4	30	7.0	25	8.1	4800	16	3
13	8.1	22.7	6.1	0	36.1	11	31	4.7	23	8.1	0	81.3	5
14	6.1	18.9	7.2	0	30.2	5	32	9.2	26	6	80	5.5	1
15	8.6	11.3	4.8	0	30.8	6	33	4.3	26	8	40	19.12	0
16	8.1	18.3	6.0	90	32.4	6	34	4.3	25	8.2	0	15.3	6
17	8.9	26.5	4.1	4800	65.1	12	35	4.2	25	8.7	0	187	13

RESULTATS D'ANALYSES DES EAUX FLUVIALES. Octobre 1985.Valeurs en mg/l.

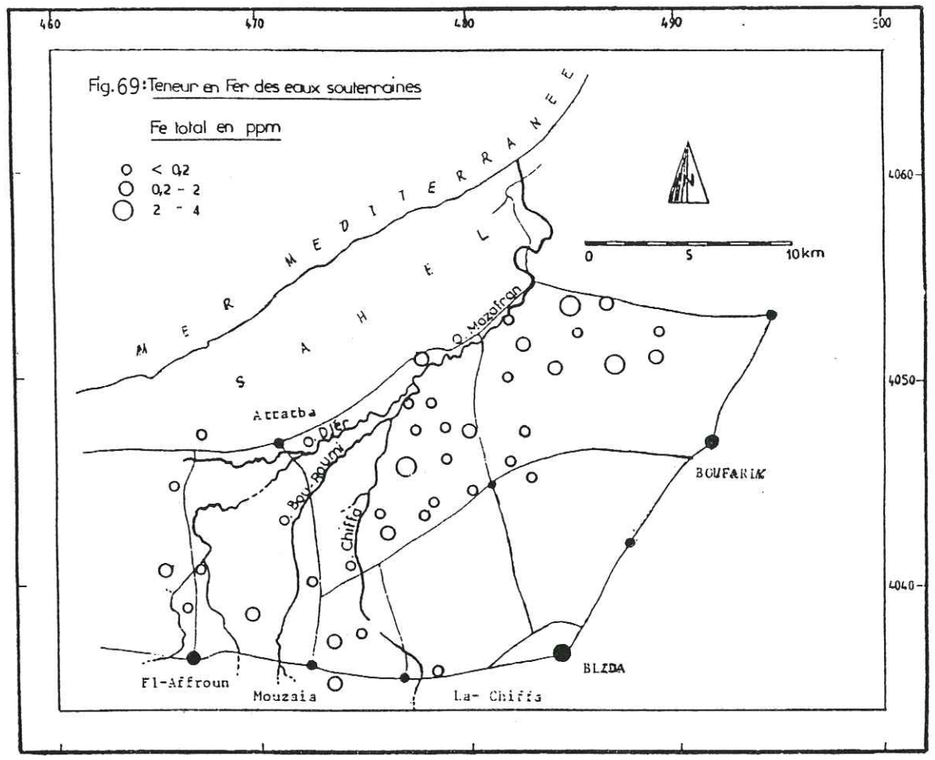
REF	1	2	3	4	5	14	15	18	19	21	22	23	24
DCO	40.00	260.00	14200.00	80.00	120.00	180.00	140.00	30.00	10.00	180.00	120.00	180.00	20.00
DBO5	8.00	51.00	501.00	7.00	5.00	22.00	27.00	12.00	7.00	5.00	1.00	15.00	7.00
M.Org	4.50	29.00	1980.00	25.20	15.20	15.00	19.10	18.50	5.20	7.90	9.00	18.40	12.60
MES	56.20	68.00	394.20	54.20	76.30	0.00	0.20	1250.00	0.00	22.00	48.00	18.00	76.00
Am	0.50	0.50	0.00	0.00	2.20	0.00	2.30	9.00	1.64	3.25	2.36	2.66	3.68
NO2	0.02	0.00	0.12	0.20	0.23	0.03	0.01	0.02	0.48	0.46	0.16	0.00	0.16
NO3	12.00	5.00	2.00	3.00	9.00	6.00	3.00	6.00	9.00	6.00	3.00	0.00	2.00
PO4	0.90	2.62	3.58	4.50	0.00	0.20	0.40	7.25	1.20	4.50	5.50	4.50	5.20
Cond	0.60	1.20	1.10	1.00	1.30	2.90	1.60	0.80	0.60	0.90	0.90	1.00	0.95
pH	9.00	9.20	7.30	7.60	9.00	8.00	7.70	9.00	9.30	9.30	9.30	7.90	9.30
Mn	0.00	0.00	0.00	0.20	0.50	0.28	0.22	0.64	0.00	0.00	0.20	0.29	0.68

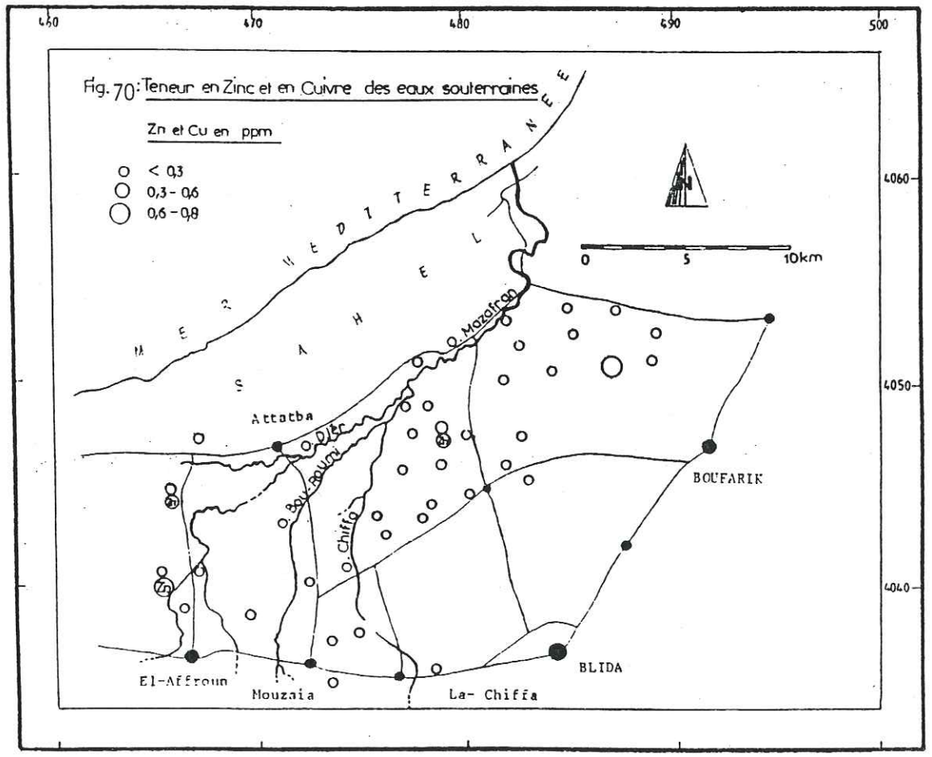
REF	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
DCO	80.00	80.00	80.00	80.00	350.00	120.00	50.00	340.00	200.00	90.00	20.00	10.00	20.00
DBO5	2.30	9.30	2.30	10.30	90.30	50.50	0.50	250.30	50.30	50.30	15.70	4.20	3.70
M.Org	11.10	8.00	15.20	13.70	10.70	15.60	4.60	26.10	25.30	14.20	14.20	11.60	10.40
MES	12.20	34.00	24.00	434.00	229.00	144.00	56.00	108.00	90.00	42.00	22.00	12.00	48.00
Am	4.00	0.00	0.00	3.40	0.46	16.00	0.50	66.00	13.30	9.70	6.40	10.00	9.50
NO2	0.09	0.18	0.04	0.75	0.00	2.30	0.35	0.36	0.10	0.20	0.03	0.13	0.23
NO3	0.20	13.00	2.00	0.00	1.00	0.00	5.00	3.00	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00
PO4	3.70	0.15	3.00	9.30	11.60	3.34	1.15	6.10	7.10	3.20	5.00	4.60	2.35
Cond	0.70	0.70	0.65	1.00	1.20	1.50	0.90	1.50	1.10	1.40	0.30	0.90	0.90
pH	9.00	9.00	9.60	7.70	7.40	7.90	8.20	9.10	7.60	9.20	7.80	7.90	7.90
Mn	0.29	0.29	0.00	0.52	0.20	0.00	0.00	0.10	0.50	0.20	0.00	0.20	0.20

REF	38	39	40	DNAB
DCO	40.00	50.00	40.00	1920.00
DBO5	11.70	8.70	9.70	1251.00
M.Org	10.40	12.80	13.60	100.00
MES	18.00	66.00	50.00	1282.00
Am	7.35	3.50	7.85	130.00
NO2	0.38	0.34	0.32	0.00
NO3	0.00	2.00	2.00	4.00
PO4	1.30	0.00	4.25	71.25
Cond	1.05	2.10	1.10	2.20
pH	9.40	8.50	9.20	7.10
Mn	0.00	0.00	0.00	0.10

RESULTATS DES ANALYSES DES EAUX FLUVIALES.
Mai 1984.

- DCO, DBO_5, MES, Am, NO_2, NO_3, PO_4, Mn; sont éxprimés en mg/l.
- La M.Organique est éxprimée en mg/l de O_2.
- La Conductivité est éxprimée en m.mho/cm.





2.2. Dans les eaux de nappe

Un certain nombre d'échantillons ont été prélevés en vue de doser la teneur du Fer, Cuivre et Zinc, ces deux derniers éléments étant susceptibles d'avoir pour origine l'utilisation des engrais en agriculture (le cuproso ou sulfate de soufre et de cuivre et le sulfate de zinc). Les résultats reportés sur les figures n°69. et70., montrent que :

- Le Fer se retrouve parfois à de fortes teneurs (4 mg/l), alors que la limite tolérable pour les eaux de boisson est de 0,2 mg/l. Cependant ces teneurs sont naturelles dans les eaux, des valeurs plus élevées ont été décelées dans des eaux de surface.
- Les concentrations de cuivre et zinc sont identiques et atteignent en certains points 0,8 mg/l, mais d'une manière générale, les valeurs sont inférieures à 0,3 mg/l; là aussi nous estimons ces teneurs, naturelles dans les eaux.

3. Les éléments nutritifs

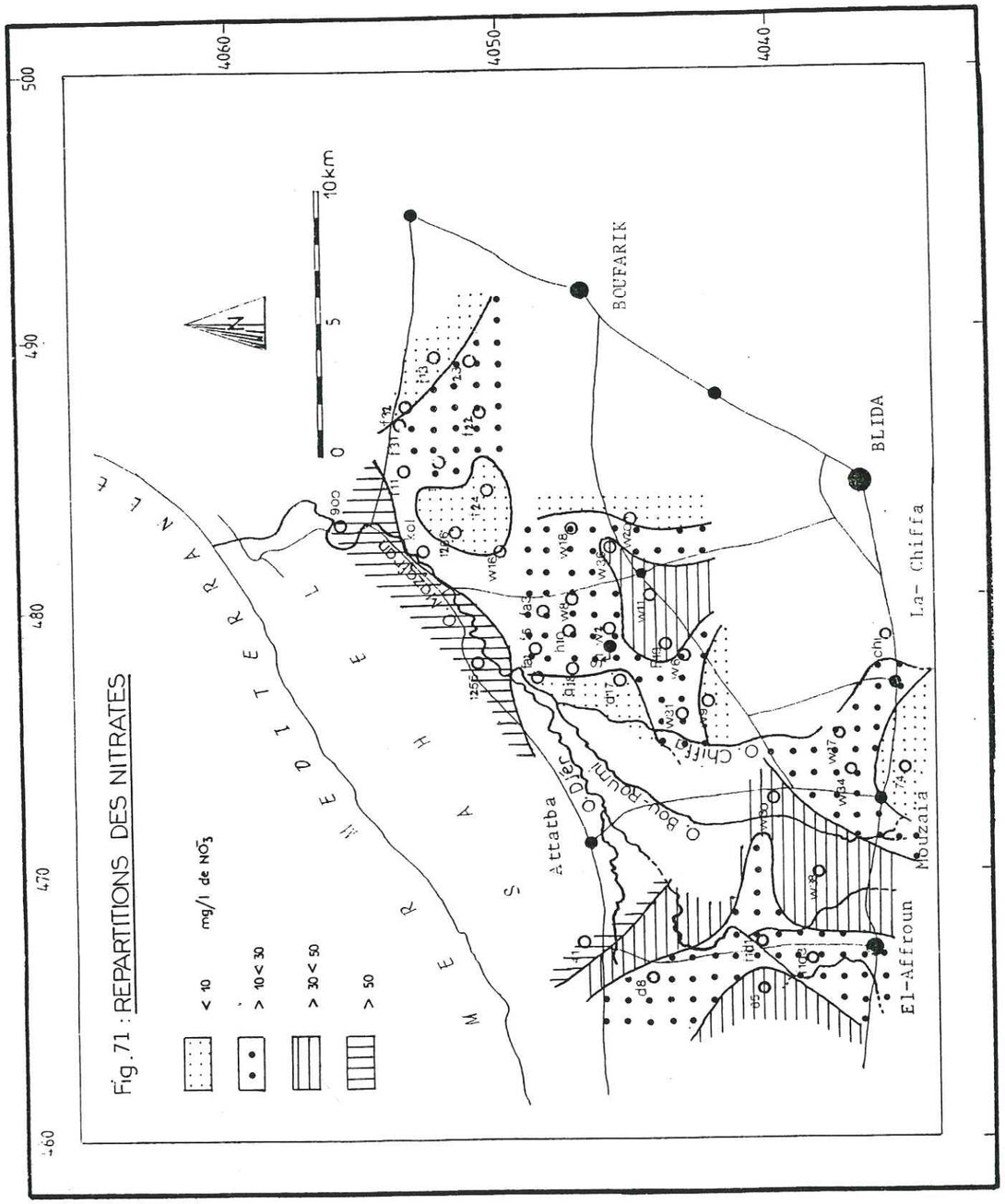
3.1. Les nitrates et les nitrites dans les eaux de surface

Si les concentrations de nitrates sont dans les normes, ce n'est pas le cas pour les nitrites car dans la plupart des points la concentration dépasse la valeur maximale admissible qui est de 0,1 mg/l. Par ailleurs, nous constatons une certaine analogie entre des teneurs élevées de nitrates et de phosphates.

3.2. Les nitrates dans les eaux de nappe

Les teneurs en nitrates des eaux souterraines, suivent à peu près le schéma hydrochimique général. On constate en effet que les fortes teneurs se retrouvent dans la région d'El-Affroun-Mouzaïa , à l'Ouest dans la région d'oued El-Alleug, et sur les bordures Sud du Sahel (fig. 71) où les valeurs varient entre 30 et 50 mg/l, voir plus.

Les nitrates sont les engrais azotés les plus utilisés dans l'agriculture, ce sont des sels très solubles ; l'ion nitrate, NO_3^- est associé à un ion positif, comme l'ion Na+ ou l'ion K+ par exemple, et se trouve dans la nature sous forme de sels solubles, qui sont donc soumis au processus de lessivage dans le sol et s'enfoncent progressivement pour atteindre les nappes phréa-



tiques. La présence d'un taux élevé dans certaines régions, plutôt que dans d'autres dépend de nombreux paramètres : nature du sol et du sous-sol, pluviométrie, couvert végétal, drainage et l'aspect cultural.

3.3. L'ion Ammonium (fig. 72)

La majeure partie des valeurs tournent autour de 5 mg/l, avec des maximums atteignant 10 à 16 mg/l. Les 130 mg/l trouvés dans l'échantillon de l'O.N.A.B. sont dus essentiellement aux déchets de poulets, on a noté également une valeur de 66 mg/l au niveau du 3e bac de décantation de l'unité SATTI.

On notera que l'ion ammonium indique une décomposition de l'urée, donc présence d'urine, c'est pour cela que des valeurs relativement élevées sont observées lorsqu'il s'agit d'un rejet urbain et quand le prélèvement s'est effectué avant que l'effluent ne soit mélangé aux eaux de l'oued, cette valeur est nette : exemple du point n° 30 qui représente les rejets urbains de la ville de Koléa.

3.4. Les matières organiques (Fig. 73)

Les résultats font apparaître de manière claire, l'importance des rejets de la S.N.E.M.A. et de l'O.N.A.B.

La S.N.E.M.A. avec 1980 mg/l de matières organiques occassionnées par le lavage de bouteilles et des matières glucidiques. Les rejets de l'O.N.A.B. constitués de fiente occasionnent une teneur de 100 mg/l.

Il faut signaler aussi que tous les échantillons analysés présentent une pollution fécale, les eaux d'égout étant rejetées directement dans les oueds.

3.5. Les phosphates

Les phosphates varient de 0 à 12 mg/l, la carte de la figure 74, ne nous montre pas une évolution dans le sens de l'écoulement des eaux, les plus fortes valeurs sont relevées dans la région de Boufarik ; au rejet de l'O.N.A.B., le taux de phosphate passe à 71 mg/l.

3.6. Les matières en suspension totale

Les résultats obtenus n'ont pas dépassés les normes préconisées pour une eau potable, mais certaines valeurs sont au-delà du seuil limite quand il s'agit des conditions de rejets d'effluents industriels dont la charge

Fig. 72: Teneur en ammonium des eaux fluviales

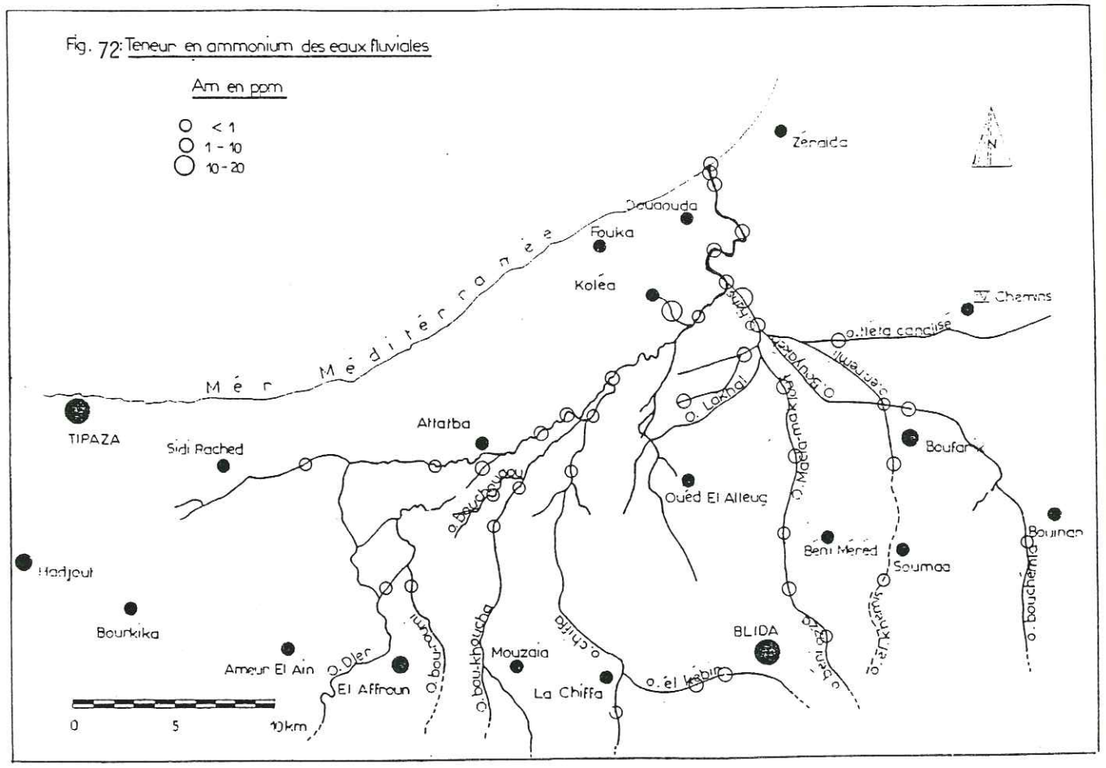


Fig. 73: Teneur en matières organiques des eaux fluviales

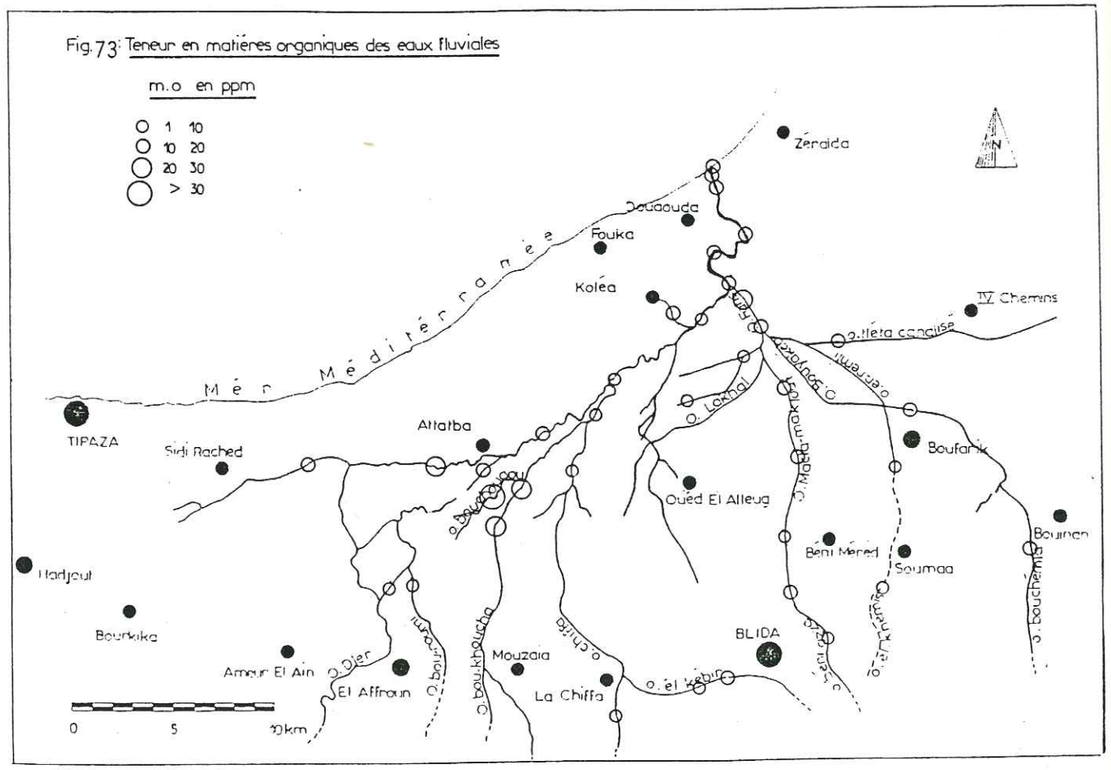
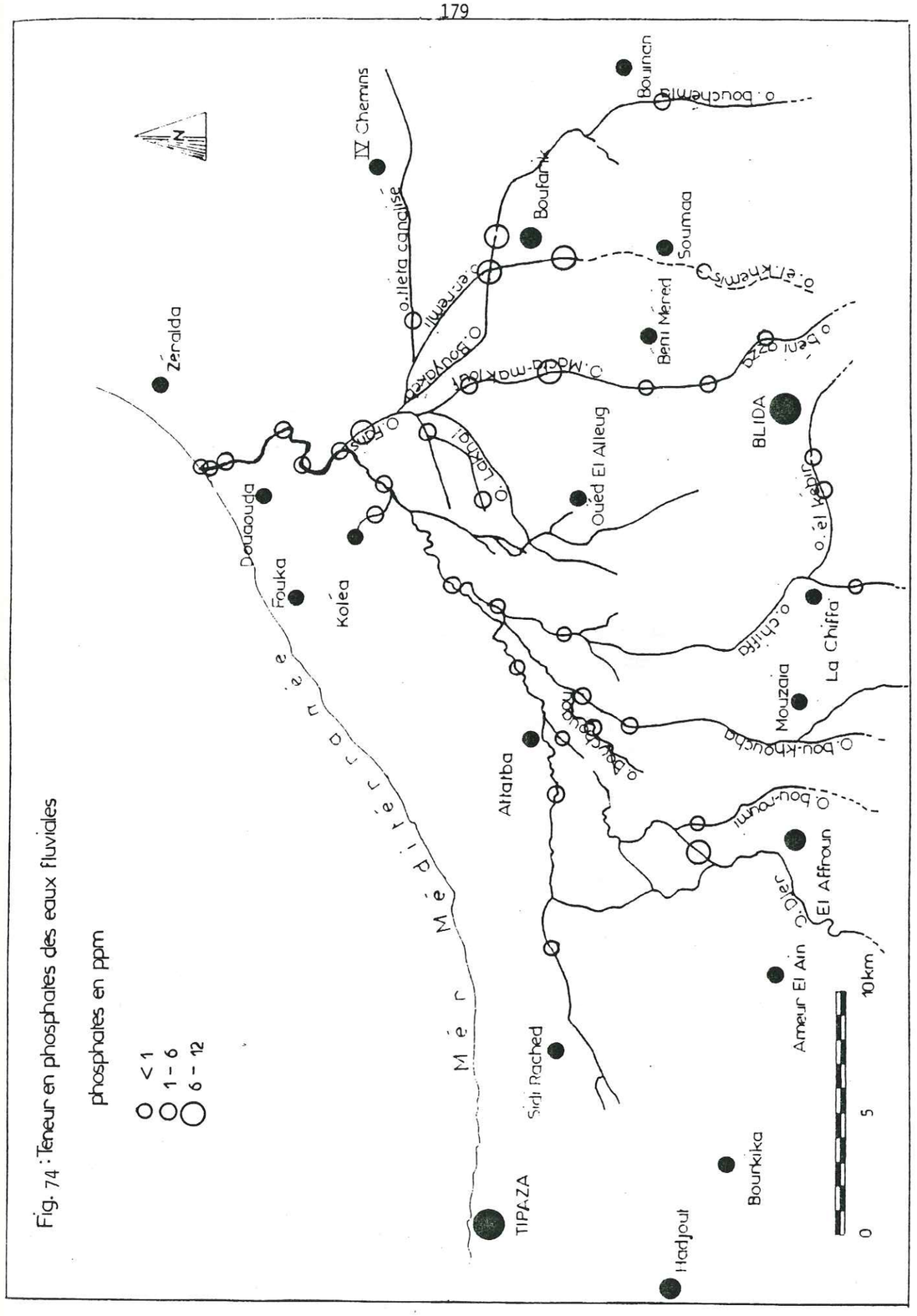


Fig. 74 : Teneur en phosphates des eaux fluviales



de pollution est faible, ce qui est le cas le plus favorable. Ce seuil étant de 100 mg/l, les valeurs obtenues atteignent jusqu'à 1282 mg/l pour l'échantillon O.N.A.B.
Certaines fortes valeurs sont justifiées par des rejets tel celui de l'O.N.A.B. où celui du point 18 qui reçoit les rejets des ateliers de traitement du soufre et de la S.N.E.M.A. au point 3.

3.6. Au niveau de l'embouchure du Mazafran

Un cycle annuel a été mis en évidence par D. AIT KACI et H. PAUC (1) au niveau de l'embouchure. Il apparaît d'après leurs études que la quantité de M.E.S fluctue en fonction des variations saisonnières de débit et des développements alguaires d'été, de 6 à 2100 mg/l. Le pourcentage de carbone organique est très élevé en été et en automne et est très largement influencé par les développements alguaires et à peu près inversement proportionnel au débit liquide; il varie de 1,7 à 41 %. La relation entre le poids des M.E.S. et le poids de carbone organique montre l'existence successive dans le temps de 3 types de M.E.S. :

1) les suspensions d'hiver et de crue, pauvres en carbone organique, mais avec une masse globale relativement élevée ;
2) une suspension d'été, avec une masse moyenne mais très riche en carbone organique ;
3) une suspension d'automne encore très riche en carbone organique, mais avec une masse globale très faible.

Les résultats que nous venons de voir, bien que sommaires, nous permettent d'avoir une idée globale sur les rejets urbains et industriels qui s'effectuent dans les oueds qui drainent le bassin versant. Ainsi nous nous devons d'attirer l'attention sur les rejets effectués par la S.N.E.M.A., l'O.N.A.B. et la SATTI, dont les effluents ne présentent pas les caractères d'un rejet urbain puisqu'ils présentent une charge organique très élevée.

4. La D.C.O. et la D.B.O.$_5$

La demande chimique en oxygène (DCO) représente l'enveloppe de tout ce qui est susceptible de demander de l'oxygène, en particulier les sels minéraux oxydables et la majeure partie des composés organiques.

(1) Université d'Alger.

La demande biologique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène exprimée en mg/l pendant un temps donné pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau usée.
On relève des valeurs très fortes de DBO$_5$ aux rejets dela S.N.E.M.A., 501 mg/l ; de la SATTI 250 mg/l et de l'O.N.A.B., 125 mg/l. Aux points 17b et 30b en Octobre 1985 on peut noter des valeurs de 4800 mg/l(?) dans des rejets localisés.
Les normes pour un rejet urbain dans lequel des eaux résiduaires peuvent être présentes mais non prépondérantes sont :

DCO < 750 mg/l
DCO/DBO$_5$ < 2,5

Or les rejets de la S.N.E.M.A. présentent une DCO de 14 200 mg/l et le rapport DCO/DBO$_5$ est de 7,2 ; le rejet de l'O.N.A.B. présente une DCO de 1920 mg/l, donc importante, mais le rapport est inférieur à 2,5. Ce rapport est d'ailleurs nettement dépassé pour presque tous les échantillons, ce qui montre que les normes ne sont pas respectées pour l'ensemble des rejets urbains.

5. L'oued Mazafran

Aboutissement de tous les oueds du bassin versant, il présente les caractéristiques suivantes :

- le rapport DCO/DBO$_5$ est supérieur à 2,5
- un taux d'ammonium assez important, autour de 8 mg/l
- les nitrites augmentent d'amont en aval avec des valeurs de 0,034 mg/l au point 35 à 0,376 mg/l au point 38
- les phosphates diminuent selon le sens d'écoulement
- une pollution fécale.

Un certain nombre de prélèvements ont été effectués du 30/6/81 au 27/2/82 au niveau de la station de Fer à Cheval. Le tableau suivant reproduit les résultats des analyses effectuées par le laboratoire de l'I.N.R.H.

On constate que l'azote est présent dans l'eau, en faible quantité, sous forme d'ammoniaque, de nitrites et de nitrates. Les phosphates sont également en faible quantité (2,6 mg/l).
En présence de phosphates, les nitrates induisent une croissance exagérée de la végétation, qui en se décomposant entraîne un appauvrissement des eaux en oxygène, puis la formation d'ammoniac; ce phénomène est appel "Eutrophisation des eaux".

Une moyenne de 45 % d'oxygène dissous, la présence d'azote ammoniacal et nitrique et de phosphates n'indiquent-ils pas justement un début d'eutrophisation?
Ces analyses montrent de fortes valeurs de SiO_2 (16mg/l) et fer total (23 mg/l).
En Septembre 1985, des poissons ont été retrouvés morts au niveau de l'embouchure; aussitôt des analyses ont été effectuées sur ces poissons par le laboratoire de biologie marine de l'ISMAL d'Alger.
Les résultats du tableau ci-après montrent que :

- le cadmium varie de 0,2 à 0,4 ppm, alors qu'une fraction de ppm s'avère mortelle pour les poissons ;
- le zinc varie de 1 à 2 ppm, cet élément étant un antagoniste du Cd ;
- le cuivre est de l'ordre de 0,8 ppm ;
- le mercure varie de 0,1 à 0,4 ppm.

Poissons	Valeurs en ppm			
	Zn	Cu	Cd	Hg
Mulet	1,250	0,950	0,400	0,102
Barbot	2,340	0,850	0,340	0,380
Carpe	1,020	0,724	0,220	0,150

Ces résultats semblent indiquer que la mort des poissons est dû à :

- un début d'eutrophisation des eaux ;
- la présence de métaux toxiques dans l'organisme des poissons.

Eléments analysés	Nombre d'échantillons	Valeurs en mg/l		
		Max.	Min.	Moy
Oxygène dissous	10	84	2	45
% de saturation	10	6700	5	1180
Turbidité	12	8,85	7,6	-
Solides en suspention	7	592	10	105
Azote amoniacal	12	4,5	<0,024	169
Azote nitreux	1	<0,002	-	-
Azote nitrique	12	2,0	<0,1	0,8
Matériaux organiques	10	152	4,8	29,1
Phosphate total	9	6,5	1,27	2,60
Orthophosphate	10	2,4	<0,02	1,39
Silice réactive (Sio_2)	10	20,3	7,8	16,1
Fer total (Fe)	12	138	0,20	23,3
Manganèse total (Mn)	8	3,85	0,06	0,89
Cuivre (Cu)	8	0,10	<0,02	0,04
Zinc (Zn)	8	0,61	<0,02	0,18
Plomb (Pb)	8	0,16	<0,02	0,07

Resultats des analyses effectuées au niveau de la station "Fer à Cheval" (O.Mazafran).

Analyse du sédiment

Un échantillon de sédiment, prélevé à l'embouchure du Mazafran a été analysé à l'Institut de Pharmacie de Grenoble.
Les résultats nous permettent de comparer avec ceux obtenus pour les eaux et pour les poissons.

Eléments	Eau ppm	Sédiment mg/kg	Poissons ppm
Zn	<0,02-0,6	55 (100 à 2800)	1 - 2,4 (10 à 100)
Cu	<0,02-0,1	13,5 (100 à 700)	0,7 - 1 (10 à 50)
Cd	-	0,2	0,2 - 0,4
Hg	-	-	0,1 - 0,4
Al	3 - 5	89 (20 à 30)	-
Fe	0,2 - 138	5700 (40 à 28000)	-
Mn	0,06 - 3,9	317 (80 à 5300)	-

Les valeurs entre parenthèses indiquent le coefficient de concentration.

Les valeurs montrent qu'il y a concentration de ces éléments dans les sédiments et les poissons, sauf pour le cadmium où on retrouve à peu près les mêmes concentrations que dans les eaux de nappe.
Les facteurs de concentration sont très importants, ils sont dix fois plus élevés pour le sédiment que pour les poissons; du fait de l'insolubilité des hydroxydes du Zinc, Cuivre, Aluminum, Fer et Manganèse, il y a phénomène de décantation. Le cadmium, très soluble échappe à cette règle.

6. Conclusion

Toutes ces valeurs sont à manipuler avec précaution, car seul un échantillonnage s'étalant dans le temps et dans l'espace pourra nous donner des résultats probants, mais d'ores et déjà il apparaît que sur l'ensemble du BV[1], des entreprises aussi importantes que l'O.N.A.B. rejettent leurs effluents sans aucun traitement préalable. Nous signalons également qu'il est très difficile de préciser ou d'affirmer qu'une substance indésirable ou toxique quelconque provienne de tel ou tel rejet, mais avant de faire une analyse systématique sur tous les échantillons, il faudra établir au préalable, à partir de l'enquête sur les sources de pollution, les nuissances probables qui peuvent être occasionnées par un

(1) B.V : Bassin Versant.

rejet bien précis.

Le constat le plus direct de la pollution nous est donné par la présence, dans l'organisme des poissons, de métaux lourds : le zinc, le cuivre, le cadmium et le mercure, ces deux derniers sont mortels pour les poissons à des concentrations très faibles.

III. LES DIFFERENTES SOURCES DE POLLUTION ET EVALUATION TOXICOLOGIQUE

L'inventaire des sources de pollution sur l'ensemble du bassin versant nous a permis de faire une évaluation toxicologique d'ensemble du danger représenté pour la santé humaine par les polluants de l'environnement, naturels ou accidentels, en nous basant sur le niveau actuel ou prévisible à court terme.
Selon H.E. STOKINGER, en règle générale, les polluants ne manifestent leurs effets que grâce à leur inter-action, soit avec d'autres agents, soit avec des facteurs de préconditionnement de l'organisme, qu'il s'agisse d'agents infectieux, de carence d'éléments en traces ou d'anomalie héréditaire du métabolisme.

Région agricole par excellence, la Mitidja voit se développer de plus en plus le domaine industriel qui, malheureusement occupe des terres agricoles. Une démographie galopante et une urbanisation anarchique font que cette zone est menacée par le spectre de la pollution.
Ceci nous amène à distinguer 3 sortes de pollution :

- par l'agriculture ;
- par les unités industrielles
- par les eaux usées domestiques et les décharges d'ordures.

1. Pollution d'origine agricole

99 unités agricoles ont été recensées sur l'ensemble du bassin versant.

1.1. La pollution par les ions minéraux fondamentaux

1.1.1. La pollution animale

Les fosses à purin non étanches, les fumiers, les eaux de lavage des étables, les eaux de ruissellement de parc à bestiaux sont les principales sources.
En milieu aérobie, sur les bords du fumier, la nitrification est possible; l'azote sous forme de nitrates peut gagner la nappe par percolation.

1.1.2. Par les engrais

Les nitrates sont les plus fréquemment utilisés. La dégradation biologique dans le sol réduit de 40 % le passage des nitrates, l'adsorption n'a pas d'influence sur leur propagation.
Conséquence de l'utilisation agricole des sols sur la qualité des eaux souterraines et notamment sur sa teneur en nitrates :
S.S.D. FOSTER et al.,1974, ont envisagé la possibilité d'une relation entre l'augmentation des concentrations en nitrates et les modifications des pratiques agricoles, notamment les récoltes de plus en plus régulières de céréales, rendues possibles par l'augmentation importante de l'emploi d'engrais inorganiques azotés. Possibilité de la migration très lente des polluants à travers la zone non saturée jusqu'au niveau de certains aquifères libres. Un échantillonnage continu des terrains : prélèvements continus dans des forages, afin d'en extraire, par centrifugation, de l'eau interstitielle. Les échantillons d'eau ainsi extraits seront analysés pour la recherche du nitrate et autres espèces N[1] les résultats nous permettent ainsi de tracer des profils verticaux de teneur en nitrates du sol.
Les profils de l'eau interstitielle sous les zones de végétation sur lesquelles des engrais n'ont jamais été utilisés se caractérisent en général par des teneurs en nitrates inférieures à 5 mg/l et souvent inférieures à 1 mg/l; par contre les concentrations peuvent atteindre jusqu'à 50 mg/l dans des terrains fertilisés.

(1) : espèces azotées.

Ces données, nous conduiront à prendre conscience de l'influence majeure des méthodes de l'agriculture sur la composition chimique des eaux souterraines et de l'importance de l'accumulation de nitrates sous des terres cultivées.

1.1.3. Evaluation toxicologique des nitrates et des nitrites

Les nourrisons jusqu'à 6 semaines sont en danger à cause de leurs enzymes métaboliques non encore développées, et de leur hémoglobine foetale, plus facilement réactive. Ils sont incapables de réduire la méthémoglobine (hémoglobine oxydée) en hémoglobine transportant de l'oxygène. L'ingestion de nitrates et de nitrites est responsable de la transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine.
Dans certaines circonstances où le lait de vache a pu être contaminé par des nitrates (abreuvage dans des eaux à fortes proportions de nitrates), le lait peut être une source de contamination supplémentaire.
Les conséquences de l'ingestion par le nourrisson d'une eau fortement polluée par des nitrates sont graves : méthémoglobinémie et mort si l'absorption n'est pas stoppée.
L'O.M.S. a fixé la limite de concentration des nitrates dans l'eau potable à 50 mg/l, soit 11 mg/l d'azote.
On signale également le rôle possible des nitrates dans l'étiologie du cancer gastrique (TANNEBAUM S.R. et al., 1977).
La menace est particulièrement sérieuse pour les collectivités agricoles qui dépendent en grande partie de puits individuels.

1.2. Par les pesticides

Pour trouver un nouvel équilibre écologique et lutter contre les animaux et les plantes nuisibles, on a recours depuis quelques années à certains produits chimiques dont le nombre et l'efficacité n'ont cessé d'augmenter.
L'une des premières substances chimiques à caractère insecticide fut le sulfate de cuivre utilisé pour combattre les maladies de la vigne; depuis, des centaines de nouveaux pesticides ont fait leur apparition, donnant de meilleurs résultats. Le plus connu est sans conteste le dichloro-diphényl-trichloréthane (D.D.T.), synthétisé et commercialisé pendant la deuxième

guerre mondiale pour combattre le typhus exanthématique et pour extirper le paludisme.
On utilise beaucoup d'autres produits dérivés de l'arsenic, du fluor et de la silice, du soufre ou ayant une origine végétale, comme la nicotine et les pyréthrines ; parmi les pesticides de synthèse , nous trouvons outre le D.D.T., le H.C.H. (héxachloro-cyclo-hexane) et son isomère le lindane, qui sont surtout des insecticides.

1.2.1. Toxicité

Il faut reconnaître que les insecticides ont eu dans de nombreux cas des effets très bénéfiques pour l'humanité ; cependant leur utilisation excessive a des conséquences très négatives. Une part des pesticides utilisés, drainés par les eaux, rejoint les nappes souterraines par infiltration dans le sol.
L'une des catastrophes écologiques des plus lourdes, provoquée semble-t-il par l'utilisation incontrôlée des pesticides, a eu lieu au Parc National du Coto de Doñana (Espagne) au cours de l'été 1973; elle fut à l'origine de la mort de 40 000 oiseaux. Pour l'homme, il faut craindre l'intoxication chronique due à l'ingestion continuelle de faibles quantités qui sont cumulatives dans l'organisme.

Une étude effectuée par Dr. Irwing R. TABERSHAW de l'Université de Californie sur 242 cas d'empoisonnement systématique par des insecticides à base de phosphates organiques signalés au State Bureau of Occupational Wealth de Californie en 1960, n'a pu révéler aucun effet résiduel significatif quelques années après ces empoisonnements. Les poissons d'eau douce sont extrêmement sensibles aux insecticides à base d'hydrocarbures chlorés et dérivés d'organo-phosphorés. Des concentrations de l'ordre de quelques ppb peuvent se révéler mortelles si l'exposition est suffisamment longue par rapport à la capacité du poisson à concentrer les pesticides dans ses tissus, souvent 10 000 fois plus que dans le cours d'eau.

Synergie des pesticides : Des synergiques des pesticides, tels que le piperonyl butoxyde ou produits de structures apparentées qui activent la destruction des insectes, à cause de leur aptitude à empêcher la destruction des pesticides (organo-chlorés et organo-phosphorés) par action enzymatique, agissent de façon identique chez les

mammiferes pour augmenter leur toxicité. Une interprétation analogue peut être donnée en ce qui concerne l'action du pipéronyl butoxyde sur les insecticides au carbonate; cependant le renforcement de leur action a été observé pour des concentrations relativement fortes.
Un insecticide chloré, le lindane s'est révélé, deux fois plus toxique chez les rats dont la croissance a été ralentie par un régime faible en protéines (BOYO E.M. et CHEN C.P., 1968) ; par conséquent les populations à régimes carencés en protéines seront plus sensibles à cet insecticide.

1.2.2. La propagation des pesticides

Mis à part les herbicides aquatiques, les pesticides étant très peu solubles peuvent être facilement fixés par la couche supérieure du terrain au moment de l'infiltration.
Les organo-chlorés (D.D.T., B.H.C.) pratiquement non dégradables biologiquement, peuvent persister dans les sols plusieurs années (SCHWARTZ H.C., 1967).
Les organo-phosphorés et les dérivés nitrés, en raison de leur apport en sels nutritifs, sont plus facilement bio-dégradés.
En zone saturée, les organo-chlorés sont très difficilement hydrolysables, à l'inverse des organo-phosphorés dont la période de demi-vie est de quelques jours à quelques heures.

Biologiquement, la dégradation des organo-chlorés est plus faible en milieu anaérobie qu'aérobie. Mais ils se transforment en d'autres produits plus stables.
Dans la plupart des cas, le produit de dégradation est moins toxique que le pesticide initial (BABOT Y. et al, 1969). Il semblerait cependant que la pollution due à l'infiltration d'épandages agricoles soit peu importante en raison de la très faible solubilité des pesticides et de leur fixation dans la zone non saturée.

2. Pollution industrielle

Les installations industrielles se multiplient depuis quelques années sur la Mitidja qui était autrefois purement rurale.
A la veille de l'indépendance, le tableau industriel de la plaine était fort simple, on y notait l'existence de deux petits foyers.

- Le foyer Blidéen, constitué principalement par des industries alimentaires, du bâtiment, d'entretien et de transport, ainsi qu'un grand nombre de petites industries artisanales.
- Le foyer de Boufarik, avec la plupart des industries liées à l'agriculture : distilleries, fabriques de jus de fruits, conditionnement de fruits et légumes, etc...

Avec l'adoption en Septembre 1966 d'un nouveau code d'investissement privé par le gouvernement, la Mitidja a accueilli un certain nombre de nouvelles unités industrielles. Le secteur privé, alléché par le gain facile, a surtout investi dans le secteur des industries du textile.

2.1. Industries textiles

Nous citerons l'exemple de la SATTI, entreprise privée spécialisée dans la confection des textiles et la teinturerie. L'effluent de cette usine passe par trois bassins de décantation avant d'être rejeté dans l'oued Mazafran. L'analyse faite en Décembre 1984, sur un échantillon prélevé au niveau du 3e décanteur de l'usine, montre que le rejet est très acide : pH (4,8), alors qu'on avait obtenu une valeur de 8,1 en Mai 84.

L'échantillon de Septembre 86, a donné 0,9 mg/l de Fer, 0,05 mg/l de Cu, 0,26 mg/l de Zn, 0,4 mg/l de Al, 0,3 mg/l de Mn et 11 mg/l de Si.

2.2. Industries agro-alimentaires

Il s'agit d'usines de transformation de pâtes alimentaires (ERIAD), de conserveries, etc....

L'effluent rejeté contiendra des matières organiques, des huiles, des graisses. Les huiles et les graisses flottant en surface, formeront un film qui accentuera l'eutrophisation des eaux.

Exemple de l'O.N.A.B. de Attatba

Deux unités de grande importance, l'une spécialisée dans la production d'oeufs, l'autre dans l'élevage du poulet, rejettent dans l'oued Djer, de 50 à 60 tonnes/jour de fiente à forte concentration d'acide. Les cadavres de poulets et les oeufs cassés sont déversés sans incinération préalable; à cet effet nous signalons un cas de peste en 1979 ou 80 000 poulets ont été décimés...

2.3. Industrie de transformation du métal

Exemple de la B.C.L. de Beni-Méréd

Il apparaît que cette unité rejette un effluent dont la teneur en matières organiques et chimiques atteint les proportions suivantes :

- huiles solubles, 30 mg/l
- huiles insolubles, 1500 mg/l
- détergents, 40 mg/l
- graisses et boues, 1,5 g/l (A. OUABED, ENPA, 1973).

Bien que les ateliers de traitement de surface fonctionnent en circuit fermé, on peut craindre la présence de substances toxiques et indésirables dans l'effluent rejeté, notamment pour les éléments suivants : As, Cu, Mn, Cd, Ba et Cr.

L'analyse de Décembre 1984 a donné les résultats suivants : Cu (0,17 mg/L), Zn (0,18 mg/l), Cd (0,07 mg/l) et surtout une concentration très élevée en chrome (8,4 mg/l).

Exemple de l'unité Meuble (Blida-Ouléd-Aïch)

Cette unité fabrique des meubles métalliques, l'analyse du rejet a donné 0,2 mg/l de Cu et 0,06 mg/l de Zn.

2.4. Industries des peaux et cuirs

Exemple de la Tannerie du Moulin

Les rejets très pollués contiennent des sulfures et de la chaux provenant des ateliers de pelanage, du pétrole servant pour le dégraissage des peaux; il est à craindre les éléments métalliques suivants : Al, Cu, As, Cr.

L'analyse de Décembre 84 a décelé 1,0 mg/l de phénols 0,37 mg/l de cuivre et 11,4 mg/l de chrome, valeur très élévée qui montre qu'il n'y a vraisemblablement pas traitement de l'eau évacuée.

2.5. Industries phytopharmaceutiques

Exemple de l'unité soufre de Beni-Méréd

L'oxydation du soufre en SO_2, risque de provoquer des pluies acides, d'autant plus que le soufre est entreposé en plein air.

$$SO_2 + 2H_2O \longrightarrow H_2SO_4$$

Après des chutes de pluie, on observe un lessivage de soufre.

2.6. Industries de boissons

Constituées par la S.N.E.M.A., la distillerie du vin et beaucoup de petites limonaderies. Par l'utilisation de colorants, on peut s'attendre aux substances suivantes : Al, Fe, Mn, Zn, As; de plus le lavage des bouteilles entraîne une grande quantité de détergents dans l'effluent.

Nous avons fait brièvement le tour des industries les plus importantes sur le périmètre du bassin versant.

En résumé nous reproduisons un tableau dû à J.F.BUSSE(1980) dans lequel sont notées les principales sources de pollution et leurs substances indésirables et toxiques.

Sources	Substances Indésirables					Substances Toxiques							
	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	Ag	As	Ba	Cd	CrIV	Cn	Pb	Se
Alliage		•		•					•				
Céramique-Verrerie				•			•	•	•				
Chimie		•											
Colorants	•		•	•	•		•						
Cosmétiques					•								
Désinfection	•												
Galvanoplastie	•					•			•	•	•		
Papeterie	•												
Pesticides		•			•		•		•				
Peintures-Vernis				•			•						•
Pharmacie				•									
Photographie		•							•				
Station épuration			•										
Tannerie	•	•					•						
Textile		•											
Gaz-Essence												•	
Métallurgie							•						

Les chlorures, nitrates et sulfates des substances indésirables sont solubles dans une proportion de 100 à 1000 mg/l. Les sels des substances toxiques sont souvent peu solubles (< 10 mg/l) , sauf tous les nitrates (de 10 à plus de 10 000 mg/l), les chlorures de baryum et de cadmium, les sulfates de Cd et de Cr, les fluorures d'Ag et de As. De nombreux arséniates et les chromates de Ca, Mg, Na et K sont très solubles (J.F.BUSSE, 1980).

2.7. Evaluation toxicologique:

Consèquences à long terme des polluants présents dans l'environnement, sur la santé.

2.7.1. L'arsenic (As)

Sa présence dans les eaux de surface est en général très faible. Les normes relativement rigoureuses pour l'eau potable (0,01 mg/l recommandé ;<0,05 obligatoire) ont été dictées par une crainte traditionnelle de l'arsenic en tant que poison.

L'anhydride arsénieux est toxique pour la vie aquatique dans la proportion de 2 à 10 mg/l (MC. KEE J.E. and WOLF, 1963).

Effet des associations : aux U.S.A., l'arsenic est considéré comme neutralisant la toxicité du sélenium (RHIAN M. and MOXON H.L, 1943). et il est ajouté aux aliments de bétail pour combattre la toxicité dans les zones à forte teneur en Sélenium (Se).

2.7.2. Le cadmium (Cd)

SCHROEDER, 1965, a lié l'hypertension à une rétention accrue du cadmium dans les reins, lorsqu'il s'est aperçu que la plupart des sujets humains qui mouraient de complications dues à l'hypertension présentaient dans leurs reins, soit des quantités importantes de cadmium soit des rapports cadmium/zinc supérieurs à ceux des sujets mourant d'une autre affection.

On pense que l'eau de boisson contenant du cadmium provenant des engrais à base de superphosphates est la principale source de pollution (SCHROEDER H.A. and BALASSA J.J, 1963). Le fait que l'absorption de cadmium provoque l'hypertension semble conditonnée non seulement par le degré d'exposition au Cd, mais également par l'absorption concommitante de ses antagonistes : le Zinc et le Sélénium.

Le cadmium est mortel pour les poissons à une fraction de ppm et sa toxicité est stimulée par le cyanure (Mc KEE J.E. and WOLF H.W., 1963).

2.7.3. Le plomb

Se trouve généralement dans les eaux potables dans une proportion de 0,01 à 0,03 mg/l, alors que la concentration maximale admise est de 0,1 mg/l. Son injection provoque des troubles digestifs.

Certains éléments toxiques, contrairement aux substances énumérées ci-dessus, constituent des éléments favorables s'ils sont administrés convenablement.

2.7.4. Le chrome

Sa carence semble être associée à une altération du métabolisme du glucose et des lipides, ce qui favorise les troubles du diabète et de l'artériosclérose, chez l'animal et chez l'homme (SCHROEDER H.A., 1965).
Une carence en Cr^{3+} renforce la toxicité du plomb chez l'animal (SCHROEDER BALASSA, VINTON, 1965) et probablement chez l'homme.
La toxicité de Cr^{3+} chez les poissons est de l'ordre de 1 à 5 mg/l ; Cr^{6+} est plus toxique (M.C KEE J.E. and WOLF H.W., 1963).

2.7.5. Le fluor

Absorbé à concentrations élevées, le fluor peut provoquer la fluorose endémique chronique dont les symptômes sont l'apparition sur les dents des enfants de taches de couleur jaune, brunatre ou presque noire. Mais c'est un élément favorable s'il est absorbé en quantités infimes.
Un mg/l de fluor dans l'eau potable est favorable à la sante des dents; provoquant moins de caries dentaires, des cavités plus petites et une dégradation plus lente (BLANEY J.R and HILLY I.D, 1967).
Il est prouvé que le fluor peut être un facteur étiologique important de l'ostéoporose, trouble courant chez les femmes après l'âge de la ménopause (HEGSTED D.M, 1967).
"On a observé des défectuosités de l'audition chez les enfants d'âge scolaire, pour des concentrations en fluor de l'eau potable, supérieures à 1 mg/l, qui sont moins nombreuses que dans les régions dont les eaux ne contiennent pas de fluor" (LEWY A., 1944).
La toxicité du fluor sur les poissons est très variable, 2 et 8 mg/l pour les truites en eau douce.

2.7.6. Le sélénium (Se)

Elément intéressant et favorable sous forme de traces (0,02 à 1 mg/l).
La toxicité du sélémium est plus grave pour les poissons que pour l'homme. Il peut se produire des problèmes secondaires de santé dus à l'ingéstion prolongée du Se à partir des légumes et d'autres produits agricoles. Une telle ingéstion provoque un état de santé déficient.
On sait depuis longtemps que le sélénium est associé aux troubles de la vision et existe dans la rétine à des concentrations plus fortes que dans les autres tissus. Il interviendrait dans le mécanisme d'excitation des photo-récepteurs (ROSENFELD, BEATH, SIREN, 1964).

3. Pollution par les produits de rebuts domestiques

Il s'agit d'une pollution aussi diversifiée qu'importante, nous distinguons les eaux domestiques, qui comprennent les eaux ménagères entraînant notamment une pollution par les détergents et les eaux vannes induisant une pollution fécale.
Les décharges d'ordures ménagères entrainent :

. une pollution par les minéraux fondamentaux ;
. une pollution biologique d'origine organique.

3.1. Les eaux domestiques

Dans les agglomérations rurales, les eaux domestiques ne sont pas toutes raccordées à un réseau d'assainissement. Elles sont souvent évacuées dans des puits perdus d'où elles regagnent la nappe.
Ces rejets se font généralement non loin des puits d'alimentation, entraînant la pollution de ces points d'eau.
Les eaux des réseaux d'assainissement sont le plus souvent rejetées dans l'oued, sans aucun traitement préalable. En période estivale, les oueds de la Mitidja étant à sec, les effluents ne sont pas dilués.

3.1.1. Les détergents

Parmi les autres sources de pollution nous citerons les usines fabriquant ou utilisant des détergents et les blanchisseries.

Certaines de leurs propriétés font des détergents des substances très nocives et très difficiles à éliminer :

- émulsion (facilite la dispersion dans l'eau, d'huiles, pesticides, etc...)
- détergence (facilite la mise en suspension des graisses)
- solubilisation (J.F. BUSSE, 1980)

80 à 90 % des détergents sont des agents de surface anioniques (GDWER A et al. 1970), qui produisent une grande quantité de mousse dans certaines rivières. Leur opposition à la réoxygénation de l'eau pour des concentrations supérieures à 10 mg/l (PATTON J., 1963) fait des détergents un agent très nocif pour le monde aquatique.

3.1.2. Propagation des détergents

La présence de détergents dans les eaux usées augmente la vitesse de filtration dans les terrains dont le coefficient de perméabilité est supérieur à 10^{-4} m/s et la diminue dans ceux inférieur à 5.10^{-5} m/s (PRAT J., 1964). De plus leur faible diamètre moléculaire, un millimicron, fait qu'ils se déplacent très facilement dans les milieux poreux (HAMMERTON G., 1962).

L'élimination des détergents est surtout dû à la dégradation biologique. La dégradation se fera dans les premiers décimètres du sol, grâce à la prolifération biologique prépondérante dans les matières organiques. Sur 183 g. de détergents qui sont passés dans un lysimètre, 95 % ont été dégradés, 4,5 % sont ressortis et 0,5 % sont restés dans le sol (ROBECK G.G., 1963).

3.1.3. Toxicité

L'absorption à hautes doses de détergents entraîne une irritation gastro-intestinale et une action diarrhéique et prémolytique ainsi que certaines dermatoses (PATTON J. 1963, PRAT J. et al, 1964). La teneur maximale permissible est fixée à 0,5 mg/l.

3.2. Pollution biologique

Les principales sources sont :

- d'origine fécale : eaux d'égouts, puisards privés, fosses à purins, fumier, etc...
- d'origine organiques diverses : dépôts d'ordures ménagères, rejets

d'usines alimentaires.

La pollution biologique est liée à la décomposition des matières organiques par des micro-organismes, essentiellement des bactéries et aussi des virus.

a) Les bactéries

Le principal groupe de bactéries est celui des coliformes qui comprend Escherichia coli (agent de la colibacillose). On trouve 10^6 à 10^{10} coliformes par gramme de matière fécale humaine (Anonyme PHS, 1962*).

Les entérocoques (Streptococcus foecalis) sont le signe d'une pollution fécale récente. Par ailleurs, les eaux peuvent transmettre un certain nombre de maladies d'origine bactérienne; on peut citer à titre d'exemple :

- les bacilles de la fièvre typhoïde
- les bacilles dysentériques
- le vibrion cholérique.

La présence de produits nutritifs (phosphates, détergents), un pH neutre ou alcalin et de basses températures favorisent la survie des bactéries (CROSBY J.W et al 1971*); la présence d'une seule Escherichia coli dans 100 ml d'eau suffit à la rendre suspecte (BUYDENS R. et al., 1965*).

b) Les virus : on peut trouver dans l'eau les virus suivants

. virus de la polyomélite qui attaque les centres nerveux ;

. virus ECHO, causant la diarrhée des enfants, certains types sinologiques peuvent provoquer des méningites lymphocitaires ;

. les coxsackie A et B peuvent provoquer des méningites, des myalgies ou des myocardies :

- virus de l'hépatite infectieuse (type A).
- les adenovirus qui attaquent les voies respiratoires supérieures et les yeux.

3.2.1. Propagation

Les bactéries, en raison de leur diamètre (0,1 à 10 µ) sont rapidement fixées par le terrain. Il en résulte un colmatage

(*) L'astérique indiquera que l'auteur est cité par J. BUSSE, 1980.

par voile bactérien (J.F BUSSE, 1980).
Le matériau le plus efficace pour l'élimination des bactéries est constitué de grains de sable très fins à fins avec une forte teneur en argiles. Un grand nombre de bactéries sont efficacement éliminées à travers un mètre environ de sable fin (J.F.BUSSE,1980).
Le passage d'un milieu réducteur à un milieu oxydant favorise la prolifération des bactéries (BERNARD D. et al., 1977*).
La filtration des eaux polluées par le terrain semblerait former à la longue des lits bactériens qui freinent et vont jusqu'à arrêter la migration de la pollution (MALMANN W.L., 1961*).

3.3. Les décharges d'ordures ménagères

L'accumulation des ordures ménagères constitue de nos jours un problème. L'accroissement de la population, le développement du processus d'urbanisation et la demande croissante en biens de consommation déterminent un développement des rebuts. Les ordures ménagères sont composées de matières inertes (verres, plastiques, caoutchoucs, papiers, etc. et de matières organiques animales et végétales décomposables.
L'élimination des déchets domestiques pose de graves problèmes dans de nombreux pays. Le recyclage, la transformation en engrais organiques ou l'incinération des ordures se revèlent en général coûteux. Ainsi la méthode la plus courante consiste à amonceler à l'air libre les résidus solides. Outre leur aspect peu esthétique , les décharges d'ordures contribuent à la pollution des eaux.
La dégradation des matières organiques est due à l'action des micro-organis--mes, dont le développement est optimal pour des températures de 15 °C à 30 °C et pour un taux d'humidité dans le dépôt de 60 % ; ces conditions sont atteintes en milieu aérobie (STONE R. et al, 1970, AGPAR M.A. et al, 1971*).
L'importance des apports en oxygène dans la décharge conditionne la manière dont se fait la décomposition des matières organiques : aérobie ou anaërobie.
Dans les conditions aérobies, ce sont des produits finaux stables qui sont obtenus tel que : CO_2, NO_3, SO_4, H_2O.

Dans des conditions anaérobies sont produits : SH_2, CH_4, NH_3, gaz hydrogénés et nauséabonds, alcools, acides organiques et produits partiellement oxydés qui entraînent une D.B.O élevée (AGPAR M.A. et al, 1971*).

3.3.1. Production des matières lessivées

Les sels libérés par la dégradation des ordures ménagères, peuvent être dissous dans l'eau de pluie qui s'infiltre dans le dépôt.
En milieu aérobie, la température peut monter jusqu'à 50°C et plus BRARD R., 1963*) ce qui entraîne une forte évaporation, freinant la propagation de l'eau lessivée.
Si le taux de saturation au sein de la décharge, dépasse 60 %, les conditionsqui étaient aérobies deviennent anaérobies ce qui aura pour résultat une infiltration plus efficace du lessivat jusqu'à la base du dépôt (REMSON I et al. 1968*).
Le tableau suivant montre que les quantités minérales véhiculées par les eaux d'infiltration peuvent atteindre des proportions assez importantes.
La pollution de la nappe au droit d'une décharge, peut se poursuivre longtemps après l'abandon d'une décharge; des études faites par FARVOLDEN R.N et al* ,montrent qu'après 6 ans d'arrêt, une décharge continue encore à polluer la nappe, et notamment en chlorures et en D.B.O, ainsi pour LANDON R.A., 1971*, les meilleurs traceurs de la pollution sont les chlorures.

3.3.2. Mouvement et atténuation des matières lessivées

La présence d'une zone non saturée sous un lieu de décharge pourait jouer un rôle important dans l'atténuation des matières lessivées.
Des recherches ont été dirigées sur les processus de transformation se produisant dans cette zone par des expériences sur le terrain (MAHER, YOUNG, 1979, citant BLACK J.H et al, 1977). Les études ont confirmé qu'une atténuation notable des contaminants organiques labiles peut se produire lors du passage des matières organiques lessivées par une zone non saturée par suite de l'action bactérienne.

	WASMER H.R, 1969		WEAVER L. 1961	QASIMIR S.R.-BURCHINAL J.C. 1970
	Lors des premiers 10 mois	en 18 mois	Moins d'un an	1 an
Ca	0,672	0,76	1	1,3
Mg	0,097	0,136	-	0,17
Na	0,5	0,70	1,5	0,47
K	0,475	0,67	-	1,6
Cl	0,66	0,97	0,9	0,8
SO_4	0,166	0,189	0,23	0,28
HCO_3	-	-	3,9	9,6
Alcalinité en $CaCO_3$	2,83	3,8	-	-
N. Ammonical	-	-	-	0,44
N. Organique	-	-	-	0,33
	en kg/m³ d'ordures		en tonnes pour 1200 m³ d'ordures	

L'atténuation la plus prononcée fut constatée dans les endroits où les mouvements verticaux s'effectuaient par infiltration inter-granulaire, la moins prononcée dans les lieux où prédomine l'écoulement par les fissures, confirmant ainsi l'importance du choix du site.

4. Pollution par les hydrocarbures

Les hydrocarbures, composés organiques sont constitués essentiellement de pétrole, de bitume, de gaz naturels, et certains dérivés du charbon. Parmi leurs propriétés physiques, on peut citer :

- Une masse volumique, inférieure à celle de l'eau, fait qu'ils flottent en surface ;

- une viscosité plus importante pour les huiles que pour les essences (BUSSE J.F) qui peuvent s'infiltrer jusqu'à 10 fois plus vite que l'eau (BABOT. Y, 1969 *)
- une solubilité dans l'eau, qui peut entraîner une pollution importante. Quelques valeurs de solubilité d'après BABOT Y.,1972 : benzène 800mg/l, essence 100 à 200mg/l, fuel 20mg/l, huiles lourdes 5mg/l.

De plus les hydrocarbures donnent à l'eau un goût et une odeur désagréables.

Quelques seuils de détection de l'odeur d'après BUSSE, 1980 : 0,00005 mg/l pour l'essence, 0,0005 mg/l pour le fuel diesel, 0,22 à 0,55 mg/l pour le mazout, 0,5 mg/l pour l'huile de boîte de vitesse, 1 mg/l pour l'huile de moteur, 2 mg/l pour le benzène, 0,002 mg/l pour les chlorophénols (produits de transformation des phénols après chloration).

Les principales sources de pollution sont :

- le stockage industriel superficiel ou souterrain, présentant une mauvaise étanchéité vis-à-vis du sol.
- transports : fuite par oléoducs, par camion-citerne ou par wagon-réservoir, renversements par suite d'accidents.
- les stations services : débordements, dépotage, distribution, mauvaise étanchéité des réservoirs et rejets des huiles usées lors des vidanges.
- les pollutions par les phénols sont occasionnées par les industries des matières plastiques et de colorants.

4.1. Propagation des hydrocarbures

- dans les couches perméables, l'infiltration est verticale
- dans les couches moins perméables, c'est l'extension horzontale qui prédomine (BARTE et ale,1967*)

L'infiltration de la pluie sur une zone imprégnée d'hydrocarbures peut chasser une partie de ceux-ci, en raison de la plus grande absorption de l'eau par le terrain.

Des observations faites sur les infiltrations accidentelles dans la nappe montrent que l'essence persiste10 à 15 ans et les huiles plus de 20 ans (SCHWILLEF, 1966*) ce qui revient à dire que dans le cas de pollution chronique, la présence d'hydrocarbures deviendra permanente.

4.2. La toxicité

L'O.M.S. a fixé la teneur maximale admissible à 0,0002 mg/l. Certains hydrocarbures sont cancérigènes (3-4 Benzopyrène). Avaler des hydrocarbures avec de la nourriture n'est pas nocif, mais ils le deviennent s'ils sont mélangés en émulsion avec des détergents (HEUSGHEL C. 1966*). Les phénols sont toxiques pour les poissons à partir de 1 à 5 mg/l. Finalement, la seule norme valable pour les hydrocarbures est qu'ils ne donnent à l'eau ni goût, ni odeur (BUSSE J.F).

IV CONCLUSION

Nous venons de passer en revue, les différentes sources de pollution potentielles auxquelles on peut s'attendre sur le périmètre du bassin versant, ainsi que les modifications pouvant être occasionnées aux eaux souterraines et de surface, et par la même leur impact sur la santé.

Si les résultats demeurent dans leur ensemble incomplets, nous pouvons néanmoins tirer un certain nombre de conclusions.

- les normes de rejet urbain avec un rapport DCO/DBO5<2,5 ne sont pas respectées dans la majorité des cas, en l'absence de tout traitement avant rejet.
- l'influence des méthodes d'agriculture sur la composition chimique des eaux souterraines et l'importance de l'accumulation des nitrates dans les terres cultivées et dans les eaux souterraines, impliquent une sérieuse menace pour les collectivités agricoles qui dépendent surtout des puits individuels.

Les analyses chimiques effectuées sur les différents oueds montrent la présence de métaux lourds dans les eaux, dans des proportions parfois importantes (11,4 mg/l de chrome IV dans un rejet de tannerie).

Les cartes (fig. 72,73,74) représentant la distribution spatiale des éléments nutritifs comportant entres elles certaines analogies :

- les plus fortes concentrations se situent vers l'aval de la plaine et aux environs des centres urbains, mais sont également dues aux rejets d'industries agro-alimentaires : sur l'oued Djer au rejet de l'O.N.A.B. d'Attatba, sur l'oued Bou-Khoucha au rejet de la S.N.E.MA de Mouzaïa, sur l'oued Bouyakeb au rejet de Boufarik.
- L'oued Chiffa qui traverse la plaine, hors des centres urbains et industriels n'est pas affecté par les rejets.

Des valeurs de 0,2 à 0,4 ppm de Cd et de 0,1 à 0,4 ppm de mercure, éléments très toxiques retrouvés dans les organes des poissons, prélevés au niveau de l'embouchure, indiquent un réel danger d'empoisonnement.

La présence de nitrates, de phosphates et d'ammoniac nous laisse craindre un début d'eutrophisation pendant la période d'étiage au niveau de l'embouchure.

En comparant les valeurs obtenues par le dosage des éléments métalliques (Fe, Zn, Cu) et les nitrates dans les eaux de nappe et dans les eaux superficielles, on peut tirer les enseignements suivants :

Le dosage du Fer dans les eaux de nappe n'a pas une grande signification, sa présence pouvant être occasionnée par une oxydation des tubages de forages; cependant dans les eaux fluviales, la concentration varie de 0,2 à 138 mg/l et est de 5,7 g/kg dans le sédiment.

La valeur du Zinc varie de 0 à 0,8 mg/l dans les eaux fluviales et est de 0,1mg/l dans les eaux de nappe. La concentration du Cuivre varie de 0 à 0,5 mg/l dans les eaux fluviales alors qu'elle est de 0,02 mg/l dans les eaux de nappe.

Le dosage des nitrates a révélé des valeurs variant de 0 à 88 mg/l dans les eaux d'oueds, alors qu'elles sont de 30 à 50 mg/l, voire plus dans les eaux souterraines. On peut en déduire que les rivières ne favorisent pas la migration des polluants vers les eaux de nappe.

La présence de nitrates dans les eaux souterraines à des proportions supérieures à celles des eaux superficielles, semble indiquer que cet élément passe dans la nappe par lessivage des terres agricoles.

PROBLEMATIQUE DES POLLUTIONS AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT DU MAZAFRAN.

I. INTRODUCTION

Bréf historique

La présence d'une station piscicole à l'embouchure du Mazafran, a permis d'attirer l'attention sur le problème de la pollution.
Le 16 Septembre 1978 à 13 h, il a été constaté la mort d'un grand nombre de poissons (carpes, barbeaux, mulets). Les jours qui suivirent, la mortalité s'accentua et c'est par milliers qu'on pouvait voir,dans les eaux de l'Oued, des poissons morts.
Le 19 Septembre 1981 à 9h, des poissons sont découverts morts, rejetés sur les berges de l'oued, on pouvait dénombrer 100 carpes de 4 à 6 kg, 120 anguilles, 50 aloses et des barbeaux en masse.
Le 20 Septembre 1983 à 10 h, très forte mortalité de barbeaux, aloses, carpes et anguilles pourtant très résistantes.
Début Octobre 1985, les riverains ont découverts des poissons morts flottant près de l'embouchure, des prélèvements ont aussitôt été efféctués, à des fins d'analyses.
Actuellement l'élevage de poissons se fait dans des étangs, alimentés par des forages.
On remarquera que la mortalité des poissons a lieu toujours aux mêmes périodes de l'année, Septembre-Octobre, c'est à dire en basses eaux.

En vue d'établir un bilan sanitaire de la Wilaya de Blida, dont la population totale est de l'ordre de 500 000 ha.; la sous-direction des forêts (S.D.F.E.) établit deux questionnaires sur la pollution, l'un destiné aux industries, l'autre aux domaines agricoles. Par ailleurs, nous avons adressé avec l'aide de la S.D.F.E. un questionnaire aux différentes communes de la région.
A quelques exceptions, les réponses reçues demeurent imprécises. Ceci dénote une non prise de conscience des responsables vis-à-vis du problème de la pollution des eaux. Souvent le chef d'entreprise où le gérant a du mal à admettre que son activité est polluante, entravant ainsi l'établissement du bilan que nous tentons de faire.

Néanmoins, les résultats que nous présentons ici sont assez significatifs de "l'état de santé" de notre région.

1. Les réseaux d'assainissement

En général les chefs-lieu de communes disposent de réseaux d'assainissement, mais les localités aux alentours en sont dépourvues.

Mis à part les communes de Blida, Tipaza et Koléa qui ont des projets de construction de stations d'épuration, il n'existe aucune station sur le territoire de la plaine.

Les nombreuses agglomerations éparses sur la plaine, éliminent leurs eaux usées dans des fosses collectives ou individuelles, souvent à proximité de puits domestiques.

Sources de pollution très importantes, les fosses septiques sont difficiles à recenser et à contrôler.

A Mouzaïa, ville de 26 000 habitants, la rue Djédaïmi utilise une fosse séptique; dans cette même ville l'A.P.C., nous signale un passif de plusieurs cas de méningite et de typhoïde dont la cause est due paraît-il à la détérioration du système d'A.E.P., contaminé par des eaux usées.

La commune de Ben Khellil, dans la daïra de Boufarik, ne dispose pas d'égouts; le dispositif éxistant déverse dans des oueds traversant des parcelles de terres agricoles, dont les responsables nous signalent d'ailleurs une influence néfaste sur la production agricole. Ce cas n'est pas isolé car la plupart des oueds, qui en période d'étiage se transforment en égouts à ciel ouvert , traversent des terres agricoles. En cette période de déficit agricole, les pompages intensifs engendrent localement des axes d'écoulements dans le sens oued-nappe.

Le déversement des égouts se fait au niveau de l'oued le plus proche ou dans des canaux d'assèchement.

Les analyses bactériologiques (voir tableau , Page 209), faites par la sous-direction de la santé de Blida, montrent un pourcentage d'échantillons de bonne qualité, très variable mais qui reste dans l'ensemble assez fort. Les échantillons provenant du secteur sanitaire de Boufarik n'accusent que 12 % de bonne qualité; ceci est probablement dû à une défaillance du réseau urbain, entraînant la contamination des eaux de distribution. Il faut aussi signaler que beaucoup de communes dans la région de Boufarik ne possèdent pas de canaux d'assainissement. Seulement 10 échantillons proviennent du secteur de Blida

alors que le nombre d'habitants appelle un contrôle plus rigoureux; sur les 10 échantillons, 5 se sont révélés de mauvaise qualité.

2. Les décharges d'ordures ménagères

Quatre décharges contrôlées ont été recensées, la plus importante étant celle de Blida, sur la route de la Chiffa, d'une superficie de 5 ha, qui reçoit journalièrement 70 tonnes d'ordures ménagères et de déchets industriels; d'autres décharges sont situées à Boufarik, Bouinan et Bou-Roumi. Les autres agglomérations possèdent des décharges non contrôlées, situées n'importe où, jusque que sur les berges des oueds.

3. Les stockages de produits liquides et liquéfiés inflammables

Les gaz, les hydrocarbures liquides et liquéfiés, les liquides inflammables, les produits chimiques à destination industrielle, représentent l'essentiel de ces produits. Ces stockages se limitent aux stations-service; si les fuites souterraines sont difficiles à localiser, il est aisé de constater que les rejets des déchets des vidanges sont loin d'être négligeables.

4. Les cimetières

Chaque ville, village, agglomération, possède son propre cimetière, dont le site est choisi pour des raisons de commodités, c'est-à-dire le plus proche possible, sans tenir compte de la nature du terrain, exposant ainsi la nappe sous-jacente à un danger de contamination virale ou bactérienne.

5. Les domaines agricoles

99 unités agricoles ont été recensées sur le territoire de notre étude.

L'irrigation se fait par des forages, mais également par prise d'eau d'oued, et on note pour certaines unités une diminution de la production agricole due à une dégradation de la qualité de l'eau prélevée.

23 produits phytosanitaires différents sont utilisés. Les consommations des produits phytosanitaires, au niveau du bassin versant, ont été estimées à 600 tonnes pour la campagne 83/84. Sur le territoire de la wilaya de Blida,

29,3 tonnes et 9843 litres d'insecticides et fongicides périmés avant 1984 sont stockés au niveau des domaines autogérés dans l'attente d'une solution. Chaque domaine déverse entre 50 et 100 l/an d'huile usagée, dans des fosses ou directement dans l'oued le plus proche, suite aux activités d'entretien des véhicules agricoles.

6. Les unités industrielles

Les principaux renseignements tirés de l'enquête sont reportés sur la figure 75 .La première remarque que l'on peut faire est l'essor industriel qu'a connu la région à partir de 1968. En effet beaucoup de petites industries sont nées à cette époque et la plus grosse part revient à l'industrie du textile. Les rejets sont constitués d'eau usée et de déchets solides et se font en général dans les cours d'eau, parfois dans le réseau urbain, qui de toute façon rejoint les oueds.

Deux cas de pollution atmosphérique méritent d'être signalés :

- Pollution par les fortes odeurs dues à la fabrique du tabac à macher, au niveau de Blida ;
- Pollution par les poussières occasionnées par des briquetteries situées dans la zone Blida-Boufarik.

		Nombre.							%Bonnes eaux										% Contaminées.									
		J	F	M	A	M	Jt	A	S	J	F	M	A	M	Jt	A	S	%T	J	F	M	A	M	Jt	A	S	%T
APC	BLIDA	54	32	68	37	24	34	81	8	78	59	78	70	92	79	68	50	70	22	41	22	30	8	11	31	50	30
SN	SEMPAC	40	54	57	16	16			35	95	87	91	94	100			83	90	5	13	9	6	0			17	10
SS	BLIDA	1			1	5	2		1				0	80	0		100	50				0	20	0		0	
SS	HADJOUT		12	8	8	5	3				67	88	63	80	0			67		33	12	37	20	0			33
SS	BOUFARIK	14	27	4				2	10	14	4	25				0	30	12	86	96	75				0	70	88
SS	EL AFFROUN	12	11	11	9					92	27	73	45					60	8	73	27	55					40

RESULTATS STATISTIQUES DES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES EFFECTUEES PAR LA SOUS-DIRECTION DE LA SANTE DE BLIDA .

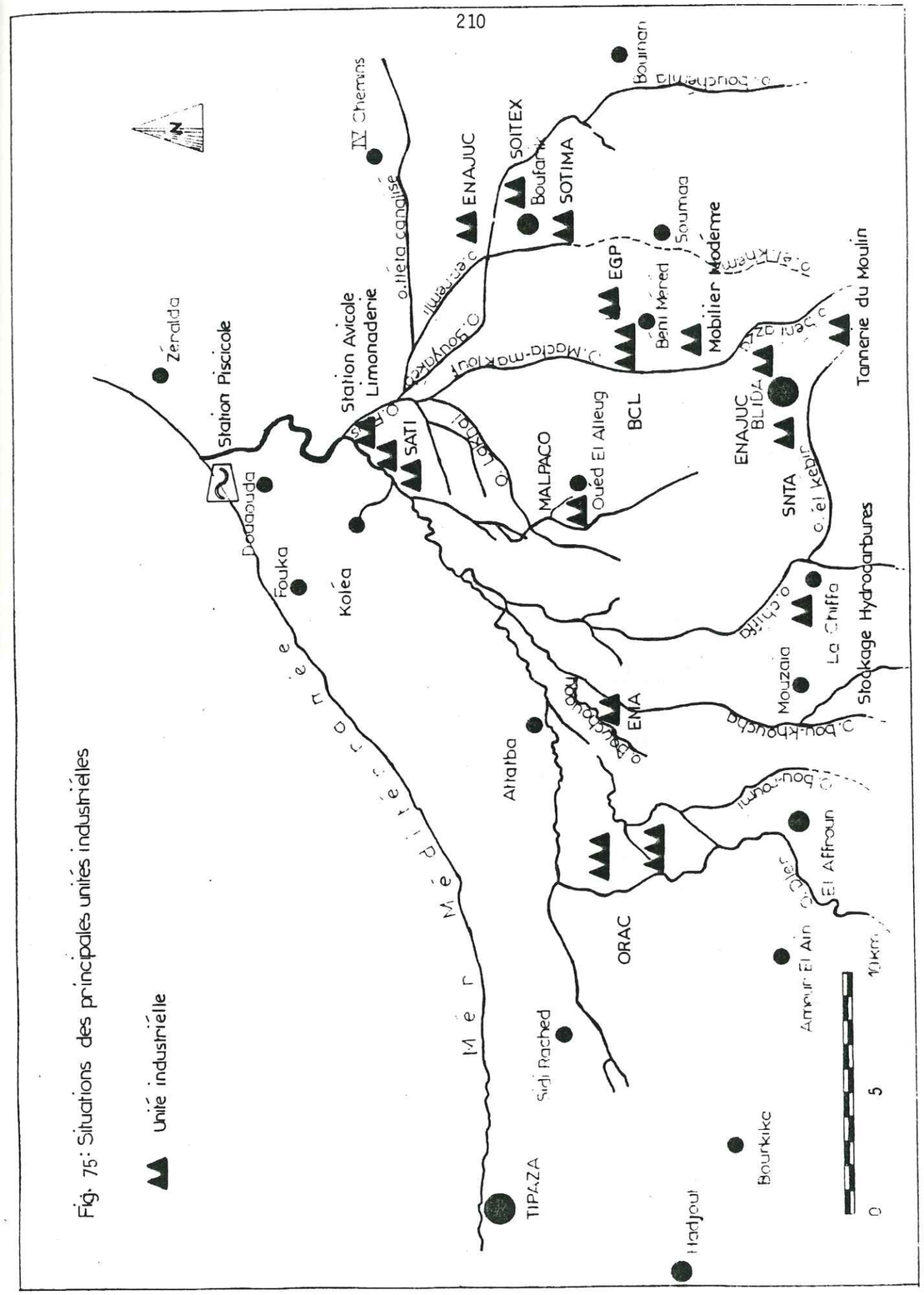


Fig. 75: Situations des principales unités industrielles

Unité industrielle

II. LEGISLATION EN VIGUEUR : LE CODE DES EAUX

En Algérie, la mise en oeuvre d'une politique nationale de l'eau, s'est faite sous la forme d'un code des eaux adopté le 16.07.1983 par l'A.P.N.[1] Il nous a semblé utile, d'en présenter quelques articles ou extraits que nous jugeons intéressants.
Le code des eaux a pour but d'assurer la protection des eaux contre la pollution, le gaspillage et la surrexploitation ; prévenir les effets nuisibles, Art. 1. Les usagers sont tenus de veiller à la qualité de l'eau, Art. 16, la concession du domaine public hydraulique est précaire et révocable de plein droit; elle est retirée notamment dans le cas de non respect par les usagers des obligations qui résultent des dispositions de la présente loi, Art. 22.

Alimentation en eau potable

Toute personne physique ou morale chargée de fournir de l'eau de consommation est tenue d'assurer que cette eau est potable, Art. 51. Les conditions et normes de potabilité sont fixées par voie réglementaire, Art. 52. Le contrôle bactériologique, physique et chimique de l'eau potable distribuée sera assuré au moyen d'analyses périodiques effectuées par des laboratoires agréés par l'administration, Art. 54.

Eaux d'irrigation

Tout irrigant est tenu de veiller à ce que les eaux utilisées ne constituent pas une source de propagation de maladies, notamment en évitant la stagnation de l'eau, Art. 62; l'utilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation est interdite, Art. 63.

Eaux industrielles

Les industries sont tenues de procéder au recyclage des eaux utilisées, chaque fois que ce recyclage est techniquement et économiquement réalisable, Art. 74.

Les eaux usées

L'assaisinissement des agglomérations vise à assurer l'évacuation rapide et sans stagnation des eaux usées domestiques et industrielles(...) Art. 84. Dans les zones à habitat dispersé, l'évacuation des eaux usées doit

(1) Assemblée Populaire Nationale.

se faire au moyen d'installations d'évacuation individuelles agréées par l'administration, Art. 86. Il est interdit d'évacuer dans les fonds du domaine public hydraulique, des éffluents urbains et industriels contenant des substances solides, liquides ou gazeuses, des agents pathogènes, en quantité et concentration de toxicité susceptibles de porter atteinte à la santé publique, à la faune et à la flore ou nuire au développement économique, Art.99. Tout établissement et notamment toute unité industrielle dont les rejets sont reconnus polluants doit prévoir des installations d'épuration, Art. 102 ; lorsque la pollution des eaux met en danger la santé publique ou cause préjudice à l'économie nationale, l'administration décide de l'arrêt du fonctionnement de l'unité qui est responsable jusqu'à la disparition de cette pollution.

III. CONCLUSION

Cet extrait nous appelle à faire quelques remarques : il apparaît dans l'art. 52 que les normes de potabilité sont fixées par voie réglementaire, or jusqu'à présent les normes utilisées sont celles préconisées par l'O.M.S.; il n'existe pas une véritable norme nationale où plutôt de normes nationales, car on ne peut appliquer les mêmes restrictions pour une région où la ressource eau est rare et une région où elle est abondante, il est évident que les normes seront moins sévères pour le premier cas. L'établissement des normes nécessitera donc au préalable une connaissance des conditions hydrochimiques à travers le territoire national.

D'après l'art. 75, les industries sont tenues de procéder au recyclage des eaux utilisées, si ce recyclage est techniquement et économiquement réalisable; or les industriels grâce à cet article, peuvent éventuellement évoquer des raisons économiques pour éviter de traiter leurs eaux avant rejet; par contre l'art. 102, ne prête à aucune confusion.

Le premier constat que l'on peut faire, est que malgré l'existence de ce code, on assiste a beaucoup d'infractions à la législation et à chaque fois l'argument invoqué est toujours économique; c'est donc au nom de la production ,que des industries rejettent leurs effluents dans des oueds,

provoquant une eutrophisation des eaux fluviales, que certains domaines agricoles irriguent leurs champs avec de l'eau prélevée directement du Mazafran, pendant la saison estivale, à l'époque où les eaux ne subissent aucune dilution, exposant ainsi les consommateurs à un danger réel.
Mais pourquoi cet état de chose ? Certes il y a un manque de moyens de lutte contre la pollution, mais il y a également une méconnaissance du problème. C'est donc aussi un problème d'information, et le reproche que l'on peut faire au code des eaux, c'est de n'être pas assez vulgarisé au niveau des différents utilisateurs; c'est le rôle que doivent jouer les masse-médias en général, et en particulier la télévision qui demeure le meilleur moyen de vulgarisation, mais aussi la presse écrite qui doit être objective et non pas tirer des conclusions hâtives ; nous reproduisons en page suivante un article paru dans la presse du 8.10.85 où il est dit que "la pollution du bassin versant du Mazafran à dépassé la côte d'alerte", alors qu'en réalité, on n'en est pas là pour l'instant.

Les camions-laboratoires de l'A.N.P.E. ne fonctionnent qu'à 20 % de leurs capacités, par manque de produits chimiques, puisque les seules analyses réalisés actuellement se limitent aux nitrates, D.B 05, turbidité, M.E.S., Oxygène dissous et pH; c'est ce genre d'abérration que la presse doit dénoncer et non pas s'étaler sur un plan anti-pollution qui ne consiste en fait qu'à intervenir d'une manière ponctuelle.

EL MOUDJAHID du 8/10/1985. ENVIRONNEMENT

Un plan anti-pollution pour Tipaza

Comme les marins du car-ferry Tipaza qui balancent dans la mer des déchets de toutes natures avec l'insouciance des enfants gâtés, nombreuses sont les usines dans la wilaya au même nom qui sacrifient le futur au présent en polluant à qui mieux mieux l'environnement.

Pour mettre fin à la pollution du bassin versant de l'oued Mazafran, qui a dépassé la côte d'alerte et réduire les atteintes au patrimoine naturel, la wilaya de Tipaza a élaboré un plan en collaboration avec celle de Blida.

L'application du plan basé sur les travaux d'une commission conjointe est suivie de très près par les autorités de la wilaya, soucieuses de préserver la qualité de la vie des citoyens et, bien sûr, les richesses de cette région agricole et touristique.

Les premières mesures concernent évidemment l'installation ou la mise en fonctionnement, lorsqu'elles existent, des stations d'épuration. Ces stations, dont l'implantation est déterminée par la carte élaborée par les directions de l'hydraulique, de l'environnement et des forêts, les deux wilayas permettront d'éviter le rejet dans les affluents ou le Mazafran même, des eaux usées des villes ou des usines comme cela se fait allègrement actuellement.

C'est, évidemment, la rapidité dans la mise en place de ces équipements qui sont toutefois coûteux et encore mal maîtrisés qui stoppera la pollution des cours d'eau et du littoral. En attendant, des solutions provisoires sont préconisées. Il s'agit le plus souvent du rejet en mer des eaux usées.

Parmi les mesures générales arrêtées par le plan, il est également prévu d'équiper toutes les sections des unités industrielles de débit-mètre, afin d'éviter le gaspillage des eaux et d'étudier les possibilités de leur recyclage immédiat, au sein même des unités.

Enfin, il s'agira d'éliminer progressivement de l'ensemble de la wilaya les transformateurs électriques à huile de pyralène, très toxique (par les émanations qu'ils dégagent) pour leur substituer des transformateurs à huile minérale. Des instructions seront données aux unités de maintenance pour ne plus réparer les transformateurs à huile de pyralène, interdits ailleurs, mais qui continuent à être importés par les industriels par le biais des A.G.I. (autorisation globale d'importation).

La pollution, c'est cependant aussi l'insouciance des citoyens qui, par manque d'esprit civique, transforment les plus beaux sites en poubelles naturelles. Il faut avoir vu les sous-bois aux alentours du tombeau des rois numides, désigné comme étant celui de la chrétienne, sur les hauteurs de Sidi-Rached, pour comprendre le mal.

Des mesures de simple hygiène, il est nécessaire des rappels à l'ordre fermes, peuvent y mettre fin. Cela relève, bien entendu, de la responsabilité des A.P.C. concernés.

Cette opération permettra de limiter l'abus d'utilisation de ces produits et d'éliminer ceux pouvant se révéler dangereux.

Toujours dans le secteur agricole, des mesures ont été prises pour utiliser dorénavant, pour la plasticulture, un plastique à faible rotation. Annuellement, la wilaya de Tipaza consomme 36.000 quintaux de plastique pour les serres. Cette quantité est brûlée, chaque année, après utilisation par les agriculteurs. En plus des émanations de fumées nocives, cancérieuses même, les débris de plastique jonchent le sol et polluent l'environnement.

La première mesure prise est d'utiliser du plastique pouvant durer trois ans et la seconde concerne sa récupération grâce à une station mobile, et sa mise en sachets. Avantages de cette opération : récupérer 80 pour cent du coût du plastique utilisé et surtout préserver la santé de la population et du milieu.

Dans les environs des villes et des villages, il s'agira aussi de revoir les sites des décharges dites « contrôlées » d'assurer leur organisation, d'une manière moins folklorique, et d'éliminer du même coup, les décharges sauvages.

Pour compléter les études entreprises, un questionnaire auquel seules deux ou trois unités industrielles n'ont pas répondu, a été élaboré. Dès l'entrée en vigueur du plan d'action anti-pollution, les camions-laboratoires de l'agence nationale pour la protection de l'environnement procéderont aux analyses périodiques des affluents industriels et urbains.

Les huiles usées dont la récupération et la revalorisation est à l'ordre du jour et qui contribuent grandement à la pollution sont également l'objet d'une attention particulière. Il a été décidé, au cours d'une récente réunion tenue à Tipaza, de faire justement l'inventaire des stations-service et d'évaluer leurs rejets en huiles usées dont une partie sera mise à la disposition du secteur du bâtiment qui l'utilise pour les coffrages et l'autre partie régénérée par les soins de la NAFTAL, pour être réintroduite sur le marché comme cela se fait à l'étranger. Il reste, évidemment, à définir les voies et les moyens pour assurer la récupération des huiles et tout faire pour qu'une telle opération devienne traditionnelle.

Il s'agira aussi, d'un autre côté, d'évaluer les stocks des produits phytosanitaires périmés, détenus par les domaines agricoles, et surtout de préciser les modes d'utilisation de ces produits pouvant être à la source de grands dommages causés à l'environnement.

CONCLUSIONS GENERALES.

L'étude que nous avons menée, nous a permis d'apporter notre contribution à la connaissance des conditions hydrogéologiques au niveau du bassin versant du Mazafran. Par ailleurs ce travail, nous a également permis de nous initier aux problèmes de l'environnement dans notre région. Nous présentons ici les principaux résultats.

Le recouvrement Quaternaire est formé de graviers avec des intercalations de lentilles argileuses, d'importances et de répartitions inégales. Le toit du substratum imperméable est formé de marnes bleues Plaisanciennes, de marnes Miocènes ou de marno-calcaires Crétacés. Le bassin post-plaisancien se présente comme un synclinal à fond relativement plat, et aux flancs très relevés. Au Nord, les cotes atteignent -400 à -500 m, ce qui confère à la plaine une allure de gouttiére le long de la bordure Nord.

Du Nord au Sud, le substratum change de nature : Plaisancien puis Miocène puis Crétacé. Plaisancien sur la grande majorité de la surface, formé de marnes bleues. Le Miocène forme une bande assez étroite le long de la flexure Sud et s'étendrait d'avantage sur le cône de Blida en direction de Boufarik. Le Crétacé est limité aux affleurements du Sud, il forme une avancée vers le N-E entre Mouzaia et Beni-Mered. On distingue deux ensembles de réservoirs :

- Le réservoir Astien, gréseux ou marno-calcaire ;
- Le réservoir alluvionnaire du Quaternaire, constitué par la superposition des alluvions du Quaternaire moyen et récent.

Le réservoir Astien se limite a une gouttière synclinale au Nord du bassin, où l'épaisseur peut atteindre 200 m, diminuant vers le Sud et passant à un faciès de plus en plus argileux.

L'analyse chimique y a révelé une eau très fortement minéralisée (R.S, 3127 mg/l.), avec un faciès bicarbonaté sodique; cette eau est accompagnée d'un gaz, qui serait vraissemblablement du sulfure d'hydrogène. Elle est utilisée par les populations locales pour traiter certaines maladies de la peau. Les limons de la basse plaine, ont une mauvaise perméabilité, qui ne permet pas de les considérer comme un aquifère.
Les marnes jaunes constituent les alluvions anciennes, qui contiennent des passées graveleuses lenticulaires, localement aquifères et de faible importance . Une sédimentation très hétérogène, des niveaux de sables et graviers répartis souvent irrégulièrement dans un ensemble très argileux, donnent une morphologie de cañons et de hauts-fonds marneux.

Le long du flanc sud du Sahel, le relèvement de l'horizon Astien, permet un contact avec le réservoir alluvial. Au Sud, les relations entre l'aquifère alluvial et l'Atlas sont localisées au piedmont.

Le bassin du Mazafran, reçoit annuellement une tranche d'eau comprise entre 600 et 900 mm. Les précipitations représentent un volume moyen de 1,4 milliard de m^3, soit une lame d'eau moyenne de 740 mm. L'évapotranspiration réelle représente 73 à 83 % des précipitations en plaine et seulement 42 % sur l'Atlas.

Le calcul du bilan hydrique montre qu'il y a déficit agricole à partir du mois de Mai, donc au début de la période d'irrigation, qui devient nécessaire en Juin-Juillet et indispensable pendant Août-Septembre, période pendant laquelle la réserve est épuisée. Le stock se reconstitue en Octobre-Novembre.

Prenant naissance dans l'Atlas, les rivières traversent perpendiculairement la plaine. Les débits moyens mensuels des oueds varient de 1 à 10 m^3/s; leurs régimes sont très semblables et sont le reflet

des courbes pluvimétriques avec un maximum en hiver et au début du printemps et un minimum d'été très accusé. De Décembre à Avril, les oueds écoulent en moyenne 85 % de leurs eaux. En période d'étiage, de Juin à Septembre, La-Chiffa et le Mazafran écoulent 4 % de leurs eaux, alors que le Bou-Roumi et le Djer n'en écoulent que 2 %, ce qui fait que pendant les quatre mois de l'été, les rivières ne coulent pratiquement plus, ce qui les rend d'autant plus vulnérables à la pollution.

Annuellement 330 millions de m3 traversent la cluse du Mazafran, pour aller se jeter en mer. Le calcul du bilan hydrologique fait apparaître un ruissellement de 170 mm représentant 23 % des précipitations et une infiltration de 10 mm soit 1,4 % des précipitations; l'évaporation représente quant à elle 76 %.

De l'étude hydroclimatique, il ressort que le bassin du Mazafran possède de grandes potentialités hydriques, dont la grande majorité reste inexploitée . Le barrage de Sidi-Brahim, sur l'Oued Bou-Roumi, dont l'entrée en service est prévue dans un proche avenir, pourra récupérer 120 millions de m^3 ; l'amenagement de petites retenues le long des oueds et surtout la recharge artificielle contriburont à la recharge des eaux souterraines.

La première constatation que l'on peut faire, concernant le réseau piézométrique, est sa non rationalisation; la plupart des piézomètres sont hors d'usage.

L'écoulement général des eaux dans la nappe des alluvions se fait du Sud vers le Nord avec un caractère convergent vers l'aval de la plaine. Le long de la bordure Sud du Sahel, on note une ligne de flux nul.

Près de l'Atlas, les niveaux aquifères sont profonds, l'isopièze 120m passe au Nord de Blida. Plus au Nord, l'existence de lentilles argileuses induit un fractionnement de la nappe; les filets de courants donnent des circulations localement divergentes en contournant ces lentilles argileuses. A partir de l'isopiéze 40m, l'écoulement converge vers le Mazafran. Dans la partie Sud, le gradient hydraulique (i) est en général fort (1,2 à $1,7.10^{-2}$); les isopièzes sont régulières attestant d'une bonne circulation des eaux. Vers l'Ouest, la présence de terrains moins grossiers aux abords des oueds Djer, Bou-Roumi et Chiffa, induit des circulations lentes.

Dans la partie Nord, les filets de courant convérgent vers la zone des champs de captages MZI. et MZII.; "i" varie de 0,4 à $1,4.10^{-2}$. Les gradients varient peu pour les différentes périodes de mesures; il n'y a donc pas de variations de charges, d'où peu de différences de débits dans la nappe.

Les fluctuations de la nappe varient de 1 à 5m : dans la partie Est et Nord de la plaine, elles sont de 1 à 3m, tandis que dans la partie Ouest elles sont de 2 à 5m.

Les essais de pompages nous permettent de distinguer trois zones de transmissivités.

- La zone I, de faibles transmissivités, entre 0,6 et 6.10^{-3} m^2 /s ;
- La zone II, comprenant le champ Blida I, ou "T" va de 4 à 14.10^{-3}. m^2 /s, et la région comprise entre Attatba et El-Affroun avec une transmissivité moyenne de $20.10^{-3}m^2$ /s ;
- La zone III, comprenant essentiellement le champ MZ II, avec des transmissivités allant de 4 à$46.10^{-3}m^2$ /s.

D'une manière générale les transmissivités augmentent du Sud vers le Nord. Le coefficient d'emmagasinement, "S", est de 0,3 à 5 % dans les deux premières zones, alors qu'il varie de 0,5 à 2 % dans la zone III ; "S" diminue au niveau du "MZ II", du fait de la présence de terrains limoneux.

Les perméabilités qui sont de l'ordre de 0,3 à 8.10^{-4} m/s sont moyennes à bonnes pour un réservoir alluvial.

Les analyses physico-chimiques nous ont servi à définir une norme hydrochimique de qualité moyenne. L'eau la plus probable que l'on puisse rencontrer dans le réservoir, aura un faciès nettement Bicarbonaté Calcique, faiblement Magnésien . Toutefois à l'Ouest du bassin, dans la région d'El-Affroun, les eaux ont un faciès Sulfaté Calcique avec des concentrations dépassant 30 mé/1, alors qu'elles sont comprises entre 12 et 19 mé/1 dans le reste de la plaine. Le décalage des courbes de distribution gausso-logarithmique pour les ions Na^+ et Cl^- , montre qu'il s'agit probablement de deux populations différentes, donc d'une contamination par une eau dont la teneur en éléments Na^+ et Cl^- est différente.

Plus de 200 millions de m^3 d'eau pénétrent annuellement dans la plaine par l'intermédiaire des trois oueds principaux : Djèr à la station d'El-Affroun (54 millions), Bou-Roumi à la station du Pont (32 millions) et Chiffa à la station de Gorges (117 millions). Sauf pour l'oued Chiffa où le faciès est Bicarbonaté Calcique avec des eaux peu minéralisées (14 mé/1) car circulant sur des terrains schisteux, les autres oueds présentent des eaux à faciès plutôt Sulfaté Calcique et Magnésien. L'analogie des caractères chimiques entre les eaux alluviales dans la région d'El-Affroun et ceux des eaux fluviales de Djèr et du Bou-Roumi impliquerait une alimentation et un mélange dans cette région de la nappe. Les valeurs du S.A.R. (Sodium Absorption Ratio) sont très faibles, de 0,34 à 2,39; les eaux utilisées pour l'irrigation ne présentent aucun danger d'alcalinisation des sols.

La majeure partie des 34 sources recensées sur le flanc Nord de l'Atlas, sont alimentées par les schistes fissurés du Crétacé inférieur. Le faciès dominant est Bicarbonaté-Magnésien, or ce faciès ne se retrouve pas dans les eaux alluviales, ceci est probablement dû, soit aux faibles débits des sources, ne représentant qu'un apport d'eau négligeable pour pouvoir influer sur le caractère chimique des eaux de nappe, soit que l'indice d'échange de bases des eaux de l'Atlas qui est positif, s'inverse à l'entrée de la plaine.

A quelques exceptions près, l'altération du milieu aquatique et des eaux souterraines enregistrée n'est pas suffisante pour entraîner une dégradation importante de la qualité générale du milieu, on note toutefois de sérieux indices de pollution :

La valeur du rapport DCO/DBO_5 inférieure à 2,5, dans la majorité des cas, indique que les normes de rejets urbains ne sont pas respectées.

Les plus fortes concentrations en éléments nutritifs se situent vers l'aval de la plaine, aux environs des centres urbains et des rejets d'industries agro-alimentaires. Une eutrophisation des eaux de l'ouèd Mazafran se produit pendant la période d'étiage. La présence d'éléments toxiques dans les organes de poissons, notamment du Cadmium et du Mercure indique un danger d'empoisonnement.

Des concentrations importantes de nitrates, 0 à 88 mg/l avec une moyenne de 21 mg/l, au niveau de la station de jaugeage de Attatba, donc une augmentation sensible pour les échantillons prélevés franchement sur la plaine, en période de pluie, indiquent qu'il pourrait s'agir d'un phénomène de lessivage des terres agricoles. La répartition des nitrates au niveau des eaux souterraines montre également des proportions allant de 30 à 50 mg/l, voire plus notamment le long de la bordure Sud du Sahel; ceci peut indiquer un processus de lessivage dans le sol, où l'ion NO_3^- s'enfonce progressivement pour atteindre les nappes phréatiques. Ainsi la présence de nitrates dans les eaux, à des concentrations très variables d'une région à l'autre, impliquerait probablement l'influence de l'utilisation agricole des engrais azotés; ceci restera à préciser

avec des analyses de l'isotope de l'azote (N^{14}), qui sert dans ce cas à définir l'origine naturelle ou artificielle de l'azote.

Les analyses effectuées sur les prélèvements de 1984, 1985 et 1986 montrent la présence d'ions métalliques dans les eaux de surface et souterraines. Dans les eaux fluviales, des concentrations parfois importantes sont enregistrées aux droits de certains rejets spécifiques ; 8,4 mg/l de chrome au rejet de la BCL et 11,4 mg/l dans celui de la tannerie du moulin ; de 0 à 0,04 mg/l pour le cadmium ; de 0 à 0,8 mg/l pour le zinc, avec une valeur de 4,5 mg/l au rejet de Koléa ; de 0 à 0,5 mg/l pour le cuivre ; de 0 à 1,4 mg/l pour le manganèse ; de 0,2 à 8 mg/l pour le fer ; de 0,1 à 5 mg/l d'Aluminium ; le plomb est également présent à l'état de traces. Seuls le fer, le cuivre et le zinc ont été analysés dans les eaux souterraines. Ces analyses ont revélé parfois des concentrations très élevées en fer dans les eaux de forages D 17 (1,7 mg/l), situé à l'Ouest, F11 (3,2 mg/l) et F22 (4,4 mg/l) situés au niveau du champ MZI, alors que la moyenne est de 0,4 mg/l. La valeur moyenne du zinc est de 0,1 mg/l, on note cependant 0,82 mg/l au forage 65, situé à l'Ouest de la plaine et 0,73 mg/l au forage F22. Le cuivre varie dans de faibles proportions avec une moyenne de 0,02 mg/l, toutefois l'échantillon du F22 accuse une valeur de 0,74 mg/l.

En comparant les valeurs obtenues par le dosage des éléments métalliques (Fe, Zn, Cu) et les nitrates dans les eaux de nappe et dans les eaux superficielles, on peut en déduire que les rivières ne favorisent pas la migration des polluants vers les eaux de la nappe.

La présence des nitrates dans les eaux souterraines à des proportions supérieures à celles des eaux superficielles, semble indiquer que cet élément passe dans la nappe par lessivage des terres agricoles.

Nous avons tenté d'établir un bilan sanitaire de notre région ; les enquêtes menées avec le concours de la sous-direction des forêts de Blida, nous permettent de tirer les enseignements suivants:

Les petites agglomérations, généralement dépourvues de réseaux d'assainissement, éliminent leurs eaux usées dans des fosses collectives ou individuelles. Cette pratique existe parfois encore dans certains quartiers de petites villes. La plupart des communes déversent leurs égouts dans les ouèds sans traitement.

Seules les décharges de Blida, Boufarik, Bouinan et Bou-Roumi sont contrôlées; toutes les autres, situées à proximité des agglomérations sont situées n'importe ou, jusque sur les berges des oueds !.

Il existe au minimum une station-service dans chaque commune; les rejets de déchets de vidange se font dans la nature et se transforment en véritables mares d'huile sur les lits des ouèds. Les projets de récupération de ces huiles pour une revalorisation sont en cours.

Les unités agricoles, au nombre de 99, utilisent plus de 20 variétés de produits phytosanitaires, dont le Cuproso, composé de soufre et de cuivre qui a pour inconvénient de s'accumuler dans le sol et de provoquer à long terme une véritable stérilisation des sols, il serait donc nécessaire d'éxercer un contrôle rigoureux pour ce qui est de l'utilisation de ces produits.

Les rejets des unités industrielles, constitués d'eaux usées et de déchets solides, se font généralement dans les oueds, parfois dans le réseau urbain. Les analyses bactériologiques, faites par la sous-direction de la Santé de Blida montrent qu'il y a contamination des eaux de distribution, ce qui met en cause l'étanchéïté du réseau, d'ou la nécessité de mener une politique intense de renouvellement des conduites les plus anciennes.

Il est admis que les pays industrialisés possèdent les activités les plus polluantes; paradoxalement c'est les pays non industrialisés ou en voie de l'être qui sont menacés par la pollution à cause du manque de moyens de lutte appropriés, mais aussi à cause de la méconnaissance du problème ; à titre d'exemple, l'utilisation des pésticides ; "Les règles qui régissent l'emploi des pesticides dans le tiers-monde et dans les pays industrialisés ne sont pas les mêmes : les garde-fous mis en place pour protéger les utilisateurs et l'écosystème des pays développés ne se retrouvent plus dans le tiers-monde ; les pesticides les plus dangereux y sont librement écoulés, alors qu'ils sont interdits ou sévèrement réglementés dans les pays exportateurs (...)." M.L. Bouguerra.

L'adoption du code des eaux par l'Algérie, en 1983, est venu combler un grand vide en matière juridique, mais malgré cela, on assiste à beaucoup d'abus.

L'urbanisation de la plaine (le taux d'urbanisation de la Mitidja dépasse de 11 points celui du pays) et la démographie, sont autant de facteurs qui favorisent la dégradation de l'environnement.

Devant cet état de fait nous suggérons :

- Une large diffusion du code des eaux, de manière vulgarisée, afin de sensibiliser les citoyens qui agissent souvent par méconnaissance et non pas par manque d'esprit civique, car le paysan qui irrigue à partir de l'eau de l'ouèd ne sait pas forcement qu'il y a danger de contamination.

- Mettre les moyens nécessaires pour l'étude et la recherhce dans le domaine de la pollution, car c'est avant tout un problème de prévention, notamment la création de laboratoires régionaux et la mise en oeuvre d'analyses périodiques, mener des études concernant le comportement souterrain des polluants, afin de définir avec précision les zones vulnérables de la nappe, car en l'état actuel de notre étude, nous pouvons constater que les zones les plus vulnérables sont celles situées aux alentours des centres industriels, c'est-à-dire ceux de Blida, Beni-Mered, Boufarik et Attatba.

- La vocation première de la plaine demeurant malgré tout, une vocation agricole, il serait intéressant de se pencher sur l'influence culturale, ou l'impact de l'utilisation des produits phytosanitaires, au niveau, non seulement des eaux, mais également des produits issus directement ou indirectement de l'agriculture (légumes, lait, etc...).

- L'élaboration de normes nationales hydrochimiques, tenant compte des disparités régionales doit enfin être menée a bien rapidement.

Si au cours de cette étude, nous n'avons pu aboutir à tous les objectifs que nous nous sommes fixés au départ, nous espérons néanmoins attirer l'attention et surtout convaincre les pouvoirs publics de la réalité des problèmes de l'environnement, afin que désormais les moyens nécessaires soient mis en oeuvre pour pouvoir continuer ce travail et en aborder d'autres dans de meilleures conditions.

BIBLIOGRAPHIE.

BIBLIOGRAPHIE

AYME A. (1956).- Contribution à l'étude de la plaine de la Mitidja occidentale et de sa bordure atlasique. Bull. Serv. Carte Géol. (h.série), n°8, pp. 347-362.

BENAMOUR A., COUCHOT, COFFINET, GRENET, (1969).- A.E.P. d'Alger, compte-rendu final des essais de pompage de la zone du Mazafran. S.E.S. n°15-11-D 41 - Alger.

BLES J.L. (1965).- Mise au point stratigraphique du Néogène et du Quaternaire de la Mitidja. S.E.S. Alger.

BLES, PERRIN (1965).- Rapport du lever géologique de la bordure sud. S.E.S Alger, Août 1965.

BOUGUERRA M.L. (1986).- Les pesticides et le tiers-monde. La Recherche n°176.

BREMOND R., VUICHARD R. (1973).- Les paramètres de la qualité des eaux. Ed. Lavoisier, Paris.

B.R.G.M. (1972).- Interprétation des données de pompage d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères. Aide-mémoire - 72-SG N 273 AME.

B.R.G.M. (1979).- Mecanismes d'acquisition de la qualité chimique d'une eau souterraine. Etude expérimentale in situ. n° 79-SGN-661-HYD.

BUSSE J.F. (1980).- La pollution dans la nappe des formations quaternaires de l'Est de Lyon (France). Thèse Sciences, Grenoble.

C.G.G. (1967).- Etude par prospection électrique de la plaine de la Mitidja.

CODE DES EAUX (LE) - Loi 83.17 du 16 juillet 1983. AL ger.

COLLIN J.J. (1976).- Les eaux souterraines de la plaine Saône-Doubs (gisement, hydrodynamique, hydrochimie, pollution, gestion et sauvegarde). Document du B.R.G.M., n°9.

COUCHOT A. (1973).- Projet de recharge artificielle de la plaine de la Mitidja. n° 73-HYG-INRH, Alger.

COUCHOT A. (1973).- A.E.P. d'Alger, 2ème champ de captage dans le bassin du Mazafran. Implantation des forages et piézomètres. n° 73-HYG 71, INRH Alger.

COUCHOT A., LEROLLE (1972).- Etude sur un modèle mathématique en régime permanent de la nappe du Bas-Mazafran. n° 72-HYG 60, INRH Alger.

COUCHOT A. (1971).- Etude hydrogéologique complémentaire du Mazafran. Réalisation de quatre forages d'études de reconnaissance. INRH Alger.

DAVIS N., STANLEY, DEWIEST (19).- Hydrogeology. Ed. John Wileyand Sons. New-York.

DERMOUCHE, MEZIANE (1984).- La pollution de l'oued Mazafran. SDEF-Wilaya de Blida.

D.H.W.- Blida. Fichier des points d'eau.

DUBREUIL P. (1974).- Initiation à l'analyse hydrologique. Ed. Masson et Cie. ORSTOM.

EYROLLES(1971).- Lutte contre la pollution des eaux. Recherches actuelles.

FLANDRIN J. (1948).- Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien. Ser. Carte Géol. Algérie, 2° série, n°19 et Thèse Paris.

FORKASIEWICZ J. (1972).- Interprétation des données de pompage d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères. Aide-Mémoire, B.R.G.M., n°72-SGN 273-AME.

FOSTER S.S.D., YOUNG C.P. (1979).- Conséquences de l'utilisation agricole des sols sur la qualité de l'eau souterraine et notamment sur sa teneur en nitrates. B.R.G.M. 3, 1979, pp. 245-256.

FOURNEAUX J.C., SARROT-REYNAULD J. (1977).- Déficit d'écoulement et évapotranspiration dans les Alpes du Nord. Extrait des Comptes-Rendus du 102e Congrès National des Sociétés Savantes. Fasc.II, Limoges.

FRITSH P., St-BLANQUAT G. (1985).- La pollution par les nitrates. La Recherche n°169.

GEOHYDRAULIQUE (1968-1971).- Etude hydrogéologique quantitative des nappes de la Mitidja. INRH Alger.

GLANGEAUD L. (1932).- Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Thèse Paris et Bulletin. Serv. Carte Géol., 2e série, n°8 Alger.

GLANGEAUD L., AYME A., CAIRE A., MATTAUER, MURAOUR P. (1952).- Histoire géologique de la Province d'Alger. XIX Congrès International Alger.

HALIMI A. (1980).- L' Atlas Blidéen. Climats et étages végétaux. Office des publications universaitaires. Alger.

HYDROLOGIE (Service) (1971).- Débit de base des bassins des oueds Mazafran, Harrach et HAmiz. Juillet 1970, Juillet 1971, INRH Alger.

HYDROLOGIE (Service).- Annuaire hydrologique.

I.N.R.H. (1973).- Carte hydrogéologique de la région d'Alger. Notice explicative.

LECLERC E. .- Recherche et technique au Service de l'environnement. Liège. CEBEDOC.

LELIEVRE R.F. (1970).- Interprétation des 18 essais de pompage dans le Mazafran. Geoh 004 A, INRH, Alger.

LEONARD L. (1971).- Water and water pollution and book. CIACCIO, New-York.

LEPVRIER C. (1967).- Sur la structure du massif de Chenoua. Bull. Géol. Fr. 7° série, T.9, n°6, pp. 854-859.

LICITRI R. (1969).- Etude hydrologique de la Mitidja. Débit de base de l'oued Mazafran au cours de l'été 1969. INRH, n°15, DH2, n°15, DH.2, Alger.

MATHER J.D., YOUNG C.P. (1979).- Recherches actuelles sur la pollution des eaux souterraines par les décharges. BRGM, 3/ 1979.

MAZAUD C. (1967).- Note sur les ressources en AEP de la région de Tipaza. INRH, n°15-11, DH.1, Alger.

MEHDID A. (1980).- Réseau piézométrique de la Mitidja. INRH, n°80, HYG-009, Alger.

MEMENTO TECHNIQUE DE L'EAU - Dégrémont.

MURAOUR P. (1949).- Contribution à l'étude micropaléontologique des marnes plaisanciennes d'Alger. Bull. Carte Géol. Algérie, 1e série, n°10, pp.93-148.

MUTIN G. (1977).- La Mitidja: Décolonisation et espace géographique. OPU Alger.

PERRIN-BLES (1965).- Rapport de lever géologique de la bordure sud de la Mitidja. INRH Alger.

PERRODON A. (1957).- Etude géologique des bassins sub-littoraux de l'Algérie occidentale. Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, n°12 et Thèse Alger.

PICARD H. (1975).- Utilisation thérapeutique des oligo-éléments. Librairie Maloine S.A. Editeur, Paris 6e.

POLLUTION (La).- Edition gt.

PRESSON P. (1976).- La pollution des eaux continentales (incidences sur les biocinoses aquatiques). Ed. Gauthier-Villars, Paris.

ROCHE M. (1963).- Hydrologie de surface. Ed. Gauthier-Villars, Paris.

RODIER J. (1966).- L'analyse chimique et physico-chimique de l'eau. Edition Dunod, Paris.

SAVADOGO A.N. (1985).- Géologie et hydrogéologie du socle cristallin de Haute-Volta. Etude régionale du bassin versant de Sissili. Thèse Doctorat ès-Sciences, Grenoble.

SEKKAL R. (1986).- Etude hydrogéologique et hydrodynamique de la nappe de la Mitidja (Algérie). Thèse Docteur-Ingénieur. Grenoble.

SELTZER P. (1946).- Le climat de l'ALgérie. Typo-Litho, Alger.

SHOELLER H. (1962).- Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique. Recherche, exploitation et évaluation des ressources. Ed. Masson, Paris.

TRENOUS J.Y. (1962).- HYdrogéologie du synclinal Plio-Quaternaire de la Mitidja. Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique.

VAILLANT J.L. (1973).- Protection de la qualité des eaux et maîtrise de la pollution (contrôle de déversement d'eau polluée). Ed. Eyrolles, Paris.

A N N E X E S .

- Liste des abréviations utilisées dans le téxte.
- Liste des figures.
- Tableau des relevés piézometriques .
- Matrices de corrélations pour les eaux fluviales.

ABREVIATIONS UTILISEES DANS LE TEXTE

A.E.P.	: Alimentation en eau potable.
A.P.C.	: Assemblée populaire communale.
B.C.L.	: Base centrale logistique.
D.H.W.	: Direction de l'hydraulique de Wilaya.
D.N.C.	: Entreprise nationale de construction-Blida
E.N.P.A.	: Ecole nationale polytechnique-Alger
E.R.I.A.D.	: Entreprise régionale de fabrication de pates et semoules.
I.S.M.A.L.	: Institut des sciences de la mer d'Alger.
O.M.S.	: Organisme mondiale de la santé.
O.N.A.B.	: Organisme national des aliments du bétail, actuellement O.R.A.C.
S.A.T.T.I.	: Société Algérienne des textiles.
S.D.F.E.	: Sous-direction des forêts et de l'environnement.
S.N.E.M.A.	: Société nationale des eaux minérales.
S.N.M.C.	: Société nationale des matériaux de construction.
S.S.	: Secteur sanitaire.
Wilaya	: Préfecture.

LISTE DES FIGURES

1 : Cadre géographique 5
2 : Emplacements des postes pluviométriques 11
3 : Précipitations moyennes mensuelles et intervalles de confiance 15
4,5, 6 : Répartition des moyennes mensuelles des précipitations 17-19
7 : Polygones de Thiessen et courbes isohyètes 1913-1953 23
8,9 : Droites de corrélations Précipitations/Altitudes 27
10 : Courbes isohyètes des précipitations du 28 au 31 mars 1974 31
11 : Moyennes mensuelles de l'Hr (%) 35
12 : Moyennes mensuelles de l'Ha (gr/cm³) 35
13 : Températures moyennes mensuelles 39
14 : Calcul de l'E.T.P., méthode de Thorthwaite 39
15, 16 : Les bilans hydriques 51
17 : Emplacement des stations de jaugeages 53
18, 19 : Fluctuations des débits mensuels 58
20 : Les grands ensembles structuraux de l'Afrique du Nord 67
21 : Carte géologique simplifiée de la Mitidja OUest et de sa bordure Atlasique 69
22 : Unités paléogéographiques d'âge secondaire 67
23 : Log stratigraphique du Mio-Pliocène du Mazafran 67
24 : Série de coupes montrant l'évolution de la Mitidja et du Sahel pendant le Pliocène et le Quatenaire 78
25 : Coupe de la Mitidja 80
26 : Carte du substratum imperméable 88
27 : Coupe interprétative transversale de la Mitidja dans le Mazafran 90
28-29 : Coupes géoélectriques 91-92
30 : Relations entre l'Astien et les alluvions du Quaternaire 94
31à36 : Cartes des isopièzes 98-107
37 : Carte de fluctuations de la nappe 109
38 : Courbes d'essais de pompages 113-115
39 : Carte des transmissivités 117
40 : Carte des perméabilités 117
41 : Carte des concentrations des eaux 124
42 : Caractéristiques hydrochimiques au niveau des stations de jaugeages 125

43 : Diagramme de corrélation concentrations/conductivités 126
14 : Diagrammes de corrélations Hco_3^-/conductivités ; Ca++/conductivités 126
45 : Carte de répartition du TH 128
46 : Carte des sulfates 130
47 : Carte de répartition du TAC 132
48 : Carte des chlorures 133
49 : Histogrammes en colonnes des principaux éléments chimiques 135
50a,b,c : Distributions Gausso-logarithmique (Na+, Mg+, So_4++, Cl^-, Hco_3^-, Ca++) 136-138
51 : Diagramme de corrélations Na+/Cl^- 138
52 : Distribution gausso-logarithmique Mg++/Ca++ 138
53 : Carte de répartition du rapport Mg++/Ca++ 140
54 : Carte de répartition de l'i.e.b. 142
55 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation 144
56à62 : Diagrammes logarithmiques des eaux souterraines 152-155
64 : Carte de distribution des faciès chimiques 156
63 : Diagramme logarithmique des eaux fluviales 155
65 : Emplacement des sources dans leur contexte géologique 160
66 : Distribution des faciès chimiques des eaux de l'Atlas 162
67 : Représentation des eaux de l'Atlas sur diagramme Piper 164
68 : Emplacements des points de prélèvements fluviaux 168
69 : Carte des teneurs en Fer des eaux souterraines 174
70 : Carte des teneurs en Zn et Cu des eaux souterraines 174
71 : Carte de répartitions des nitrates 176
72 : Carte des teneurs en Ammonium des eaux fluviales 178
73 : Carte des teneurs en matières organiques des eaux fluviales 178
74 : Carte des teneurs en phosphates des eaux fluviales 179
75 : Carte de situation des principales unités industrielles 210

Points n°	1980									1981					1985
	Ja	Fe	Av	Ma.	J	Jt	Se	Oc	No	Ja	Mr	Av	Ju	Jt	Mai
816	30.79		31.03	31.34	30.54	29.88	28.67	28.52	28.21	31.24	32.06	31.5	29.94	29.14	30.44
335	40.45	40.65	40.08		41.06	41.09		40.58	40.46	54.6	40.65	40.62	37.33	40.23	41.5
1427	15.3	15.89	15.14	15.36	15.47	15.13		14.72	14.6	15.18	14.46	15.62	15.2	14.41	14.49
1297	43.3	30.52	30.62	31.33	30.21	30	29.93	28.95	29.29	45.58	43.34	43.19	42.09	40.45	45.95
88	31.49	30.86	31.42	31.52	31.12	24.74	23.87	29.51	29.52	30.76	30.88	30.81	29.83	27.86	31.68
397	52.29	51.29	51.98	53.11	51.58	50.25	51.88	49.64	49.65	51.75	51.89	51.83	50.05	49.19	52.96
175	58.6	61.22	61.86	62.9	61.84	62.06	59.64	57.14		60.14	58.56	61.72	61.47	60.48	60.24
190	63.29	63.62	63.62	65	64.4	64.4	61.95		61.42	62.17	65.44	63.91	63.8	62.39	63.01
206	56.22	56.65	57.16	57.28	57.14	56.45	54.41	54.19	54.1	55.58	56.2	56.69	56.23	54.43	56.6
193	54.72	53.99	54.88	54.83	53.46	53.75	53.08	52.69	52.68	54.23	54.58	54.47	53.63	52.69	55.7
251	118.4	118.5	118.5	118.3	118.4	118.7	118.3	116.58	116.65	118.35	118.1	118.2	118.4	117.8	118.2
210			120.2	120.5	120.2								119.1	118.8	
215	80.52	80.26	80.74	80.91	80.47	79.71	79.59	75.31	74.4		79.41	80.04	79.95	78.74	80.3
470	69.34	69.7	70.19	70.52	69.49							62.64	69.21		73.8
404		97.65	97.76		99.28	98.28		97.57	97.6	97.51	98.0	98.02	96.58		96.12
307	58.93	59.12	59.2		59.8	56.1	54.83	59.12	56.32				59.27	56.83	
131	129.4	129.1	129.9								139.31	139.27	137.9	137.19	140.6
102	34.83	33.82	35.91	36.88	35.0	34.25	34.3								34.63
53		116.7	116.3	116.5	114.9	115.5	113.0	112.9							97.5
271			50.13				48.47	48.47							25.7
P1MZI		3.93	3.91												
P7MZI		17.34													
P14MZI		35.71													
P18MZI		4.47													
FA2P1		66.6	67.1	67.1	62.2										
PE8MZII												30.3	27.95		30.62
PE7		16.57	18.7	17.5	20.07	16.7	15.8	15.3	14.3		16.7	19.13	14.84	14.22	18.3
P11		27.86	29.53	29.17	34.1	29.48		29.32	25.63						
P10				29.75											
PE10		38.13	39.0	38.46	38.22	36.6	36.02	35.4							38.29
PE12		31.32	31.5	31.65	31.57	31.6									41.1
1332															41.05
1297															

RESULTATS DES RELEVES PIEZOMETRIQUES. (valeurs en metre.)

	Cond	RS	pH	Na	Mg	Ca	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Prof(cm)	
Cond	1.000	0.602	0.347	0.768	0.789	0.736	0.362	0.637	0.857	0.526	0.215	-0.281	Cond
RS		1.000	2.365	0.875	0.846	0.823	0.427	0.772	0.939	0.613	0.166	-0.229	RS
pH			1.000	0.166	0.488	0.397	-0.159	0.165	0.386	0.473	0.171	-0.167	pH
Na				1.000	0.558	0.546	0.463	0.562	0.934	0.363	0.201	-0.103	Na
Mg					1.000	0.798	0.227	0.823	0.710	0.684	0.138	-0.526	Mg
Ca						1.000	0.298	0.752	0.667	0.775	0.110	-0.508	Ca
K							1.000	0.425	0.392	0.238	-0.173	0.245	K
Cl								1.000	0.603	0.532	0.353	-0.504	Cl
SO4									1.000	0.432	0.174	-0.194	SO4
HCO3										1.000	-0.367	-0.312	HCO3
NO3											1.000	-0.288	NO3
Prof(cm)												1.000	Prof(cm)

	MOYENNE	VARIANCE	EC-TYPE	MAX	MIN
Cond	11.57	26.86	5.18	24.00	1.02
RS	775.10	72915.89	270.03	1460.00	162.00
pH	80.70	4.01	2.00	84.00	73.00
Na	87.07	2492.53	49.93	233.00	5.00
Mg	52.97	466.03	21.59	96.00	4.03
Ca	69.80	353.03	18.79	114.00	25.20
K	7.53	15.12	3.89	18.00	3.00
Cl	78.87	1748.65	41.82	160.00	10.30
SO4	308.57	21393.78	146.28	763.00	16.00
HCO3	169.37	1979.90	44.50	269.00	45.00
NO3	12.33	114.22	10.69	40.00	0.20
Prof(cm)	102.73	1794.33	42.36	210.00	53.00

ETUDE STATISTIQUE DU FICHIER BOU-ROUMI

ETUDE PORTANT SUR 12 VARIABLES ET 30 ECHANTILLONS

	COND	RS	pH	Na	Mg	Ca	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Prof(cm)	
COND	1.000	0.376	0.073	0.212	0.100	0.221	0.170	0.399	0.375	0.026	-0.064	-0.095	COND
RS		1.000	0.186	0.845	0.500	0.601	0.230	0.798	0.871	0.445	0.064	-0.491	RS
pH			1.000	0.043	0.150	0.267	-0.442	-0.005	0.085	0.369	0.112	-0.319	pH
Na				1.000	0.396	0.526	0.382	0.930	0.747	0.334	0.000	-0.383	Na
Mg					1.000	-0.200	-0.141	0.316	0.465	0.422	-0.083	-0.351	Mg
Ca						1.000	0.222	0.544	0.624	0.372	0.149	-0.410	Ca
K							1.000	0.398	0.241	-0.016	-0.069	0.067	K
Cl								1.000	0.738	0.241	-0.157	-0.390	Cl
SO4									1.000	0.379	0.100	-0.562	SO4
HCO3										1.000	-0.005	-0.314	HCO3
NO3											1.000	0.011	NO3
Prof(cm)												1.000	Prof(cm)

	MOYENNE	VARIANCE	EC-TYPE	MAX	MIN
COND	10.17	22.84	4.78	17.00	0.70
RS	797.93	30693.92	175.20	1112.00	470.00
pH	80.89	3.29	1.81	85.00	75.00
Na	81.89	925.06	30.41	149.00	38.00
Mg	44.70	194.73	13.95	70.00	10.00
Ca	80.15	612.20	24.74	184.30	48.00
K	6.41	5.95	2.44	13.20	2.00
Cl	95.85	1551.09	39.39	205.00	40.00
SO4	252.37	3666.29	60.55	350.00	125.00
HCO3	201.56	1048.91	32.39	260.00	136.00
NO3	8.00	19.11	4.37	23.20	0.00
Prof(cm)	34.04	1928.29	43.91	215.00	2.00

ETUDE STATISTIQUE DU FICHIER BOU-MEDFAA

ETUDE PORTANT SUR 12 VARIABLES ET 27 ECHANTILLONS

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	COND	RS	pH	Prof(cm)	
Ca	1.000	0.071	0.510	0.463	-0.035	0.755	0.478	-0.117	0.487	0.714	0.105	-0.087	Ca
Mg		1.000	0.190	-0.160	0.647	0.485	0.404	-0.398	0.257	0.633	-0.503	-0.602	Mg
Na			1.000	0.182	0.331	0.696	0.054	0.123	0.098	0.633	-0.237	-0.420	Na
K				1.000	-0.390	0.447	0.017	-0.005	0.197	0.235	0.032	-0.002	K
Cl					1.000	0.234	0.088	0.084	0.134	0.435	-0.282	-0.590	Cl
SO4						1.000	0.251	-0.296	0.393	0.850	-0.421	-0.394	SO4
HCO3							1.000	-0.250	0.462	0.519	0.191	-0.243	HCO3
NO3								1.000	-0.073	-0.218	0.523	-0.065	NO3
COND									1.000	0.467	0.270	-0.288	COND
RS										1.000	-0.304	-0.584	RS
pH											1.000	0.292	pH
Prof(cm)												1.000	Prof(cm)

	MOYENNE	VARIANCE	EC-TYPE	MAX	MIN
Ca	62.97	230.77	15.19	106.00	42.00
Mg	31.10	98.69	9.93	60.00	10.00
Na	26.00	59.93	7.74	45.00	12.00
K	3.87	1.52	1.23	7.00	2.00
Cl	30.97	157.97	12.57	60.00	5.00
SO4	156.70	3037.14	55.11	320.00	55.00
HCO3	158.07	571.53	23.91	226.00	115.00
NO3	5.13	59.78	7.73	35.00	0.00
COND	6.53	7.16	2.68	11.00	0.66
RS	469.07	9513.03	97.47	691.00	312.00
pH	80.60	1.44	1.20	84.00	79.00
Prof(cm)	256.73	1595.49	39.94	332.00	203.00

ETUDE STATISTIQUE DU FICHIER SOFGES

ETUDE PORTANT SUR 12 VARIABLES ET 30 ECHANTILLONS

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	COND	RS	pH	Prof(cm)	
Ca	1.000	0.850	0.846	0.623	0.897	0.883	0.678	0.739	0.331	0.949	-0.077	-0.815	Ca
Mg		1.000	0.815	0.697	0.924	0.903	0.770	0.774	0.434	0.927	-0.162	-0.689	Mg
Na			1.000	0.693	0.881	0.939	0.660	0.737	0.335	0.925	-0.248	-0.708	Na
K				1.000	0.759	0.665	0.503	0.772	0.129	0.718	-0.459	-0.324	K
Cl					1.000	0.880	0.758	0.818	0.267	0.957	-0.288	-0.703	Cl
SO4						1.000	0.695	0.755	0.457	0.950	-0.146	-0.727	SO4
HCO3							1.000	0.593	0.299	0.830	0.021	-0.774	HCO3
NO3								1.000	0.041	0.791	-0.167	-0.572	NO3
COND									1.000	0.354	0.065	-0.257	COND
RS										1.000	-0.229	-0.777	RS
pH											1.000	-0.074	pH
Prof(cm)												1.000	Prof(cm)

	MOYENNE	VARIANCE	EC-TYPE	MAX	MIN
Ca	95.17	942.87	30.71	146.00	48.00
Mg	51.13	526.45	22.94	98.00	15.00
Na	77.20	815.89	28.56	130.00	23.00
K	10.17	37.14	6.09	23.00	2.00
Cl	91.57	2153.58	46.41	175.00	25.00
SO4	282.57	12400.11	111.36	493.00	90.00
HCO3	231.50	3423.92	58.51	311.00	122.00
NO3	21.43	507.98	22.54	89.00	0.00
COND	17.61	954.74	30.90	181.00	1.00
RS	839.17	94118.94	306.79	1338.00	383.00
pH	80.90	5.16	2.27	85.00	71.00
Prof(cm)	152.50	12517.38	111.88	445.00	50.00

ETUDE STATISTIQUE DU FICHIER ATTATBA

ETUDE PORTANT SUR 12 VARIABLES ET 30 ECHANTILLONS

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	Cond	RS	pH	Prof(cm)	
Ca	1.000	0.691	0.581	0.413	0.594	0.723	0.786	0.559	0.291	0.910	0.306	-0.629	Ca
Mg		1.000	0.764	0.515	0.749	0.882	0.727	0.725	0.219	0.882	0.260	-0.625	Mg
Na			1.000	0.485	0.847	0.930	0.559	0.629	0.503	0.908	0.259	-0.587	Na
K				1.000	0.419	0.422	0.386	0.467	0.233	0.472	-0.210	-0.099	K
Cl					1.000	0.792	0.567	0.693	0.317	0.934	0.194	-0.495	Cl
SO4						1.000	0.624	0.614	0.482	0.944	0.126	-0.713	SO4
HCO3							1.000	0.619	0.347	0.768	0.263	-0.723	HCO3
NO3								1.000	0.153	0.746	0.326	-0.409	NO3
Cond									1.000	0.433	0.052	-0.419	Cond
RS										1.000	0.212	-0.720	RS
pH											1.000	-0.127	pH
Prof(cm)												1.000	Prof(cm)

	MOYENNE	VARIANCE	EC-TYPE	MAX	MIN
Ca	84.60	516.44	22.73	142.00	45.00
Mg	51.10	487.22	22.07	138.00	12.00
Na	80.17	920.94	33.35	142.00	35.00
K	6.57	6.72	2.59	15.00	2.00
Cl	102.50	1877.92	43.33	190.00	28.00
SO4	261.93	6029.40	77.65	406.00	116.00
HCO3	211.37	1697.37	41.20	297.00	122.00
NO3	11.00	48.47	6.96	28.00	0.00
Cond	10.31	25.67	5.07	20.00	0.00
RS	793.70	42464.29	206.07	1239.00	386.00
pH	80.80	3.21	1.79	83.00	77.00
Prof(cm)	52.30	2285.47	47.81	290.00	5.00

ETUDE STATISTIQUE DU FICHIER EL-AFFROUN

ETUDE PORTANT SUR 12 VARIABLES ET 30 ECHANTILLONS

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO4	HCO3	NO3	D	RS	pH	Prof	
Ca	1.000	0.267	0.616	0.090	0.771	0.531	0.750	0.049	0.834	0.839	0.384	-0.747	Ca
Mg		1.000	0.324	0.392	0.586	0.317	0.567	0.441	0.554	0.582	0.366	-0.554	Mg
Na			1.000	-0.033	0.738	0.897	0.409	0.081	0.843	0.779	0.474	-0.432	Na
K				1.000	0.056	-0.013	0.316	-0.015	0.031	0.031	0.197	-0.278	K
Cl					1.000	0.593	0.772	0.173	0.917	0.925	0.493	-0.759	Cl
SO4						1.000	0.171	-0.015	0.780	0.683	0.325	-0.323	SO4
HCO3							1.000	0.294	0.684	0.769	0.557	-0.809	HCO3
NO3								1.000	0.176	0.229	-0.044	-0.261	NO3
D									1.000	0.978	0.486	-0.709	D
RS										1.000	0.499	-0.738	RS
pH											1.000	-0.411	pH
Prof												1.000	Prof

	MOYENNE	VARIANCE	EC-TYPE	MAX	MIN
Ca	80.54	242.16	15.56	100.00	53.00
Mg	32.21	55.75	7.47	46.00	11.00
Na	46.42	154.74	12.44	65.00	20.00
K	5.25	3.52	1.88	9.00	2.00
Cl	53.79	330.75	18.19	95.00	25.00
SO4	168.25	1417.27	37.65	235.00	98.00
HCO3	221.58	1889.33	43.47	271.00	151.00
NO3	9.79	73.41	8.57	27.00	0.00
D	9.13	2.61	1.62	12.00	6.00
RS	587.29	8784.21	93.72	758.00	420.00
pH	82.21	0.58	0.76	83.00	81.00
Prof	207.96	24205.62	155.58	605.00	74.00

ETUDE STATISTIQUE DU FICHIER F.CHEVAL

ETUDE PORTANT SUR 12 VARIABLES ET 24 ECHANTILLONS

SOMMAIRE.

- SOMMAIRE -

Avant Propos
Introduction générale 4
Situation géographique 5

HYDROCLIMATOLOGIE et HYDROLOGIE

Introduction 8

A/ Hydroclimatologie 8
I Les observations météorologiques 8
1 - Bref historique 8
2 - Les stations 9
3 - Les types de temps 12
3.1 - Les masses d'air 12
3.1.1 - Les masses d'air froid 12
3.1.2 - Les masses d'air chaud 13
II Le bilan énérgétique 14
1 - Etude des précipitations 14
1.1 - Les précipitations journalières 14
1.2 - Les précipitations mensuelles 16
1.2.1 - Variabilité dans le temps 18
1.2.2 - Variabilité dans l'espace 20
1.3 - Les précipitations annuelles 20
1.4 - Détermintion du volume et de la lame d'eau tombée sur le bassin Versant 22
1.4.1 - Méthode de Thiessen 22
1.4.2 - Volume et lame d'eau tombée 25
1.5 - Les gradients altitudinaux des précipitations annuelles. 25
1.6 - Varitions inter-annuelles 28
1.7 - Les régimes pluviaux 28
1.8 - Les régimes saisonniers 29
1.9 - Intensité des chutes de pluie 32
1.10- Continentalité pluviale moyenne 32
1.11- Les chutes de neige 34
1.12- L'humidité atmosphérique 36
2 - Etude des températures 36
2.1 - Répartition géographique des températures 36
2.1.1 - Les extrèmes mensuels 38
2.2 - Les températures moyennes mensuelles 38
2.3 - Les températures annuelles 38
III Evapotranspiration 40
1 - Calcul de l'ETP climatique 40
1.1 - Méthode de Thornthwaite 40
1.2 - Formule de Blaney - Criddle 42
1.3 - Formule de L. Turc 42
2 - Calcul de l'ETP réelle 44
2.1 - Formule de L. Turc 44
2.2 - Formule de Coutagne 45
3 - Comparaison des résultats 45
IV Le bilan hydrique 48
1 - Termes entrant dans le bilan 48
2 - Le bilan 50
3 - L'interprétation 50
V Conclusion 52

B/ HYDROLOGIE DES COURS D'EAU 54
I Les observations hydrologiques 54
1 - Les stations et leurs codes 54
2 - Déscription 54
II Aspects géométriques du bassin Versant 56
1 - Indice de compacité 56
2 - Le réctangle équivalent 57
III Les cours d'eau
1 - Les grands traits des cours d'eau majeurs 57
2 - Régimes comparés des oueds Djer, Bou-Roumi et Chiffa 59
2.1 - Le régime annuel 59
2.2 - Débits d'étiage 59
2.3 - Débits de Crue 61
3 - Mobilisation des eaux de Surface : projets d'aménagements hydrauliques 62

C/ ESTIMATION DU BILAN HYDROLOGIQUE 63

D/ CONCLUSION 64

APERCU GEOLOGIQUE

A/ INTRODUCTION 66

B/ STRATIGRAPHIE 68
I Le Primaire 68
II Le Secondaire 68
1 - Le Trias 68
2 - Le Jurassique 68
3 - Le Crétacé 70
III Le Tertiaire 72
1 - Le Paléogène 72
2 - Le Néogène 72
IV Le Quaternaire 74
1 - Les terrasses alluviales 76
1.1 - Le Quaternaire ancien 76
1.2 - Le Quaternaire moyen 76
1.3 - Le Quaternaire récent 76
V Tableau récapitulatif des formations géologiques du remplissage de la Mitidja 77

C/ PALEOGEOGRAPHIE 79
I Les épisodes Quaternaires 81
1 - L'explication Eustatique 81
2 - Le rôle de la tectonique 82
2.1 - Dans le Sahel 82
2.2 - Surles pentes de l'Atlas 82
II Les Modalités de façonnement Quaternaire 83

D/ ETUDE DU REMPLISSAGE PLIO-QUATERNAIRE 86
I Esquisse morphostructurale de la plaine et de son encadrement montagneux 86
II Résultats de la prospection éléctrique 87
1 - Toit du substratum imperméable 89
2 - Nature du substratum 89
3 - Les réservoirs 89
3.1 - Le réservoir Astien 89
3.2 - Le réservoir Quaternaire 89
3.3 - Relations hydrogéologiques entre l'Astien et les alluvions du Quaternaire. 93

E/ CONCLUSION 95

OBSERVATIONS DE LA SURFACE PIEZOMETRIQUE

I Piézométrie 97
1 - Les pièzométre et les cartes pièzométriques 97
2 - Rationalisation d'un réseau pièzométrique et réseau de la Mitidja 97
3 - Relevés pièzométriques : Données disponibles 99
4 - Examens des cartes pièzométriques 99
5 - Appréciations indirecte des paramétres hydrodynamiques 106
6 - Fluctuations de la nappe et conclusion 108
II Les paramétres hydrodynamiques 111
1 - Les pompages d'essai 111
1.1 - Courbes de descentes 112
1.2 - Courbes de remontées 112
2 - La carte des transmissivités 116
3 - Le coéfficient d'emmagasinement 118
4 - Répartition des perméabilités 118
III Conclusion 120

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX

I Les eaux de nappe 122
1 - Analyses effectuées sur les prélévements de septembre 1986, au niveau de la nappe du Quaternaire 122
1.1 - Concentrtion totale 122
1.2 - Conductivité des eaux 127
1.3 - Le pH 127
1.4 - Le TH 129
1.5 - Les sulfates 129
1.6 - Le TAC 131
1.7 - Les Chlorures 131
2 - Recherche d'une norme hydrochimique 137
2.1 - Les rapports caractéristiques 141
2.1.1 - Rapport Mg^{++}/Ca^{++} 142
2.1.2 - Rapport $Cl^{--}(Na^{+} + K^{+})/Cl^{-}$ 143
2.1.3 - Les critéres d'eau d'irrigation 143
3 - Les eaux de l'Astien 145
4 - Conclusion 146
II Hydrochimie fluviale 147
1 - Présenttion du réseau hydrographique 147
1.1 - La Station de Bou-Medfaa 148
1.2 - La Station d'EL-Affroun 148
1.3 - La Station de Tarzoult 148
1.4 - La Station d'Attatba 149
1.5 - La Station de Gorges 149
1.6 - La Station de Fer à Cheval 159
2 - Conclusion 150
III Représentation graphique des analyses chimiques 151
1 - Les eaux de nappe 151
1.1 - Faciès $Ca^{++} > Mg^{++}$; $Hco_3^{-} > cl^{-}$ 151
1.2 - Faciès $Ca^{++} > Mg^{+}$; $Hco_3^{-} > SO_4$ 151
1.3 - Les Faciès Minoritaires 157
1.4 - Distribution Spatiale des Faciès hydrochimiques 157
2 - Classification des eaux 157
3 - Les eaux des oueds 158
IV Les eaux de l'Atlas 161
1 - Le contexte géologique 161
2 - Résultats des analyses 161
2.1 - Caractéristiques moyennes des eaux 161
2.2 - Classification des eaux 163
2.3 - L'indice d'échange de base 165
3 - Conclusion 165
V Conclusions

POLLUTION DES EAUX ET SOURCES POTENTIELLES DE POLLUTION

I Introduction 167
II Les résultats des analyses physico-chimiques 169
1 - Les mesures physiques 170
2 - Les substances indésirables 170
2.1 - Dans les eaux de surface 170
2.2 - Dans les eaux de nappe 175
3 - Les éléments nutritifs 175
3.1 - Les nitrates et nitrites dans les eaux de surface 175
3.2 - Les nitrates dans les eaux de la nappe 175
3.3 - L'ion ammonium 178
3.4 - Les matières organiques 178
3.5 - Les phosphates 178
3.6 - Les matières en suspension 178
3.6.1 - Au niveau de l'embouchure 178
4 - La DCO et la DBO_5 178
5 - L'ouéd Mazafran 181
6 - Conclusion 184
III Les différentes sources de pollution et évaluation toxicologique 185
1 - Pollution d'origine agricole 185
1.1 - Par les ions minéraux fondamentaux 186
1.1.1 - Pollution Animale 186
1.1.2 - par les engrais 186
1.1.3 - Evaluation toxicologique des nitrates et des nitrites 187
1.2 - Par les pésticides 187
1.2.1 - Toxicité 188
1.2.2 - Propagation des pesticides 189

2 - Pollution industrielle 189
2.1 - Industries textiles 190
2.2 - Industries agro-alimentaires 190
2.3 - Industries de transformation du métal 191
2.4 - Industries des peaux et cuirs 191
2.5 - Industries phytopharmaceutiques 191
2.6 - Industries des boissons 192
2.7 - Evaluation toxicologique 193
3 - Pollution par les produits de rebuts domestiques 195
3.1 - Les eaux domestiques 195
3.1.1 - Les détergents 195
3.1.2 - Propagation des détergents 196
3.1.3 - Toxicité 196
3.2 - Pollution biologique 196
3.3 - Les décharges d'ordures ménagères 198
4 - Pollution par les hydrocarbures 201
4.1 - Propagation des hydrocarbures 202
4.2 - Toxicité 202
IV - Conclusion 203

PROBLEMATIQUE DES POLLUTIONS AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT DU MAZAFRAN

I Introduction 206
1 - Les réseaux d'assainissement 207
2 - Les décharges d'ordures ménagères 208
3 - Les stockages de produits liquides et liquéfiés inflammables 208
4 - Les cimetières 208
5 - Les domaines agricoles 208
6 - Les unités industrielles 209
II Législation en vigueur : Le code des eaux 211
III Conclusion 212

CONCLUSIONS GENERALES 215

Bibilographie 221

Annexes 224

THESE de DOCTEUR-INGÉNIEUR
spécialité Sciences de la Terre/option Hydrogéologie

Titre de l'ouvrage :

HYDROGÉOLOGIE ET POLLUTION DES EAUX
exemple du Bassin versant du Mazafran
(Mitidja, Algérie)

Nom de l'auteur : Nasreddine MESSAOUD NACER
Établissement : Université Scientifique, Techniques et Médicale de Grenoble

RÉSUMÉ

Le Bassin versant du Mazafran, forme la plaine sub-littorale de la Mitidja ouest.

Le recouvrement Quaternaire est formé de graviers avec des intercalations de lentilles argileuses. Le substratum imperméable est formé de marnes bleues plaisanciennes, de marnes miocènes ou de marno-calcaires crétacés.

On distingue deux réservoirs aquifères. Le réservoir Astien gréseux et le réservoir alluvionnaire du Quaternaire.

Le Bassin versant reçoit une tranche d'eau de 740 mm par an, soit un volume moyen de 1,4 milliards de m^3 dont seulement 1,4 % contribuent à la recharge souterraine.

L'étude hydrodynamique, montre que l'écoulement général des eaux de la nappe se fait du Sud vers le Nord, l'interprétation des essais de pompage à permis de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques.

L'eau la plus probable que l'on puisse rencontrer dans le réservoir alluvial a un faciès bicarbonaté calcique, faiblement magnésien, cependant les eaux fluviales qui alimentent la partie ouest de la plaine induisent un faciès sulfate calcique dans cette région de la nappe. La majeure partie des sources du flanc Nord de l'Atlas, alimentées par les schistes fissurés du Crétacé, présentent un faciès bicarbonaté magnésien. Les eaux du réservoir Astien, très fortement minéralisées sont bicarbonatées sodiques.

Le dosage de certains éléments métalliques (Cu, Fe, Zn, Cd, Cr, Hg ...) et nutritifs (Nitrates, Matières organiques...) nous a révélé que le milieu aquatique et les eaux souterraines présentent localement de sérieux indices de pollution.

MOTS-CLÉS

Mazafran, Mitidja, Algérie ; Bilan hydrologique ; Caractéristiques hydrodynamiques ; Physico-chimie des eaux ; Bassin versant ; Eaux souterraines et superficielles ; Inventaire de la pollution ; Toxicologie.

Title of the work :

WATER HYDROGEOLOGY AND POLLUTION
example of the Mazafran river basin (Mitidja - Algérie)

ABSTRACT

Mazafran river basin forms a sublittoral plain of the western Mitidja.

The Quaternary mantle is formed with gravels including clay lenses. The impervious bedrock is made of blue plaisancien marls, of miocene marls or of certaceous miocene limestones.

We can distinguish two aquifer reservoirs, the sandstone astien reservoir and the quaternary alluvial deposits reservoirs.

The river basin receives a 740 mm height of water a year, that is to say an average volume of 1,4 millions of cube meter , of which only 1,4 per cent contributes to feed the underground water.

The hydrodynamic study shows that the general out flow of waters is made from South to North, the interpretation of the pumping tests allowed to determine the hydrodynamic characteristics.

The most likely water you can find in the alluvial reservoir is calcic and bicarbonated, slightly magnesian, though the river waters which feed the western part of the plain infer a calcic sulfated composition in that part of the water table. The main part of the Atlas northern side springs, fed by the clefted schistes of the cretaceous present a bicarbonated magnesian aspect. The astian reservoir waters, very hyghly mineralized are made of bicarbonated soda.

The proportion of certain metallic elements such as (Cu. Zn. Fe. Cd. Cr. Hg) and of nutritions ones (nitrate. Organic matters) revealed the water environment the underground watters locally present serious signs of pollution.

KEY-WORDS

Mazafran, Mitidja, Algeria ; Hydrologie evaluation ; Hydrodynamic characteristics ; Physical chemistry of waters ; River basin ; Subternanean and surface waters ; Pollution inventory ; Toxicology.

1 SEP. 1987

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