



HAL
open science

Etude géologique et hydrogéologique de la région de Tamerza (sud-ouest tunisien) : possibilités de création de retenues souterraines au nord du Jebel El Ardhia

Abdallah Mamou

► To cite this version:

Abdallah Mamou. Etude géologique et hydrogéologique de la région de Tamerza (sud-ouest tunisien) : possibilités de création de retenues souterraines au nord du Jebel El Ardhia. Géologie appliquée. Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 1981. Français. NNT: . tel-00759901

HAL Id: tel-00759901

<https://theses.hal.science/tel-00759901>

Submitted on 3 Dec 2012

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

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

Double

880

205.142
1981
229

205142
1981
229

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GÉOLOGIE ET DE MÉCANIQUE

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Abdallah MAMOU



S U J E T

Etude géologique et hydrogéologique de la région de Tamerza (Sud-Ouest tunisien)

Possibilités de création de retenues souterraines au Nord du Jebel El Ardhia

Soutenue le 22 Octobre 1981 devant la Commission d'Examen

M. R. BARBIER Président

M. J. LETOURNEUR
M. C. VIGUIER Examineurs

INSTITUT DE RECHERCHES INTERDISCIPLINAIRES DE GÉOLOGIE ET DE MÉCANIQUE

205142

1981

229

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITÉ SCIENTIFIQUE ET MÉDICALE
DE GRENOBLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE 3^e CYCLE DE GÉOLOGIE APPLIQUÉE

par

Abdallah MAMOU



S U J E T

Etude géologique et hydrogéologique de la région de Tamerza (Sud-Ouest tunisien)

Possibilités de création de retenues souterraines au Nord du Jebel El Ardhia



0520256285

Soutenu le 22 Octobre 1981 devant la Commission d'Examen

M. R. BARBIER

Président

M. J. LETOURNEUR

M. C. VIGUIER

Examineurs

AVANT-PROPOS

=====

Au terme de cette étude menée en parallèle à l'I.R.I.G.M. et au laboratoire de la géologie de la Faculté des Sciences de Tunis, je tiens à remercier tout particulièrement

- Monsieur le Professeur R. BARBIER qui, après avoir accepté de diriger mon travail, me fait l'honneur aujourd'hui de présider mon jury,
- Monsieur le Professeur J. LETOURNEUR pour son enthousiasme, sa clairvoyance, pour l'intérêt constant porté à l'évolution de mon travail et ses suggestions qui m'ont aidé à résoudre de nombreux problèmes,
- Monsieur le Professeur C. VIGUIER qui, m'ayant prodigué les premiers enseignements de Génie Civil à la Faculté des Sciences de Tunis, m'a encouragé à suivre des études dans cette voie et m'a aidé moralement dans les moments difficiles.

J'exprime également ma profonde reconnaissance à:

- Monsieur P. ANTOINE pour son amitié, ses conseils et pour le temps qu'il a consacré à consulter mon travail,
- Monsieur A. HORCHANI directeur de l'E.G.T.H. qui en me proposant ce travail, a facilité mes déplacements vers la région de Tamerza et m'a autorisé à travailler dans le laboratoire de Sidi Fathallah dont je remercie tout le personnel,
- Messieurs KESSEN et KRIST de la coopération Tuniso-Allemande pour leur amitié,
- mes parents pour leur aide et leurs encouragements au cours de ces longues années d'étude,
- mes amis ROUIS et KALAI pour l'aide qu'ils m'ont apportée au cours de la campagne de prospection électrique et au laboratoire,
- tous ceux qui à l'I.R.I.G.M. ont facilité mon séjour parmi eux.

Enfin je remercie les habitants de la région de Tamerza pour leur accueil chaleureux, leur bonne humeur malgré les conditions de vie difficiles et leur hospitalité.

A mes parents

A mes frères et soeurs

- INTRODUCTION -

Avec la construction des barrages de Sidi Saad et Sidi Salem, les sites tunisiens propres à l'implantation de grands ouvrages sont presque tous aménagés ou en cours d'aménagement.

Actuellement, l'intérêt se porte vers l'aménagement de sites plus modestes, destinés à mettre en valeur les eaux de surface, dont le pays a le plus grand besoin pour la promotion de l'agriculture.

Ces petits ouvrages s'imposent dans les régions où les réserves souterraines deviennent insuffisantes pour satisfaire les besoins des agriculteurs, ainsi que dans les régions qui ne reçoivent que de faibles quantités de pluie, et où les réserves connues sont à trop grande profondeur (Sud et Centre Ouest).

Dans le Sud, où est située la région de Tamerza, les facteurs climatiques imposent un type particulier d'aménagement hydraulique. Diverses techniques sont concevables, ainsi que le démontre l'expérience acquise dans d'autres pays soumis à des conditions comparables : Sud-Ouest Africain, régions arides des Etats-Unis, Soudan septentrional.

Dans le Sud-Ouest Africain (O. Wiplinger, 1958), la technique consiste à stocker l'eau des crues dans le matériel charrié par l'oued. Elle est ensuite extraite, pour l'usage domestique ou agricole, au moyen de dispositifs appropriés (drainage ou pompage selon l'emplacement de l'ouvrage).

Il en est de même pour la technique pratiquée dans les états arides des Etats-Unis (G.G. Sykes, 1937).

Au Nord du Soudan, les eaux des crues sont stockées dans des citernes enterrées où elles se décantent, avant leur emploi pour l'irrigation (M. Baumer, 1978).

La présente étude est consacrée aux problèmes que poserait, dans la région de Tamerza (Sud-Ouest de la Tunisie), l'utilisation de la technique du stockage dans les matériaux charriés par les crues. Ceci nous a conduit à examiner successivement les points suivants :

- Géologie
- Hydrologie et hydrogéologie

- Stockage de l'eau en zone aride
- Projet d'aménagement des gorges des oueds el Oudeï et el Khanga et du site de Midès
- Les dépôts alluviaux actuels
- Factibilité du stockage de l'eau dans le sable et conséquences hydrogéologiques.

PREMIERE PARTIE

0.1 - INTRODUCTION GENERALE

0.2 - GENERALITES

CORRECTIONS

- Page
- 19 3^{eme} ligne de l'evolution paléogéographique "...à la fin du Crétacé supérieur.
- 29 17^e ligne lullent au même ...
- 32 légende de la figure 1.8 oasis cf annexe I
- 37 Coupe n° 6 orientée à l'envers
- 47 dernière ligne G.W. THORNTHWAITE
- 48 la température de l'eau du puits de Aine el Kerma nous a permis de montrer que la corrélation faite par l'équipe de S.O.G.E.T.H.A. n'est pas valable: en effet si on tiend compte du gradient altimétrique (0,4°C/100), la température au milieu du bassin versant de l'oued el Khanga doit être de 15°C.
- 57 20%, 10 % représentent les terrains qui sont soumis à des dissolutions dans les bassins versants respectivement de l'oued el Khanga et l'oued el Oudeï .
- 66 * Famille E ...point n° 18 est à 15 - 24,1 °C (cf Tableau 2.7)
- 74 Figure 2.13 le niveau piézométrique de la nappe alluviale est contraire au sens de l'écoulement,
- 100 dernière ligne et $1,68 \cdot 10^{-1} \text{Mm}^3$ d'eau,
- 105 2-CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU TERME MEDIAN DE LA FORMATION METLAOUI
3-PERMEABILITE DU TERME MEDIAN DE LA FORMATION METLAOUI
- 111 Photo 4.2.a (Toit de la série phosphatée)
- 132 3^{eme} ligneprobablement immergée
- 155 Les deux dernières paragraphes ne font pas partie de 5,2,4
- 179 Quand $T_D \rightarrow \infty$, $T_E \rightarrow \frac{1}{4}$ an,
- $$T_D - T_E = T_E + \frac{1}{\frac{H_s}{2,7}} \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_E} - 4} \quad (3)$$
- 180
- | | |
|-------------|-------------------------------|
| T_E (ans) | $\frac{1}{\frac{1}{T_E} - 4}$ |
| 0,25 | ∞ |

0.1 - INTRODUCTION GENERALE

Le Sud Ouest de la Tunisie a été étudié par les premiers géologues, hydrologues et hydrogéologues qui sont arrivés en Tunisie.

Après le célèbre Philippe Thomas (1885), qui a découvert les phosphates dans la gorge de l'oued Seldja, Prost a fait une étude sur l'hydrologie du bassin versant du Chott el Gharsa en 1897. Dans cette étude, nous avons trouvé une bonne description des gîtes des principales sources ainsi que de la morphologie du secteur de Tamerza - Mides - Chebika. En 1911, Henri Roux, conscient de l'importance de l'eau dans la région minière, a noté, dans l'introduction de l'une de ses notes géologiques, son point de vue à ce sujet : "L'exploitation des phosphates apportera sans doute un peu d'aisance à ce pays, mais un aménagement sérieux des eaux souterraines y ramènerait une prospérité durable". Contrairement à cette remarque, les réserves souterraines étaient exploitées sans aucune considération de leur épuisement. Actuellement, les exutoires naturels de Ras el Aioun, du bassin de Moularès et Redeyef ont tari, et des sondages beaucoup plus profonds sont programmés pour l'alimentation des nouvelles laveries de phosphates.

Pour faire face à ce déficit d'eau et à la baisse du niveau piézométrique des nappes exploitées, la Compagnie des Phosphates envisage la mise en oeuvre des eaux de ruissellement de l'oued Seldja et l'oued Tabeditt pour l'alimentation des formations perméables.

De leur côté, les responsables au Ministère de l'Agriculture, soucieux de l'avenir des oasis de la région, projettent l'aménagement des grands oueds de la région pour la promotion de ce secteur agricole. En 1961, quatre stations de jaugeage ont été réalisées pour obtenir des données sur l'hydrologie des oueds, ainsi que sur le débit pérenne des sources de la région. Au cours de la même année, des sondages de prospection avec étude de perméabilité ont été réalisés dans l'oued Tamerza, sous la direction de A. Steblin (1961). Quelques années plus tard (1964), la Société Générale d'Etude Hydro-Agricole (S.O.G.E.T.H.A.) a réalisé une étude hydrologique du bassin versant de l'oued Foum el Khanga dans le but de son aménagement. Enfin, et dans le cadre de la coopération Tuniso-Allemande, l'ingénieur principal W.J. Kessen, en 1976, a commencé l'étude proprement dite en vue de l'exploitation des eaux pérennes de l'oued Tamerza et de l'oued el Oudeï pour améliorer l'irrigation des oasis de Foum el Khanga. D'autre part, il a envisagé de retenir les eaux de crue de l'oued el Khanga et de l'oued el Oudeï qui, jusqu'à présent, se perdent sans bénéfice pour la région, pour mieux les exploiter.

En 1978-79 fut exécutée la première phase de l'aménagement, par la construction du barrage de prise de Foum el Khanga. La direction d'Etude des Grands Travaux Hydrauliques (E.G.T.H.) nous a confié la mission d'effectuer les reconnaissances géologiques et hydrogéologiques nécessaires pour la mise en route de la deuxième phase de l'aménagement.

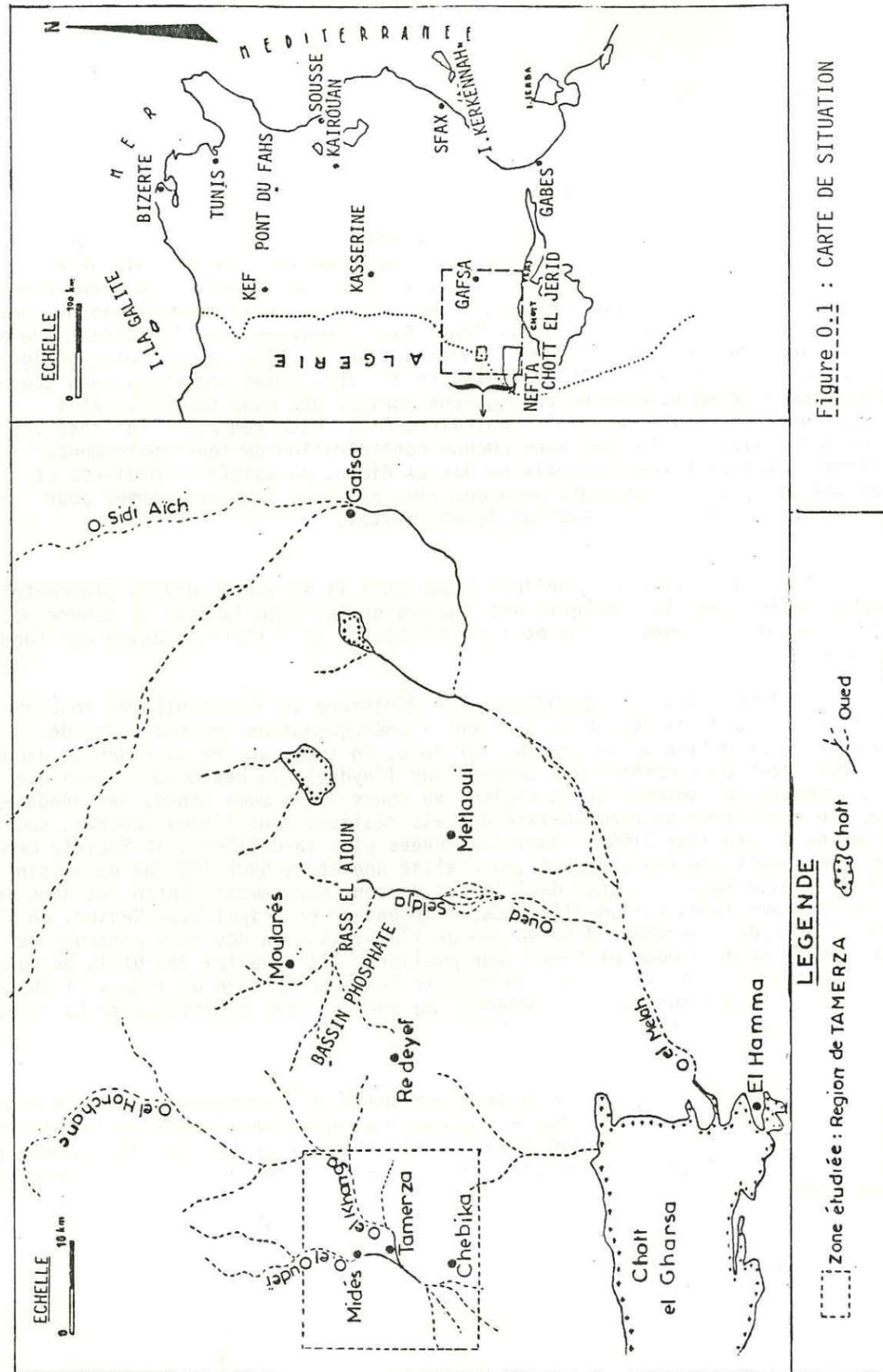


Figure 0.1 : CARTE DE SITUATION

0.2 - GENERALITES

0.2.1 - CADRE GEOGRAPHIQUE -

La région de Tamerza est limitée au Nord et à l'Ouest par la frontière Tuniso-Algérienne, à l'Est par le secteur minier de Redeyef et au Sud par le chott el Gharsa (Fig. 0.1). Cette région se situe dans la terminaison occidentale de la chaîne de Gafsa. C'est une région de montagne dominant vers le Sud le chott el Gharsa où se perdent les grands oueds de la région.

Du Sud au Nord s'alignent parallèlement les jebels Bliji, el Ardhia - Brikiss et ez Zeguellem - es Sgaïf - Msilikr (Fig. 0.2). L'ossature de ces jebels est formée par des matériaux carbonatés durs marquant la topographie et des intercalations marno-calcaires profondément entaillées par l'érosion.

La retombée Nord de jebel Bliji domine une vaste plaine entaillée par un dense réseau hydrographique. A sa terminaison occidentale, cette plaine, qui se rétrécit fortement, est d'autre part divisée longitudinalement par le jebel el Ardhia. L'axe de ce jebel se relève vers l'Ouest où il se prolonge par le jebel Brikiss qui culmine à 599 m à Rass Brikiss. A l'extrémité Nord de la région, les reliefs deviennent presque tabulaires, avec de petits replis au niveau des jebels es Sgaïf et ez Zguellem.

0.2.2. - CADRE ECONOMIQUE ET SOCIAL -

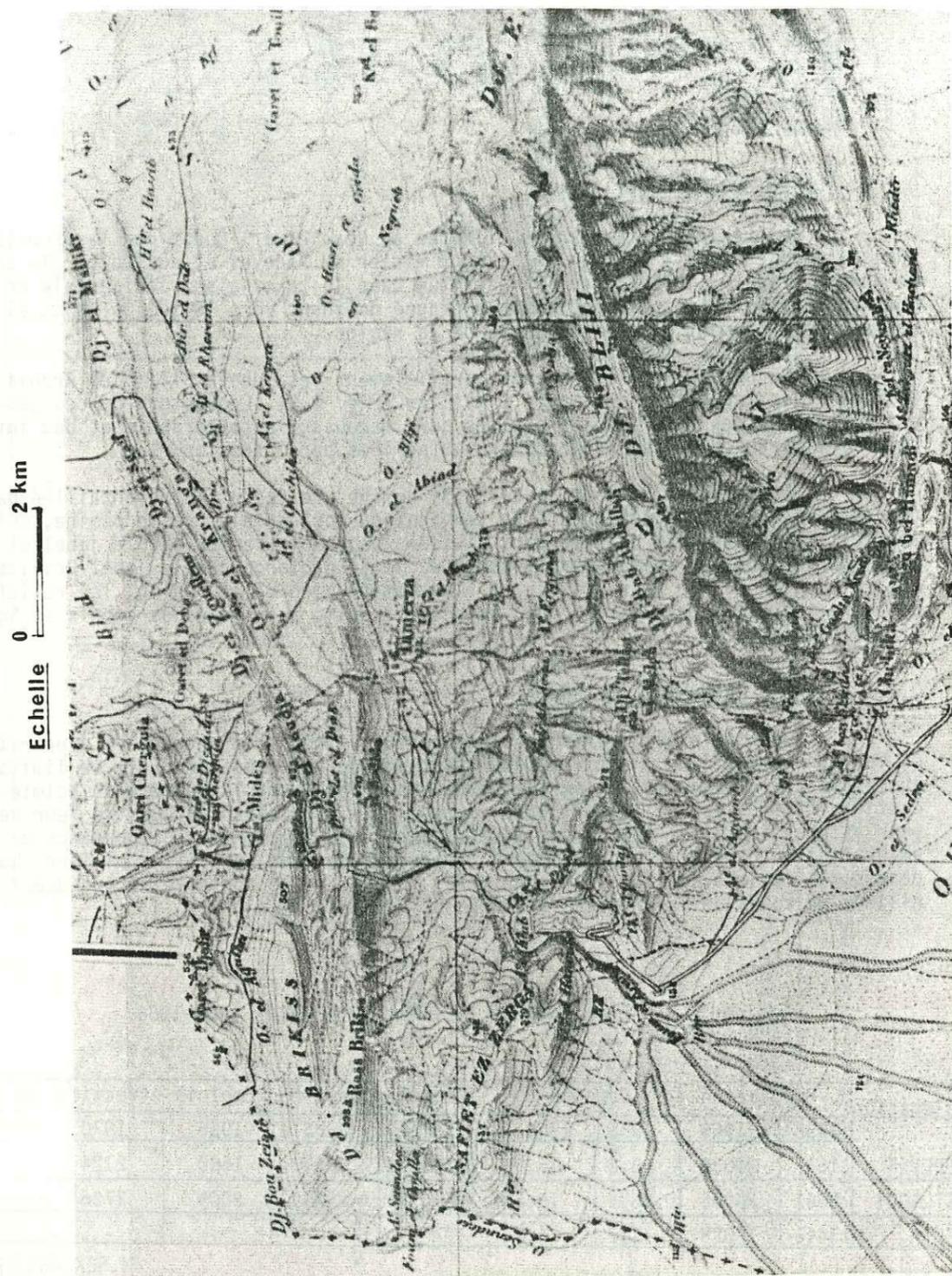
Depuis la découverte des phosphates, l'industrie extractive a entraîné un bouleversement dans l'activité des habitants du Sud Tunisien. Elle se limitait autrefois à l'élevage et à l'agriculture, essentiellement la culture du palmier dattier. Attirés par le travail dans la mine, les "sudistes" ont quitté leur région pour aller s'installer autour des mines. Le tableau 0.1 montre l'importance de cette émigration interne et l'accroissement démographique dans les villes minières aux dépens des régions agricoles (par exemple, Nefta : ville agricole du Sud Ouest tunisien) au cours de la première décennie d'indépendance.

Tableau 0.1 : EVOLUTION DE LA POPULATION ENTRE 1956-1966

Délégation	Population		Densité		Population 1966		Emplois effectifs des mines	
	1956	1966	1956	1966	urbaine	rurale	1966	1970
REDEYEF	11517	34030	8,8	15,0	22353	11677	1680	2124
METLAOUI	9841	29965	6,5	13,8	23570	6395	2009	2726
NEFTA	13411	12029	4,7	4,2	-	-	-	-

(M. SEKLANI, 1976)

Figure 0.2 : EXTRAIT DE LA CARTE TOPOGRAPHIQUE (FEUILLE DE METLAOUI)



Les mines de phosphates ont constitué un frein puissant à l'émigration lointaine du Sud, particulièrement celle du Jerid, jusqu'aux années 60 (Tableau 0.2).

Tableau 0.2 : COMPOSITION DE LA POPULATION ACTIVE (1966)

	Pop.tot(1966)	Pop.active	sous emploi		agriculture	
			nb	%	nb	%
METLAOUI	23570	5702	926	16,2	148	2,6
REDEYEF	22353	5200	506	9,7	410	7,9

(Groupe Huit et C.E.R.E.S, 1973)

La généralisation de l'émigration constatée entre 1966 et 1971 affecte les régions minières où le sous-emploi est fort. Ceci est dû, d'une part, à la jeunesse de la population (Tableau 0.3) et d'autre part à l'introduction de technologies nouvelles d'extraction et de transport de minerai.

Tableau 0.3 : PROPORTION DES JEUNES

	Proportion des agés de		
	-15ans	-10ans	-6ans
REDEYEF	50,2	30,1	19,7
METLAOUI	48,3	32,3	19,4
NEFTA	46,7	32,8	20,5

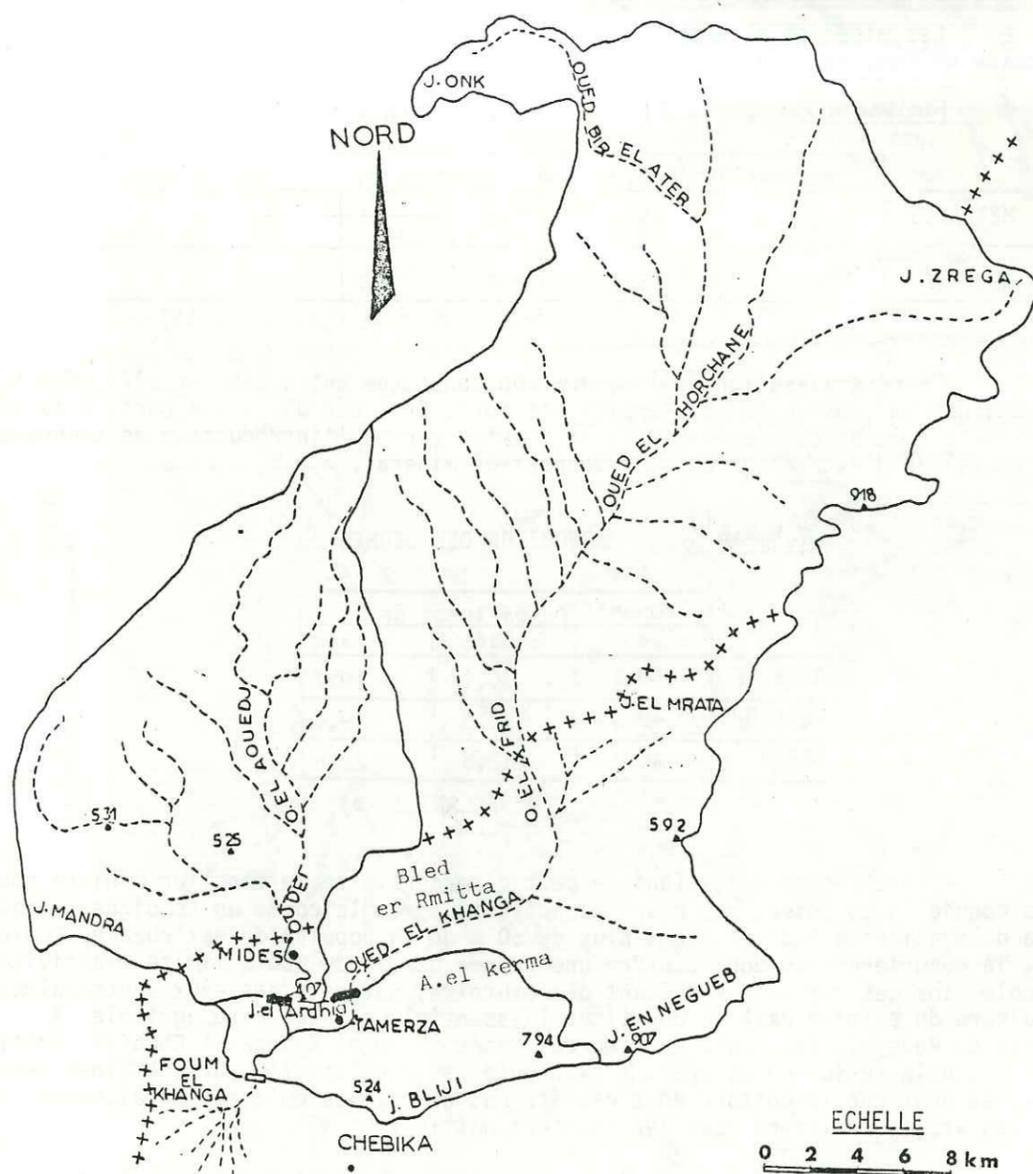
(M.SEKLANI, 1976)

Cette région de la Tunisie peut déborder la seule fonction minière que lui a donnée la colonisation, pour une activité agricole comme en témoigne le cas de la délégation de Redeyef, dont plus de 50 % de la population est rurale. Toutefois, la pénurie en eau dont souffre une grande partie du Sud a limité l'activité agricole dans ces régions. Profitant des exutoires naturels des eaux souterraines, la culture du palmier dattier constitue l'essentiel de l'activité agricole. A l'Ouest de Redeyef, les oasis de Tamerza, Mides, Foum el Khanga et Chebika constituent la seule ressource assurant l'existence des populations. Sur certaines parcelles se pratique la culture en trois étages, au sol les cultures maraîchères, puis les arbres fruitiers sous les palmiers dattiers.

Le développement de ce secteur agricole est freiné par deux problèmes importants :

- la structure foncière des petites propriétés, très morcelées, et la carence des grands propriétaires,
- l'asphyxie des vieilles oasis dans les limites qui leur sont imposées par les possibilités d'irrigation.

Figure 0.3 : AMENAGEMENT HYDRAULIQUE DE LA REGION DE TAMERZA
CARTE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE



LEGENDE

- Limites de bassin versant
- Barrages projetés
- Barrage de prise de Foug el Khanga
- Portion des oueds ou le débit des sources assure un écoulement pérenne
- xxx Frontière Tuniso-algérienne

Les ressources actuellement exploitées ne permettent pas la promotion de ce secteur, l'extension de ces oasis ou la création de nouvelles parcelles étant directement liée à l'eau et au sol. Pédologiquement, les vastes étendues de terre non exploitées sont aptes à ce type de culture, le sol de la région ayant une texture sableuse, parfois à encroûtement gypseux.

L'eau, facteur essentiel à l'agriculture, peut être tirée des nappes souterraines par pompage, ce qui entraînerait probablement le tarissement des exutoires naturels et l'augmentation de la salinité, ainsi que M. BESBES (1978) l'a démontré dans son étude sur le bassin de Moularès - Redeyef. Pour éviter ces risques, il serait donc préférable de mettre en valeur les eaux de surfaces apparemment rares dans cette région, sauf durant quelques périodes annuelles de crues, à condition de les avoir stockées par un dispositif approprié.

0.2.3 - RESEAU HYDROGRAPHIQUE (Fig. 0.3) -

La région de Tamerza est traversée par deux grands oueds : l'oued el Khanga et l'oued el Oudeï, dont une grande partie de leurs bassins versant se situe en territoire algérien. Ils se rejoignent en aval de l'oasis de Tamerza où ils forment l'oued Foug el Khanga. La superficie totale du bassin versant est de 1080 km².

L'oued el Khanga prend naissance au niveau du jebel Onk qui culmine à 1200 m. La jonction de plusieurs écoulements distincts forment l'oued Bir el Ater qui se prolonge par l'oued el Horchane, puis par l'oued el Frid, à l'entrée du territoire tunisien où il devient l'oued el Khanga. A la traversée de jebel el Ardhia, la superficie du bassin versant de l'oued el Khanga est de 720 km². Il se prolonge en aval par l'oued Tamerza qui voit son écoulement assuré par le surplus de débit des sources de Tamerza. L'oued el Khanga ne s'écoule qu'à la suite de fortes précipitations.

Le bassin versant adjacent de l'oued el Oudeï est drainé dans sa partie amont par l'oued el Aouedj prolongé en Tunisie par l'oued el Oudeï qui jouit d'un écoulement continu à partir des sources de Midès. Celles-ci apparaissent dans son lit à la faveur d'un seuil rocheux. A ce débit vient s'ajouter le débit des quatre sources situées en aval sur sa rive gauche. Au niveau des gorges entaillées dans le jebel el Ardhia, la superficie du bassin versant est de 240 km². Même en période d'étiage, l'oued el Oudeï a un débit de l'ordre de 10 l/s avant son confluent avec l'oued Tamerza.

Les deux oueds el Khanga et el Oudeï traversent le jebel el Ardhia par des gorges. Celles-ci ont intéressé les responsables du Ministère de l'Agriculture et ils projettent de les aménager.

0.2.4 - DONNEES STATISTIQUES SUR LA REGION DE TAMERZA -

Les agglomérations de Tamerza, Midès et Chebika ont fait l'objet d'un recensement en 1975 (source la délégation de Redeyef) que nous avons porté sur le Tableau 0.4

Tableau 0.4 : COMPOSITION DE LA POPULATION DE LA REGION DE TAMERZA

	TAMERZA		MIDES		CHEBIKA	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Nombre total d'habitants	1840		910		2100	
Enfants de moins de 18 ans	1000	54,3	500	54,9	1000	47,6
Femmes	400	21,7	200	21,9	600	28,5
Hommes de 18 à 40 ans	400	21,7	180	19,7	400	19,0
Hommes au dessus de 40 ans	40	2,1	30	3,2	100	4,8

(Délégation de Redeyef, 1975)

Si nous supposons que l'accroissement démographique calculé entre 1960 et 1975 reste valable, la population actuelle serait d'environ 2100 à Tamerza, 1200 à MIDès et 2400 à Chebika. Outre ces trois agglomérations, d'autres habitants se regroupent autour des points d'eau à Foum el Khanga, Ain el Kerma et Bled er Rmitta que le recensement a regroupés avec les principales agglomérations. Quatre écoles primaires et trois dispensaires constituent l'essentiel infrastructure de la région.

La population active se consacre à peu près uniquement à l'agriculture, comme le montre le tableau 0.5.

Tableau 0.5 : EMPLOIS DANS LA REGION DE TAMERZA

	TAMERZA		MIDES		CHEBIKA	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
Nombre d'emplois total	237		102		256	
dans l'agriculture	200	84%	100	98%	250	97%
dans le commerce et l'artisanat	10	4,2%	2	2%	5	1,9%
dans l'industrie	5	2,1%				
dans le tourisme	20	8,4%			1	0,3%
autres	2	0,8%				

(Délégation de Redeyef, 1975)

Les surfaces en exploitation ainsi que le taux de production des différentes cultures sont portés dans le tableau 0.6.

Tableau 0.6 : SUPERFICIE ET PRODUCTION DES OASIS DE LA REGION DE TAMERZA

	TAMERZA	MIDES	CHEBIKA
superficie des oasis (ha)	200	100	100
production des dattes: Deglat (tonnes)	140	5	150
superficie exploitée pour les légumes et fruits	5	15	7
% par rapport à la superficie totale	2,5	15	7
superficie exploitée pour les cultures fourragères	4	5	2
% par rapport à la superficie totale	2	5	2
production de la culture fourragère (q)	100	100	120

(Délégation de Redeyef, 1975)

Nous remarquons que sur une faible proportion de la superficie des oasis se pratique la culture en trois étages, alors que les cartes pédologiques et les cartes d'aptitude des trois principales oasis, portées en annexe I, laissent prévoir des superficies beaucoup plus étendues. Ceci est dû, d'une part, à la trop grande densité des palmiers dans les vieilles oasis, cas de l'oasis de Tamerza, et d'autre part à la démission des grands propriétaires terriens qui se contentent de la production annuelle du palmier. Parfois, la pratique de la culture en trois étages est irréalisable à cause du manque d'eau.

Le tourisme constitue la deuxième activité de la région : l'hôtel de Tamerza assure l'emploi de 20 personnes à temps complet, alors qu'en été l'effectif des employés passe à 30. La capacité d'accueil atteint 250 clients en pleine saison touristique (10293 clients en 1978).

Pour développer ce secteur, la piste de Redeyef-Tamerza a été améliorée et élargie en 1980, alors que vers Chebika, la piste de montagne est très étroite, et présente encore des points dangereux malgré les récentes améliorations.

Au Nord-Est, il n'existe qu'une seule piste, rarement fréquentée, qui permet le passage vers l'Algérie.

0.2.5 - PROJET D'AMENAGEMENT ET PLAN D'ETUDE -

Le barrage de prise de Foum el Khanga, déjà construit au cours de la première phase de l'aménagement, permettra sans doute d'assurer dans de bonnes conditions l'irrigation et même l'extension des deux palmeraies situées en aval du barrage.

Les responsables du Ministère de l'Agriculture espèrent maintenant pouvoir passer à la deuxième phase qui consisterait à équiper les gorges du jebel el Ardha afin de retenir les eaux des crues et de les utiliser à l'aval en période de sécheresse, ou pour irriguer de façon continue de nouvelles parcelles récupérées à l'amont en bordure du lit de l'oued el Khanga.

Nous avons commencé notre travail par un levé géologique de la région de Tamerza au 1/25000 sur un agrandissement de la feuille de Metlaoui n° LXV au 1/100000. Le travail de terrain a été facilité par l'existence de la couverture aérienne au 1/10000 (mission n° 558 de l'année 1976).

Au cours de la deuxième étape, nous nous sommes intéressé à l'étude hydrologique et hydrogéologique de la région. A défaut de stations de mesures, la partie hydrologique est essentiellement bibliographique. Toutefois, nous avons essayé d'introduire des méthodes mises au point à une époque récente pour déterminer certaines caractéristiques hydrologiques des oueds du Sud Tunisien. En ce qui concerne l'hydrogéologie, nous avons pu distinguer les différents types d'aquifères grâce aux observations de terrain (structure et perméabilité des formations) et aux caractéristiques physico-chimiques des différentes eaux de la région.

Vu l'aridité du climat de la région, nous avons jugé utile d'exposer les différentes techniques de stockage de l'eau en zones arides. Nous avons ensuite étudié les sites à aménager au niveau du jebel el Ardha et également le site de Midès à cause de l'intérêt qu'il présente pour l'agriculture.

Enfin nous avons étudié les dépôts alluviaux des oueds de la région et les dépôts continentaux susceptibles de fournir des matériaux détritiques. En amont des sites de l'oued el Khanga et de Midès, nous avons effectué une reconnaissance par prospection électrique. Cette reconnaissance nous a permis d'acquérir des données supplémentaires sur les dépôts alluviaux et l'hydrogéologie des deux régions prospectées. Dans le dernier chapitre, nous avons essayé de donner un schéma de l'infiltration dans les dépôts alluviaux et de la factibilité du stockage de l'eau dans les sables et les conséquences hydrogéologiques qui peuvent en résulter dans le cas de l'aménagement de la région de Tamerza.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE GEOLOGIQUE - HYDROLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

DE LA REGION DE TAMERZA

CHAPITRE 1 - ETUDE GEOLOGIQUE

1.1 - GEOLOGIE REGIONALE

1.2 - STRATIGRAPHIE DE LA REGION DE TAMERZA

1.3 - TECTONIQUE DE LA REGION DE TAMERZA

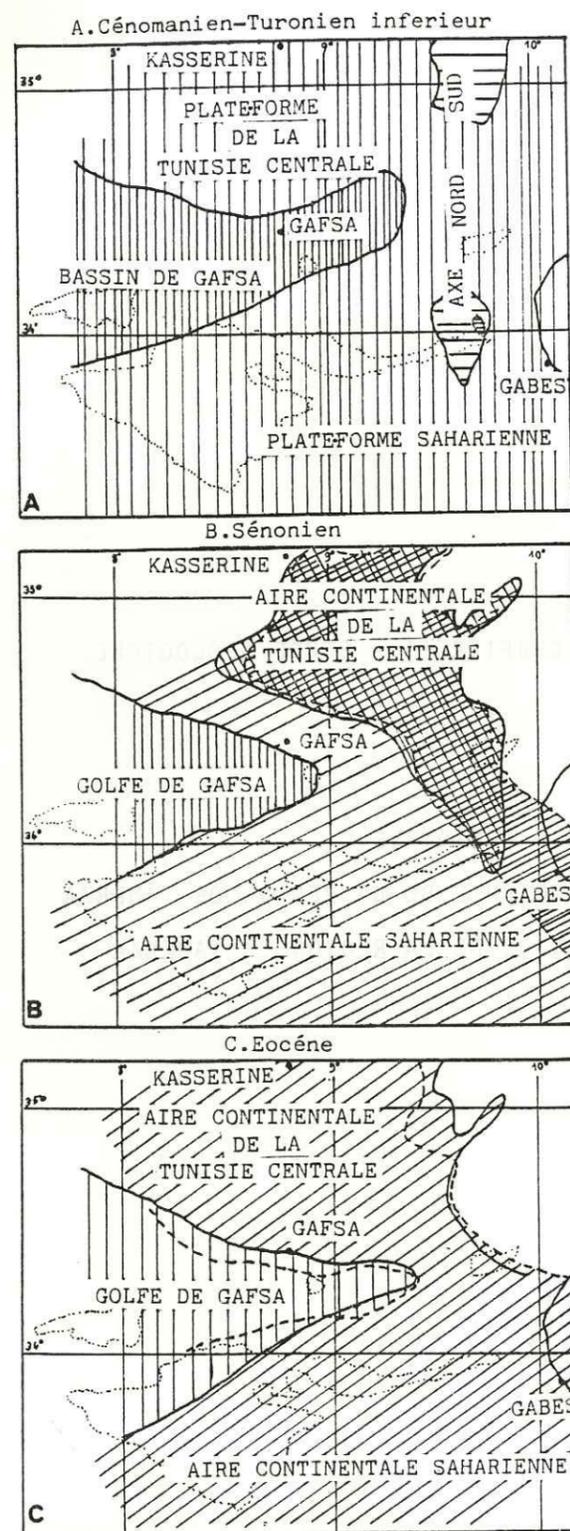


Figure 1.1 : EVOLUTION PALEOGEOGRAPHIQUE DE LA TUNISIE PRESAHARIENNE
(D'après P.F. BUROLLET; 1956)

1.1- GEOLOGIE REGIONALE

La région de Tamerza appartient à l'Atlas méridional tunisien, dernier élément du domaine atlasique avant le domaine saharien. Elle est située dans la chaîne de Gafsa, qui se prolonge sur le territoire algérien par la chaîne de Negrine. Depuis la fin du siècle dernier, les géologues s'y sont intéressés en raison de ses gisements de phosphates.

1.1.1 - HISTORIQUE DES TRAVAUX -

En 1885, PH. Thomas découvre le phosphate dans la gorge de l'oued Seldja. Depuis lors, les études géologiques sur les niveaux phosphatés, leur sédimentologie, leur géochimie et leur stratigraphie se sont multipliées.

En 1910, H. Roux et H. Douville établissent la stratigraphie de la région de Redeyef, située à l'Ouest de la gorge du Seldja.

En 1911, une interprétation structurale en est fournie par H. Roux.

Quelques années plus tard (1932), M. Solignac publie la première carte géologique couvrant la région de Tamerza (feuille de Gafsa au 1/200 000).

Plus près de nous, F. Burollet (1956) a dressé une série de coupes stratigraphiques au niveau de jebel Bliji, situé au Sud de notre secteur d'étude. Ensuite les recherches pétrolières se sont particulièrement intéressées à la structure régionale, dont les plis sont interprétés dans un rapport inédit de la S.N.P.A. (1976).

De son côté, le géographe R. Coque (1962) a étudié la morphologie de la Tunisie présaharienne qui englobe le secteur étudié.

1.1.2 - CADRE STRUCTURAL ET PALEOGRAPHIE -

. Evolution paléogéographique

La région de Tamerza fait partie de la chaîne de Gafsa de direction sensiblement E-W. Cette chaîne occupe actuellement le sillon de Gafsa qui s'est individualisé depuis le Crétacé supérieur (Fig. 1.1). Cette zone formait une aire très subsidente dont la subsidence était irrégulière et lente. Les dépôts du Crétacé supérieur débutent avec des niveaux épinéritiques et deviennent lagunaires. Vers la fin du Crétacé, la série devient progressivement transgressive et de plus en plus marine, d'abord épinéritique, ensuite infranéritique avec prédominance des formes pélagiques dans la microfaune.

C'est au début du Sénonien inférieur que s'individualise nettement l'île de Kasserine au Nord du sillon de Gafsa.

Au Campanien Maestrichtien, le sillon de Gafsa est animé d'une subsidence assez forte d'où la sédimentation d'importante épaisseur de calcaires et de marnes dans des conditions épinéritiques.

Tableau 1.1 : NOMENCLATURE LITHOSTRATIGRAPHIQUE
(D'après D.FOURNIE;1978)

AGES ET ETAGES		FORMATIONS			
2	QUATERNAIRE				
7	PLIOCENE	ASTIEN	Porto - Farina		
		TABIANIEN	Raf - Raf		
		MESSINIEN	Oued Bel Khédim		
12	MIOCENE	Sup.	TORTONIEN		
			SERRAVAL.		
	Moy.	LANGHIEN			
	Inf.	BURDIGALIEN			
		AQUITANIEN			
26	OLIGOCENE				
37	EOCENE	PRIABONIEN	Supérieur		
		LUTETIEN	Sup.		
		LUTETIEN	Inf.		
		YPRESIEN			
53	PALEOCENE	LANDENIEN			
		MONTIEN			
		DANIEN			
70	CRETACE	MAASTRICHT			
		CAMPANIEN			
		SANTONIEN			
		CONIACIEN			
		TURONIEN			
		CENOMANIEN			
		VRACON.			
106	CRETACE	APTIEN			
		BARREMIEN			
		HAUTERIVIEN			
		VALANGINIEN			
		BERRIASIEN			
		MALM			
		DOGGER			
		LIAS			
		195	TRIAS	Sup.	
				Moy.	
Inf.					

Avec le sommet du Maestrichtien, le mouvement régressif de la mer se traduit par le caractère moins marin des dépôts du passage secondaire tertiaire, ce qui correspond à un faciès euxinique. Du point de vue tectonique, l'ensemble de ces dépôts reproduit assez fidèlement le schéma du Maestrichtien calcaire : golfe subsident de Gafsa et île émergée au Nord.

Au Lutétien supérieur et Eocène supérieur, les dépôts sont de type mer presque fermée à faciès côtiers (calcaires fins) et à faciès gypseux des secteurs subsidents.

A l'Oligocène, le golfe de Gafsa-Metlaoui était abandonné par la mer, alors qu'au Miopliocène les dépôts de type lacustre ou continentaux sont connus dans le sillon de Gafsa. Ces dépôts sont précédés par une phase tectonique (P.F. Burollet - 1956).

La première phase orogénique est d'âge Lutétien supérieur ; dans notre secteur d'étude, nous avons noté également les effets d'une phase post miopliocène qui a donné naissance à des petits bassins individualisés limités dans l'espace et des fosses post miocène au Sud, qui ont fait appel à la sédimentation continentale. Enfin, il existe une phase quaternaire bien connue dans la chaîne de Gafsa, que nous avons pu mettre en évidence dans notre secteur d'étude.

. Cadre structural

La région de Tamerza occupe une large zone synclinale d'axe E-W à ENE-WSW encadrée au Nord et au Sud par des anticlinaux auxquels appartiennent respectivement les reliefs qui s'alignent du jebel Brikiss au M'silikr, ou du jebel Bliji au jebel en Negueb.

1.2 - STRATIGRAPHIE DE LA REGION DE TAMERZA

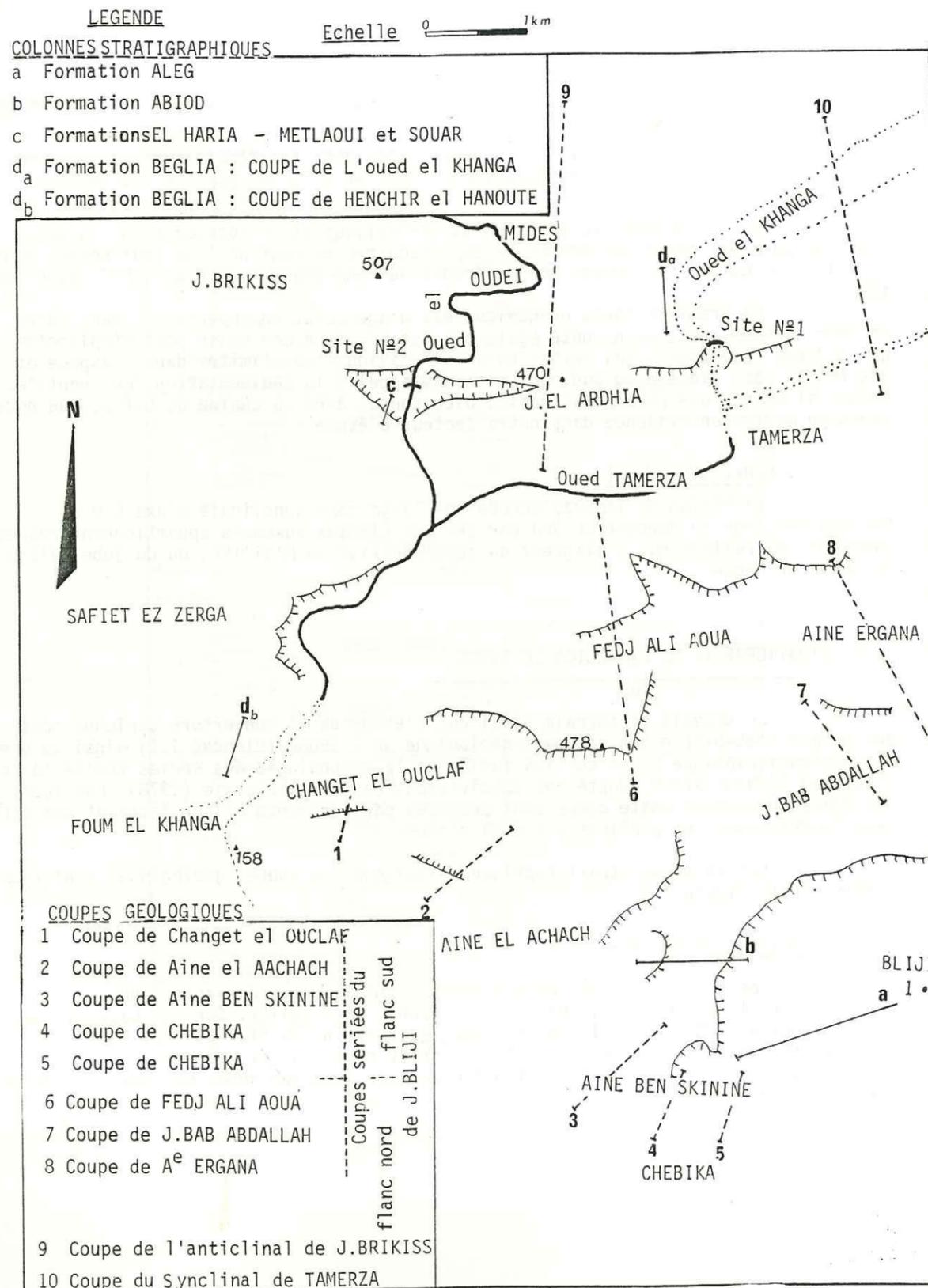
Le travail de terrain ainsi que l'étude de la couverture aérienne nous ont permis d'établir notre document géologique au 1/25000 (Planche 1.1) ainsi qu'une coupe stratigraphique basée sur les faciès et la morphologie des séries sédimentaires. (Tableau 1.1). Nous avons adopté les subdivisions de Daniel Fournié (1978). Les âges des divers termes de cette coupe sont précisés par référence à leur faune et aux données fournies par les publications déjà citées.

Les colonnes stratigraphiques ainsi que les coupes géologiques sont localisées sur la figure 1.2.

1.2.1 - CRETACE SUPERIEUR -

Les terrains d'âge crétacé constituent le coeur des anticlinaux de la région : anticlinaux de Bliji, Brikiss, el Ardhia et M'silikr. Sur des bases lithostratigraphiques, P.F. Burollet a regroupé les terrains en "formation". C'est ainsi que les plus anciens d'entre eux, d'âge Turonien supérieur et Sénomien inférieur, ont été regroupés sous le nom de Formation Aleg, et le Sénomien supérieur sous le nom de Formation Abiod.

Figure 1.2 : CARTE DE LOCALISATION DES COUPES GEOLOGIQUES ET DES COLONNES STRATIGRAPHIQUES



1.2.1.1. - Formation Aleg (Fig. 1.3)

Cette formation occupe le coeur du dôme anticlinal de jebel Bliji. Du point de vue lithologique, nous avons subdivisé les terrains affleurants en deux termes :

- terme inférieur (180 m) formé par une alternance de marnes gypseuses et de bancs calcaires ;
- terme supérieur (300 m) formé par un ensemble plus homogène essentiellement marneux, à cristaux de gypse, qui devient plus carbonaté au sommet, annonçant la formation suivante.

Le sondage pétrolier Bliji 1 a recoupé 255 m de terrains appartenant à la même formation, que nous n'avons pas représenté sur notre colonne parce qu'ils n'affleurent pas dans la région.

1.2.1.2. - Formation Abiod (Fig. 1.4)

Cette formation marque la morphologie par ses deux barres calcaires qui déterminent des escarpements à la base et au sommet de la série.

Les deux termes calcaires sont séparés par un terme médian de 160 m d'épaisseur, nettement plus marneux. L'épaisseur de la barre supérieure est de 80 m, elle est formée par des bancs métriques sans joints marneux et elle est soulignée par une rubéfaction à son sommet.

Cette barre constitue le coeur des anticlinaux de Brikiss, el Ardhia et M'silikr. La totalité de la formation s'observe à jebel Bliji où il est difficile de cartographier les différents termes de la formation Abiod par suite de l'amincissement considérable du terme médian et une mise en continuité apparente des deux barres calcaires. L'existence d'un niveau à silex à la base de la barre supérieure permet d'identifier celle-ci dans les cas douteux.

1.2.2. - PASSAGE CRETACE - TERTIAIRE (Fig. 1.4)

Le terme de passage entre crétacé et tertiaire est constitué essentiellement par des argiles marneuses vertes devenant noires à la base. Au milieu du terme apparaissent des nodules de calcaires marneux blancs qui sont de plus en plus fréquents vers le sommet jusqu'à l'individualisation de lits calcaires qui passent à des bancs vers le sommet. Cet ensemble est connu dans toute la Tunisie sous le nom de Formation El Haria.

Par leur lithologie et leur couleur, ces marnes sont facilement identifiables autour des anticlinaux.

L'épaisseur de la Formation El Haria est variable : 60 m au flanc Sud du jebel Bliji, zone à forte compression, 100 m au flanc Nord du jebel Brikiss, et 120 m au Nord de jebel M'silikr, zone à peu près tabulaire, moins tectonisée.

Au Nord de jebel Brikiss, les marnes de la Formation El Haria sont envahies par du gypse secondaire.

Figure 1.3 : COLONNE*STRATIGRAPHIQUE DE LA FORMATION ALEG

Echelle 

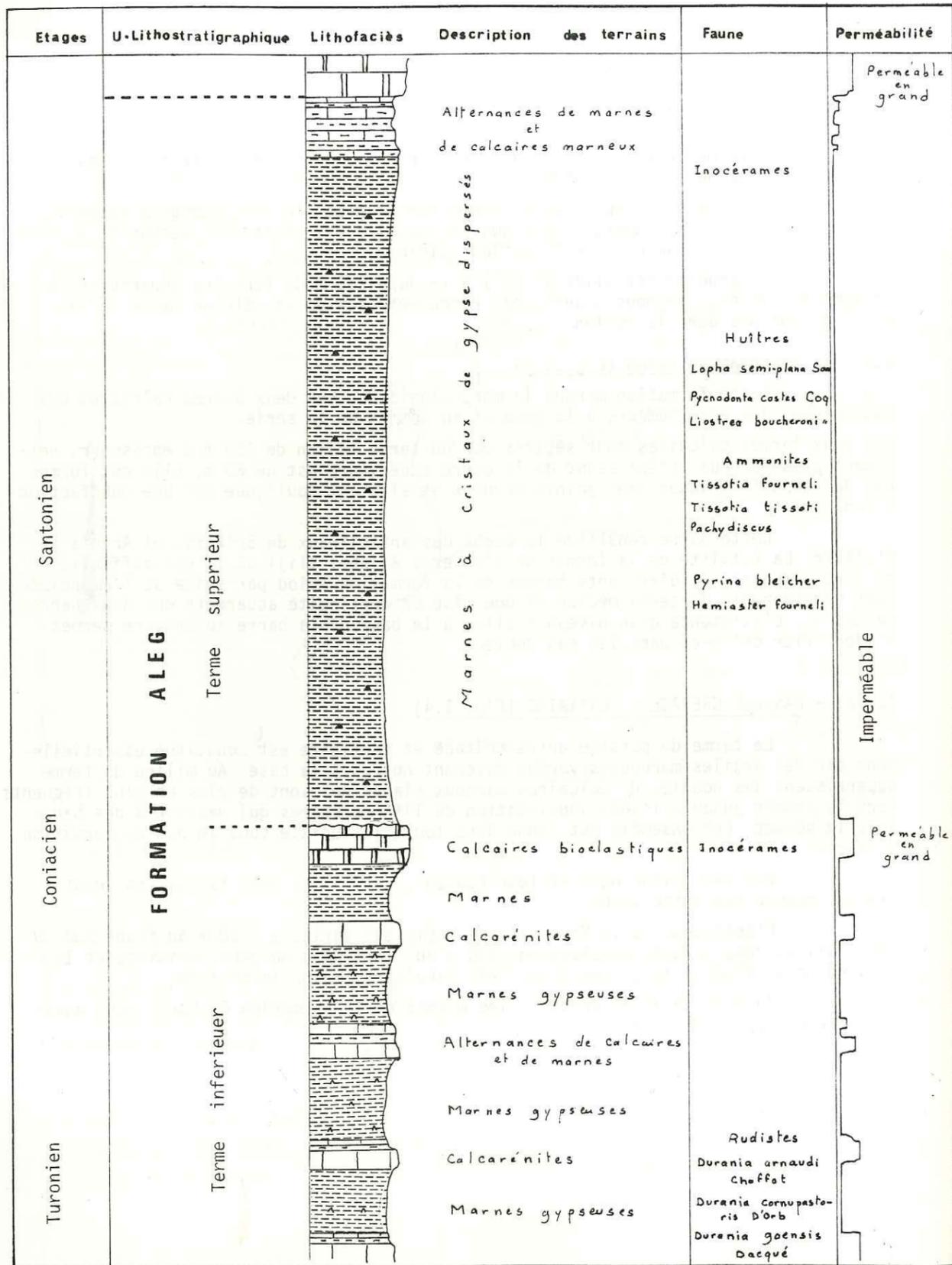
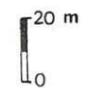
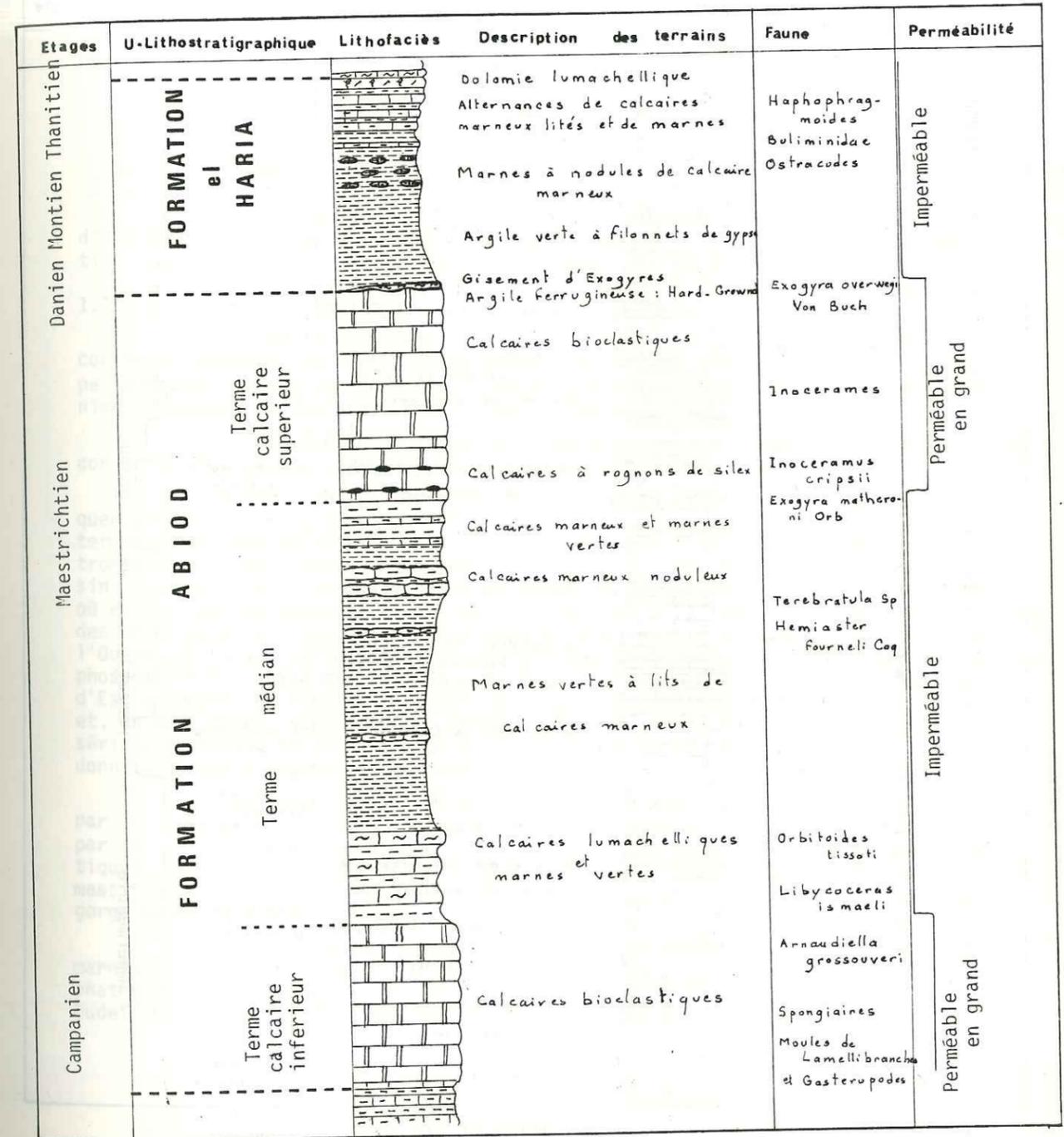


Figure 1.4 : COLONNE*STRATIGRAPHIQUE DES FORMATIONS ABIOD ET EL HARIA

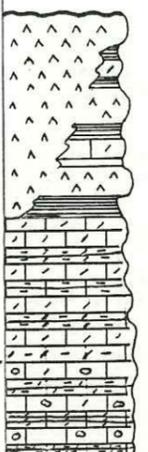
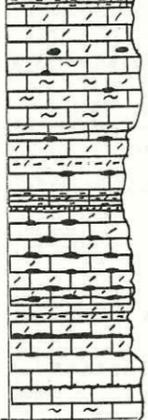
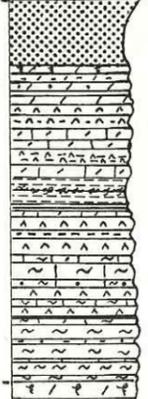
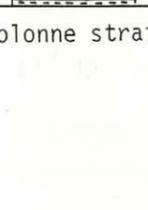
Echelle 



* pour la localisation des colonnes stratigraphiques cf Fig 1.2

Figure 1.5 : COLONNE*STRATIGRAPHIQUE DES TERRAINS EOCENES

Échelle 

Etages	U-Lithostratigraphique	Lithofaciès	Description des terrains	Faune	Perméabilité
Lutétien supérieur Priabonien	FORMATION SOUAR		Gypse massif		Imperméable
			Marnes feuilletées Gypse		
Lutétien inférieur	FORMATION METLAOUI		Dolomie blanchâtre		grand en Perméable
			Marnes dolomitiques		
			Calcaires dolomitiques à géodes de silice Marnes dolomitiques		
			Calcarénites dolomitisées à Ostracés	<i>Ostrea multicostata</i>	
Yprésien	FORMATION METLAOUI		Phosphates		Imperméable
			Calcarénites dolomitisées à ragons de silice (interstratifié)		
Yprésien	FORMATION METLAOUI		Calcarénite à Ostracés	<i>O. multicostata</i> <i>Desh</i>	Imperméable
			Série phosphatée	<i>Terebratula kichsi</i>	
			Dolomie phosphatée	<i>Dyrosaurus phosphaticus</i>	
			Gypse et marnes gypseuses	<i>cardium</i> sp	
			Calcaire dolomitique	<i>O. striplicata</i>	
			Marnes avec un niveau bioturbé	<i>O. punica</i>	
Yprésien	FORMATION METLAOUI		Gypse et marnes		Imperméable
			Calcarudite phosphatée à Ostracés	<i>Cardita</i> sp	
			Célesto barytine	<i>C. coquandi</i> LECARD	
Yprésien	FORMATION METLAOUI		Biocalcarudite à Ostracés		Imperméable

* pour localiser la colonne stratigraphique cf Fig 1.2

1.2.3. - EOCENE (Fig. 1.5) -

Les terrains éocènes affleurent à la retombée des anticlinaux crétacés. D'accès facile, la gorge de l'oued el Oudeï, entaillée dans l'anticlinal d'el Ardhia, offre une bonne coupe naturelle que nous avons subdivisée en trois grands ensembles de haut en bas :

- ensemble supérieur ou série à dolomie et gypse,
- ensemble médian ou série à silice,
- ensemble inférieur ou série à évaporite, Ostracés et phosphates.

Les deux ensembles inférieurs sont connus sous le nom de Formation Metlaoui, d'âge Eocène inférieur à Lutétien inférieur. Quant à l'ensemble supérieur nommé formation Souar ou Djeb, il est d'âge Lutétien supérieur Priabonien.

1.2.3.1. - Formation Metlaoui -

L'ensemble inférieur de cette formation est formé par des alternances de couches à Ostracés, de marnes dolomitiques, de couches de gypse massif et de dolomie peu compacte. Il est couronné par la série phosphatée exploitée dans le secteur minier de Redeyef et Moularès, à l'Est de la région étudiée.

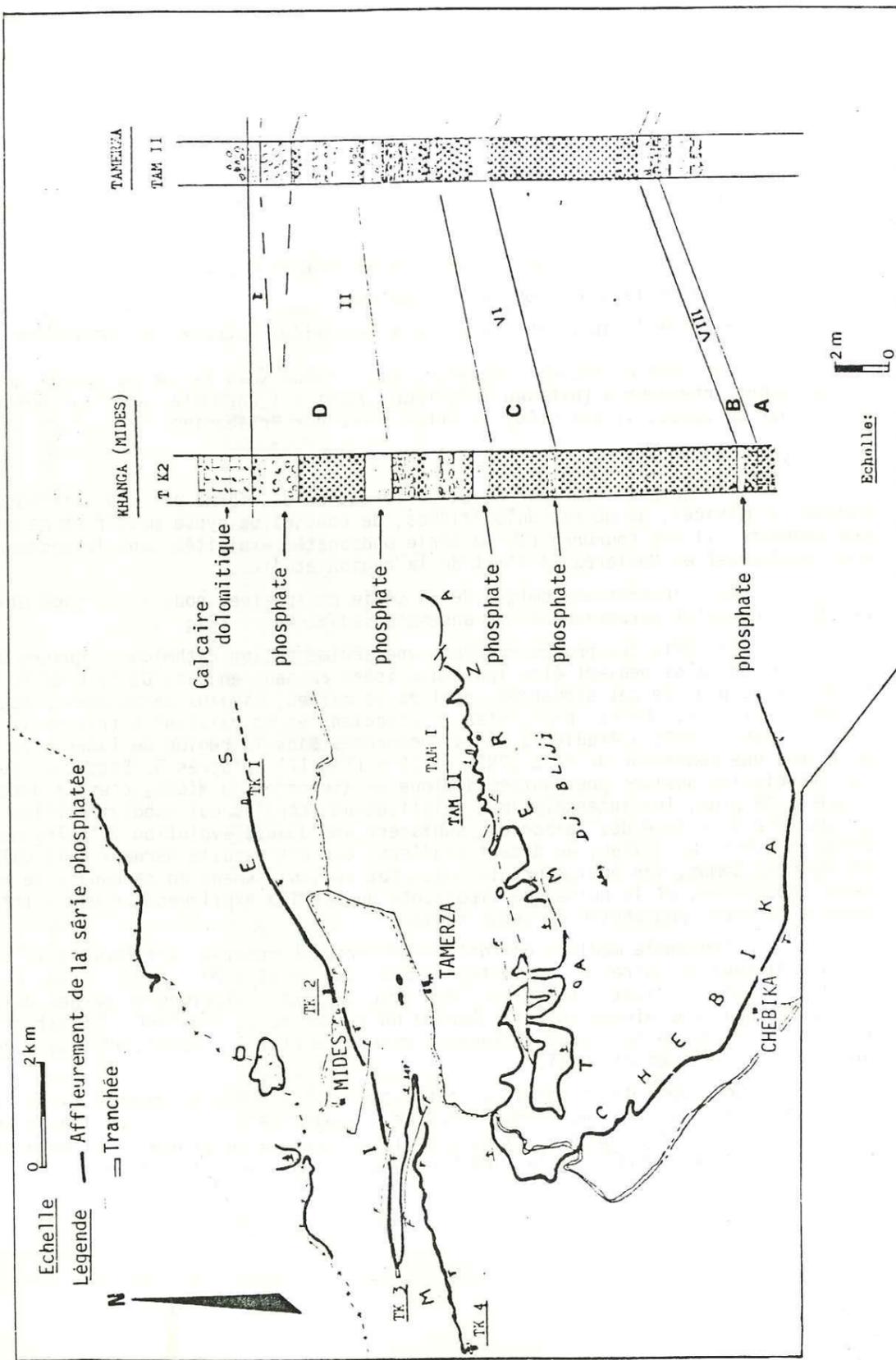
Vu l'intérêt économique de la série phosphatée, nous avons jugé utile de consacrer un petit paragraphe à cet ensemble sédimentaire (Fig. 1.6).

La série phosphatée présente une sédimentation rythmique : quatre séquences principales peuvent être individualisées de haut en bas, D, C, B et A. Les termes principaux de ces séquences, argiles et marnes, niveaux carbonatés fins, biotromes à ostracés, cherts, phosphates, s'associent et se relaient à travers le bassin. S. Sassi (1974) a étudié la série phosphatée dans la région de Tamerza et Midès où elle a une épaisseur de 24 m (TK2) et 22 m (TAM II). D'après S. Sassi, la puissance des principales assises phosphatées diminue en direction de Midès, c'est à dire vers l'Ouest. De plus, les intercalations relativement stériles qui subdivisent les assises phosphatées à la base des faisceaux, subissent une double évolution lithologique d'Est en Ouest. Le niveau, au départ argileux, devient ensuite marneux puis calcaire et, en même temps, son épaisseur diminue. Cet enrichissement en carbonate de la série phosphatée, et la puissance importante du stérile expliquent le peu d'intérêt donné à la série phosphatée de cette région.

L'ensemble médian, ou toit de la série phosphatée, est formé à la base par des niveaux calcaires et dolomitiques massifs, de 25 à 30 m d'épaisseur, puis par des dolomies à silice interstratifiées avec des intercalations de marnes dolomitiques. Un deuxième niveau calcaire montre un faciès moins constant : il est en effet massif dans la gorge de l'oued el Khanga, mais lité plus à l'Ouest, au niveau de la gorge amont de l'oued el Oudeï.

Le sommet de la formation est représenté par des dolomies à silice, des marnes dolomitiques blanches et des dolomies à géodes de silice. Deux niveaux phosphatés de faible épaisseur (0,2 m) sont visibles dans la gorge aval de l'oued el Oudeï. La puissance totale de la formation Metlaoui est de 250 à 280 m.

Figure 1.6 : CARTE DES AFFLEUREMENTS PHOSPHATES - CORRELATION DES PROFILS STRATIGRAPHIQUES
DES TRANCHES TK2, TAMII
(D'après M. SASSI; 1974)



1.2.3.2. - Formation Souar (Fig. 1.5) -

Au niveau de la gorge de l'oued el Khanga, cette formation est représentée par des interstratifications de marnes dolomitiques, des dolomies blanchâtres et de gypse. Plus à l'Ouest, au niveau du lit de l'oued el Oudeï, cette formation est représentée par les mêmes termes mais le gypse y a une épaisseur beaucoup plus importante.

Ceci semble bien indiquer qu'au Lutétien supérieur - Priabonien, notre secteur se trouvait entre deux zones de sédimentation différentes,

- l'une au Nord-Ouest, plus confinée, caractérisée par des masses d'évaporites,
- l'autre, vers l'Est et le Sud-Est, à sédimentation carbonatée

Sur le terrain, cette limite est orientée sensiblement N20 et passerait au niveau de l'oued Foum el Khanga.

Les conditions de sédimentation deviennent plus marines au moment du dépôt du toit de la série phosphatée, avec un retour progressif aux conditions de sédimentation côtière au Lutétien supérieur et au Priabonien. Toutefois, les conditions marines ne permettent pas l'épanouissement de la faune à nummulites qui pullule au même moment au Nord de "l'île de Kasserine". Celles trouvées à Tamerza et à Redeyef s'expliqueraient par l'existence locale de circonstances favorables dues à une subsidence plus active (R. Coque, 1962). Ces nummulites n'ont pas été retrouvées par P.F. Buroillet. G. Castany signale aussi une découverte semblable de M. Solignac à Redeyef (R. Coque, 1962).

1.2.4 - DEPOTS DU "CONTINENTAL TERMINAL" -

Tous les auteurs sont d'accord sur l'absence de dépôts d'âge Oligocène dans la chaîne de Gafsa. A ce moment-là, la mer s'est retirée et des reliefs se sont formés, ce qui a entraîné l'érosion des formations antérieures et le ravinement à la base des dépôts du "continental terminal".

L'âge de ces formations serait probablement Aquitanién à Miocène moyen (d'après la datation des niveaux à bois silicifié de Foum el Khanga par Françoise Delteil-Desneux - 1981).

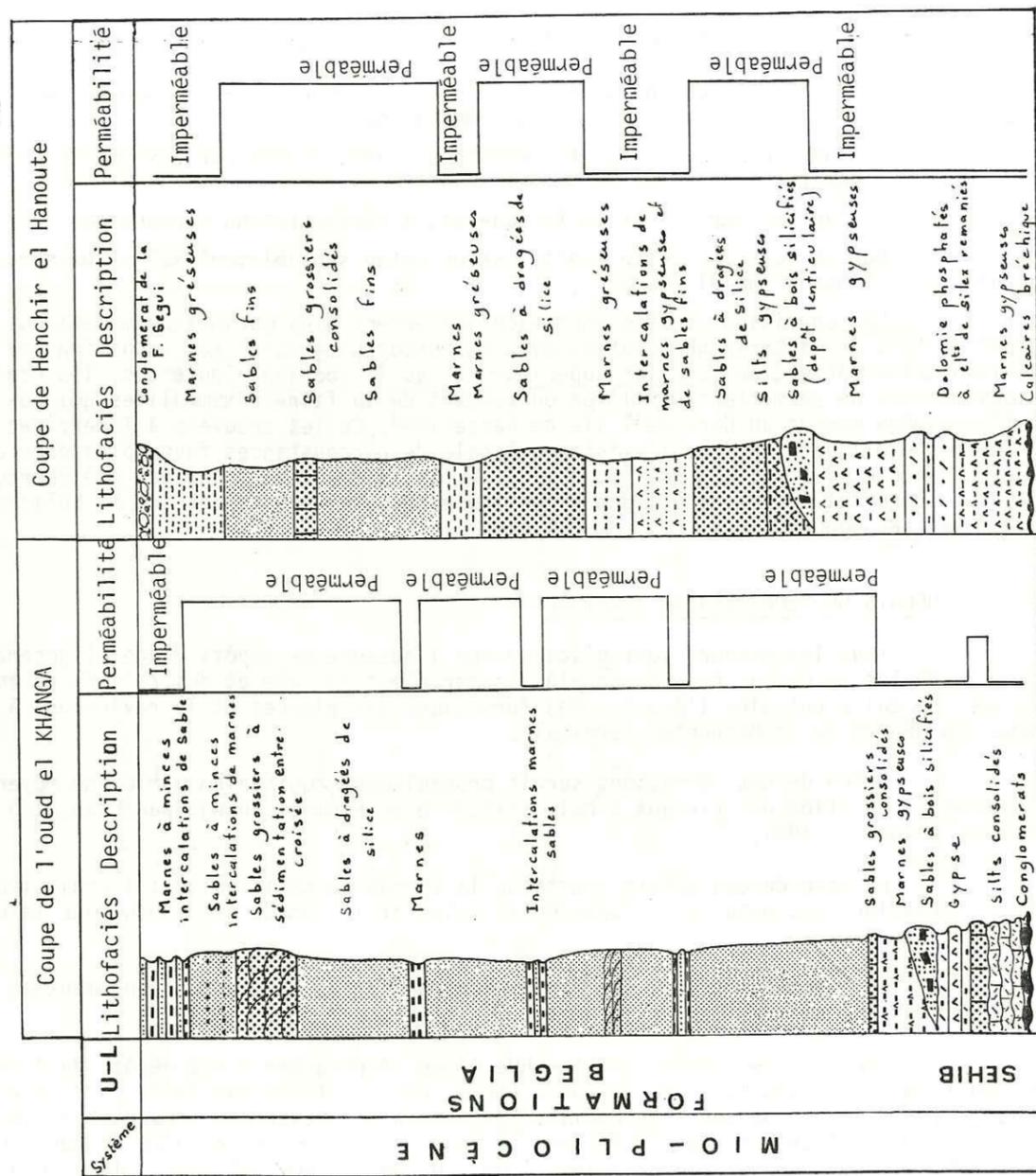
La base de ces dépôts constitue la formation Sehib qui est l'équivalent de la formation Messioua de la Tunisie centrale, et le sommet est connu sous le nom de formation Beglia.

La limite entre ces deux formations serait au niveau du changement de faciès : passage des argiles aux sables.

Traditionnellement, on attribue l'âge Miopliocène à ces dépôts du "continental terminal". Dans la suite de notre étude, nous n'allons pas faire la distinction entre la formation Sehib et Beglia. Ces dépôts se présentent sous deux faciès selon qu'on se place dans la partie Nord ou dans la partie Sud de notre secteur, comme par exemple dans les deux coupes levées l'une au Sud de jebel el Aoudja le long de la rive droite de l'oued el Khanga, et l'autre à l'ouest de Foum el Khanga, à Henchir el Hanoute (Fig. 1.7).

20 m
Echelle

Figure 1.7 : COLONNE STRATIGRAPHIQUE DU "CONTINENTAL TERMINAL" FORMATIONS SEHIB ET BEGLIA



* pour localiser les colonnes stratigraphiques cf Fig 1.2

1.2.4.1. - Coupe de l'oued El Khanga -

Sur l'Eocène repose, en stratification légèrement discordante (observée dans la gorge aval de l'oued el Khanga à l'Est de Tamerza) de 5 à 10°, une série de dépôts dont la base est formée par un niveau de silts consolidés à stratification irrégulière emballant de blocs arrondis de calcaire, de silix, des produits ferrugineux. Ce terme est surmonté par des couches consolidées de sables grossiers, des dépôts de sable jaune à bois silicifié et des silts rouges gypseux ; ces deux derniers niveaux sont lenticulaires et ils sont suivis par une masse beaucoup plus homogène et régulière de sable moyen, à stratification entrecroisée à certains niveaux. Vers le sommet apparaissent des petites intercalations d'argile verte et rouge de plus en plus épaisse vers l'Est. A l'oued en Negueb où la série est plus complète vers le haut, une importante masse d'argile rouge surmonte les sables de la formation Beglia.

En résumé, la formation Beglia se présente sous deux faciès dominants : à la base, des sables, et au sommet des argiles rouges.

1.2.4.2. - Coupe de Henchir el Hanoute -

Au Sud de Safiet ez Zerga, les dépôts du "continental terminal" débutent par un niveau de marnes gypseuses, suivies par des couches de dolomies à nodules de phosphates calciques. Puis viennent des dépôts de silts gypseux et enfin des sables avec intercalations d'argile verte, plus épaisse que dans la coupe précédente.

Les horizons inférieurs du "complexe terminal" ne contiennent que très peu d'éléments provenant du substratum, ce qui prouve qu'à la fin de l'éocène des mouvements limités se bornent alors à esquisser les anticlinaux futurs (R. Coque - 1962). Toutefois nous supposons qu'au moment du dépôt, ces deux bassins étaient séparés par le relief de jebel Bliji engendré par la phase tectonique du lutétien supérieur.

L'épaisseur de cette formation, au niveau de l'oued el Khanga, est de 200 m, et sa puissance augmente beaucoup vers l'Est avant de s'amincir à nouveau vers Henchir Zelles (forage 18716/5) où l'épaisseur est de 197 m. Plus à l'Est dans le bassin de Redeyef - Moularès, l'épaisseur des sables est de 366 m (forage 18704/4).

1.2.5 - FORMATION SEGUI -

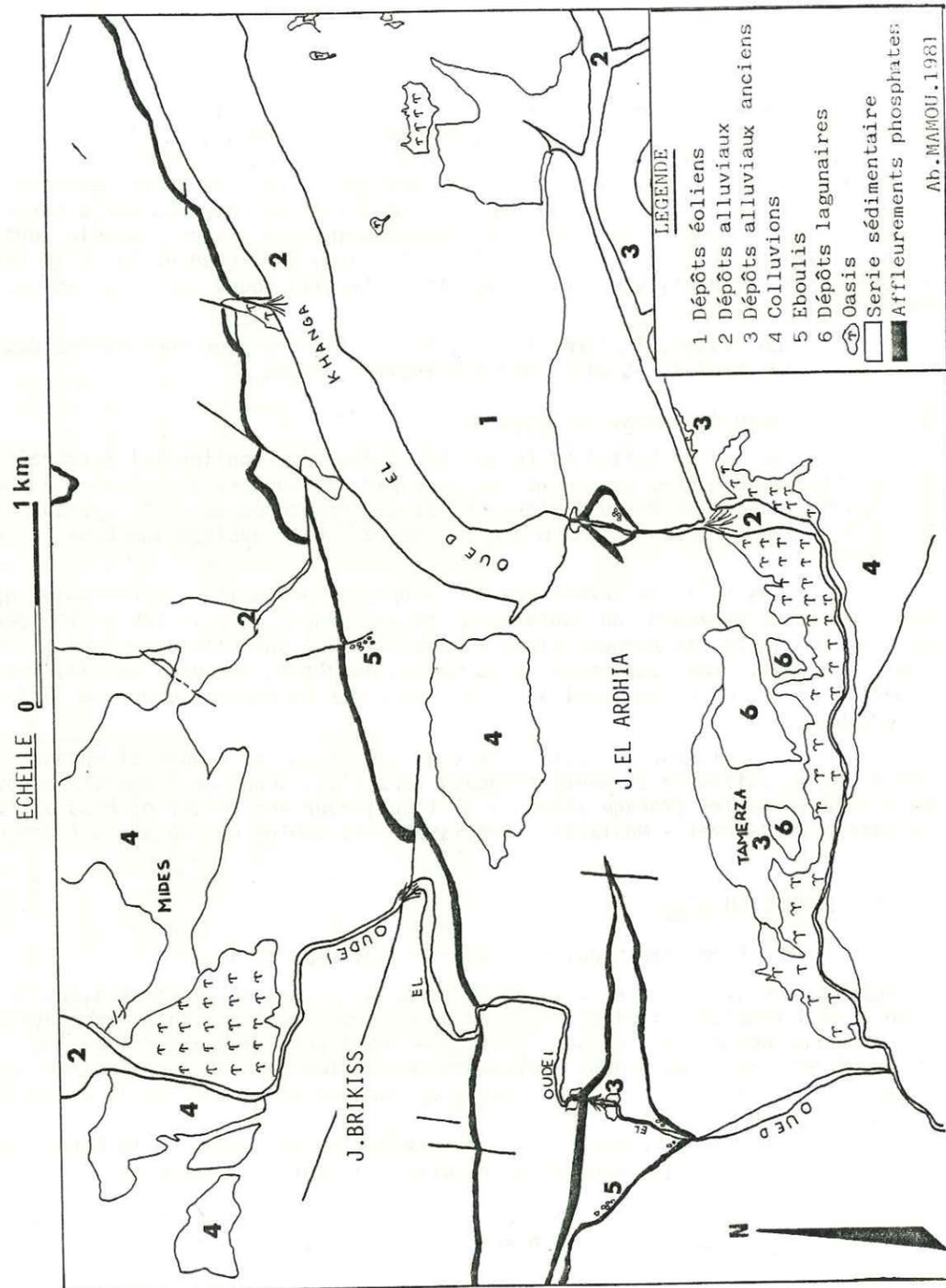
La formation Segui se présente sous deux faciès :

- Faciès marno-gypseux : en aval de la gorge de l'oued el Oudeï et avant le confluent de l'oued Tamerza (pl. 1.1), nous avons observé une importante masse gypseuse surmontant des niveaux marneux verts avec de minces niveaux silteux. Cet affleurement est très limité dans l'espace ; des buttes-témoins du sommet de cette formation s'observent au Nord de l'oasis de Tamerza et au Nord de la piste Tamerza - Fom el Khanga.

Ces dépôts reposent sur les niveaux dolomitiques de la formation Souar, d'une part, et sur les dépôts de la formation Beglia, d'autre part.

- Faciès sablo-argileux : la base de cet ensemble est masquée par un niveau conglomératique que nous avons trouvé au Nord de l'oasis de Fom el Khanga, à Henchir

Figure 1.8 : CARTE GEOLOGIQUE DES FORMATIONS SUPERFICIELLES DE LA REGION DE TAMERZA



el Hanoute. Ce niveau conglomératique plonge de 30 à 40° vers le Sud, ce qui montre l'importance de la tectonique quaternaire. C'est dans un niveau équivalent à ces dépôts (conglomérat surmontant les argiles rouges de la formation Beglia) dans la région de Redeyef que le Docteur E. Gobert a signalé la présence d'une industrie chelléenne et acheuléenne (G. Castany 1951). Si nous admettons qu'il s'agit du même niveau, ces dépôts seraient d'âge Quaternaire.

1.2.6. - FORMATIONS SUPERFICIELLES (Fig. 1.8) -

Les dépôts superficiels se présentent sous des faciès très variés :

- dépôts alluviaux
- éboulis et écroulements
- dépôts éoliens
- dépôts lacustres ou lagunaires

1.2.6.1. - Dépôts alluviaux -

Les dépôts alluviaux anciens se trouvent à des cotes élevées par rapport aux lits actuels. Ces terrasses sont formées par des sables moyens avec des niveaux d'éléments plus grossiers. Elles sont localisées en amont des barrages naturels constitués par les barres rocheuses crétacé ou éocène. Ces dépôts sont repris par l'érosion récente ; leur épaisseur ne dépasse pas 3 à 4 m.

Par contre, les dépôts alluviaux actuels sont moins épais, sauf à la sortie des gorges ou au niveau des cônes de déjection où leur épaisseur dépasse la dizaine de mètres. L'analyse granulométrique des alluvions récentes a montré que la fraction < 0,02 mm représente un faible pourcentage, soit 10 %.

1.2.6.2. - Éboulis et écroulements rocheux -

Les éboulis sont peu épais, formés généralement par des blocs de calcaire à silex et des produits d'altération de ces matériaux. Ces dépôts sont généralement stables.

En aval du confluent des deux oueds Tamerza et El Oudeï, nous avons délimité un énorme écroulement (photo 1.1). Cette masse s'est détachée du sommet du versant sur une distance de 800 à 1000 m, et elle a glissé jusqu'au lit de l'oued sans donner naissance à un barrage naturel. La niche d'arrachement fait 3 à 4 m de hauteur, les fissures de traction larges de 1 à 2 m au niveau de la niche d'arrachement, et des crevasses de 20 à 25 m de profondeur et larges de 1,5 m à 2 m s'observent dans le corps glissé. La masse écroulée s'étend sur une superficie de l'ordre de 770 000 m². Cet écroulement s'est produit probablement à une époque beaucoup plus pluvieuse et le niveau sédimentaire responsable de ce mouvement serait la série phosphatée. Actuellement, aucun signe de mouvement ne s'observe au niveau de la piste qui passe sur la masse écroulée.

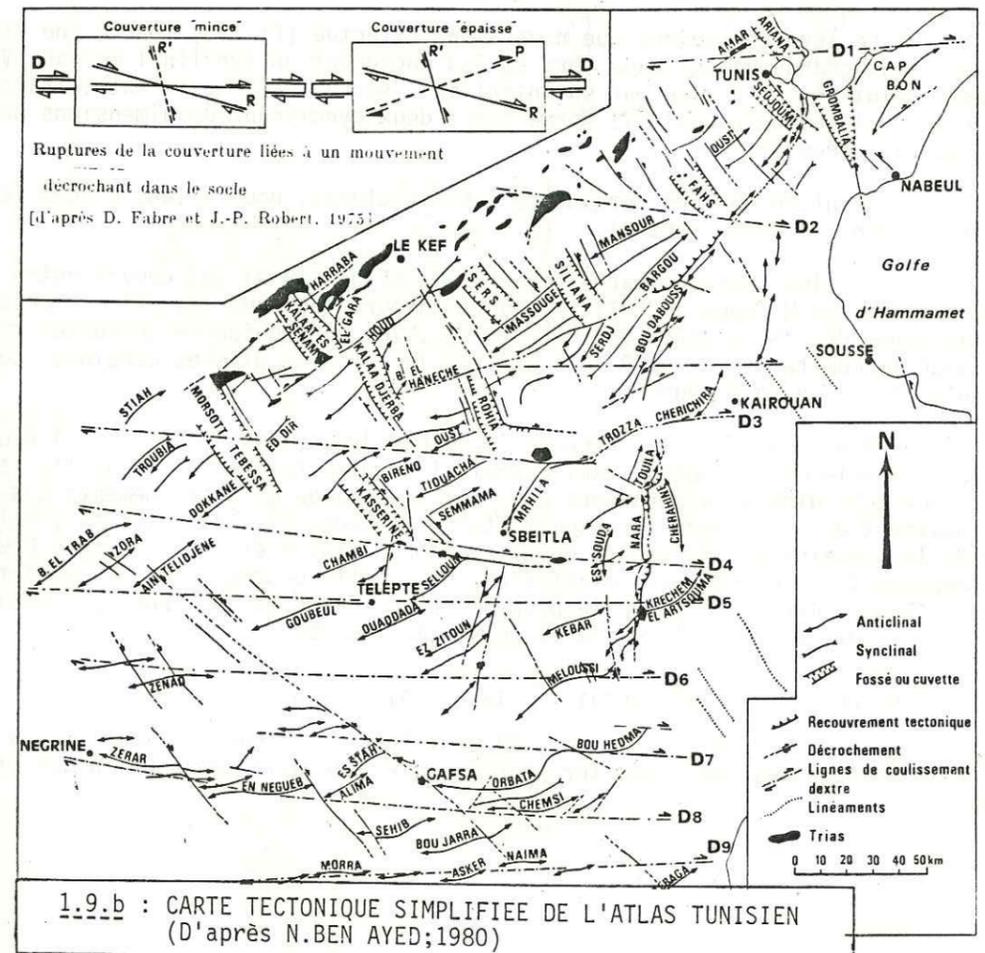
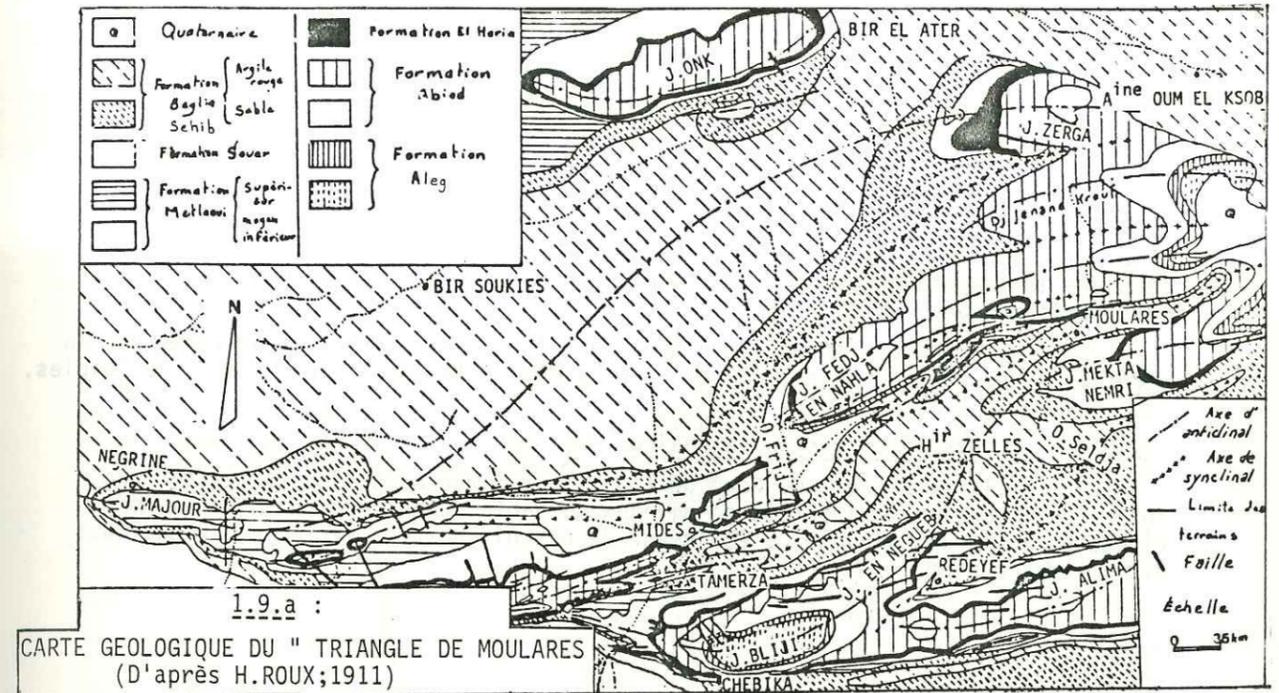
Plus à l'Est et sur le flanc Nord de jebel Bliji (Pl. 1.1), nous avons délimité un deuxième écroulement dû au renversement de la série sédimentaire. La masse écroulée s'est détachée de la barre Abiod supérieur et elle a entraîné les terrains de la formation Métaoui (terme inférieur). La masse écroulée s'étend sur une superficie de l'ordre de 400 000 m².

Photo 1.1 : VUE AERIENNE DE L'ECROULEMENT AU SUD-OUEST DE L'OASIS DE TAMERZA

ECHELLE 0 200m



Figure 1.9 : CDRE TECTONIQUE DE LA REGION DE TAMERZA



1.2.6.3. - Dépôts éoliens -

Ces dépôts s'accumulent sur les versants exposés à la direction dominante du vent, qui est le Nord-Est. Ainsi les dépôts les plus importants se localisent-ils sur les versants Nord des jebel Bliji, el Ardhia et M'silikr. Sur ce dernier, les dépôts occupent toute la hauteur du versant et débordent la crête vers le flanc Sud.

La dune du versant Nord de jebel el Ardhia, partiellement fixée par la végétation, se déplace vers l'Ouest, et ceci même à la faveur des vents très faibles.

1.2.6.4. - Dépôts lacustres ou lagunaires -

Ils se situent au Nord de l'oasis de Tamerza et sont formés par une interstratification horizontale de niveaux de sable jaunâtre et de niveaux noirs riches en matière organique. L'épaisseur de ces niveaux est variable, de quelques millimètres à 5 cm.

1.3. - TECTONIQUE DE LA REGION DE TAMERZA -

Le levé géologique que nous avons effectué (Pl.1.1) montre une structure simple : deux grands anticlinaux Nord et Sud encadrent un synclinal médian. Vers l'Ouest, celui-ci est divisé par un anticlinal "secondaire" qui vient se raccorder à l'anticlinal septentrional. Il forme alors deux synclinaux de dimensions transversales plus réduites.

Avant de décrire chacune de ces structures, nous allons placer la région de Tamerza dans un cadre général.

La plus ancienne carte structurale (Fig. 1.9.a) qui couvre notre secteur a été publiée par H. Roux en 1911. Pour cet auteur, les axes des plis se présentent en plan comme des "S" couchés vers l'Est. En 1976, une équipe de géologues travaillant pour le compte de la S.N.P.A. a utilisé le terme de plis en échelons, conforme à l'interprétation antérieure.

Dans une note plus récente de N. Ben Ayed (1980) (Fig. 1.9.b) nous avons trouvé un modèle mécanique qui expliquerait l'architecture actuelle de l'Atlas tunisien. Pour cet auteur, la structure est liée à des jeux de décrochements E-W dextres qui induisent dans la couverture sédimentaire de longs plis disposés en échelon, au bord de la plateforme saharienne, des virgations axiales et des traînages E-W qui s'accompagnent parfois de plis d'entraînements. Cette conception, qui rejoint d'ailleurs le modèle mécanique générale proposé par D. Fabre et J.P. Robert (1975) paraît bien s'appliquer aux structures de la région de Tamerza.

1.3.1. - ANTICLINAL DU JEBEL BLIJI - (Fig. 1.10)

Les coupes de la figure 1.10 sont localisées sur la figure 1.2 à laquelle le lecteur doit se rapporter pour pouvoir suivre la description des structures.

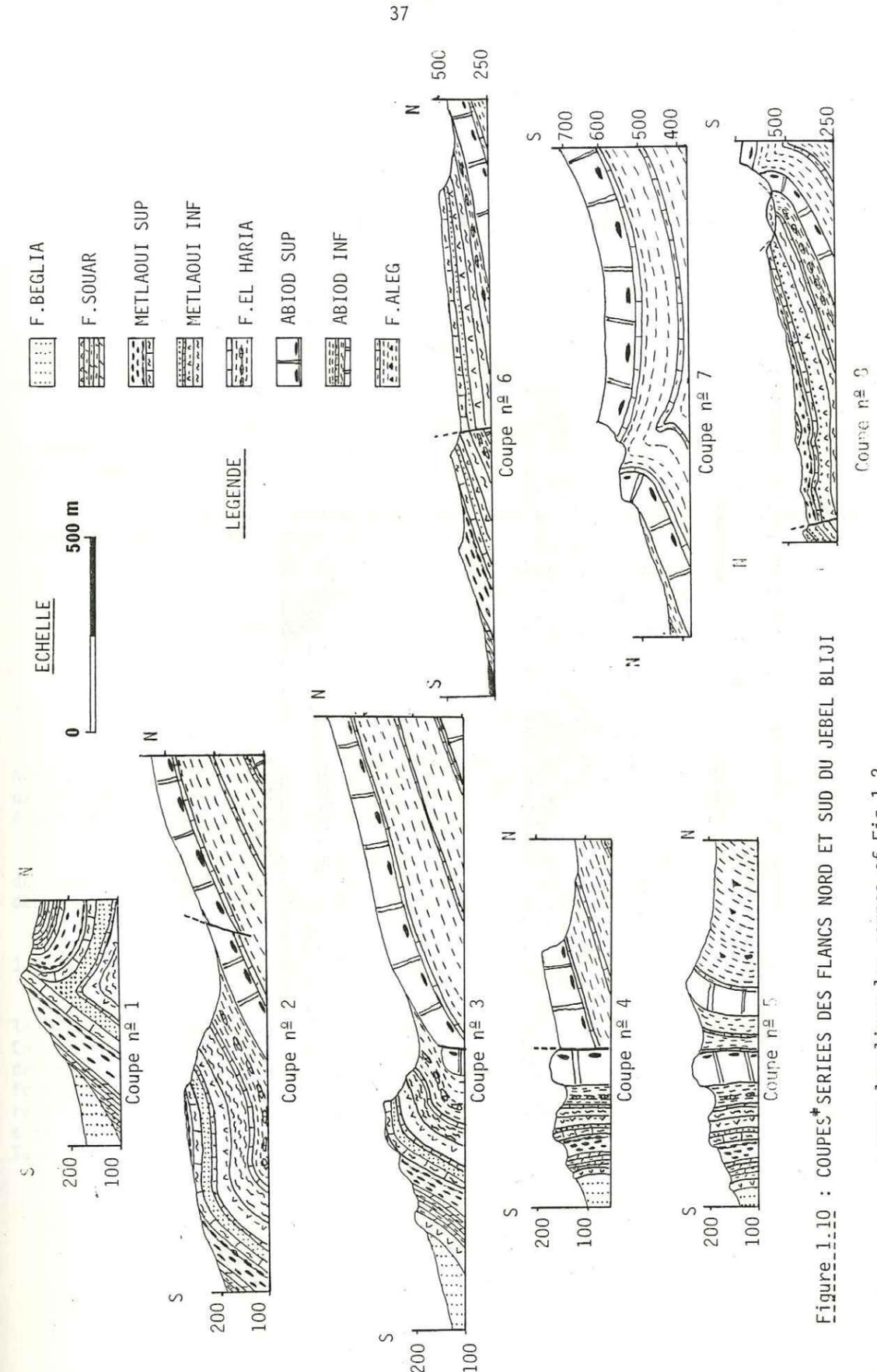
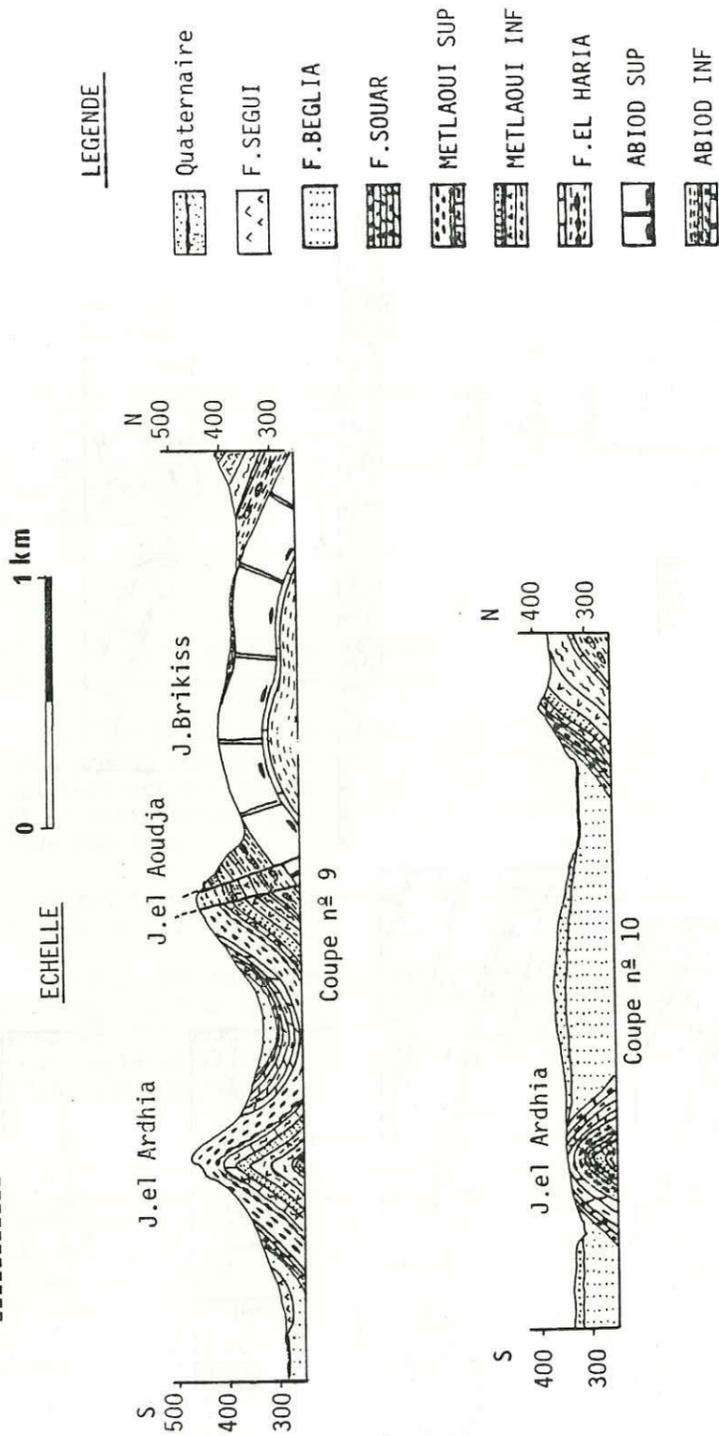


Figure 1.10 : COUPES* SERIES DES FLANCS NORD ET SUD DU JEBEL BLIJI

* pour localiser les coupes cf Fig 1.2

Figure 1.11 : COUPES* DU JEBEL BRIKISS ET DU SYNCLINAL DE TAMERZA



L'anticlinal du jebel Bliji est un pli dissymétrique à flanc Sud renversé 80° N (coupe n° 5) et à flanc Nord, faiblement incliné (coupes 6 et 8). L'indépendance relative des formations tertiaires se manifeste sur les deux flancs du pli :

Sur le flanc Sud, ces terrains sont affectés de petits replis d'entraînement (coupes 1-2 et 3) dont l'axe plonge vers l'Ouest. Ces plis se manifestent légèrement sur la barre Abiod supérieure sous-jacente par une tectonique cassante, (coupes 3 et 4).

Sur le flanc Nord, le contraste est encore plus frappant, alors que la barre du crétacé supérieur dessine localement un pli renversé vers le Nord (coupe 7) limité vers l'Ouest par des failles décrochantes, on observe dans l'Eocène des plis de style coffré (coupe 8) et des plis failles.

L'axe du jebel Bliji se présente comme un arc à concavité tournée vers le Nord : sa direction passe en effet progressivement de N130 au jebel Telliset el Melah à N90 puis N60 au jebel en Negueb.

L'anticlinal du jebel Bliji est haché par des accidents dont les directions se regroupent en 3 familles.

- . les accidents sub méridiens sont des décrochements sénestres,
- . les accidents de direction N130 à N140 sont des décrochements dextres,
- . les accidents de direction E-W qui affectent le coeur de l'anticlinal et le flanc Nord sont des failles inverses.

1.3.2. - ANTICLINAL DU JEBEL BRIKISS - (Fig. 1.11)

Cet anticlinal est moins serré que le précédent ; en effet, son flanc Nord est presque tabulaire (coupe 9), tandis que le pendage de son flanc Sud est de 40 à 50° S. C'est de ce flanc que se détache l'anticlinal "secondaire" d'el Ardhia de direction N80 et dont l'axe plonge de 10 à 15° E.

L'anticlinal du jebel Brikiss est affecté par un décrochement sénestre de direction N110 à N120. Son flanc Sud est replissé, en plus il est affecté par des décrochements N-S et N60 s'ajoutant à ceux de direction N110-120.

1.3.3. - SYNCLINAL DE TAMERZA - (Fig. 1.11 coupe 10)

Large de 7 km entre le jebel es Saïf et le flanc Nord du jebel Bliji, le synclinal de Tamerza se resserre très vite au niveau de l'anticlinal d'el Ardhia. Celui-ci le divise vers l'Ouest en deux branches qui se prolongent jusqu'à la rive droite de l'oued el Oudeï. Le coeur de ce synclinal est occupé par les dépôts de la formation Beglia ultérieurement tectonisée. Ces accidents (failles inverses) et ces replis ont guidé l'érosion, d'où le dépôt de graves bien arrondies. Ces structures s'observent au niveau de l'entaille de l'oued el Khanga, en amont de la gorge de Tamerza.

Vers l'Est, ce synclinal se prolonge jusqu'à la région de Redeyef -

Moularès où son axe est soulevé pour replonger de nouveau vers le bassin de Tabeditt.

Les données de sondages (exécutés par la Compagnie des Phosphates à Henchir Zelles) et les observations de terrain sont en faveur du modèle proposé par N. Ben Ayed et qui interprète cette région par des plis en échelons. Les travaux en cours de F. Zargouni sur la chaîne de Gafsa (thèse d'Etat) nous apporteront plus d'éléments pour comprendre la structure de la région étudiée.

CHAPITRE 2 : HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE

- 2.1. - CLIMAT
- 2.2. - HYDROLOGIE
- 2.3. - HYDROGEOLOGIE
- 2.4. - CONCLUSIONS

Dans tout projet d'aménagement, la connaissance des caractéristiques hydrologiques est indispensable pour calculer les dimensions de l'ouvrage principal et des ouvrages annexes : évacuateur de crues, organes de dévasement, etc..

Pour le projet de Tamerza, les données à rassembler en priorité concernent les apports liquides et solides des deux oueds de la région, ainsi que l'évaporation. Malheureusement, ne disposant pas de stations de mesure de ces caractéristiques, nous avons tenté de tirer le maximum de l'étude bibliographique : les chiffres obtenus donnent au moins une idée approximative.

Le schéma hydrogéologique de la région de Tamerza a été déduit de ce que l'on sait sur sa structure géologique et sur les caractéristiques physiques et chimiques de ses eaux, il n'existe encore ni carte piézométrique, ni carte hydrogéologique. L'interprétation est basée essentiellement sur la connaissance de la lithologie des diverses formations sédimentaires et sur la répartition des sources.

2.1 - CLIMAT

Pour classer la région de Tamerza dans un type de climat selon la classification de Thornthwaite, nous devons nous référer aux précipitations, à la température et à l'évaporation qui nous permettront de calculer les indices d'aridité Ia et d'humidité Ih.

2.1.1. - PRÉCIPITATIONS

D'après la carte pluviométrique de Gausson et Vernet (Fig. 2.1), les bassins versants des deux oueds el Khanga et el Oudeï s'étagent entre les altitudes de 1200 m et 300 m; ce qui les situe entre les isohyètes 500 et 100 mm. Les courbes hypsométriques (Fig. 2.2) des deux bassins montrent que leurs tranches les mieux arrosées ne représentent qu'une fraction relativement restreinte de leur superficie.

Pour les années 1901 à 1960, et en excluant les mois de Juillet et Août (toujours dépourvus de précipitations), on voit, sur l'étendue de ces bassins, la moyenne osciller entre 150 et 250 mm.

Ces premiers chiffres sont loin, d'autre part, de donner une idée de l'irrégularité des précipitations, typique en Tunisie et tout particulièrement dans la région concernée. Afin de mettre en évidence cette irrégularité, nous avons tracé (Fig. 2.3) la carte des isohyètes des années 1968-69, 1969-70 et 1970-71 à partir des données des stations de Gafsa (G), Metlaoui (Me), Moularès (Mo), Redeyef (R), Degache (D), Tozeur (To) et Nefta (N).

Figure 2.1 : CARTE DES PRECIPITATIONS SUR LE BASSIN VERSANT DE L'OUED FOUM EL KHANGA (D'après GAUSSEN et VERNET;1954)

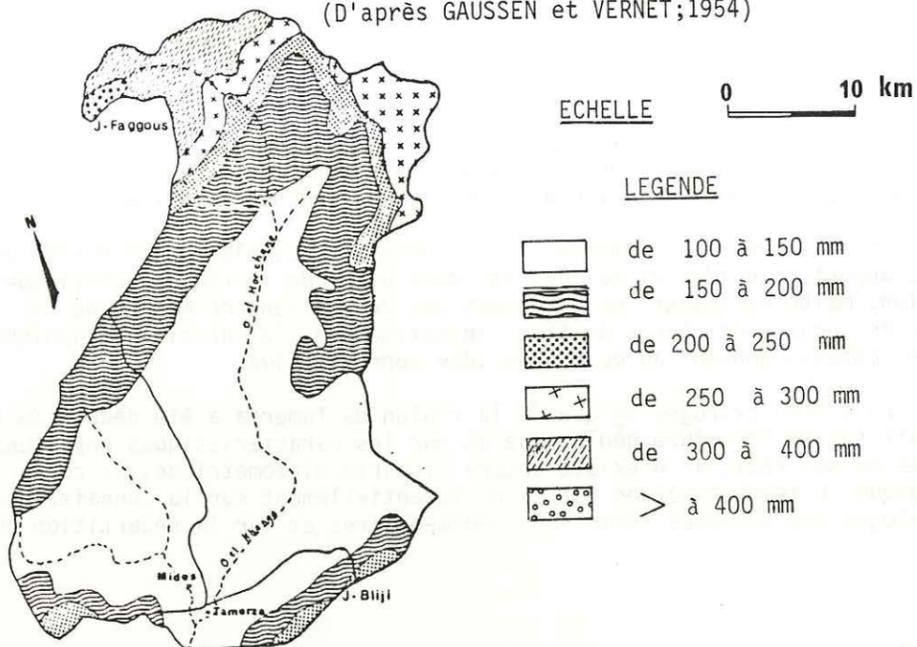
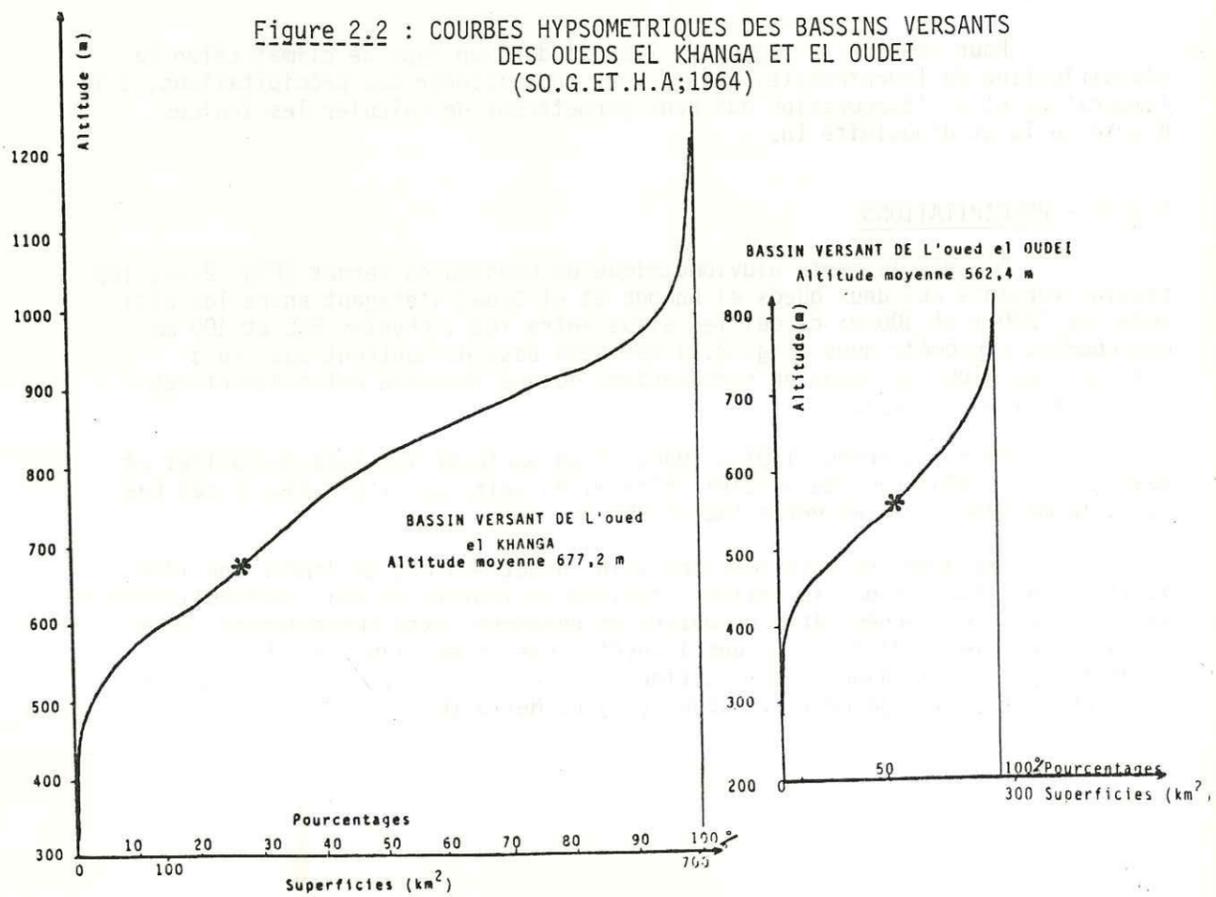


Figure 2.2 : COURBES HYSOMETRIQUES DES BASSINS VERSANTS DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI (SO.G.ET.H.A;1964)



* Altitude moyenne du bassin versant

Figure 2.3 : CARTE DES ISOHYETES DES ANNEES 1968-1971 (Gouvernorat de Gafsa)

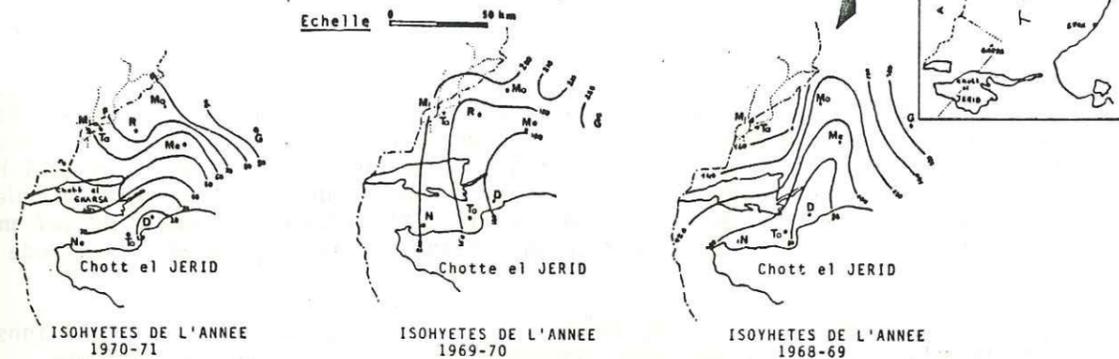
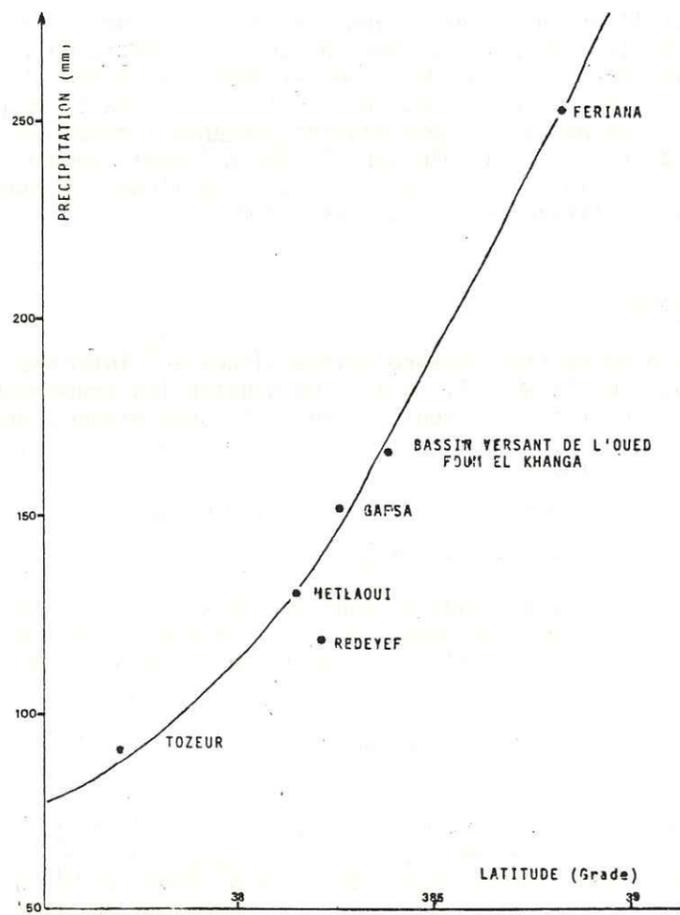


Figure 2.4 : PRECIPITATION ANNUELLE EN FONCTION DE LA LATITUDE (SO.G.ET.H.A;1964)



Pour l'année 1968-69, la tranche d'eau, sur le centre des bassins versants, était supérieure à 160 mm ; en 1969-70 (année exceptionnellement pluvieuse pour toute la Tunisie), elle a atteint 200 mm, et en 1970-71, elle s'est, au contraire, réduite à 70 mm. Les précipitations moyennes annuelles peuvent aussi s'exprimer en fonction de la latitude par $P = 105 + 180 (Y - 38)$ où P est la précipitation moyenne annuelle, à une station donnée, et Y la latitude en grades. Cette corrélation (Fig. 2.4) a été établie en 1964 par l'équipe de la S.O.G.E.T.H.A à partir des données enregistrées aux stations de Tozeur, Metlaoui, Gafsa, Redeyef et Fériana. Elle permet de prévoir une précipitation moyenne annuelle de 167 mm pour l'oued Foum el Khanga (le milieu du bassin versant se situe à la latitude $38^{\circ}38'$).

D'après les renseignements recueillis sur place, les précipitations sont fréquentes à la fin de l'été (août-septembre) et au début du printemps (mars-avril). Celles-ci sont parfois très denses et concentrées : c'est ainsi qu'au mois de mars 1980, nous avons enregistré 76 mm en 48 heures, et 42 mm en 24 heures, ce qui dépasse de loin les pluies cumulées de toute l'année 1970-71. Ceci met donc en évidence, à côté de l'irrégularité annuelle globale, une irrégularité non moins notable de l'importance individuelle des pluies.

Pour l'instant, nous pouvons retenir que, sur le bassin versant de l'oued el Khanga, la précipitation moyenne annuelle serait de l'ordre de 160 mm, alors que sur le bassin versant de l'oued el Oudeï, elle serait sans doute plus faible, de l'ordre de 100 à 120 mm. Cette différence s'explique par l'altitude des reliefs qui commandent les deux bassins versants : celui de l'oued el Khanga est bordé par des reliefs qui culminent à 1200 m (jebel Faggous en Algérie) et 907 m (jebel Bliji) alors que le bassin versant de l'oued el Oudeï est bordé par des jebels dont l'altitude ne dépasse pas 800 m.

2.1.2 - TEMPERATURES

Faute de station météorologique située à l'intérieur des bassins versants, l'équipe de la S.O.G.E.T.H.A. a pu ajuster les températures moyennes annuelles de cinq postes de la région (Fig. 2.5) sensiblement suivant la droite $\theta = 21,6 - 0,61 \frac{H}{100}$

où θ est la température moyenne annuelle observée (°C)

H est l'altitude de la station (m).

En portant l'altitude moyenne des deux bassins versants sur cette droite, la température moyenne annuelle sur le bassin versant de l'oued el Khanga serait de l'ordre de 17,5° C, alors que celle de l'oued el Oudeï serait de l'ordre de 18 °C.

Les températures moyennes mensuelles seraient probablement de l'ordre des valeurs données dans le tableau suivant :

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
t(°C)	8,1	9,5	12,5	16,0	20,2	25,0	27,8	27,6	24,0	18,7	12,8	9,0

Figure 2.5 : TEMPERATURE MOYENNE ANNUELLES EN FONCTION DE L'ALTITUDE (S.O.G.E.T.H.A;1964)

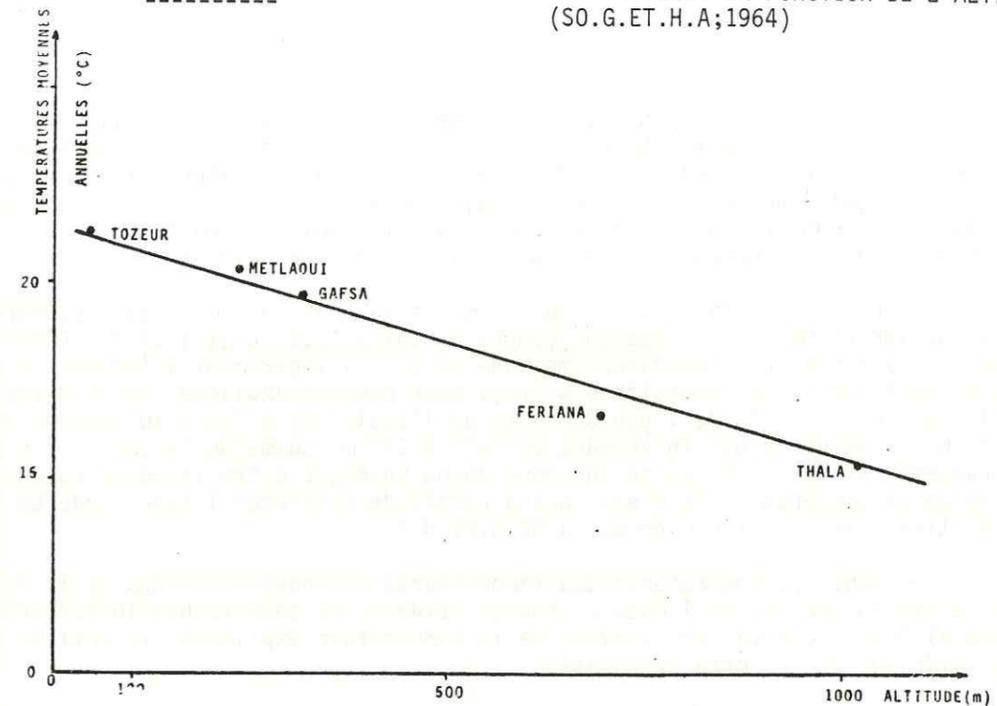


Tableau 2.1 : EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE DANS LA REGION DE TAMERZA

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
t°C	8,1	9,5	12,5	16,0	20,2	25,0	27,8	27,6	24,0	18,7	12,8	9,0	17,6
Ig _A	393	521	692	743	946	983	958	865	726	561	418	352	
Ig (Cal/cm ²)	310	435	540	575	740	775	740	675	565	442	320	285	
ETP (mm)	51	74	109	129	183	250	250	183	149	112	70	51	
ETP.TU	47	68	100	119	169	189	192	169	138	105	65	47	1408
i	2,08	2,64	4,0	5,82	8,22	11,4	13,4	13,3	10,7	7,37	4,15	2,44	85,6
ETP	14,4	19,4	32,5	51,8	80,3	120	146,4	144,4	111,1	69,5	34,1	17,6	842
C	.85	.84	1,03	1,1	1,23	1,24	1,25	1,17	1,04	.96	.84	.83	
ETP.TO	12,2	16,3	33,5	56,9	98,7	148,7	183,0	168,9	115,5	66,7	28,6	14,6	944

ETP.TU : EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE CALCULEE SELON LA FORMULE DE L.TURC
 ETP.TO : " " " " " " " " G.W.THORNTHAITE

La température maximum absolue serait supérieure à 40 °C alors que le minimum absolu serait autour de quelques degrés.

De notre côté, pour évaluer la température moyenne annuelle dans le bassin versant de l'oued el Khanga, nous avons mesuré la température de l'eau du puits de l'école de Aïne el Kerma, dont le niveau d'eau se situe à - 9 m du terrain naturel (altitude approximative 420 m). Comme on le sait, les variations diurnes et saisonnières ne pénètrent guère dans les sols. L'épaisseur de celui-ci s'oppose à toute influence saisonnière sur la température de l'eau.

Les températures de l'eau, mesurées au cours des mois de septembre 1979, janvier et mars 1980, étaient comprises entre 15,8 °C et 16,2 °C. Cette méthode nous a donné une température moyenne de 16 °C, légèrement inférieure à celle déterminée à partir de la droite $\theta = (H)$. Nous pouvons expliquer cette différence par le fait que la cote de l'eau du puits de l'école est à 250 m au dessous de l'altitude moyenne du bassin versant qui est à 677 m. Comme on le sait, il y a un gradient de 0,4 °C/100 m, ce qui nous donne un degré entre les deux cotes. La mesure de la température de l'eau nous a permis de confirmer l'exactitude de la corrélation faite par l'équipe de la S.O.G.ET.H.A.

Nous pouvons retenir des températures moyennes annuelles de 17 °C pour le bassin versant de l'oued el Khanga et de 18 °C pour le bassin versant de l'oued el Oudeï. Ces valeurs élevées de la température expliquent le déficit du bilan hydrique et la forte évaporation.

2.1.3 - EVAPORATION ET EVAPOTRANSPIRATION -

2.1.3.1. - Evaporation

Des mesures de l'évaporation faites à l'aide de l'appareil de Piche, pendant les années 1946-1950, ont donné un taux annuel de 2400 mm à Metlaoui et 2800 mm à Gafsa.

Parmi les formules qui permettent de calculer l'évaporation réelle annuelle, nous avons utilisé celle de L. Turc :

$$E_r = \frac{P}{(0,9 + P^2/L^2)^{1/2}}$$

$$\text{où } L = 300 + 25 t + 0,05 t^3$$

P = Précipitation moyenne annuelle en mm

t = Température moyenne annuelle en °C

La valeur obtenue avec P = 160, t = 17 °C est $E_r = 166$ mm sur le bassin versant de l'oued el Khanga. Alors que sur le bassin versant de l'oued el Oudeï, l'évaporation réelle serait comprise entre 104 et 125 mm.

2.1.3.2. - Calcul de l'évapotranspiration potentielle

* Selon la formule de Turc.

La formule de Turc permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle moyenne en tenant compte de la durée réelle de l'insolation. Dans cette région de la Tunisie, l'humidité de tous les mois est inférieure à 50 % ; nous avons donc appliqué la formule suivante :

$$E_p \text{ mensuel} = 0,40 \frac{t}{t + 15} (I_g + 50) \left(1 + \frac{5 + hr}{70}\right)$$

E_p = évapotranspiration mensuelle moyenne (en mm)

t = température moyenne du mois considéré (en °C)

hr = humidité relative relevée à l'aide d'un psychromètre

I_g = radiation globale d'origine solaire directe et diffusée (exprimée en calories par cm^2 de surface horizontale et par jour).

Cette dernière valeur étant rarement mesurée, on peut l'obtenir en la calculant au moyen de la formule :

$$I_g = I_{gA} (0,18 + 0,62 \frac{h}{H})$$

I_{gA} : est la radiation maximale théorique, grandeur astronomique qui ne dépend que de la latitude du lieu et de la date dans l'année ; elle est donnée par des tables,

H : durée astronomique du jour en heures par mois, donnée par un tableau,

h : durée d'insolation de la section en heures par mois,

$\frac{h}{H}$: insolation relative pendant la période considérée, que nous avons supposée égale à 1.

En utilisant l'abaque de M. Halvek, nous avons déterminé l'évapotranspiration potentielle corrigée pour $hr < 50\%$; les résultats sont portés sur le tableau 2.1.

* Selon la méthode de G.W. Thornthwaite.

Le calcul de l'ETP est basé sur une évaluation empirique.

$$ETP = 1,6 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a$$

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

I : indice thermique annuel, est égal à la somme de 12 indice thermique mensuel i

t : température moyenne annuelle (en °C)

a : $675.10^{-9} I^3 - 771.10^{-7} I^2 + 1792.10^{-5} + 0,49239$

ou a : $\frac{1,6}{100} I + 0,5$ (Serra)

Nous avons calculé les indices thermiques à l'aide des tableaux classiques tenant compte de la latitude et de la température, les résultats sont portés dans le tableau 2.1.

Les résultats obtenus par ces deux méthodes sont des estimations assez imprécises. L'erreur admise serait de l'ordre de 20 %, ceci est dû au nombre et à la diversité des paramètres qui régissent cette évaporation et qui sont liés au climat, à la nature des terrains.

En considérant les résultats obtenus, on note qu'il n'existe pas d'homogénéité entre l'ETP calculée selon la formule de Turc et celle calculée selon celle de Thornthwaite qui donne la valeur la plus faible. Alors que la valeur obtenue de l'évaporation réelle selon la formule de Turc nous donne le déficit d'écoulement moyen annuel exprimé en mm.

Cette évaporation intense constitue une contre-indication pour la création d'une retenue libre dans une telle région.

Ainsi déterminées, les caractéristiques climatiques des bassins versants des deux oueds permettent de calculer les indices de classification climatique définis par Thornthwaite :

- Indice d'aridité $I_a = \frac{100.d}{ETP}$ d = insuffisance d'eau (mm)

- Indice d'humidité $I_h = \frac{100.S}{ETP}$ S = excédent d'eau (mm)

- Indice global d'humidité $I_m = I_h - 0,6 I_a$

- Concentration estivale de l'efficacité thermique, qui est égale au rapport de l'évapotranspiration des mois les plus chauds à l'ETP annuelle. Elle s'exprime en pourcentage :

$$C = \frac{ETP_{JJA}}{ETP}$$

Tableau 2.2 : INDICES CLIMATIQUES DE THORNTHWAITE DES BASSINS VERSANTS DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI

	B.V.O.KH	B.V.O.OU	
altitude moyenne du B.V.(m)	677	562	
\bar{P} (mm)	160	100 - 120	
ETP (mm)	900 - 1400		
insuffisance d'eau: d (mm)	740 - 1200	780 - 1280	
excédent d'eau: s (mm)	0	0	
I_a	82,2 - 85,7	86,6 - 91,4	
I_h	0	0	
I_m	-49,3 à -51,4	-51,9 à -54,8	ARIDE
indice de l'efficacité thermique # (ETP)	900 - 1400		mésothermale
C	39% à 53%		

La région de Tamerza est sous l'influence d'un climat aride mésothermal à déficit important même en hiver.

2.1.4. - VEGETATION -

Ce grand déficit en eau, même en saison humide, est l'une des causes essentielles de l'absence de végétation sur la presque totalité des bassins versants.

Toutefois, à l'extrême Nord du bassin versant de l'oued el Khanga (jebel Faggous, sur le territoire algérien), les sommets mieux arrosés sont couverts de chênes-liège et de pins. Autour des points d'eau, de petites palmeraies sont les seules zones verdoyantes au milieu d'un paysage généralement désertique.

Cette absence de végétation fait que les deux bassins versants sont exposés à une érosion intense par les eaux de pluie et le vent, ce qui favorise un débit solide important lors des crues.

2.2 - HYDROLOGIE

2.2.1 - RUISSELLEMENT

La formule de M.J. Tixeront et E. Berkaloff a toujours été appliquée pour calculer le ruissellement superficiel des bassins versants tunisiens :

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

P = précipitation (m)
ETP = évapotranspiration potentielle (m/an)
R = ruissellement annuel (m)

L'hydrologue M. Fersi (1979) a constaté que les valeurs déduites de cette formule sont à $\pm 50\%$ des valeurs réelles observées dans les bassins versants du centre, du Sahel et du Sud tunisien.

En utilisant les données des caractéristiques physiques et climatiques de neufs bassins versants, dont le bilan hydrique est déficitaire, M. Fersi a établi la formule suivante :

$$\bar{l}_r = C \bar{P} \sqrt{I_g}$$

\bar{l}_r : lame ruisselée moyenne (mm)

C : constante

\bar{P} : précipitation moyenne annuelle (mm)

I_g : indice de pente globale (m/km) = $\frac{H_{\max} - H_{\min}}{2L}$

H max : altitude maximale du B.V. (m)

H mini : altitude minimale du B.V. ou de l'exutoire (m)

L : longueur de l'oued principal (km)

Les neuf bassins versants qui lui ont permis d'établir cette relation ont des superficies différentes, et ont aussi des régimes très divers mais ayant un caractère commun : celui d'être tous dans une zone caractérisée par un climat aride. Utilisant cette relation, M. Fersi a déterminé les caractéristiques de 224 bassins versants du Sahel, du Sud et Centre Tunisien. Ces nouvelles données nous ont permis d'ajuster la valeur de la constante C, la relation de Fersi devenant alors (Fig. 2.6) :

$$Tr = 1,739 \cdot 10^{-2} \bar{P} \sqrt{I_g}$$

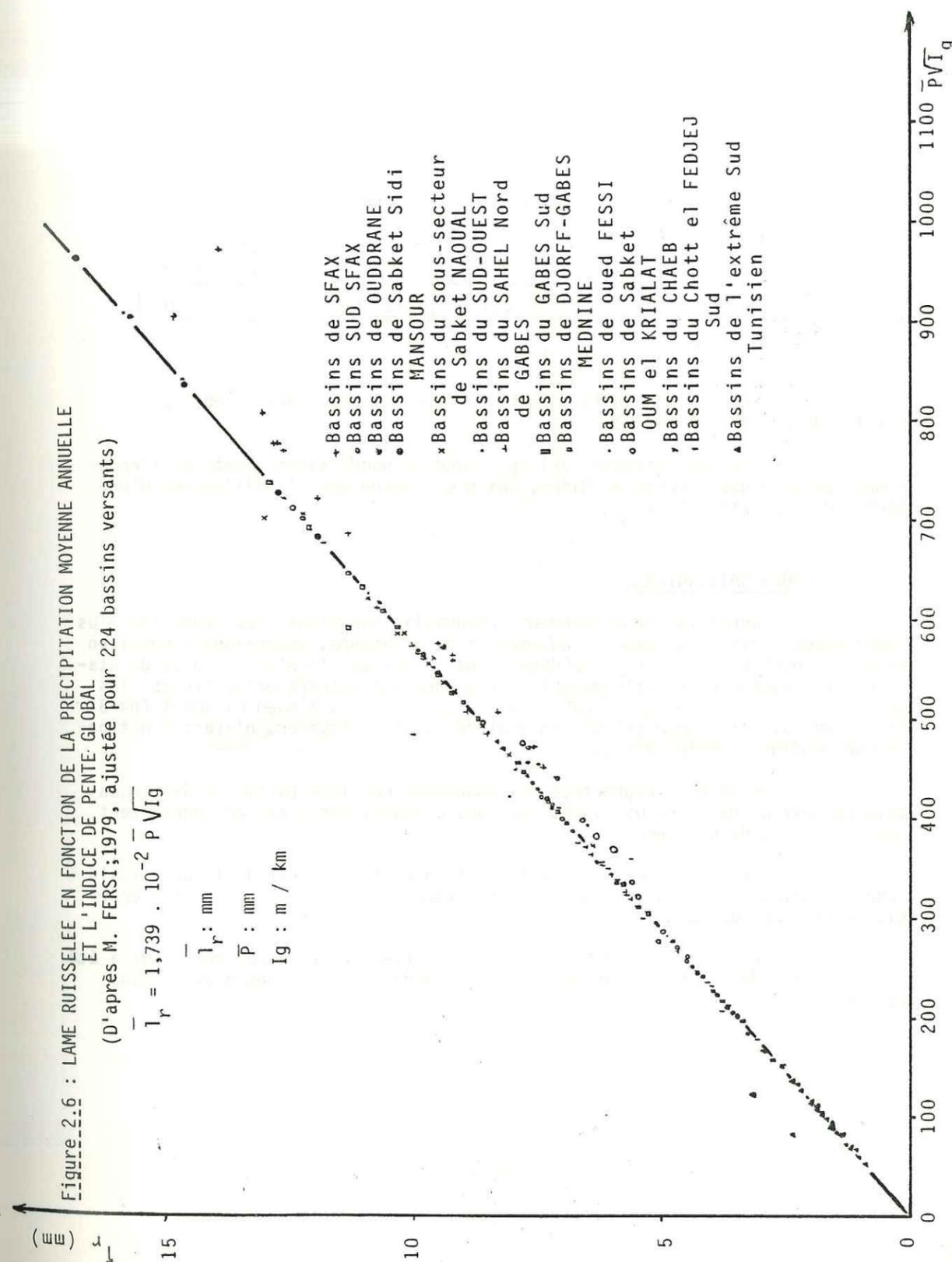


Tableau 2.3 : RUISSELLEMENT SELON M.FERSI ET M.J.TIXERONT -E.BERKALOFF

B.V	\bar{P} (mm)	I_g (m/km)	\bar{T}_r (mm)	R (mm)	S (km ²)	Vr (m ³)
0.e1 Khanga	160	8,2	7,9	1	720	$5,4 \cdot 10^6$
0.e1 Oudeï	100	10,5	5,6	$2,5 \cdot 10^{-1}$	240	$1,3 \cdot 10^6$
	120		6,7	$4,3 \cdot 10^{-1}$		$1,5 \cdot 10^6$

L'application de la formule de Tixeront donne des valeurs plus faibles de ruissellement (R).

Le volume ruisselé (Vr) de l'oued el Oudeï tient compte de l'écoulement pérenne des sources de Midès, qui n'est autre que l'infiltration d'une partie des apports des crues.

2.2.2. - CRUES SAISONNIERES

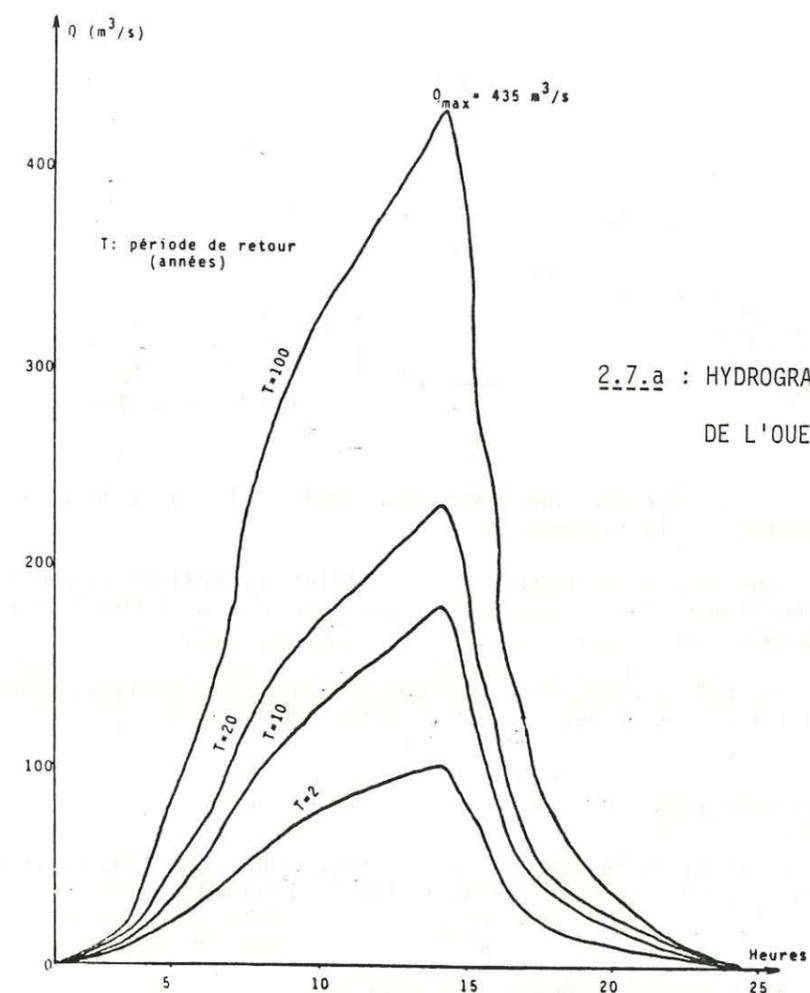
D'après les renseignements recueillis sur place, les crues les plus importantes arrivent en début d'automne et de printemps, exceptionnellement en hiver. Le nombre de ces crues ne dépasse pas 5 par an. Il n'existe plus de stations de jaugeage en fonctionnement pour donner des valeurs enregistrées, les quatre stations situées sur l'oued Tamerza (n° 1 et 2), l'oued el Oudeï (n° 3) et l'oued Foug el Khanga (n° 4), en aval des sites à étudier, n'ayant fonctionné que pendant l'année 1962-63.

Les valeurs rapportées ici donneront une idée partielle des crues mais ne doivent pas être utilisées pour des calculs, car elles ne fournissent que des ordres de grandeur.

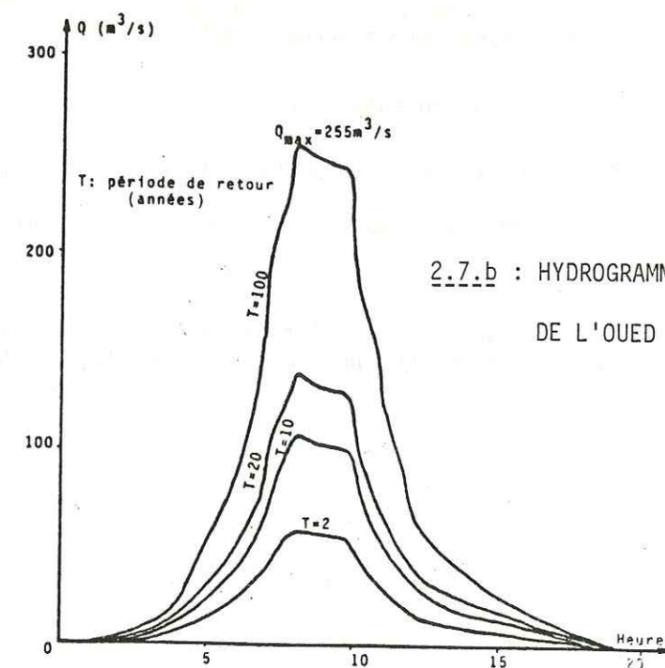
Le 25 septembre 1963, à la station n° 4, le débit de la principale crue a atteint $78,5 \text{ m}^3/\text{s}$; deux jours plus tard, à la station n° 1, on a enregistré une crue de $25 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dans le rapport de la S.O.G.ET.H.A. (1964), un calcul théorique a été fait à partir des données pluviométriques et morphologiques des deux bassins versants.

Figure 2.7 : HYDROGRAMMES DES CRUES DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI



2.7.a : HYDROGRAMME DES CRUES DE L'OUED EL KHANGA



2.7.b : HYDROGRAMME DES CRUES DE L'OUED EL OUDEI

Les crues estimées sont reportées dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 : CRUES*DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI

Période de retour T (ans)	2	10	20	100
O.el Khanga	100	171	221	435
O.el Oudeï	70	110	140	255

* m³/s

(SO.ET.H.A;1964)

Les hydrogrammes des crues de l'oued el Khanga et de l'oued el Oudeï sont représentés sur la figure 2.7.

Pour le premier oued, la crue atteint son maximum 14 heures après le début de l'écoulement, alors que le maximum, pour l'oued el Oudeï, est atteint après 8 heures.

Ces hydrogrammes sont typiques des oueds des régions arides à écoulement torrentiel : crue et décrue sont de durée équivalente.

2.2.3. - DEBIT SOLIDE

En étudiant le débit solide de neuf oueds tunisiens et trente deux oueds algériens, M.J. Tixeront (1960) a établi la formule suivante :

$$E = K R^{1-a}$$

E = taux d'abrasion (en t/km²)

R = ruissellement annuel (mm)

$\frac{E}{R}$ = teneur en suspension (kg/m³)

K = constante égale à 354 pour les BV tunisiens

a = constante égale à 0,85 pour les BV tunisiens

$$E = 354 \cdot R^{0,15}$$

En appliquant cette relation, nous avons calculé le taux d'abrasion et la teneur en suspension que nous avons portés dans le tableau 2.5.

Tableau 2.5 : TAUX D'ABRASION ET TENEUR EN SUSPENSION DES EAUX DES CRUES DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI (Selon la formule de M.J.TIXERONT;1960)

Bassin versant	R (mm)	E (t/km ²)	E/R (kg/m ³)
O.EL KHANGA	7,9	482	61
O.EL OUDEI	5,6	458	81
	6,7	470	70

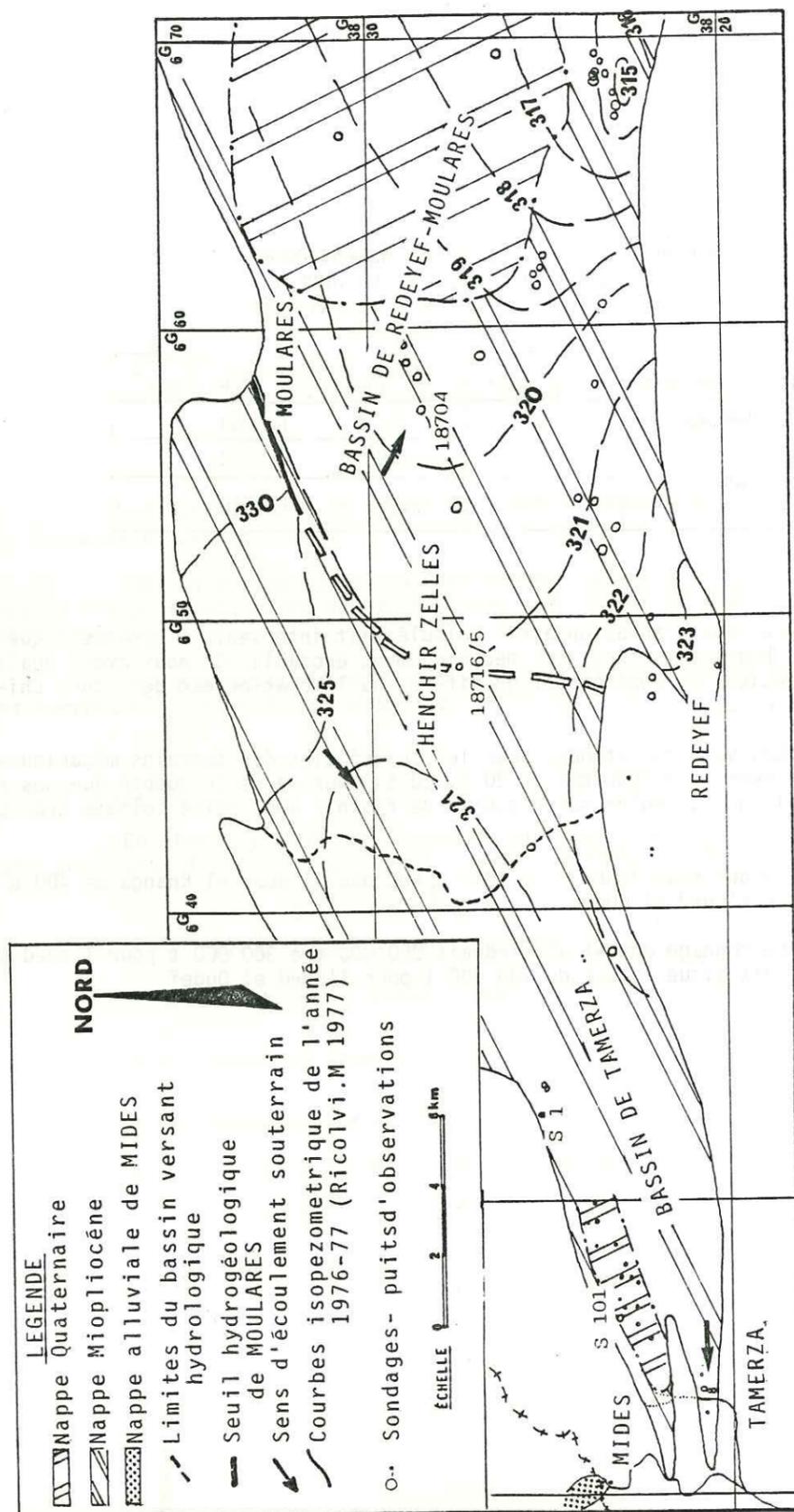
Le taux d'abrasion ainsi calculé fait intervenir l'hypothèse que la totalité des bassins versants est mécaniquement érodable. Or nous avons également ici des formations carbonatées et gypsifères où l'ablation est de nature chimique (dissolution).

Les valeurs retenues pour les superficies des terrains mécaniquement érodables doivent être réduites de 20 %, 10 %) pour ne tenir compte que des formations détritiques, seules susceptibles de fournir des grains solides transportables.

Ce qui nous donne E ≈ 400 t/km² pour l'oued el Khanga et 400 à 450 t/km² pour l'oued el Oudeï.

Le tonnage annuel atteindrait 250 000 t à 300 000 t pour l'oued el Khanga et serait situé autour de 100 000 t pour l'oued el Oudeï.

Figure 2.8 : CARTE HYDROGÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE MOULARES-REDEYEF-TAMERZA
CARTE PIEZOMETRIQUE DU BASSIN DE MOULARES-REDEYEF DE L'ANNÉE 1976-1977
(M. RICOLVI, 1977)



2.3. - HYDROGÉOLOGIE -

La région de Tamerza n'a pas fait l'objet d'études hydrogéologiques malgré les nombreuses propositions faites par les hydrogéologues qui ont travaillé dans la région de Redeyef - Moularès (M. Ricolvi, 1977) et au niveau des exutoires de Tamerza (A. Steblina, 1961).

Le premier cité a parlé d'une certaine liaison hydrogéologique entre le bassin de Tamerza et le bassin de Redeyef - Moularès (Fig. 2.8). La limite hydrogéologique entre ces deux bassins se situe au niveau de Henchir Zelles, elle a été recoupée par le sondage 18716/5 de la Compagnie des Phosphates. Selon le modèle mathématique de M. Bèsbès (1978), lors d'une forte exploitation, dans le bassin de Moularès - Redeyef, des interférences se produiraient avec le bassin de Tamerza, et une partie de l'eau de ce dernier pourrait être détournée vers l'Est.

Ces quelques références, et ce que nous savons de la constitution physique des différents terrains de la région, nous permettent déjà de penser que le Miopliocène est susceptible de renfermer des réserves importantes, alimentées par les crues des oueds qui prennent naissance en Algérie. Dans le premier chapitre, parallèlement à la lithologie, nous avons tracé une échelle des perméabilités relatives des différentes formations, qui nous permet d'envisager lesquelles sont susceptibles de constituer des réservoirs.

L'inventaire des différents points d'eau de la région et l'étude des particularités physico-chimiques des eaux nous ont permis de mettre en évidence différentes nappes, distinctes de la grande nappe miopliocène.

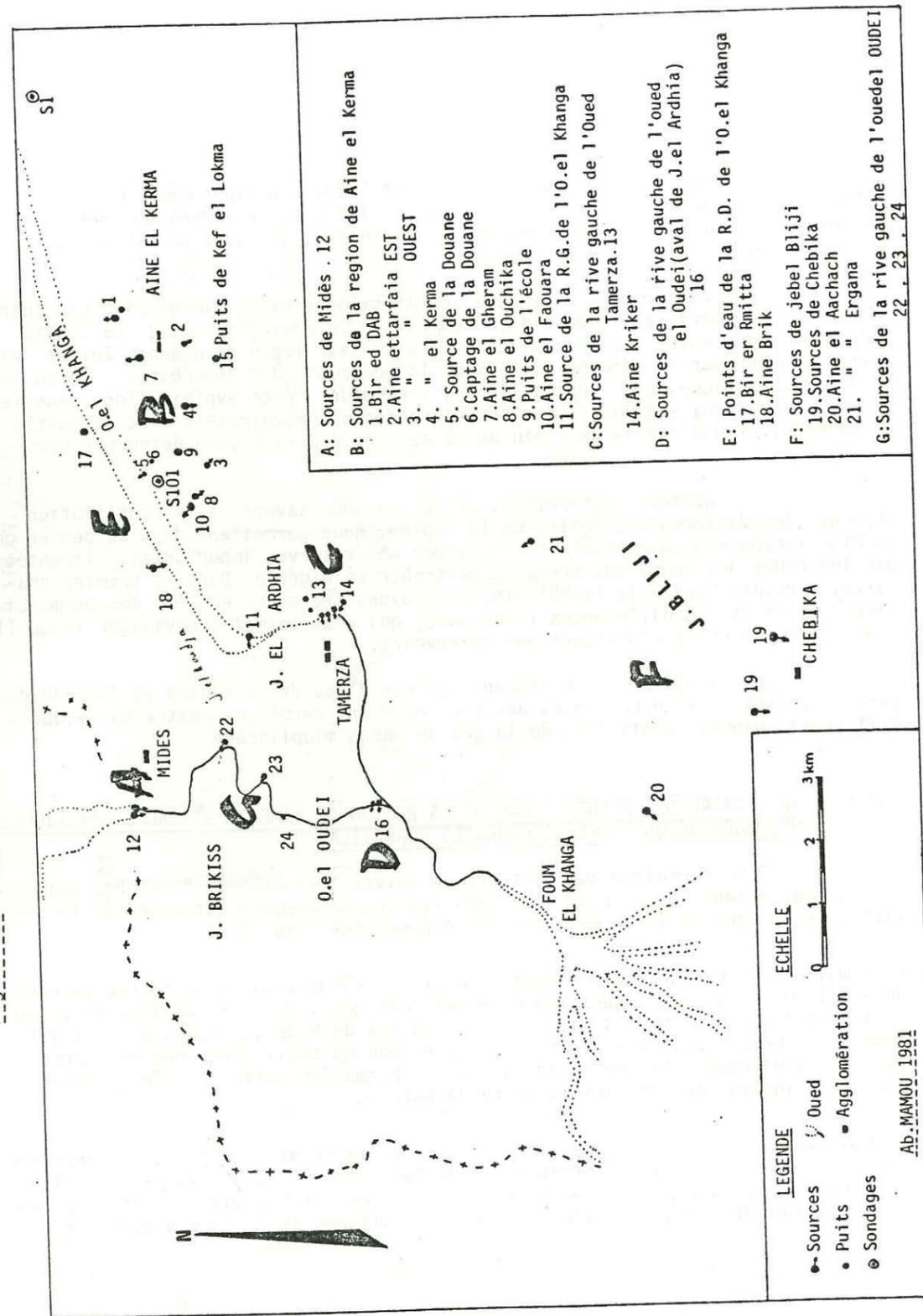
2.3.1. - INVENTAIRE DES POINTS D'EAU DE LA RÉGION DE TAMERZA ET CARACTÉRISTIQUES HYDROGÉOLOGIQUES DES DIFFÉRENTES FORMATIONS

Pour permettre aux lecteurs de suivre l'étude des différents points d'eau, nous allons les regrouper en familles. Ce groupement est basé sur la situation géographique et l'âge des terrains d'émergence (Fig. 2.9).

* **Famille A** : Les sources de cette famille se situent au NW de la région étudiée à l'Ouest de l'agglomération de Midès. Lorsque l'oued el Oudeï pénètre dans le territoire tunisien, apparaissent les sources de Midès, situées dans le lit même de l'oued. L'eau apparaît au jour au niveau du seuil formé par une barre calcaire à Ostracés transversale (base de la Formation Metlaoui). Ces sources seront désignées par "A" dans la suite de notre étude.

* **Famille B** : Au Nord Est de jebel el Ardhia, la Formation Beglia est recouverte par des dépôts éoliens. Le sommet argileux de la Formation Beglia présente ici, constitue un mur imperméable pour ces dépôts superficiels, qui forment ainsi un aquifère dont les exutoires apparaissent bien alignés de part et d'autre de la

Figure 2.9 : CARTE DES POINTS D'EAU DE LA REGION DE TAMERZA



petite colline d'Aïne el Kerma, et le long de la rive gauche de l'Oued el Khanga. Les points d'eau de cette famille seront désignés par les chiffres 1 à 11, et les noms des sources ou puits sont portés dans le tableau récapitulatif (Tableau 2.6).

* Famille C : Cette famille regroupe les principales sources de la région de Tamerza. Elles apparaissent le long de l'entaille creusée par l'Oued Tamerza dans les sables miopliocène, en rive gauche et à la cote 300. Cette zone a fait l'objet d'une étude hydrogéologique en 1961 par le Groupe Hydraulique et des Aménagements Ruraux (G.H.A.R.) sous la direction de A. Steblin (Fig. 2.10).

30 sondages piézométriques de 50 m et 2 puits d'essai de 12 m de profondeur ont été exécutés pour prospecter l'ensemble de la Formation Beglia. Ces sondages, qui ont traversé d'abord l'aquifère formé par une accumulation de sable grossier, puis des sables fins ou moyens, ont tous rencontré ensuite à une profondeur variable, un niveau argilo-sableux (Fig. 2.11). L'aquifère comporte deux zones de perméabilité différente :

- une zone supérieure, très perméable, constituée par des dépôts alluvionnaires, grossiers, de quelques mètres,
- une zone inférieure, peu perméable, d'une quarantaine de mètres d'épaisseur : sable de la Formation Beglia.

La zone inférieure comporte des niveaux de circulation privilégiés dus à la présence des couches de sable plus grossier. Lors de l'exécution des sondages, on a constaté qu'une baisse du niveau statique accompagnait leur avancement, ce qui s'explique par la structure multistratifiée de l'aquifère. Celui-ci est caractérisé par une anisotropie élevée de la perméabilité, c'est-à-dire les niveaux de sables grossiers sont plus perméables que les niveaux de sables fins. Des essais de pompages ont été exécutés pour déterminer les caractéristiques hydrogéologiques de cet aquifère. La zone supérieure a une perméabilité de 10^{-3} m/s, alors que la zone inférieure a une perméabilité de 10^{-5} à $5 \cdot 10^{-5}$ m/s et un coefficient de transmissivité de $4,4 \cdot 10^{-4}$ à $1,2 \cdot 10^{-3}$ m²/s. Cet essai montre que la zone supérieure formée par les dépôts alluviaux de l'Oued Tamerza a une perméabilité de 20 à 100 fois plus élevée que celle des niveaux grossiers de la Formation Beglia. En cas de pompage, les niveaux de sables grossiers de la Formation Beglia drainent les niveaux fins, et la zone supérieure (dépôts alluviaux) draine la zone inférieure.

Au Nord de jebel el Ardhia, les sables de la Formation Beglia sont partiellement entaillés par l'Oued el Khanga, mais pas jusqu'au niveau piézométrique. Celui-ci a été rencontré par les deux sondages exécutés au niveau de la Douane (S 101) (Fig. 2.9) et de l'Oued el Frid (S 1) à des cotes respectives de 333 et 425.

A la terminaison occidentale de la branche Nord du synclinal de Tamerza, en rive gauche de l'Oued el Oudei, une source (n° 23) sort des sables de la Formation Beglia à la cote 285. Nous remarquons que de l'Est vers l'Ouest, le niveau piézométrique manifeste un gradient régulier d'environ 1 % vers l'Ouest.

Tableau 2.6 : INVENTAIRE DES POINTS D'EAU DE LA REGION DE TAMERZA - TABLEAU RECAPITULATIF

FAMILLES	H	T	C	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	R.S
A : 12 sources de MIDES	370	20 ⁺ 2,4	1600.2000	230.500	70.350	30.90	70.100	1200.1400	60.140	2100.2800
B : Sources de la region de Aine el KERMA										
1 Bir ed DAB	395	15,8	1000.1200	160	30	30	55	550	110	1100
2 Aine ettarfaija EST	408	15,8	1000.1200	180.280	45.65	70.260	90.200	650.1055	110.190	1300.2000
3 Aine ettarfaija OUEST	415	16,2	1000.1200	70.240	45.55	70.180	70.150	550.800	90.200	1100.1500
4 Aine el KERMA	390	15,8	1000.1200	320	55	160	140	900	120	1700.1800
5 Source de la Douane	376	14,6	3300.3400	420.590	70.240	360.700	230.1000	1450.3200	35.180	2700.6600?
6 Captage de la Douane	372			120.360	70.150	300	170.230	1100.1200	140.150	2400.2500
7 Aine el Gheram	400	14,2.15,8		170	40	100	60	500.550	100	1000.1100
8 Aine el Ouchika	372			370	80	360	260	1400	130	2600
9 Puits de l'école	420	16 ⁺ 1	1400.1700	150.200	30.80	140	120.170	800.850	60.120	1400.1500
10 Aine el Faouara	400			270	50	250	180	950	100.110	1800
11 Source de la R.G.de l'O.el KHANGA	322	16,4	3400.3700	340.420	130.180	400.460	460.500	1900.1950	70.170	3700.3800
C 13 Sources de la rive gauche de l'O.Tamerza	300	24	1500.1700	100.170	60.100	70.180	110.180	530.570	65.200	1100.1500
14 Aine Kriker	325	18,9.24,6	1100.1200	150.200	35.70	40.110	70.100	500.650	70.180	1100.1200
15 Puits de Kef el Lokma	380	13,8								
D 16 Sources de la rive gauche de l'O.el OUDEI (aval)	225	21	4000.4600	450.550	140.160	450.500	500.550	2100.2200	400.450	4500.4900
E 17 Bir er RMITTA	350	16	700.900	130	50	15	20	300	150	600.800
18 Source de BRIK	360	15.17	1200.1800	300.380	90.100	20.30	20.30	1100.1200	100.250	1900.2200
F 19 Sources de CHEBIKA	125	27	3000.3300							2700
21 Aine ERGANA	500									
G 22 Source de la rive gauche de l'O.el OUDEI (aval de la gorge de Jebel Brikiss	325	20,5	2000.2200	350	140	60	90	1400	220	2000.2400

H:Altitude(m) T:Température(°C) C:Conductivité (mmhos/cm) Ca⁺⁺,Mg⁺,Na⁺,Cl⁻,SO₄⁻⁻,HCO₃⁻,R.S (mg/l)

* Famille D : regroupe les deux sources (n° 16) qui se situent en aval de l'oued el Oudeï, avant la confluence avec l'oued Tamerza. Elles apparaissent au niveau des dolomies blanchâtres de la Formation Souar, à la cote 240, en rive gauche de l'oued el Oudeï.

Ces sources se situent dans le prolongement axial du synclinal de Tamerza (branche Sud), ce qui nous permettra de mieux comprendre leur origine.

* Famille E : regroupe la source de Brik (n° 18) et Bir er Rmitta (n° 17). Ces deux points d'eau se situent en rive droite de l'oued el Khanga. Le gîte géologique serait la barre supérieure de la Formation Abiod.

* Famille F : regroupe les sources des flancs Nord et Sud de jebel Bliji : sources de Chebika (n° 19), el Aachach (n° 20) et Ergana(n° 21). Ces sources s'écoulent de la barre supérieure de la Formation Abiod. Celle-ci est perméable en grand mais la tectonique cassante est aussi responsable en grande partie de l'apparition de ces sources : en effet, la source de Chebika se situe au flanc Sud de jebel Bliji renversé et dans une zone fortement affectée par des failles décrochantes (à la cote 125) et l'Aïne Ergana au flanc Nord se situe également dans une zone localement renversée à la cote 500. De même, le point d'eau n° 17 se situe aussi au niveau d'un décrochement. Il y a donc une liaison évidente entre points d'eau dont le gîte est la barre Abiod supérieure, et la structure géologique.

* Famille G : regroupe les points d'eau de l'oued el Oudeï situés entre la gorge de jebel Brikiss et la gorge de jebel el Ardhia.

En aval de la gorge de jebel Brikiss, une source apparaît en rive gauche de l'oued el Oudeï (n° 22). Elle se situe au niveau d'un grand décrochement sénestre qui affecte à la fois le jebel Brikiss et le jebel Aoudja. Elle se situe à la cote 325.

Le suintement de la barre carbonatée - toit de la série phosphatée de la gorge amont de jebel el Ardhia - constitue le deuxième point de cette famille que nous notons par le n° 24.

Ces suintements sont directement liés aux précipitations, cette barre carbonatée dolomitisée constitue une surface de ruissellement des eaux de pluies. L'existence d'une dense fracturation facilite l'infiltration de ces eaux. La dolomitisation partielle de la matrice du rocher favorise l'existence de faibles réserves dans cette barre. Elle a donc surtout une perméabilité en grand, mais dont les réserves sont très faibles car les suintements observés ne durent que quelques semaines après la pluie.

2.3.2 - CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX

L'analyse systématique de ces eaux a été réalisée à chacun de nos passages dans la région (température de l'eau, conductivité et analyse chimique des échantillons ramenés au laboratoire).

Figure 2.10 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE DE L'OUED TAMERZA
CARTE DE SITUATION DES SONDAGES DE RECONNAISSANCE
(G.H.A.R. A. STEBLINE; 1961)

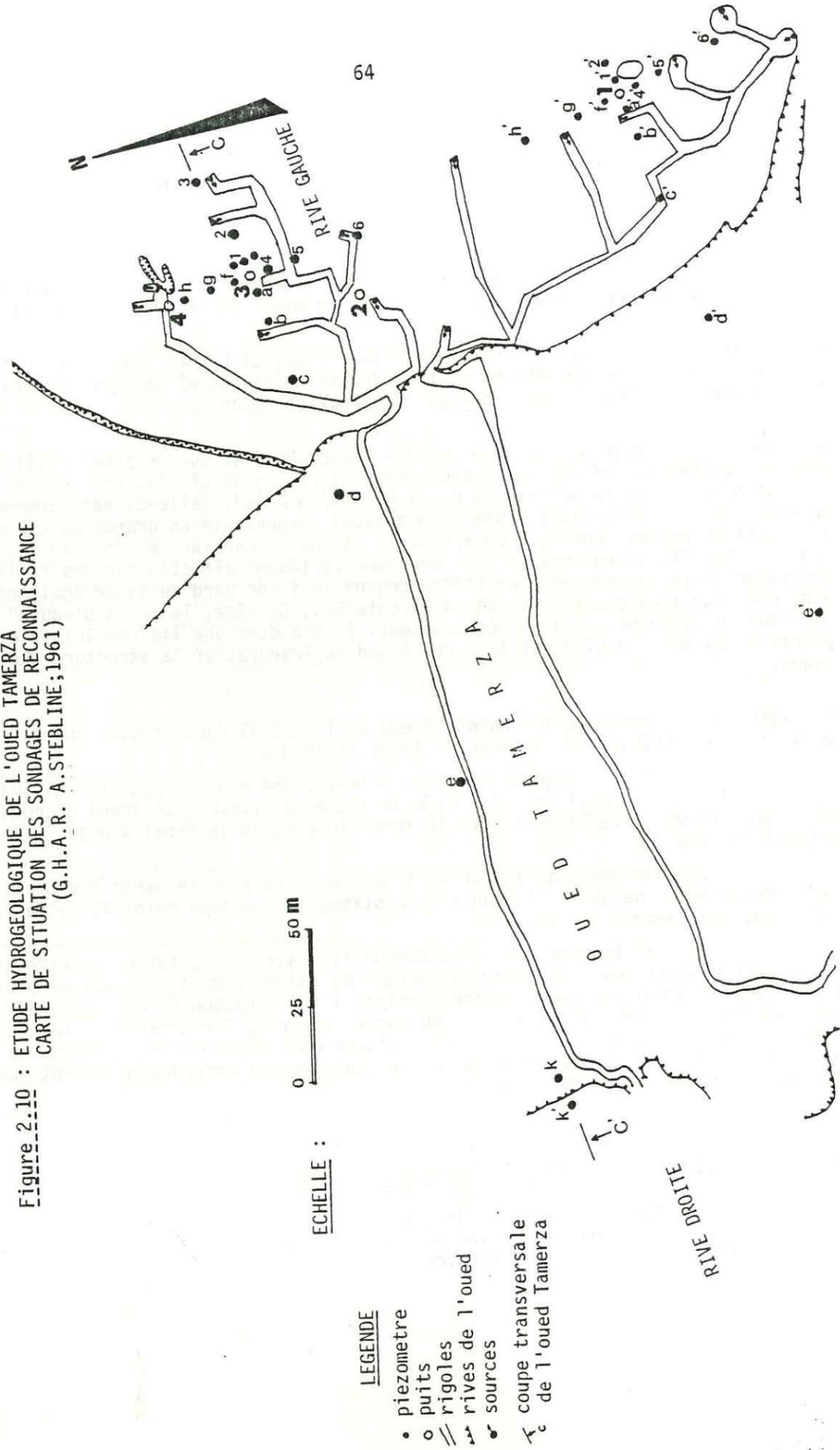
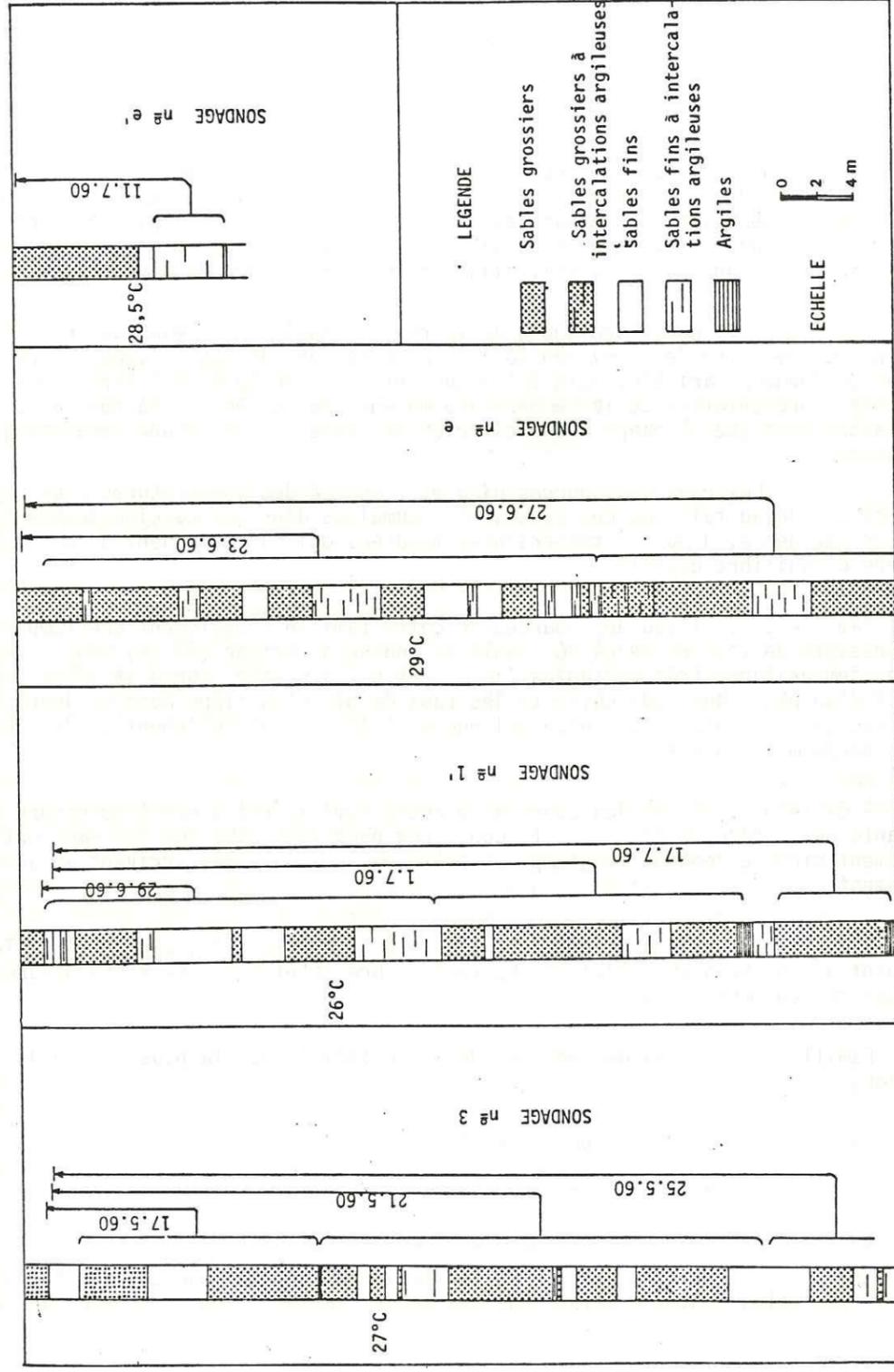


Figure 2.11 : SONDAGES DE LA RIVE GAUCHE DE L'OUED TAMERZA (G.H.A.R. A. STEBLINE; 1961)



2.3.2.1. - Température

Les mesures de températures ont été faites aux mois de septembre, décembre 1979, mars et septembre 1980.

* Famille A : l'eau des sources de Midès a une température variable, soit $20 \pm 2,4$ °C. Rien d'étonnant à cela, car la nappe alluviale de l'oued el Oudē est directement influencée par les eaux d'infiltration. La variation s'explique par le fait que l'eau circule à faible profondeur et rapidement (terrain perméable) entre une zone d'infiltration et une zone de décharge peu distante.

* Famille B : Dans l'ensemble de la région étudiée, les eaux de cette famille sont les plus froides (environ 16 °C). La nappe des dépôts éoliens se trouve à une profondeur variable, mais telle que cette température peut être considérée comme représentative de la température moyenne de la région. Sa constance implique d'autre part que la nappe a une circulation lente, suivie d'une venue au jour rapide.

Les eaux des sources n° 5 et 7 sont à des températures plus faibles, ceci est dû au fait que ces eaux sont accumulées dans des bassins au niveau de leur émergence, d'où les températures mesurées qui correspondent à la température d'équilibre eau-air.

* Famille C : l'eau des sources de cette famille a également une température constante de l'ordre de 24 °C. Seule la source de Kriker (n° 14) nous a donné des températures très variables (18,9 - 24,6 °C). Cette source se situe dans le lit d'un petit oued qui collecte les eaux de pluie du flanc Nord de jebel Bliji. L'eau qui s'écoule n'est qu'un mélange de l'eau de ruissellement et de l'eau de la nappe miopliocène.

* Famille D : l'eau des sources de cette famille est à une température constante de l'ordre de 21 °C. Cette constance nous fait dire que ces eaux ont certainement circulé pendant longtemps en profondeur et qu'elles arrivent au jour rapidement.

* Famille E : l'eau du point n° 17 est à 15,8 - 16,2 °C, alors que celle du point n° 18 est à 15 - 24,1 °C. La température la plus élevée a été mesurée au mois de septembre 1980.

* Famille F : l'eau des sources de cette famille est la plus chaude de la région, environ 27 °C.

* Famille G : l'eau du point n° 22 est à 21 °C.

Ces diverses références permettent d'envisager deux groupes :

- les Homéothermes ; nous classons dans ce groupe les familles B, C, D, E, F et G.

Les sources 5 et 17 de la famille B nous ont donné des températures variables ; malgré cela, nous les avons classées dans ce groupe car la tem-

pérature que nous avons mesurée correspond à une température d'équilibre eau-air (eau cumulée dans des bassins à cause de son faible débit). De même pour la source n° 18 de la famille E. N'ayant effectué que deux mesures pour l'eau de la source n° 19 de la famille F, heureusement des données d'archives concordantes (Prost, 1897) nous permettent de la classer dans le groupe homéotherme.

- les Hétérothermes ; nous classons dans ce groupe les sources de la famille A et la source n° 14 de la famille C qui constitue un cas particulier, par son hétérothermie, de cette famille.

2.3.2.2. - Conductivité

La conductivité à 20 °C a été obtenue à partir d'une mesure sur l'eau à sa température d'émergence (appareil W.T.W. Messgerat D8120 Weilheim) affectée ensuite d'une correction appropriée. Nous avons fait à ce sujet diverses remarques :

* Famille A : la conductivité de l'eau des sources de cette famille est de 1600 à 2000 mmhos/cm.

* Famille B : la conductivité de l'eau des sources de cette famille varie de l'Est vers l'Ouest et du Sud vers le Nord.

Les conductivités les plus élevées étaient celles de la source n° 5 et de la source n° 11 (3400 et 3700 mmhos/cm) situées respectivement au Nord et à l'Ouest, alors que le point d'eau n° 1 situé à l'Est nous a donné une conductivité plus faible de 1000 à 1200 mmhos/cm.

* Famille C : la conductivité mesurée est comprise entre 1500 et 1700 mmhos/cm; exception faite pour la source n° 14 adultérée par les eaux superficielles dont la conductivité n'est que de 1200 mmhos/cm.

* Famille D : la conductivité de l'eau des sources de cette famille est beaucoup plus élevée que celle de la famille C, elle est comprise entre 4100 et 4600 mmhos/cm.

* Famille E : l'eau de la source n° 18 a une conductivité de 1600 à 1700 mmhos/cm alors que l'eau du puits n° 17 a une conductivité de 700 à 800 mmhos/cm.

* Famille F : l'eau des sources de cette famille a une conductivité comprise entre 3000 et 3300 mmhos/cm.

* Famille G : l'eau de la source n° 22 a une conductivité de 1900 à 2000 mmhos/cm.

Nous remarquons que l'eau de l'Est de la région de Tamerza est moins conductrice, donc moins minéralisée, alors que l'eau de l'Ouest l'est beaucoup plus.

Le tableau suivant résume les principales caractéristiques physiques des eaux des familles étudiées.

Tableau 2.7 : CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES EAUX DE LA REGION DE TAMERZA

FAMILLES	TEMPERATURE (°C)	CONDUCTIVITE (mmhos/cm)
A	20 [±] 2,4 Hétérotherme	1600 - 2000
B	16 Homéotherme (la plus froide)	faible à l'Est 1000-1200 forte à l'Ouest 3400-3700 (variable)
C	24 Homéotherme source n° 14 Hétérotherme	1500 - 1700 1200
D	21 Homéotherme	4100 - 4400
E	n° 17 15,8-16,2 Homéotherme n° 18 15 -24 [*] Homéotherme	700 - 800 1600 - 1700
F	27 Homéotherme (la plus chaude)	3000 - 3300
G	21 Homéotherme	1900 - 2000

* température d'équilibre eau-air (septembre 1980)

2.3.2.3. - Chimie des eaux

L'analyse chimique des eaux des différentes familles va nous permettre de confirmer les subdivisions que nous avons adoptées et de montrer les rapports éventuels entre ces familles.

Outre les analyses chimiques que nous avons effectuées au cours des deux dernières années, nous avons rassemblé aussi les résultats antérieurs propres à différents points d'eau.

* Famille A : les analyses relatives aux eaux des sources de cette famille montrent que celles-ci présentent dans le temps un type de minéralisation sensiblement constant (Fig. 2.12.a). Ce sont des eaux sulfatées calciques assez fortement magnésiennes. La forte teneur en ion Mg⁺ est due à la dolomitisation des niveaux carbonatés du bassin versant. La minéralisation globale est comprise entre 2,1 et 2,8 g/l.

* Famille B : les résultats d'analyse relatifs aux eaux des sources de cette famille montrent que celle-ci groupe deux types d'eau (Fig. 2.12.b) :

- un groupe important, à minéralisation moyenne, où les points d'eau n° 1, 2, 3, 4, 7, 9 et 10 se différencient surtout par leur teneur

Figure 2.12.a : ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DES FAMILLES A-C-E-G

A Sources de MIDES 12
1964 ---
1976 ---
1979 +++
1980 ---

E Bir er RMITTA' Source BRIK 18
1976 ---
1980 +++

G Aine KRIKER 14
1964 ---
1980 +++

G S.R.G.O.OUDEI (gorge de J.Brikiss) 22
1980 ---

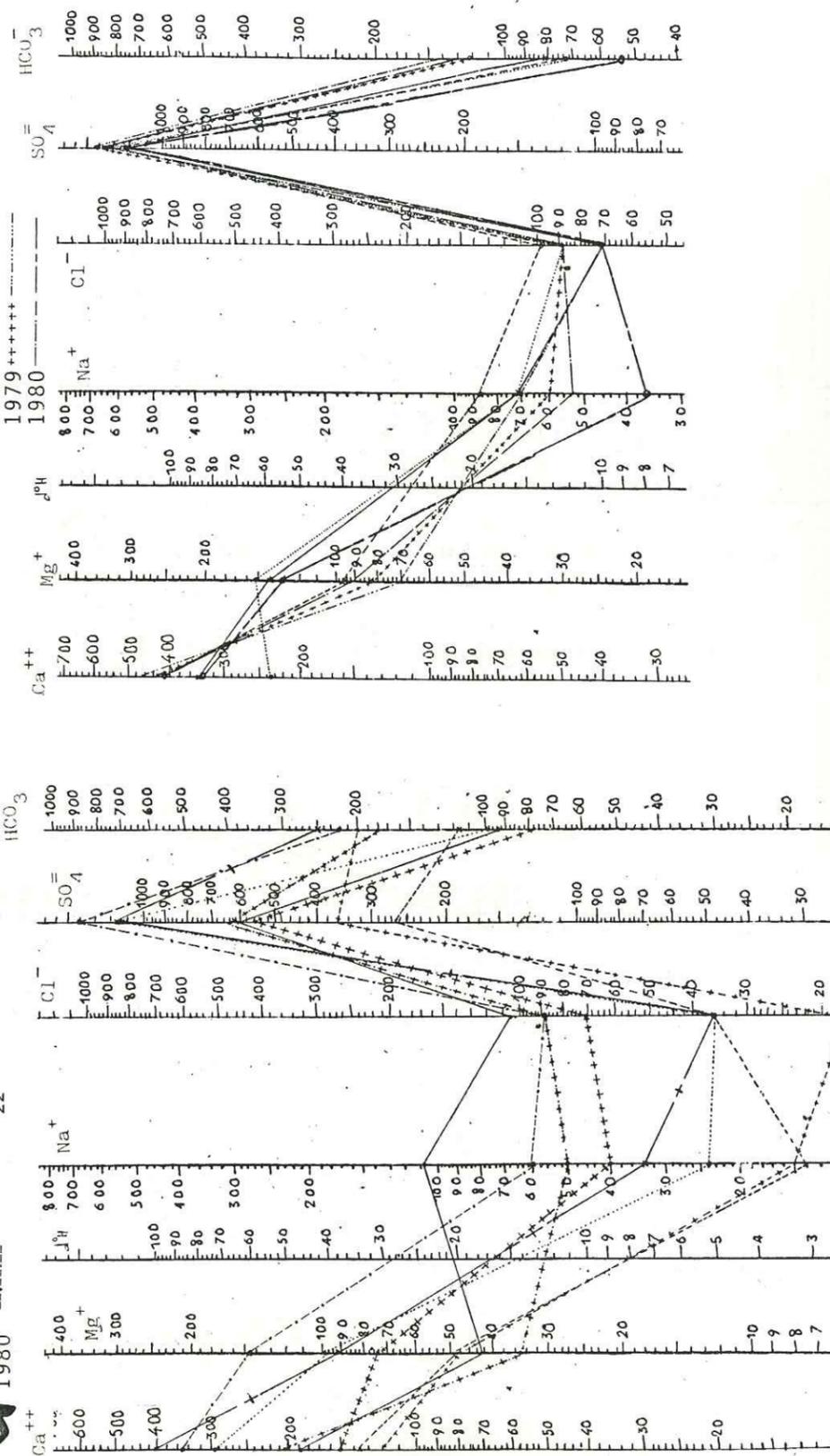
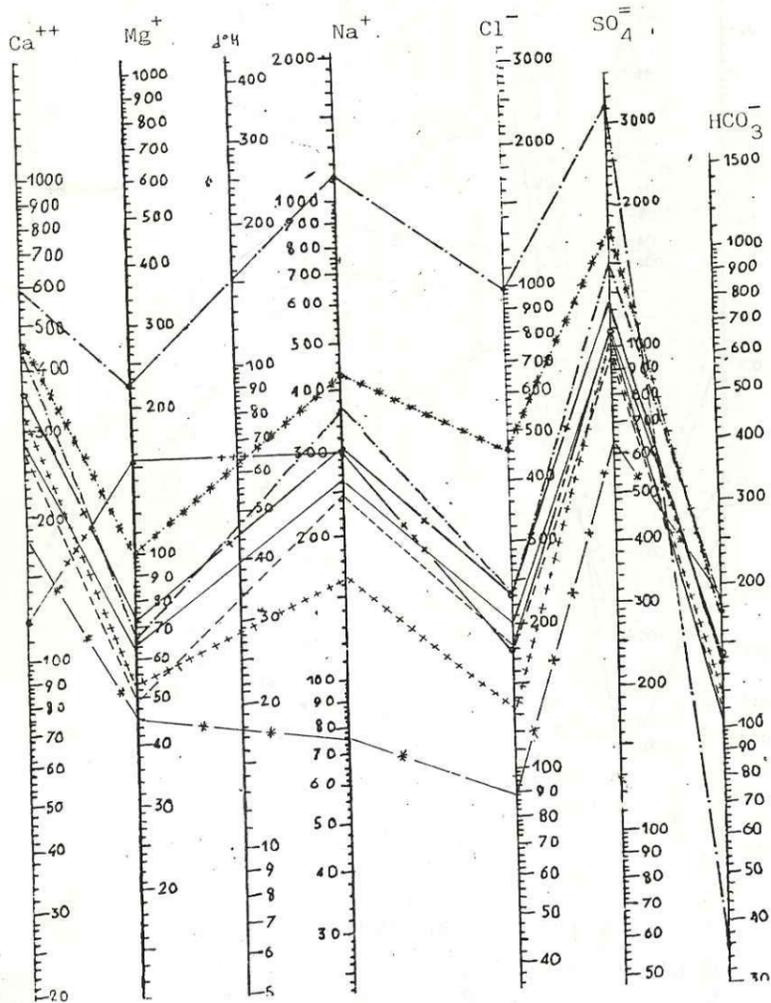
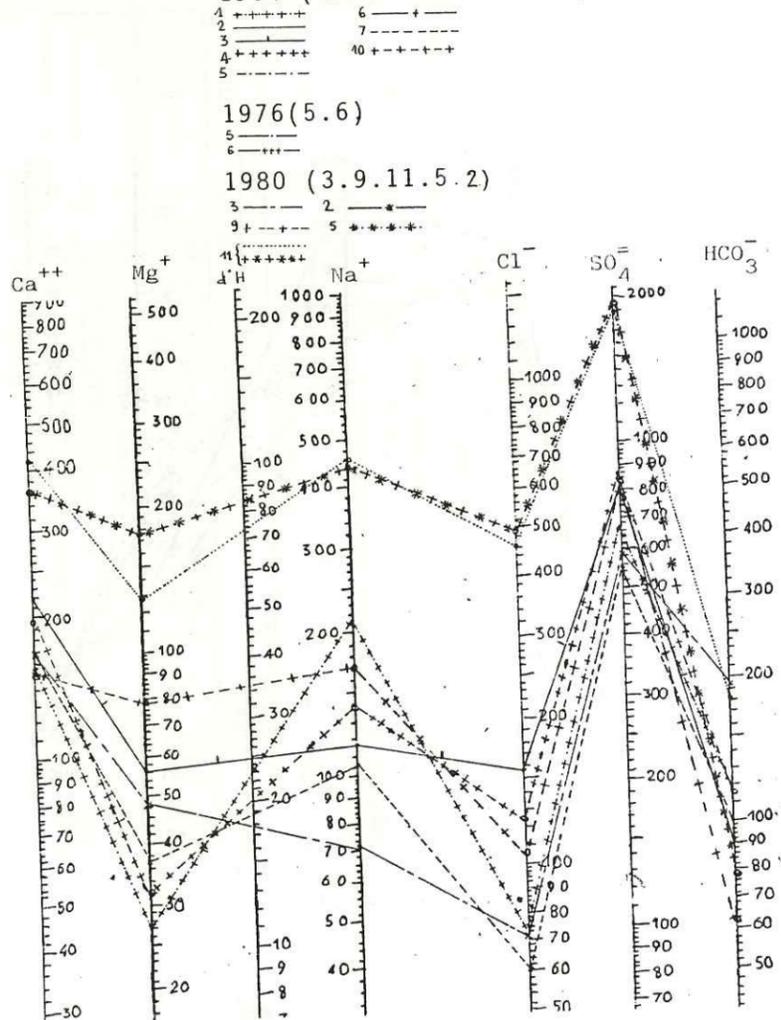


Figure 2.12.b : ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DE LA FAMILLE B

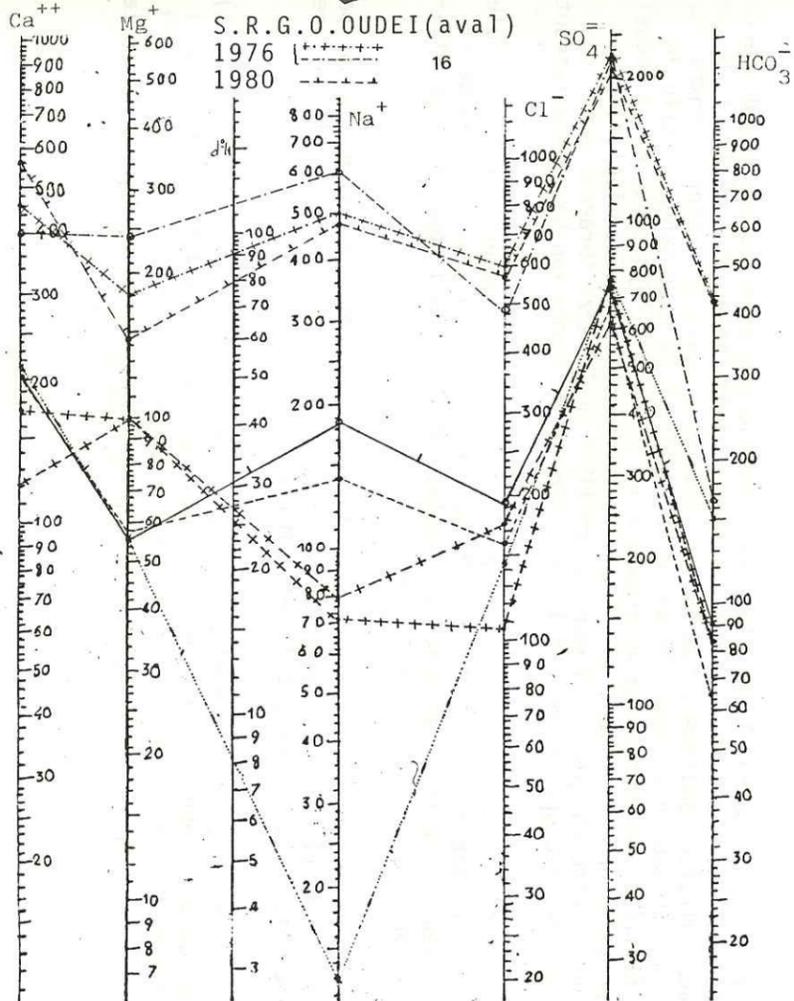


B Sources de la region de A.el KERMA 1964 (1.2.3.4.5.6.7.10)

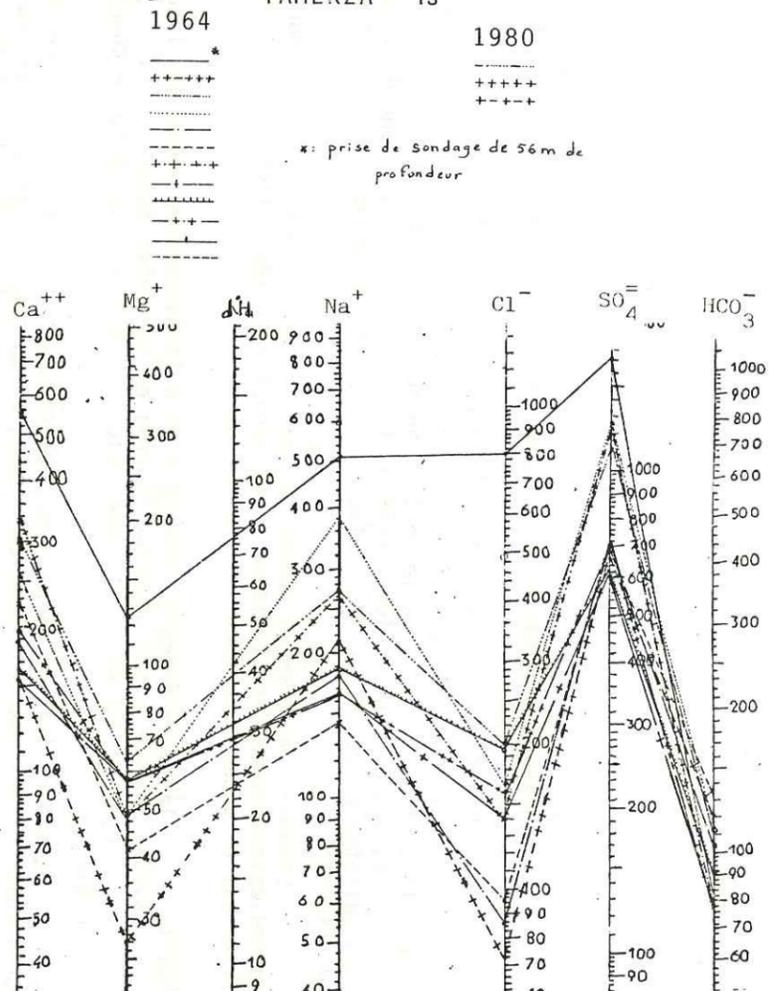


70

D S.R.G.O. OUDEI (aval) 1976 1980



C Sources de la R.G de l'oued TAMERZA 13



71

Figure 2.12.c : ANALYSES CHIMIQUES DES EAUX DES FAMILLES C-D

très variable en Na^+ (70 à 250 mg/l) et dont la minéralisation globale est comprise entre 1 et 1,8 g/l.

- Deux sources n° 5 et 11 qui, par référence à l'écoulement souterrain, sont par rapport au groupe précédent en position latérale ou vers l'aval.

La minéralisation globale est comprise entre 2,4 et 6,6 g/l.

Ceci explique la variation de la conductivité déjà mentionnée, de l'Est vers l'Ouest et du Sud vers le Nord. Bien que la minéralisation totale soit différente, les proportions ioniques restent les mêmes. Il s'agit donc de la même famille, sulfatée calcosodique à sulfatée sodique, mais à des degrés de concentration différents.

L'augmentation de la concentration vers le Nord et l'Ouest tiendrait à la circulation extrêmement lente de l'eau dans les sables éoliens dont la perméabilité est en général faible.

- * Famille C : la seule prise en sondage à 56 m (1964) montre une minéralisation plus élevée que celle des eaux des sources et des puits superficiels (Fig. 2.12.C). Ce sont des eaux sulfatées calciques à assez forte concentration en Na^+ .

La minéralisation globale est comprise entre 1,1 et 1,5 g/l. Le résultat d'analyse de l'eau de la source n° 14 (mêlée, nous le savons, d'eau superficielle) nous montre que celle-ci diffère des eaux de la famille C (Fig. 2.12.a). En effet, elle est beaucoup moins chargée en Na^+ , c'est une eau sulfatée calcique. La minéralisation globale est de 1,1 à 1,2 g/l.

- * Famille D : les résultats d'analyse relatifs aux eaux des sources de cette famille montrent que celles-ci sont fortement minéralisées (Fig. 2.12.C). Ce sont des eaux sulfatées sodiques, leur minéralisation globale est comprise entre 4,5 et 4,9 g/l. L'eau du sondage (56 m) de la famille C se rapproche de celle de cette famille. Ceci constitue un argument à l'appui de l'hypothèse selon laquelle ces dernières proviendraient des niveaux inférieurs des sables miopliocène et auraient ensuite cheminé, au cœur du synclinal de Tamerza (branche Sud), dans le réseau de fractures affectant les dolomies de la Formation Souar sous-jacente.

- * Famille E : les eaux des points n° 17 et 18 se distinguent par leur faible teneur en sulfate et sodium (Fig. 2.12.a). Ceci est dû au gîte géologiquement plus ancien (barre supérieure de la Formation Abiod) d'où l'absence de possibilité de contact avec les terrains gypseux.

- * Famille F : la minéralisation globale est égale à 2,7 g/l. Nous n'avons pas fait d'analyse chimique des eaux des sources de cette famille, car celles-ci se situent plus au Sud du projet d'aménagement.

- * Famille G : le résultat d'analyse de l'eau de la source n° 22 (Fig. 2.12.a) montre que cette eau est sulfatée calcique, et sa minéralisation globale est comprise entre 2 et 2,4 g/l.

L'eau de cette famille se rapproche de celle de la famille E, toute-

fois nous pensons que cette eau serait probablement drainée par le décrochement du synclinal Nord de Tamerza. Ceci reste à vérifier.

Conclusions :

Les caractéristiques physicochimiques des eaux de la région de Tamerza permettent de regrouper les points d'eau en groupes appartenant probablement chacun à un gîte géologique distinct.

- I - Famille A - regroupe les sources de Midès dont le gîte géologique est constitué par les dépôts alluviaux de l'oued el Oudeï : "Nappe alluviale".
- II - Famille B - regroupe les sources et puits de la région de Aïne el Kerma, dont le gîte géologique correspond aux dépôts éoliens qui reposent sur la Formation Beglia dont le sommet argileux n'est pas érodé : "Nappe éolienne".
- III - Familles C et D - regroupent les sources dont le gîte géologique principal correspond aux sables de la Formation Beglia : "Nappe miopliocène".
- IV - Familles E, F et G - regroupent les points d'eau n° 17, 18, 22, 19 et 21, dont le gîte géologique serait probablement la barre supérieure de la Formation Abiod (ce qui reste à vérifier pour les sources n° 18 et 22) : "Nappe du crétacé supérieur".

2.3.3. - ALIMENTATION ET SENS D'ÉCOULEMENT DES NAPPES

2.3.3.1 - "Nappe alluviale" de Midès

Le niveau de cette nappe varie selon le débit de la crue ; de ce fait, elle est soutenue temporairement. A la suite des crues, le seuil est déversant, alors qu'en période d'étiage l'eau chemine dans les fissures du calcaire à Ostracés, ce qui oblige les agriculteurs à creuser des rigoles vers l'amont pour recouper le niveau d'eau de la nappe (Fig. 2.13). L'écoulement de celle-ci se fait vers l'aval. La cuvette contenant les alluvions se termine par suite de l'existence d'une barre rocheuse transversale (seuil hydraulique). Ce seuil est formé par la barre à Ostracés inférieure de la Formation Metlaoui, qui repose sur les marnes de la Formation el Haria.

2.3.3.2. - "Nappe éolienne" de la région de Aïne el Kerma

Les exutoires de cette nappe se situent de part et d'autre de la colline de Aïne el Kerma, sous forme de sources et le long de la rive gauche de l'oued el Khanga, sous forme de suintement et de source. Le puits de l'école de Aïne el Kerma recoupe le niveau d'eau à - 9 m du terrain naturel, 9 puits superficiels ont été creusés en 1940, pratiquement à la même profondeur, dans la ré-

Figure 2.13 : COUPE AU NIVEAU DU SEUIL DE MIDES

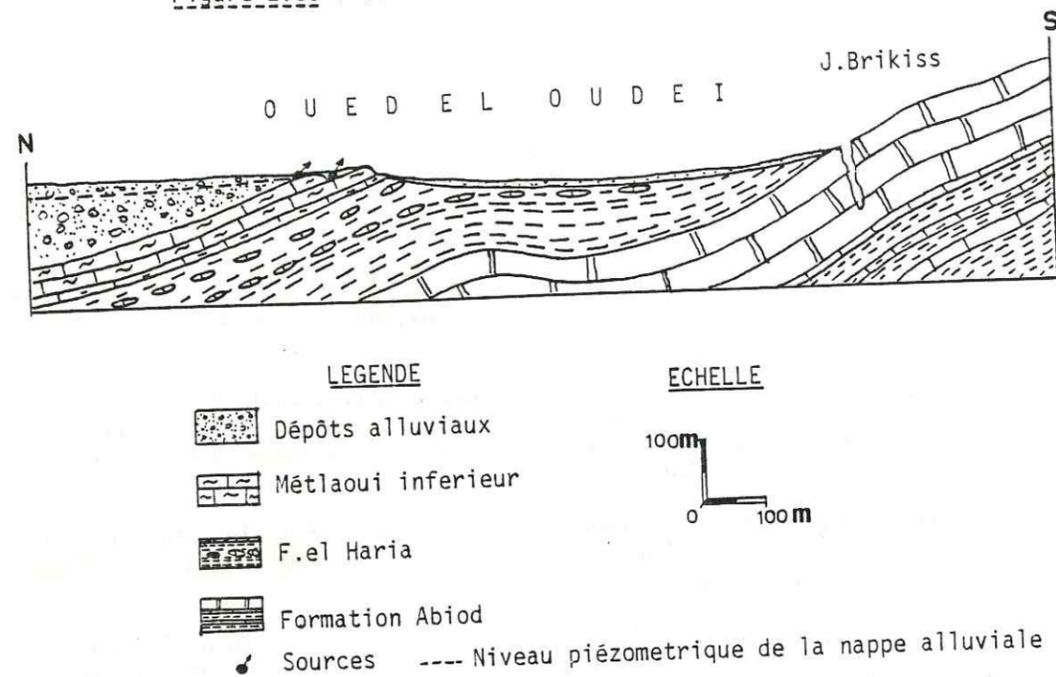
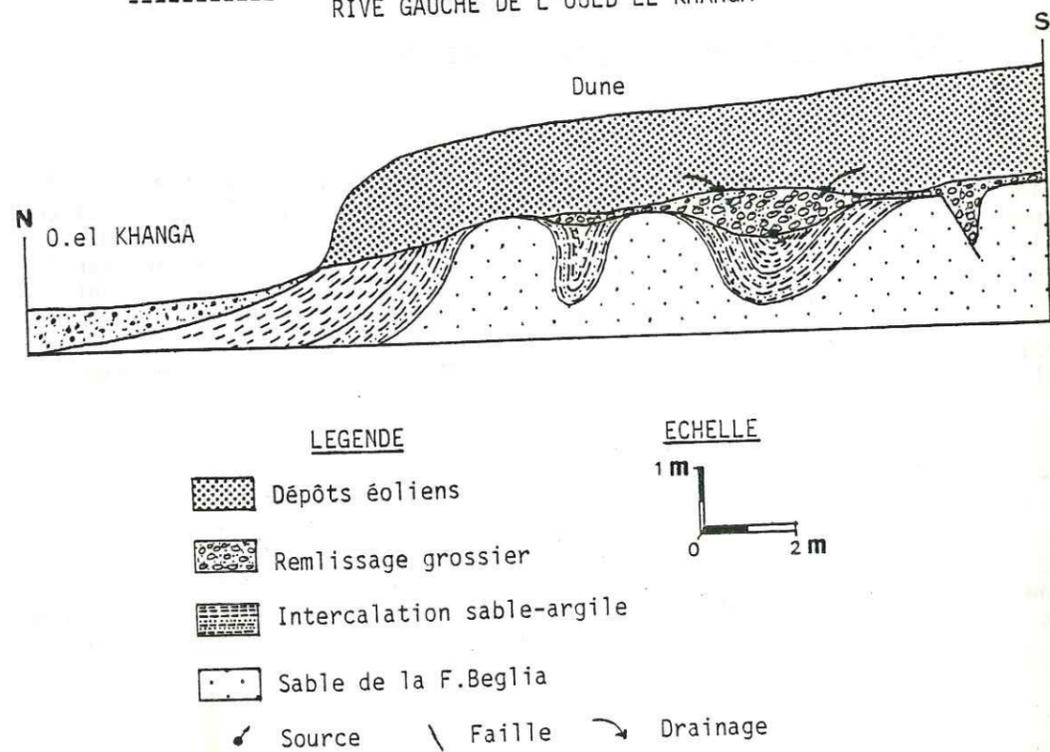


Figure 2.14 : EXEMPLE DE DRAIN NATUREL DE LA NAPPE EOLIENNE RIVE GAUCHE DE L'OUED EL KHANGA



gion de Aïne el Kerma, mais 5 seulement ont recoupé la nappe. Ceci nous amène à conclure que la surface isopièze doit avoir une forme irrégulière, due à l'existence de couloirs de drainage préférentiels situés à la base de la formation, (Fig. 2.14). Rien d'étonnant à cela, car la Formation Beglia présente une tectonisation qui a guidé une érosion en chenaux avant qu'elle ne disparaisse sous les dépôts éoliens. Ces chenaux, actuellement remplis de graviers bien arrondis, constituent des drains ainsi que l'on peut s'en rendre compte sur la rive gauche de l'Oued el Khanga, où l'érosion récente de cet oued a recoupé l'un d'eux, ce qui a donné naissance à la source n° 11.

En ce qui concerne l'alimentation de cette nappe, nous avons supposé une alimentation probable par les sables sous-jacents de la Formation Beglia par un endroit où la limite imperméable serait érodée. La composition chimique respective des eaux des deux nappes ne s'oppose pas à cette hypothèse. Mais les données des sondages S 101 et S 1 relatives au niveau piézométrique de la "nappe miopliocène" éliminent cette hypothèse, car le niveau piézométrique se situe à plus de 20 m du terrain naturel. A cette profondeur, il est difficile de trouver un mécanisme d'ascension qui alimenterait la "nappe éolienne".

Cette nappe ne peut être alimentée que par les eaux de pluie qui sont rares, ce qui explique la baisse du niveau d'émergence des exutoires de cette nappe d'au moins 2 m en 20 ans (donnée basée sur les réponses des agriculteurs de la région).

2.3.3.3. - "Nappe miopliocène"

Les données des piézomètres de l'oued Tamerza (Fig. 2.15) montrent que le niveau piézométrique de cette nappe plonge de 2 % vers l'Ouest, alors que le niveau imperméable plonge de 4 % vers l'Est.

Dans la branche Nord du synclinal de Tamerza et d'après les sondages S 1, S 101 et la source n° 23, le gradient hydraulique plonge de 1 % vers l'Ouest. Nous pouvons dire que la "nappe miopliocène" a un écoulement E-W et elle serait probablement alimentée par les eaux des crues de l'oued Frid et les eaux de ruissellement des jebels Bliji et M'silikir.

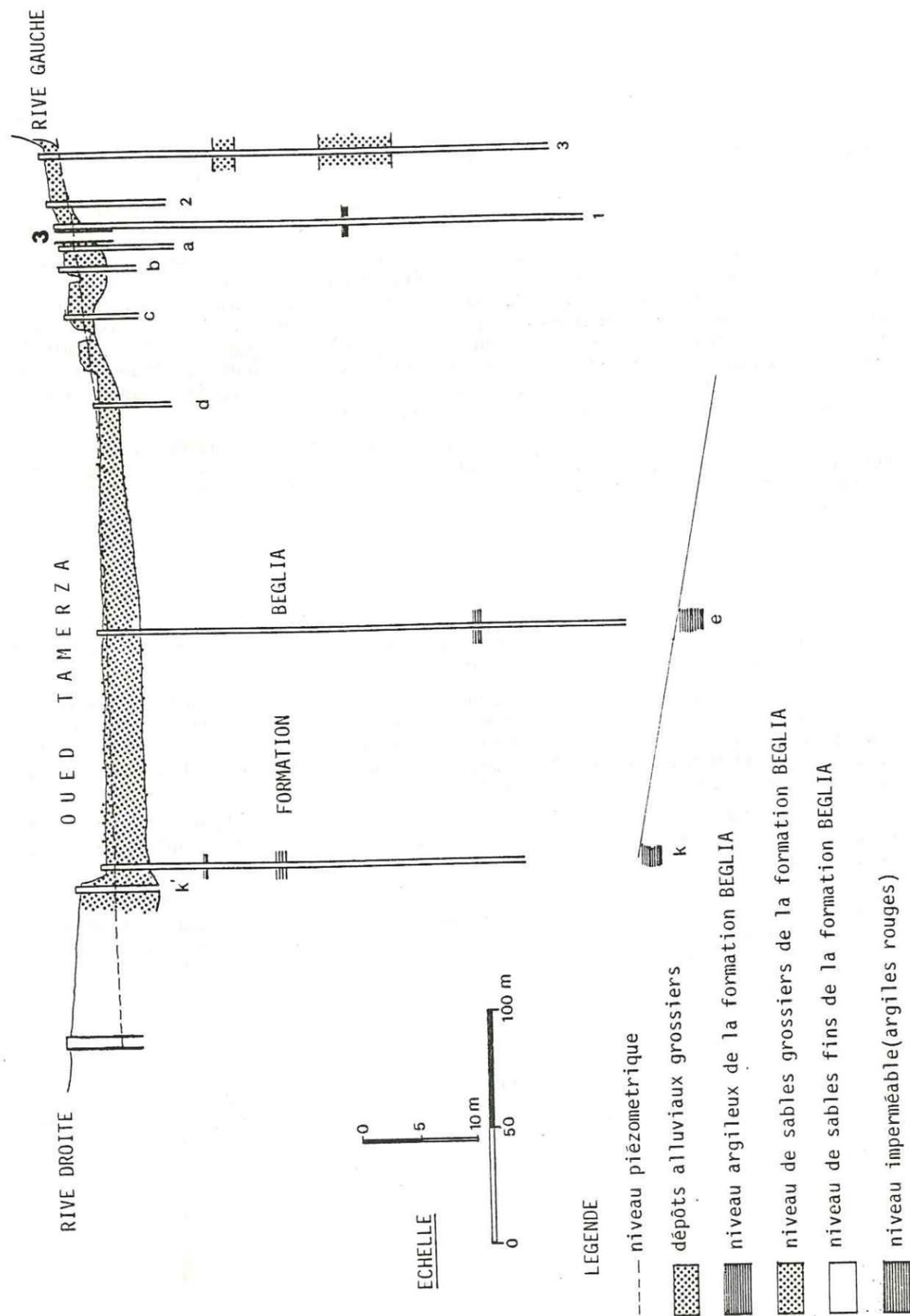
Avant de passer à la "nappe du crétacé supérieur", une question s'impose : quelle relation y a-t-il entre les deux branches Nord et Sud du synclinal de Tamerza à l'Est du jebel el Ardha ?

Au Sud de la région de Aïne el Kerma, le puits de Kef el Lokma recoupe la nappe miopliocène à la cote 380. Si nous projetons ce puits sur la droite reliant les sondages S 1 et S 101, nous remarquons que le niveau piézométrique de ce puits est beaucoup plus élevé que dans la branche Nord (Fig. 2.9). Jusqu'à ce point, l'anticlinal d'el Ardha constitue un seuil hydraulique, mais il est probable que plus à l'Est il n'existe plus.

2.3.3.4. - "Nappe du Crétacé supérieur"

La barre supérieure de la Formation Abiod, soit des jebels Bliji ou M'silikir, est alimentée par l'infiltration des eaux pluviales. L'écoulement de cette "nappe" est provoqué par les accidents qui affectent cette barre calcaire

Figure 2.15 : COUPE TRANSVERSALE DE L'OUED TAMERZA (G.H.A.R. A. STEBLINE, 1961)



soit au flanc Sud de jebel Bliji, ou au niveau de Bir er Rmitta.

Toutefois, il faut trouver une explication au fait que la température de cette eau (source de Chebika) est relativement élevée.

2.3.4. - DEBIT DES SOURCES

Nos observations au cours des deux dernières années nous ont permis de remarquer que le débit des sources de Midès, exutoire de la "nappe alluviale", est lié aux apports de l'oued el Oudeï. A la suite des crues de septembre 1979, le débit des sources a atteint 40 l/s, alors qu'à la fin de la période sèche, le débit était de 20 l/s.

Le débit des sources issues de la "nappe éolienne" est très faible.

Le débit des sources de la "nappe miopliocène" est indépendant des crues ; il semble être de l'ordre de 140 l/s. A ce débit il faut ajouter le débit des sources de la famille D qui est de l'ordre de 10 l/s.

2.4 - CONCLUSIONS -

La région de Tamerza se situe sous l'influence d'un climat aride mésothermal, où les précipitations sont rares et l'évaporation très importante, ce qui est à l'origine du déficit du bilan hydrogéologique.

La rareté de la végétation fait que les bassins versants sont directement exposés aux agents d'érosion entraînant un débit solide important des oueds de la région.

Alors que les précipitations sont déjà maigres, il s'en perd encore une fraction importante sous forme de ruissellement, au détriment de l'utilisation qui pourrait en être faite sous forme d'une augmentation de réserves ou de la création de nouveaux périmètres irrigués. Cependant la forte évaporation et l'importance du débit solide s'opposent à la création de retenues libres : d'où la nécessité de rechercher une technique de stockage qui tienne compte de ces deux facteurs.

L'étude hydrogéologique, basée essentiellement sur les observations de terrains et les données des caractéristiques physicochimiques des eaux de la région nous a permis de différencier plusieurs types de nappes qui occupent les alluvions récentes, les dépôts éoliens, les sables miopliocènes et la barre du Crétacé supérieur.

L'absence de reconnaissances appuyées sur des sondages profonds laisse en suspens un certain nombre de problèmes. D'une part, il n'a pas été possible de dresser une carte piézométrique de la nappe très étendue qui occupe le bassin miopliocène situé dans le prolongement de celui de Moularès - Redeyef. D'autre part, on ignore comment se dessinent les relations hydrogéologiques entre les deux branches Nord et Sud du synclinal de Tamerza, ce qui est pourtant d'une importance capitale si l'on doit modifier par un aménagement les conditions piézométriques de la branche septentrionale.

TROISIEME PARTIE

CHAPITRE 3 : STOCKAGE DE L'EAU EN ZONE ARIDE.

CHAPITRE 4 : ETUDE DU PROJET D'AMENAGEMENT DES GORGES
DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI.

CHAPITRE 3 : STOCKAGE DE L'EAU EN ZONE ARIDE

- 3.1 - TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE STOCKAGE DANS LES MONTS DE MATMATA.
- 3.2 - STOCKAGE EN RETENUE - EXEMPLE DU BARRAGE DE L'OUED EL KEBIR.
- 3.3 - STOCKAGE EN NAPPE SOUTERRAINE.

INTRODUCTION

Pour satisfaire leurs besoins en eau, à usage domestique et agricole, les habitants des zones arides ont utilisé depuis longtemps des techniques appropriées, adaptées aux conditions climatiques, physiques, géologiques et humaines.

Ces techniques leur ont permis de survivre, même dans des zones où les précipitations sont très rares, comme le pays des Touareg.

Dans le Sud Tunisien, les "Berbères" des monts de Matmata stockent l'eau à usage domestique dans des citernes enterrées appelées respectivement "Mejels" ou "Fouskias" selon qu'elles se trouvent en pleine nature ou à l'intérieur des maisons.

Vu la rareté des terrains cultivables, ils ont aussi conçu des ouvrages qui retiennent à la fois la bonne terre et les eaux de ruissellement. Ce sont des sortes de barrages collinaires, assez anciens, que l'on surélève progressivement, lorsque le colmatage de la retenue rend leur digue submersible.

Dans des régions plus septentrionales, (Fig. 3.1) le stockage de l'eau se fait à ciel ouvert, à l'aide d'ouvrages très coûteux. Les retenues y sont exposées à une forte évaporation et à un envasement d'autant plus rapide que le bassin versant est formé de matériaux meubles directement exposés aux agents d'érosion et de transport. Un exemple démonstratif est fourni par le barrage de l'oued el Kébir (région de Pont du Fahs).

Hors de la Tunisie, dans le Sud-Ouest africain, on pratique encore une autre technique de stockage au sein des matériaux charriés par les cours d'eau. Cette technique a connu également un début d'application dans le Sud Tunisien (barrage de prise de Fom el Khanga).

3.1 - TECHNIQUES TRADITIONNELLES DE STOCKAGE DANS LES MONTS DE MATMATA

Sur les monts de Matmata, les précipitations moyennes annuelles ne sont que de 200 mm. Les habitants sont pourtant à l'abri de la pénurie, grâce aux réserves qu'ils accumulent dans leurs citernes enterrées. Par ailleurs, si, au cours d'une année relativement sèche, les cultures annuelles (céréales) souffrent du manque d'eau, les arbres peuvent encore satisfaire leurs besoins en puisant plus profondément dans les interstices du matériel meuble retenu derrière les ouvrages collinaires.

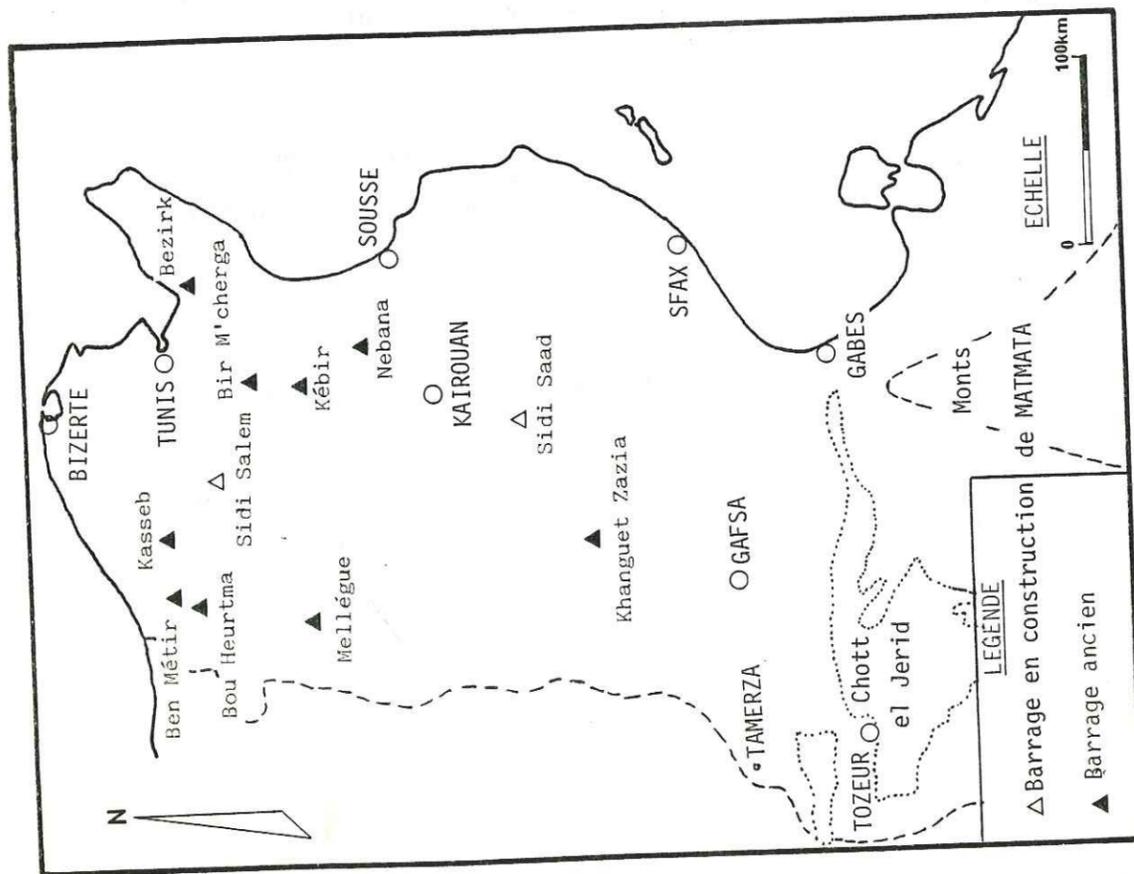
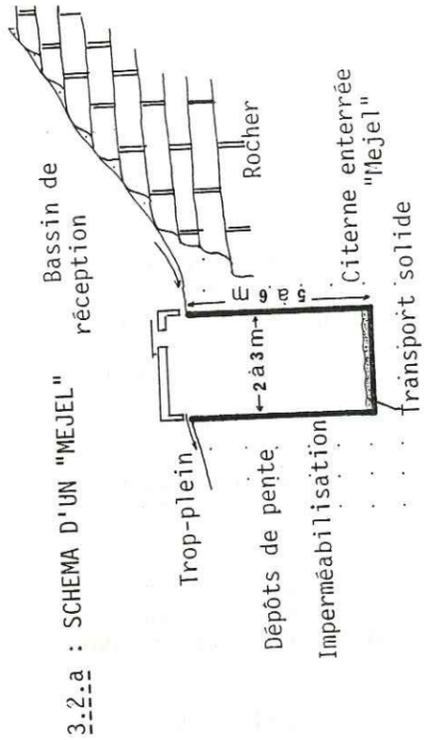
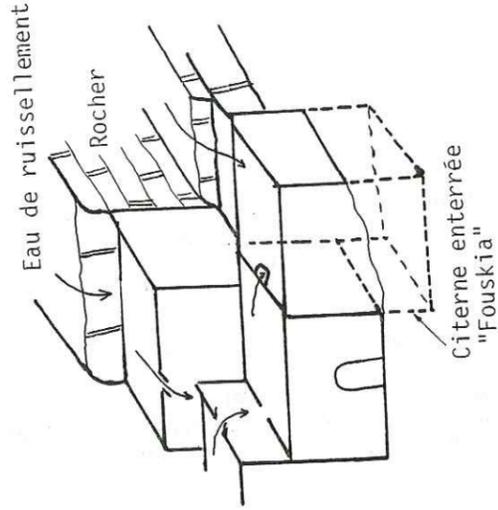


Figure 3.1 : CARTE DE SITUATION DES GRANDS OUVRAGES HYDRAULIQUES EN TUNISIE



3.2.a : SCHEMA D'UN "MEJEL"



3.2.b : PRINCIPE DE RECUPERATION DE L'EAU DE PLUIE DANS LA "FOUSKIA"

Figure 3.2 : TECHNIQUES DE STOCKAGE DE L'EAU DANS LES MONTS DE MATMATA

3.1.1. - LES "MEJELS" ET LES "FOUSKIAS" (Fig. 3.2) -

Sur les versants des monts de Matmata, les dépôts colluviaux sont souvent très épais. Les rares ruissellements qui se produisent s'y perdraient donc de façon irrémédiable si les "Berbères" n'avaient imaginé de les guider vers des citernes, imperméabilisées par une couche d'argile ou de ciment, qu'ils y ont creusées. Les bassins de réception qui commandent les citernes sont des surfaces de ruissellement choisies hors des axes des écoulements principaux. Ces surfaces sont bien délimitées par des bourrelets de terre faisant converger l'eau vers la citerne. Les eaux du "mejel" se conservent à l'abri de l'évaporation pendant des mois. Elles ne sont utilisées qu'en période de sécheresse pour l'arrosage et l'alimentation des troupeaux.

Au contraire, tout au long de l'année, les habitants utilisent pour leurs besoins domestiques l'eau qu'ils collectent dans des citernes creusées à l'intérieur de leurs maisons.

Les villages occupent le sommet des reliefs et s'étagent en escalier dans la partie haute des versants, en profitant de la stratification tabulaire du substratum. L'eau de pluie qui tombe sur les toits en terrasse passe d'un toit au voisin et, arrivée au toit le plus bas de la maison, est conduite dans la citerne ou "fouskia" dont les capacités recouvrent largement les besoins annuels de la famille.

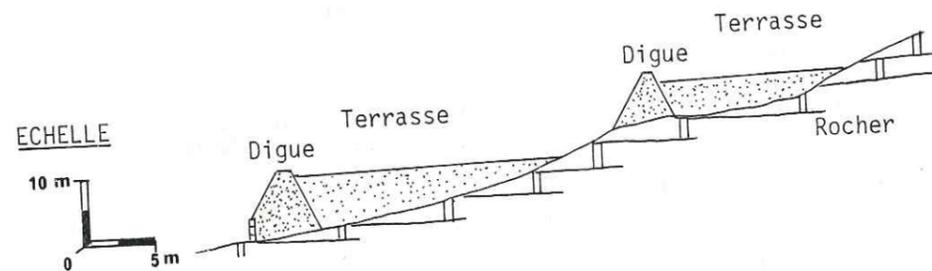
3.1.2. - LES BARRAGES COLLINAIRES (Fig. 3.3) -

Les reliefs de la région sont entaillés par de nombreux ravins. Les pluies qui y provoquent des ruissellements torrentiels en arrachent très facilement toutes les parcelles de sol, de sorte que les possibilités de mise en culture se limitent au fond des vallées.

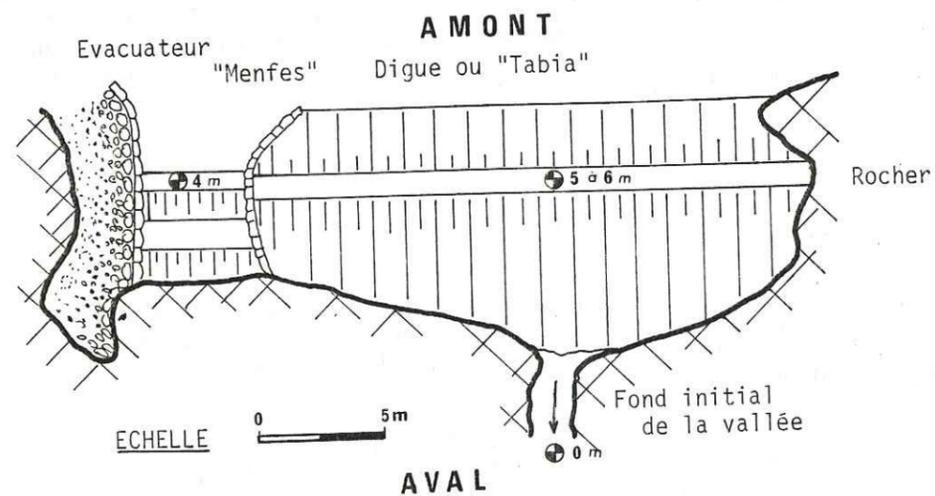
Pourtant, les anciens habitants des monts de Matmata avaient su remédier en partie à ces conditions défavorables en édifiant des petits ouvrages collinaires permettant à la fois la rétention des produits d'altération et la création de parcelles cultivables.

Figure 3.3 : SCHEMA DU BARRAGE COLLINAIRE DE MATMATA

3.3.a : COUPE LE LONG D'UNE VALLEE AMENAGEE



3.3.b : VUE EN PLAN D'UN BARRAGE COLLINAIRE



Les digues, munies d'un évacuateur de crues qui fonctionne dès que la tranche d'eau atteint une certaine épaisseur, sont surélevées quand le colmatage de la retenue augmente.

L'étendue de l'atterrissement croît donc en même temps que son volume, donc que sa capacité de rétention, ces deux facteurs jouant au bénéfice de plantations et de cultures potagères.

Les ouvrages, édifiés à la main, sont fragiles et doivent être réparés à la suite de chaque forte précipitation. Ils n'en jouent pas moins leur rôle depuis des générations dans cette zone où les conditions de vie sont très difficiles.

3.1.3 - EFFICACITE DE CES TECHNIQUES DE STOCKAGE -

Malgré leur caractère primitif, ces techniques apportent une solution relativement satisfaisante aux besoins de la région. Les ouvrages collinaires sont édifiés selon un procédé traditionnel qui ignore les techniques de drainage et de captage. Une bonne part des destructions d'ouvrages qui surviennent lors des fortes précipitations doit être attribuée à cette carence.

3.2. - STOCKAGE EN RETENUE - Exemple du Barrage de l'Oued el Kébir -

Les retenues classiques, en Tunisie, sont exposées à une forte évaporation et un envasement rapide.

Le tableau 3.1 montre l'importance de l'évaporation du Nord au Sud du pays.

Tableau 3.1 : EVAPORATION DES NAPPES D'EAU LIBRE DE QUELQUES STATIONS EN TUNISIE (en mm)

mois	vitesse du vent à 2 m du sol	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	total
BIZERTE	moyenne	51	64	102	133	177	210	236	218	152	97	65	44	1549
TUNIS	moyenne	51	62	106	134	178	225	248	219	159	102	65	50	1599
	2 m / s	41	52	89	115	156	199	219	198	144	95	58	41	1407
KAIROUAN	4 m / s	56	68	112	139	184	235	260	236	175	119	76	57	1717
	moyenne	64	80	117	144	194	226	261	234	166	115	76	58	1735
GAFSA	4 m / s	77	96	135	169	223	260	307	280	201	143	101	75	2065
	moyenne	66	78	136	169	229	262	276	252	182	130	76	48	1904

(D'après CH.RIOU, 1979)

Presque tous les bassins versants des oueds sont à 50 % formés de matériaux facilement transportables par les eaux de ruissellement à caractère torrentiel. A l'exception du Nord-Ouest du pays et des reliefs qui dépassent 1000 m d'altitude, la couverture végétale est rare et les sols sont directement exposés à l'érosion.

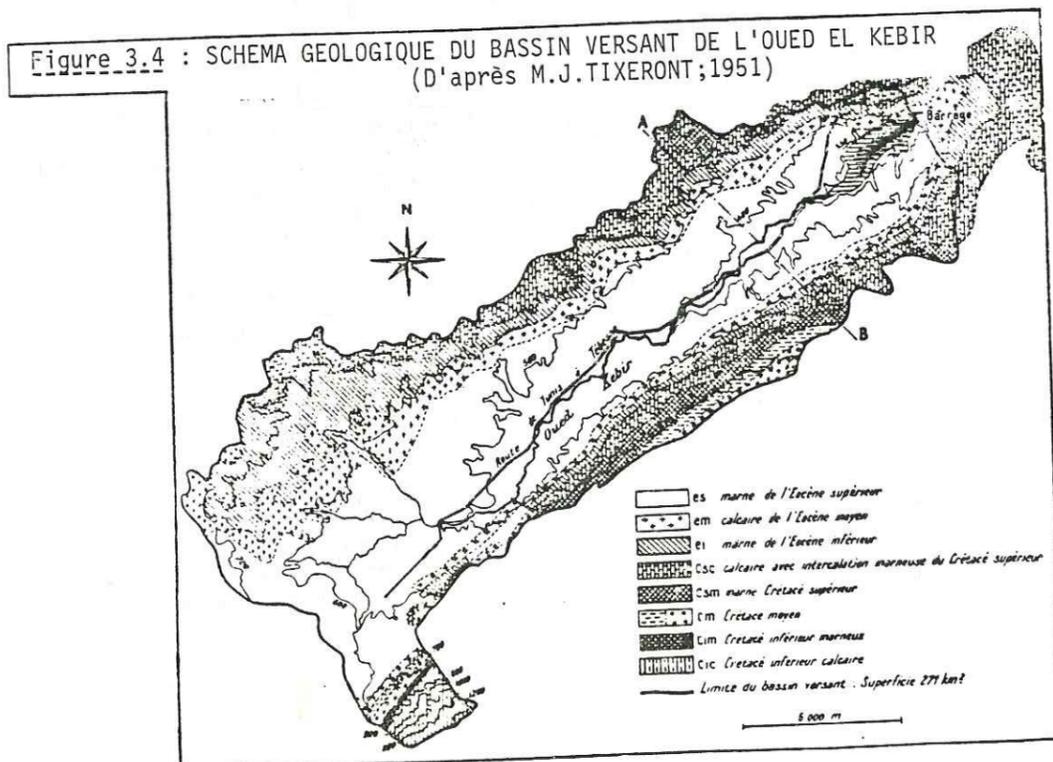
Pour tous les ouvrages édifés sur les oueds tunisiens, les projeteurs prévoient des organes de dévasement. Des travaux de protection du bassin versant (emboisement des berges et régularisation du lit de l'oued) démarrent dès le début de l'édification de chaque barrage.

Malgré ces précautions, la capacité des retenues à ciel ouvert est réduite d'une année à l'autre, surtout à la suite des années exceptionnellement pluvieuses.

Pour illustrer ces faits, nous avons choisi le barrage de l'oued el Kébir, le plus ancien barrage de la Tunisie (1925), aujourd'hui presque complètement envasé bien qu'il soit situé dans une zone où les précipitations sont moyennes. Ces pluies sont assez violentes, surtout en début d'automne, ce qui favorise un transport solide important. L'envasement de la retenue de l'oued el Kébir est dû à de multiples facteurs climatiques (pluie violente, sécheresse, faible couverture végétale du bassin versant). Nous allons étudier l'évolution de la capacité de la retenue depuis l'origine.

3.2.1. - CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE -

Le barrage de l'oued el Kébir se situe à 80 km au Sud-Ouest de Tunis, près de Pont du Fahs (feuille 1/50000, jebel Mansour) à Sidi Boubaker. Le bassin versant d'une superficie de 271 km² (Fig. 3.4) draine des terrains sédimentaires dont les plus anciens sont d'âge Crétacé inférieur.



L'oued a creusé son lit au coeur d'un synclinal de direction ENE-WSW, occupé par des marnes de l'Eocène supérieur.

Marnes de l'Eocène supérieur	138 km ²	50,9 %
Calcaires de l'Eocène moyen	15	5,5
Marnes de l'Eocène inférieur	27	9,9
Marnes et Calcaires du Crétacé supérieur	(Calcaires 40	14,7
	(Marnes 40	14,7
Calcaires du Crétacé inférieur	11	4,1 %

Plus de 75 % du bassin versant est donc constitué par des marnes. La granulométrie des formations meubles (sols sur marnes et sols sur calcaires durs), produits d'altération des terrains sur place associés aux apports éoliens, a donné 50 % de sable fin et limons et 50 % d'argile (M.J. Tixeront 1951). La précipitation moyenne annuelle sur le bassin versant est de 500 mm (maximum 814 et minimum 247 mm).

3.2.2. - CARACTERISTIQUES DU BARRAGE -

Il a été construit par la Société des Grands Travaux de Marseille, (S.G.T.M.) au cours des années 1922-1925. C'est un barrage en enrochements, à diphragme central creux en béton prolongé en amont par un parafouille. Sa hauteur est de 35 m. Il est fondé sur le calcaire éocène moyen de la terminaison périsynclinale. La retenue qui baigne les marnes du Lutétien supérieur se trouve en contact avec les calcaires de l'Eocène sur environ 1600 m (rive gauche).

Destiné à l'alimentation de la ville de Tunis en eau potable, le barrage est pourvu en rive droite d'une chambre de prise en maçonnerie comportant trois orifices situés aux cotes 333,4, 330 et 326. La prise inférieure est à 16 m au-dessus du niveau initial de l'oued.

3.2.3. - EVOLUTION DE LA RETENUE -

La capacité à l'origine était de 25,2 Mm³ à la cote 340,5 m, la crête de l'ouvrage étant à la cote 344. En 1925, la topographie naturelle, à l'emplacement du réservoir, présentait un lit principal (Oued el Kébir) et des thalwegs secondaires (Fig. 3.5.a).

A la fin de la construction est survenue une longue période de sécheresse, qui n'a permis d'effectuer le remplissage qu'en 1930. Des pertes sont alors apparues le long des affleurements calcaires de la rive gauche. Malgré un traitement, leur débit est resté très important, 6000 m³/j, soit 2 Mm³/an. Un réseau de captage a été réalisé pour le récupérer et augmenter le débit acheminé vers Tunis. En 1938 et 1945, le barrage s'est trouvé à sec. Quelques années plus tard, en 1950, sa capacité n'était plus que de 20,4 Mm³ et la cote moyenne de la vase était à 327 m. En 20 ans, la perte de capacité s'élevait déjà à 4,8 Mm³, ce qui se tradui-

Figure 3.5 : EVOLUTION DU RESERVOIR DE L'OUED EL KEBIR

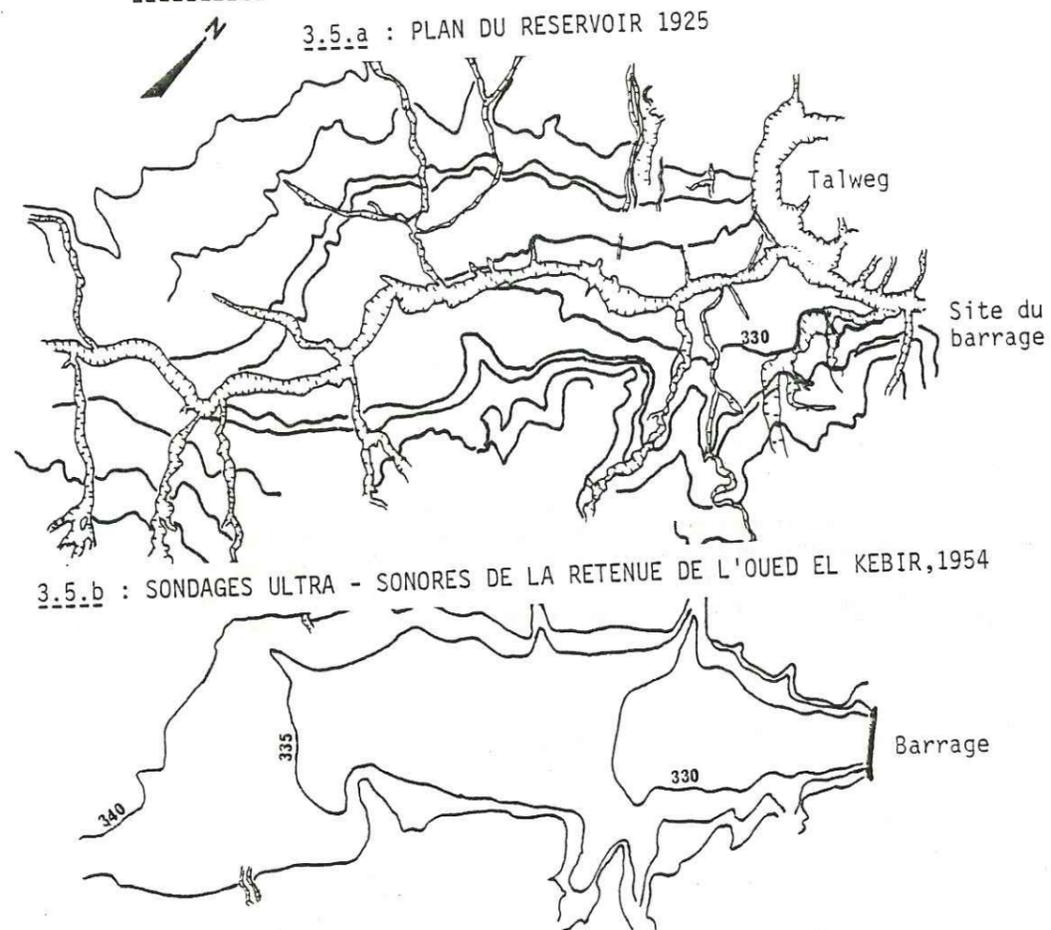
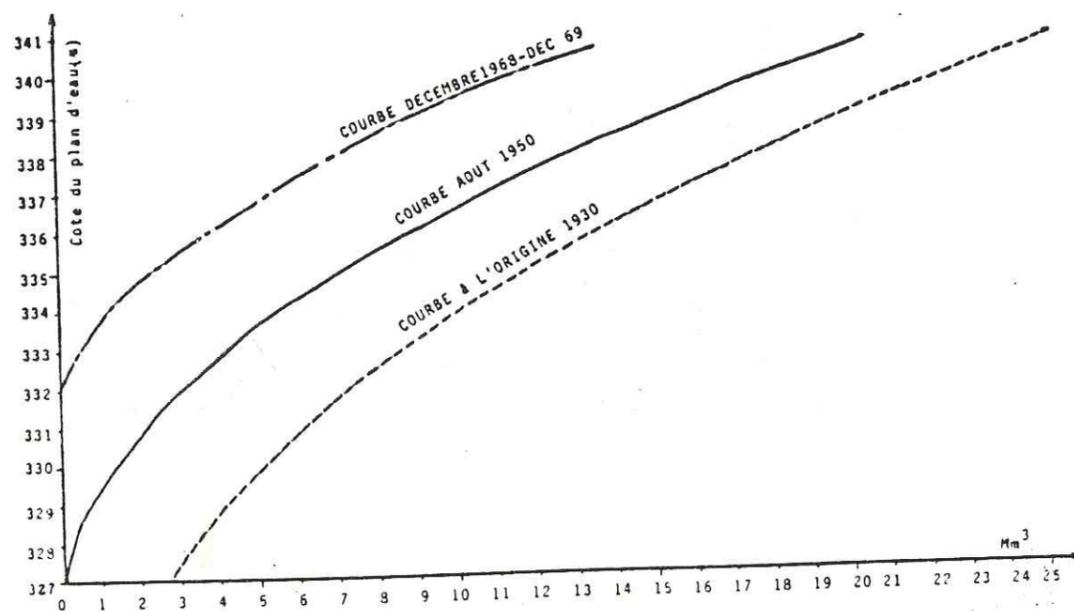


Figure 3.6 : COURBES DES CAPACITES DE LA RETENUE DU BARRAGE DE L'OUED EL KEBIR



sait, dès cette époque, par une rétention moindre des crues, dont une partie se déversait en pure perte. D'autre part, la morphologie de la retenue était déjà sensiblement modifiée (disparition des thalwegs secondaires) (Fig. 3.5.b). Par suite de l'envasement enfin, la prise située à la cote 326 était devenue inutilisable.

Disposant des courbes de capacité en 1930 et 1950, nous avons supposé que le volume utile s'était réduit de façon progressive entre ces deux dates. D'autre part, nous avons supposé qu'à partir de 1950, les dépôts déjà en place dans la retenue avaient suffisamment remodelé sa topographie pour que la sédimentation ultérieure se fasse en strates de puissance constante sur toute son étendue.

Partant de ces suppositions et des données relatives du bilan d'exploitation relative des années 1959-1979, il nous a été possible de reconstituer la perte de capacité subie par la retenue (Fig. 3.6). L'évolution de la retenue est résumée dans le tableau 3.2.

Tableau 3.2 : ENVASMENT ET PERTE DE CAPACITE DE LA RETENUE DE L'OUED EL KEBIR

	volume de vase (Mm ³)	cote de la surface de vase(m)	capacité utile subsistante (Mm ³)
1930	-	-	25,2
1950	4,8	327,0	20,4
1968	11,7	332,0	13,5
1979	12,8	333,5	12,4

La perte de la capacité, nous l'avons calculée par rapport aux courbes à l'origine, courbe de 1950 et de la courbe 1968 (Tableau 3.3) pour la période 1959-1979. Parallèlement, nous avons porté successivement la pluviométrie au niveau du barrage, l'évaporation et le débit conduit vers Tunis.

Les figures 3.7 et 3.8 nous montrent que le débit minimal conduit vers Tunis est de 1,5 Mm³/an, même au cours des périodes de sécheresse (Juillet 1968 - Août 1969, soit 13 mois durant lesquels la retenue est restée vide). Ce débit est nettement inférieur au débit du captage aval qui était de 8 Mm³/an, et il est légèrement inférieur au débit des fuites de 1930. Nous supposons que cette diminution est due au fait que les fissures des calcaires éocène sont colmatées par les apports fins, d'où une diminution de la perméabilité.

D'autre part, la quantité d'eau perdue par évaporation a atteint 3,8 Mm³ en 1964, deux fois le débit minimal conduit vers Tunis.

L'exemple que nous avons choisi montre que les barrages ne sont pas à l'abri du colmatage, même s'ils sont pourvus d'organes de dévasement. Le matériel retenu derrière le barrage stocke annuellement au moins 1,5 Mm³ d'eau (il est probable que ce stockage se fait aussi dans le calcaire éocène légèrement fissuré et qui a donné des pertes dès la première mise en eau). Ces matériaux de faible

Tableau 3.3 : DONNEES RELATIVES DE L'EVOLUTION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE L'OUED EL KEBIR
PLUVIOMETRIE - VOLUME EXPLOITE - EVAPORATION

Années	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
I	339,6	335,4	334,8	332,7	334,7	340,3	338,1	334,7	332,8	332,0	340,5	335,8	337,6	335,0	337,4	335,0	336,4	336,0	334,4	333,5	333,5
II	10,77	2,98	2,13	0,38	1,95	12,56	7,31	1,97	0,34	0	13,23	3,50	6,34	2,30	6,05	2,37	4,25	3,68	0,80	0	0
III	22,5	13,0	11,0	8,4	11,4	24,1	19,0	11,6	8,6	7,4	25,2	13,7	17,3	12,0	18,0	12,1	14,8	14,0	11,0	9,6	9,6
IV	17,5	8,1	7,1	4,1	6,7	19,4	13,5	6,7	4,2	3,2	20,4	8,7	12,2	7,2	11,9	7,3	9,9	9,0	6,2	4,9	4,9
V										0	12,5	3,5	6,3	2,3	6,2	2,3	4,5	3,8	1,6	0,9	0,9
III-II	11,7	10,0	8,8	8,0	9,4	11,5	11,7	9,6	8,2	7,4	11,9	10,2	10,9	9,7	11,9	9,7	10,5	10,3	10,2	9,6	9,6
IV-II	6,7	5,1	4,9	3,6	4,7	6,8	6,2	4,7	3,8	3,1	7,1	5,3	5,8	4,9	5,8	4,9	5,6	5,3	5,4	4,9	4,9
VI	617	375	351	541	690	703	408	528	326	381	1036	273	579	582	847	371	522	656	428	311	380
VII	3,52	3,54	2,93	2,6	1,14	3,8	3,72	2,86	1,43	0,59	0,69	3,47	3,5	2,64	-	2,75	1,65	1,8	1,7	0,69	0,29
VIII	6,3	6,5	4,37	4,96	4,12	7,18	7,48	7,44	4,34	2,80	1,5	5,79	8,19	8,16	-	4,16	4,70	4,45	5,05	1,86	1,53

I : cote de la retenue fin décembre de chaque année

II : capacité de la retenue (M m³)

III : capacité de la retenue d'après la courbe de 1930 (M m³)

IV : capacité de la retenue d'après la courbe de 1950 (M m³)

V : capacité de la retenue d'après la courbe de 1968-69 (M m³)

III-II : volume de vase d'après la courbe de 1930 (M m³)

IV-II : volume de vase d'après la courbe de 1950 (M m³)

VI : pluviométrie annuelle (mm)

VII : évaporation annuelle de la retenue (M m³)

VIII : débit conduit vers Tunis (M m³)

Figure 3.7 : LES PHASES D'ENVAISEMENT DE LA RETENUE DU BARRAGE DE L'OUED EL KEBIR (1959 - 1979)

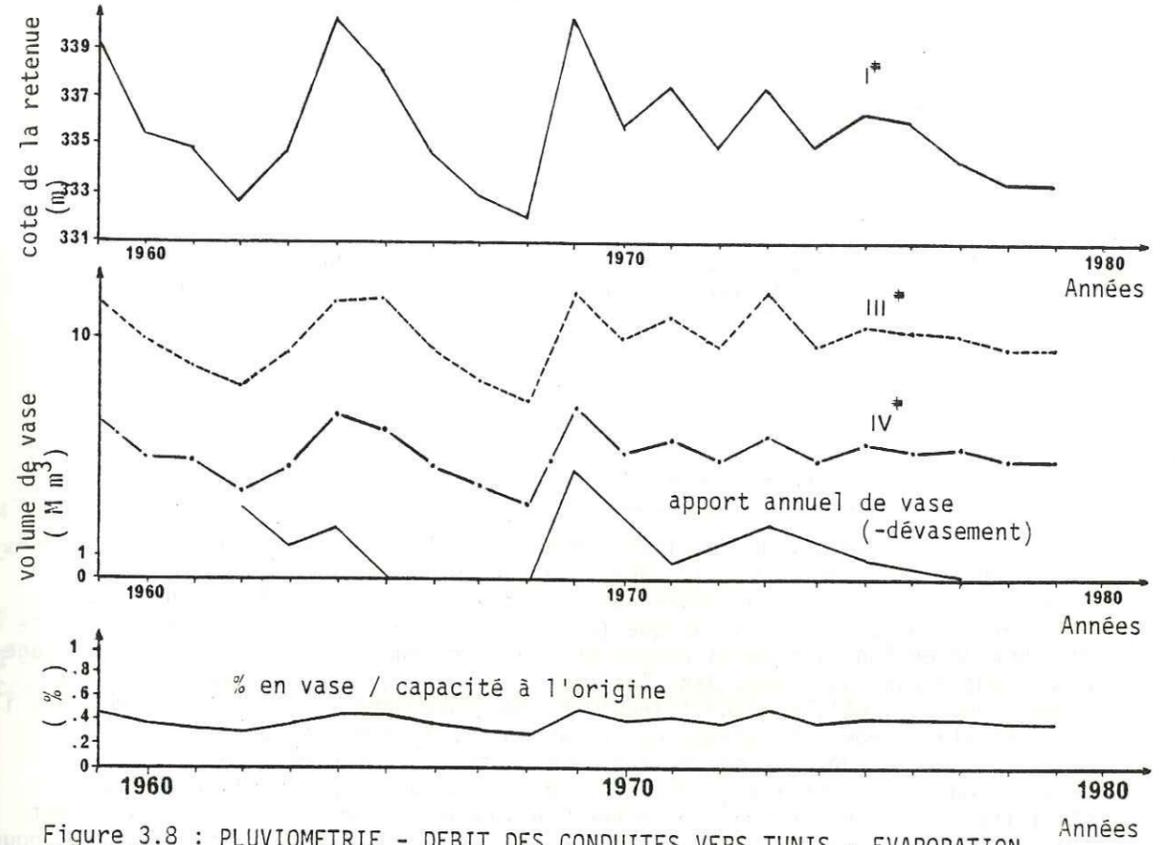
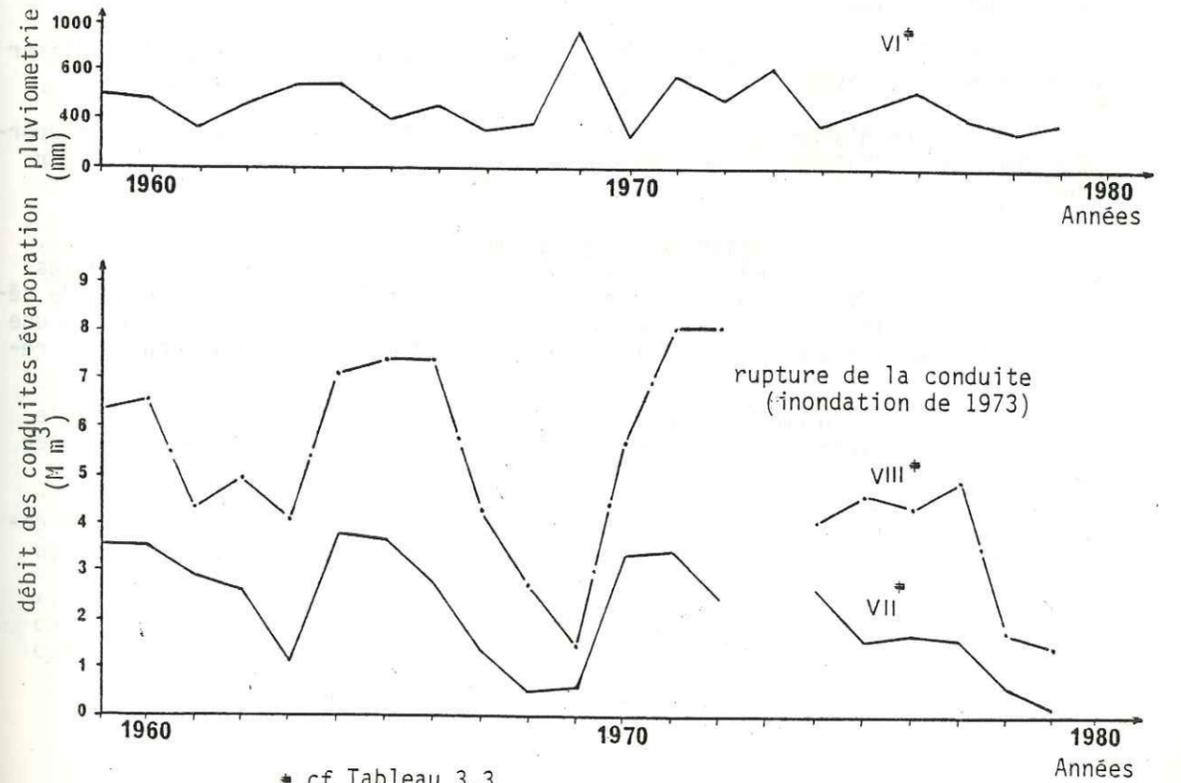


Figure 3.8 : PLUVIOMETRIE - DEBIT DES CONDUITES VERS TUNIS - EVAPORATION (1959 - 1979)



* cf Tableau 3.3

porosité ont joué le rôle d'épargne ; un matériel plus perméable aurait stocké des quantités plus importantes à condition qu'il ne soit pas colmaté au cours du temps.

L'étude de Rouis Jamel apportera sans doute beaucoup de renseignements sur la porosité, la perméabilité, ainsi que sur la capacité de rétention de ces matériaux.

3.3. - STOCKAGE EN NAPPE SOUTERRAINE

En pays aride, un des inconvénients, dont nous n'avons pas encore parlé, des retenues classiques, est l'importance de leurs pertes par évaporation. O. Wiplinger (1958), après étude des conditions de l'évaporation dans le Sud-Ouest africain, a établi un abaque (Fig. 3.9) qui permet d'estimer l'efficacité du stockage en fonction de la profondeur de la retenue et de la durée du stockage. Il a d'autre part noté que, dans les dépôts meubles qui se trouvent stockés à l'amont des barrages, s'établit inévitablement une nappe d'eau souterraine. Or, il a été constaté depuis longtemps qu'en saison sèche, à partir du moment où la nappe se tient à quelques décimètres de profondeur, les pertes des nappes par évaporation deviennent insignifiantes. On a remarqué en particulier sa quasi-stabilité durant une période de sécheresse longue de 3 mois. La possibilité est donc apparue de capter ces eaux, que l'on peut utiliser sans traitement, soit pour les usages agricoles, soit même domestiques (un centre de recherche bactériologique au Sud-Ouest africain est alimenté dans ces conditions).

Diverses conditions doivent être réunies si l'on veut tenter de réaliser un tel type de stockage.

Il faut d'abord que les apports solides des oueds contiennent une proportion suffisante d'éléments grossiers et que l'on évite le dépôt du matériel fin dans la retenue.

Il faut ensuite maîtriser le problème de la qualité chimique des eaux. Lors de l'arrivée des premières crues d'automne, le ruissellement a d'abord lessivé toutes les efflorescences salines formées ici et là, durant la période de sécheresse, par suite de l'ascension capillaire. L'eau correspondant au début d'une crue, beaucoup plus minéralisée que celle qui viendra ensuite, doit donc être rejetée.

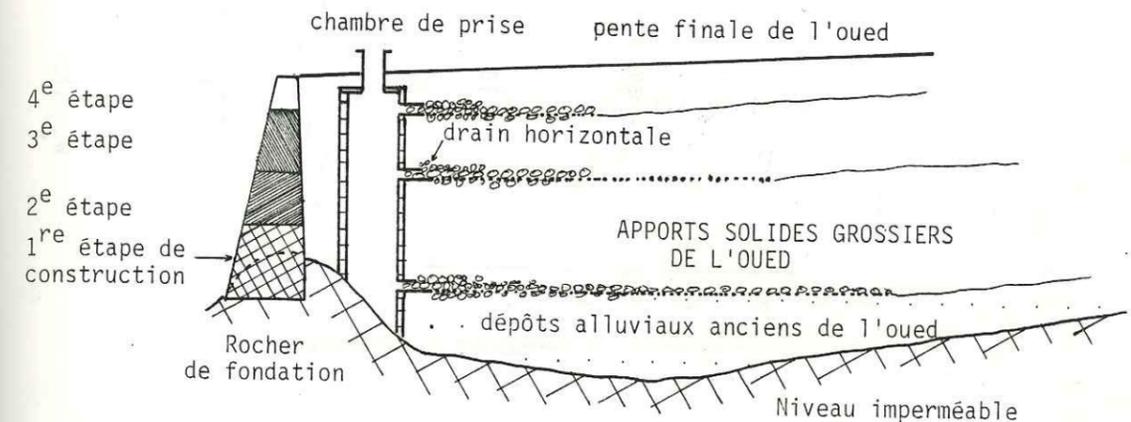
Le même problème d'efflorescence, et même de croûte saline susceptible de s'opposer à l'infiltration, peut aussi se poser au niveau de l'aquifère créée dans la retenue.

Ici, le remède consistera dans une importante réduction de la montée capillaire en maintenant toujours, par drainage, le niveau piézométrique à 1 m au moins sous la surface du dépôt.

3.3.1. - TECHNIQUE DE STOCKAGE (Fig. 3.10) -

Le transport de matériaux grossiers se fait par charriage et saltation, et celui des matériaux fins en suspension. Pour s'opposer au dépôt de ces derniers, au Sud-Ouest africain, on pratique la technique de construction en étapes. A chaque

Figure 3.10 : TECHNIQUE DE STOCKAGE DE L'EAU DANS LE SABLE
METHODE D'EXPLOITATION PAR DRAINAGE



stade de cette surélévation, la hauteur au-dessus des matériaux déjà déposés est conditionnée par la quantité des apports solides donc du débit de la crue. Il faut en effet que l'ouvrage reste submersible même pour les crues de faible débit pour laisser passer la majeure partie de leur charge en matériaux fins, tout en retenant au mieux les apports grossiers. Avant les périodes de crue, la tranche supérieure du sable doit être labourée perpendiculairement au sens de l'écoulement de l'oued pour faciliter l'infiltration. Un drain horizontal doit être réalisé durant la même période : celui-ci aboutit à une chambre de prise qui collecte l'eau drainée. Du fait que ces ouvrages sont submersibles au cours de chaque crue, ils sont construits en béton ou en enrochement, avec un revêtement amont et aval.

3.3.2. - EXPLOITATION DES EAUX STOCKEES - BARRAGE DE PRISE DE FOUM EL KHANGA

C'est le premier ouvrage réalisé par l'E.G.T.H. dans la région de Tamerza ; il se situe en aval du confluent des oueds el Oudeï et Tamerza (Fig. 3.11), au débouché de la gorge qui commande la cône de déjection. Il a été réalisé principalement pour détourner latéralement en permanence l'eau pérenne dans un canal pour assurer l'irrigation des deux palmeraies de Foum el Khanga (Fig. 3.12). En plus de la prise de surface qui sert à détourner l'eau dans le canal, une deuxième prise centrale a été réalisée pour drainer l'eau stockée dans les matériaux charriés par les crues. Cette prise centrale est reliée à une chambre de prise construite en amont du barrage. L'eau drainée par la prise centrale était destinée

Figure 3.9 : COURBES D'EFFICACITE DU STOCKAGE EN RETENUE CLASSIQUE (D'après O.WIPPLINGER; 1958)

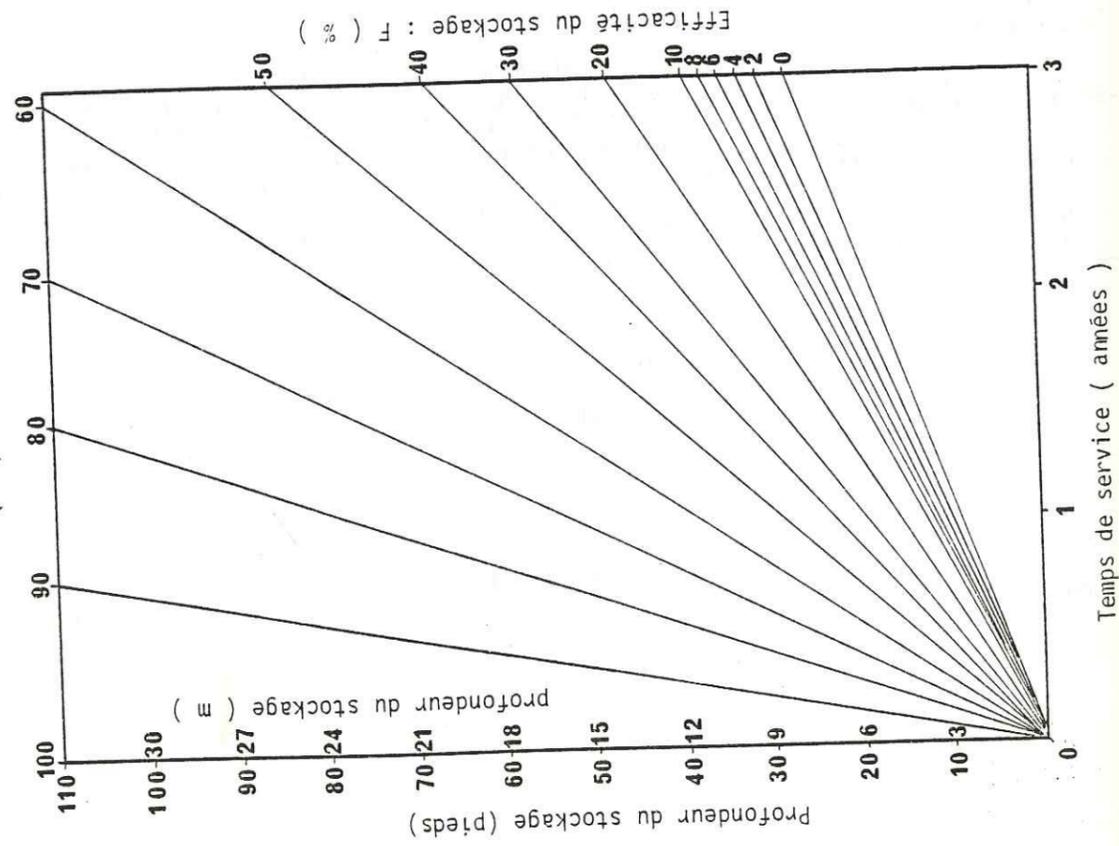


Figure 3.14 : COURBES D'EFFICACITE DU STOCKAGE EN RETENUE ENSABLEE (D'après O.WIPPLINGER; 1958)

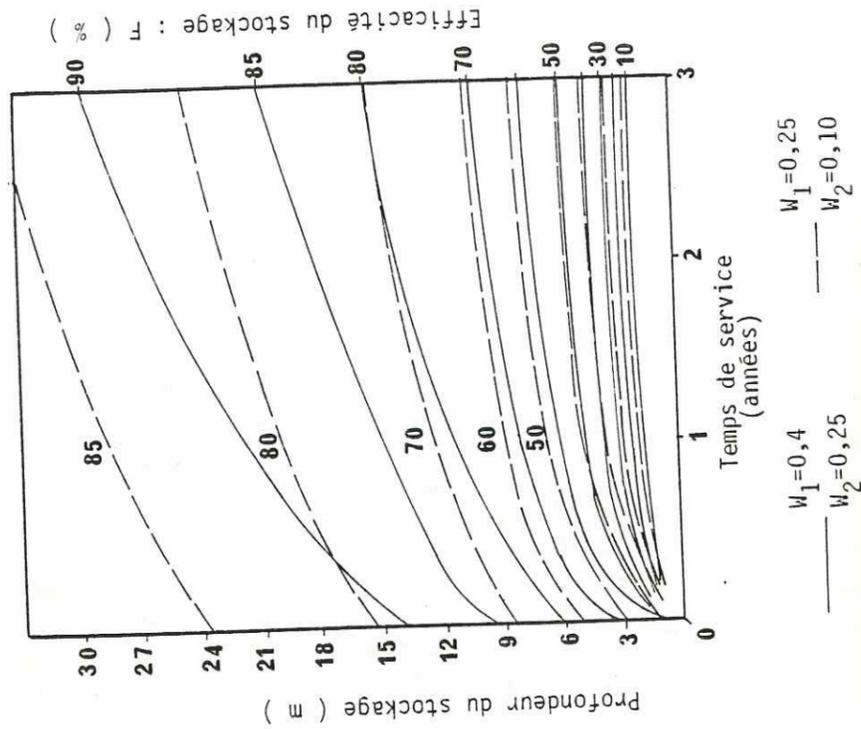


Figure 3.11 : PROJET D'AMENAGEMENT DE LA REGION DE TAMERZA

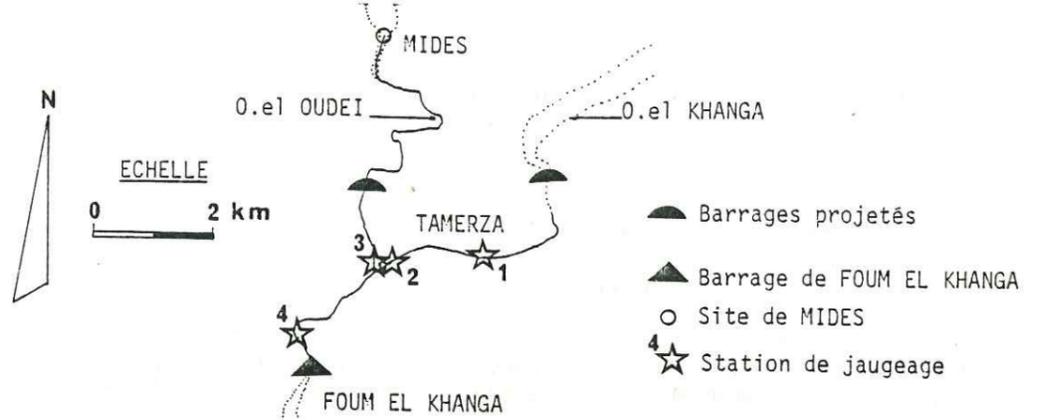
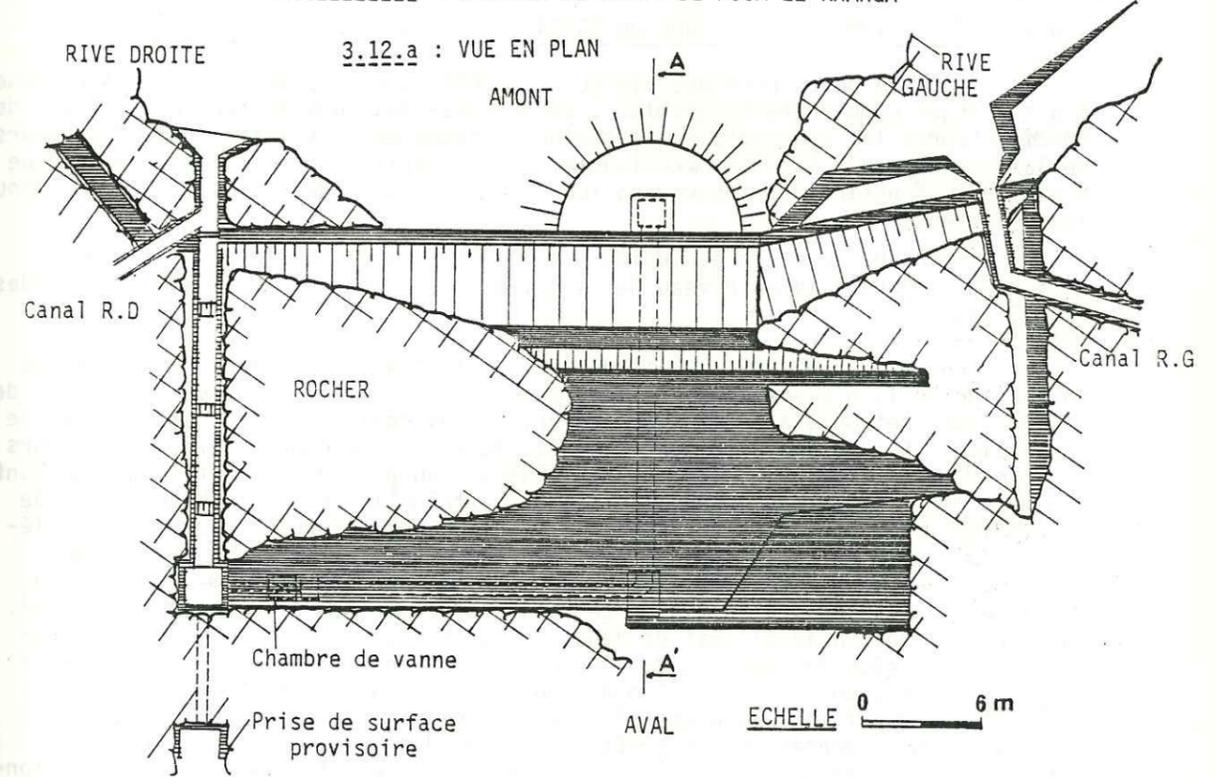
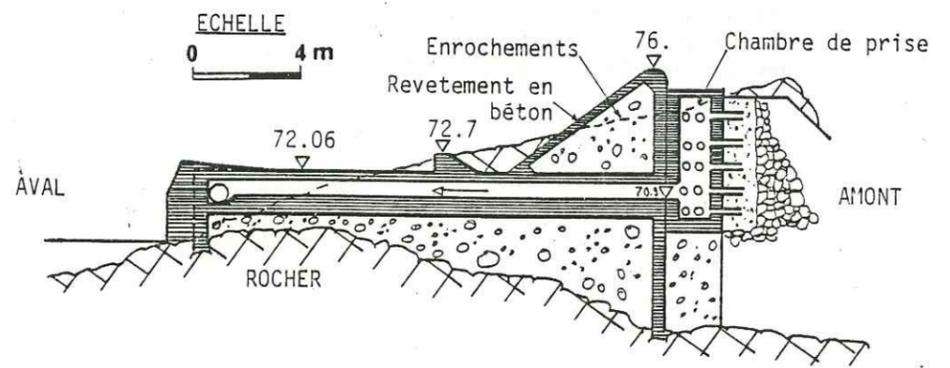


Figure 3.12 : BARRAGE DE PRISE DE FOU M EL KHANGA



3.12.b : COUPE LE LONG DE LA PRISE CENTRALE



à l'usage domestique, mais malheureusement, celle-ci n'est pas en état de fonctionner normalement. En période de crue de 1979, la vanne de la prise centrale étant restée ouverte, l'évacuation de l'eau s'est également effectuée par la chambre de prise, les particules fines entraînées ont colmaté la prise profonde. Auparavant, lors de la première mise en eau, la prise centrale fournissait 20 l/s, et aujourd'hui seulement 0,5 l/s. On peut dire aussi que l'efficacité de la prise centrale aurait été meilleure si, lors de la construction, on avait réalisé des drains plus longs à l'amont de celle-ci.

Le barrage de prise de Foum el Khanga est un barrage en enrochements avec un revêtement amont et aval en béton. Il est haut de 4,5 m, ancré dans le rocher jusqu'à 6 m de profondeur. Sa longueur est de 44 m en crête et 8 m à la base.

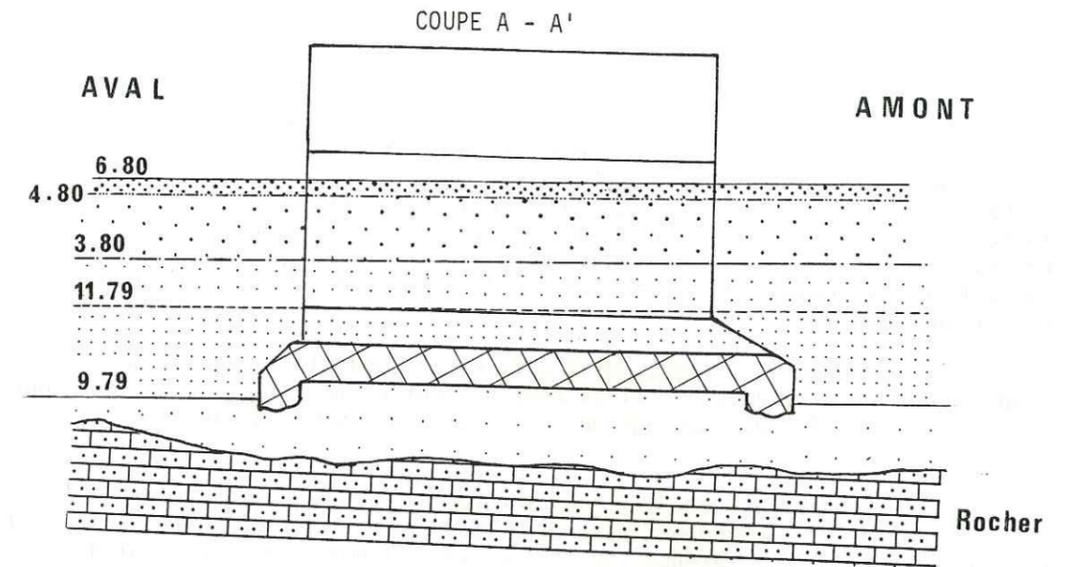
3.3.3. - EVOLUTION DE LA RETENUE DU BARRAGE DE PRISE DE FOUM EL KHANGA -

Lors de notre première visite à la région, en septembre 1979, la retenue était presque complètement ensablée : seule subsistait une tranche d'eau libre de 50 cm. D'après les habitants de la région, l'ensablement s'était produit au cours de la crue du début de l'automne (photo 3.1). A partir de cette date, la retenue a évolué en fonction des apports solides provenant soit des crues, soit de l'écoulement pérenne.

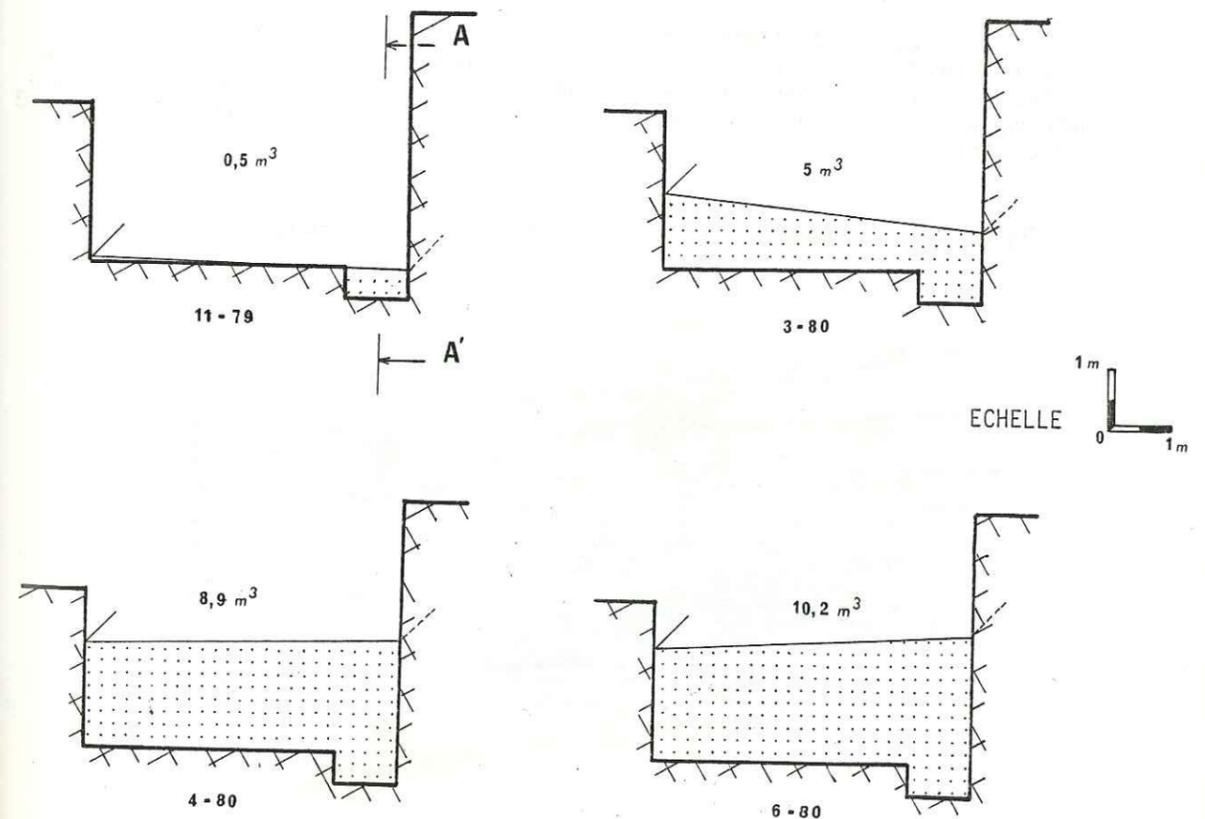
Pour suivre cette évolution, nous avons choisi la station de jaugeage n° 4 comme repère fixe au niveau de laquelle nous avons mesuré les dépôts solides (Fig.3.13).

En septembre 1979, le lit de l'oued était à 1 m du radier déversant de la station où il n'y avait pas de dépôts de sable. Au mois de novembre, le lit de l'oued s'est retrouvé à + 0,5 m du radier, ce qui revient à dire qu'au niveau de la station 1,5 m de sable se sont déposés. Au mois de décembre 1979, et toujours en l'absence de crue, le volume de sable déposé au niveau de la station a atteint 1,4 m³/m. Au mois de mars 1980 : le sable a atteint la cote + 1,20 du radier de la station, soit 5 m³ déposés depuis le début de nos observations. Cette surélévation du niveau de sable est due aux apports de la crue survenue en février qui a donc déposé 3,6 m³. Une crue au mois de mars a déposé 2,5 m³ de sable au niveau de la station ; à la fin de ce mois, le volume de sable a atteint 7,5 m³. Au cours des mois d'avril, mai et début juin, le dépôt de sable a augmenté progressivement grâce aux apports de l'écoulement pérenne, et le volume de sable a atteint 10,2 m³, soit à plus 2,5 m du radier déversant de la station. Les crues de l'automne 80 et mars 81 n'ont plus guère modifié le volume déjà accumulé, ce qui nous amène à penser que le profil du lit a, dès ce moment, atteint un nouvel équilibre, commandé par le niveau de base que constitue le barrage, fonctionnant en seuil déversant. En comparant les levées topographiques du lit de l'oued Foum el Khanga dans le tronçon examiné (barrage - station n° 4), d'une part avant construction du barrage et d'autre part en avril 81, nous constatons que l'oued a rétabli sa pente initiale de 1/200. Actuellement, toute la charge solide est évacuée par les canaux de distribution, l'accumulation semble donc avoir atteint son maximum.

Figure 3.13 : ENSABLEMENT DE LA STATION DE JAUGEAGE n°4 PAR LES APPORTS DOLIDE DE L'OUED FOUM EL KHANGA



VUE D'AVAL DE LA STATION n°4



3.3.4. - EFFICACITE DU STOCKAGE DANS LE SABLE - METHODE DE CALCUL -

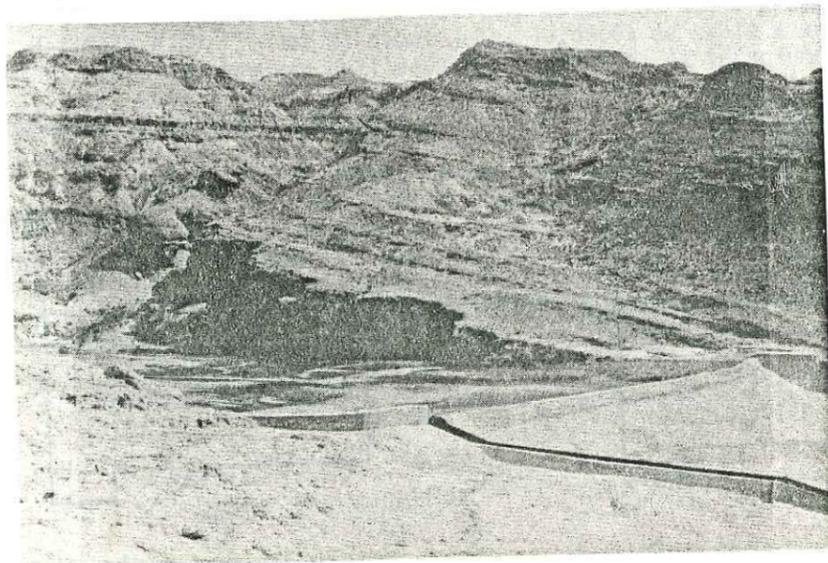
Le calcul de l'efficacité du stockage dans le sable est tiré du livre de O. Wipplinger (1958). Du fait qu'il est difficile de se procurer cet ouvrage, nous avons résumé en annexe II le calcul de cet auteur, ainsi que les principales suppositions sur lesquelles il s'est basé. A la fin de son calcul, il a établi une relation entre le temps d'approvisionnement du réservoir (TD), le temps nécessaire pour l'approvisionnement de la tranche de sable soumise à l'évaporation (TE) et la hauteur du sable stocké en amont du barrage. A partir de celle-ci, il a établi le coefficient d'efficacité du stockage qui est lié à TD et TE. De cette dernière relation, il a établi ces courbes d'égale efficacité (Fig. 3.14) qui sont fonction de la teneur volumique du sable à la fin de la saison pluvieuse (W1) et de leur rétention spécifique avec une quantité d'eau moyenne (W2).

Ces courbes sont établies à partir des conditions régnant dans la région aride du Sud-Ouest africain ; elles nous servent comme exemple théorique pour estimer l'efficacité du stockage dans le sable au Sud-Ouest tunisien.

Les figures 3.9 et 3.14 nous montrent l'avantage du stockage dans les retenues ensablées par rapport aux retenues libres : soit deux barrages de 10 m 5 de hauteur, créant des retenues de même étendue, situés dans une région climatique identique ; l'un retiendra un volume d'eau de 2 Mm^3 , et l'autre sera complètement ensablé. Selon la porosité totale des sables stockés en amont du barrage et de leur rétention spécifique, la retenue ensablée peut absorber entre $3,8 \cdot 10^{-1}$ et $8 \cdot 10^{-1} \text{ Mm}^3$ d'eau.

Les courbes de l'efficacité de stockage montrent qu'après une période de service de 3 ans, la retenue ensablée peut conserver de 60 % à 71 % de l'eau qu'elle a absorbée à l'origine, alors que la retenue de type classique n'en aura conservé que 6 %, ce qui correspond respectivement à $2,28 \cdot 10^{-1} \text{ Mm}^3$, $5,68 \cdot 10^{-1} \text{ Mm}^3$ et $1,68 \text{ Mm}^3$ d'eau.

Photo_3.1 : BARRAGE DE PRISE DE FOU M EL KHANGA , SEPTEMBRE 1979



CHAPITRE 4 : ETUDE DU PROJET D'AMENAGEMENT DES GORGES DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI.

SOUS-CHAPITRE I : ETUDE DE L'AMENAGEMENT DE LA GORGE DE L'OUED EL KHANGA

SOUS-CHAPITRE II : ETUDE DE L'AMENAGEMENT DE LA GORGE DE L'OUED EL OUDEI

SOUS-CHAPITRE III : ETUDE DU SITE DE MIDES

INTRODUCTION -

La première phase de l'aménagement hydraulique de la région de Tamerza s'achève par le creusement des canaux sur les deux rives de l'oued Foum el Khanga, à l'abri des crues. Ces canaux sont destinés à acheminer le débit pérenne de l'oued, dérivé par le barrage de prise, vers les deux oasis de la région. Alors que l'oued se perdait rapidement à l'aval dans son propre lit, ils présentent l'avantage d'être étanches. L'ouvrage lui-même nous servira de référence quant aux travaux ultérieurs, notamment en ce qui concerne le site de l'oued el Oudeï qui lui est comparable, car il présente aussi un débit pérenne assuré par les sources de Midès.

La deuxième phase prévue concerne de futurs aménagements situés à l'amont de celui-ci, dans les gorges des oueds el Khanga et el Oudeï. L'intérêt de ceux-ci serait de retenir une partie des eaux de crue pour les mieux utiliser, alors qu'elles se perdent aujourd'hui en aval sans aucun profit pour la région.

Nous allons maintenant tenter d'estimer la factibilité de cet aménagement amont, ses répercussions sur l'hydrogéologie de la région et le bénéfice que pourrait en tirer l'agriculture.

A part cette étude qui nous avait été demandée, nous avons également examiné la possibilité de surélever le seuil de Midès : il y aurait là aussi un bénéfice à attendre pour l'hydrogéologie et l'agriculture.

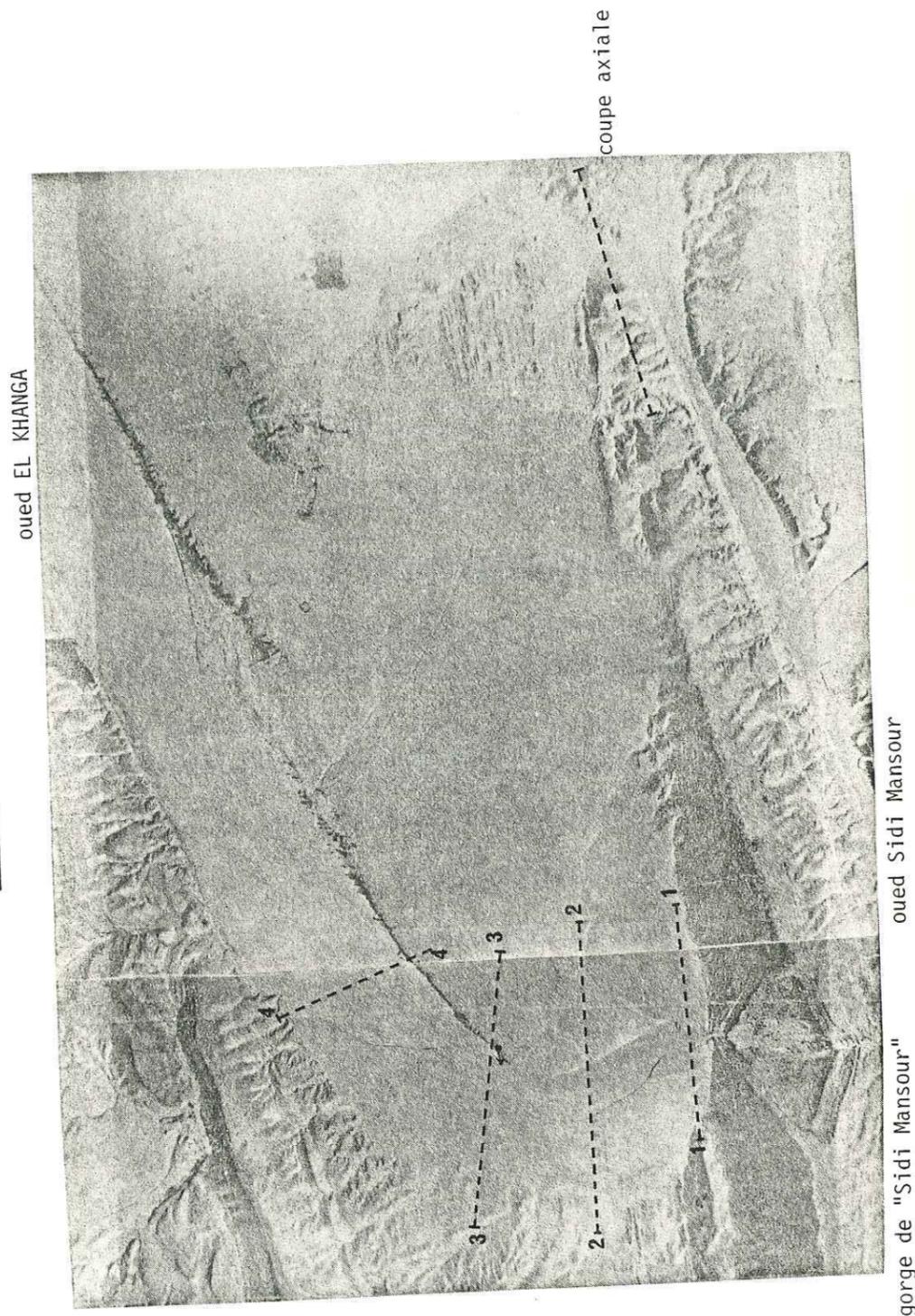
SOUS-CHAPITRE I

ETUDE DE L'AMENAGEMENT DE LA GORGE DE L'OUED EL KHANGA

- 1 - ETUDE MORPHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA GORGE
DE SIDI MANSOUR
- 2 - CARACTERISTIQUES MECANIKES DU TERME MEDIAN
- 3 - PERMEABILITE DU TERME MEDIAN
- 4 - PROJET D'AMENAGEMENT
- 5 - CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE
- 6 - CONCLUSION

Photo 4.1 : VUE AERIEENNE DU SITE DE L'OUED EL KHANGA

ECHELLE 0 200 m



coupe axiale

oued Sidi Mansour

gorge de "Sidi Mansour"



Sec presque toute l'année, l'oued el Khanga ne coule qu'à la suite de fortes précipitations survenant sur la totalité de son bassin versant, et surtout dans sa partie algérienne, qui se trouve à des cotes assez élevées.

Les crues, au nombre de 4 ou 5 par an, ont un débit total de 5 Mm^3 , volume calculé d'après les précipitations moyennes annuelles et le ruissellement (cf. Tableau 2.3). L'écoulement est tellement rapide que ces eaux n'ont pas le temps de s'infiltrer dans les formations poreuses. A la suite de la crue de la première semaine de septembre 1979, nous avons creusé deux puits de 2 mètres de profondeur, en amont de la gorge dans le lit mineur de l'oued : seule la tranche supérieure des sables alluviaux était humide (0,5 m) alors que le reste du puits était complètement sec.

L'aménagement envisagé dans la gorge de jebel el Ardhia a pour but de récupérer une partie de ces eaux de crues.

1 - ETUDE MORPHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA GORGE DE SIDI MANSOUR -

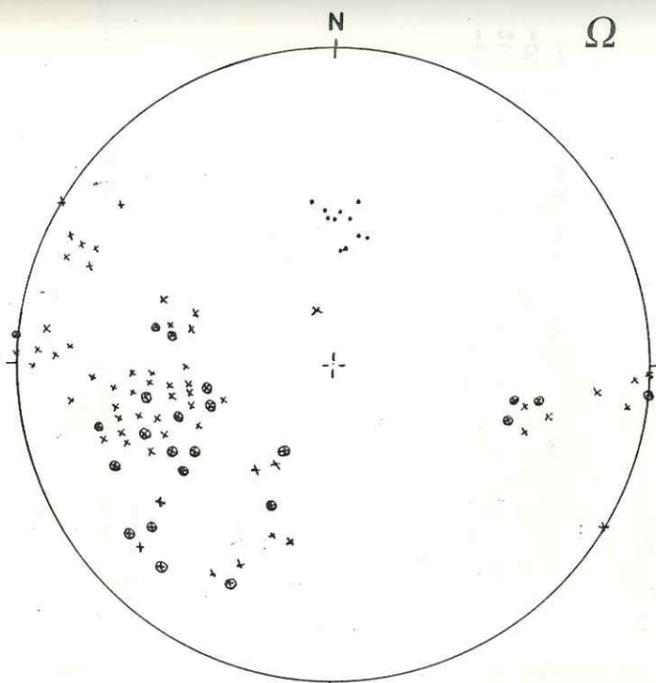
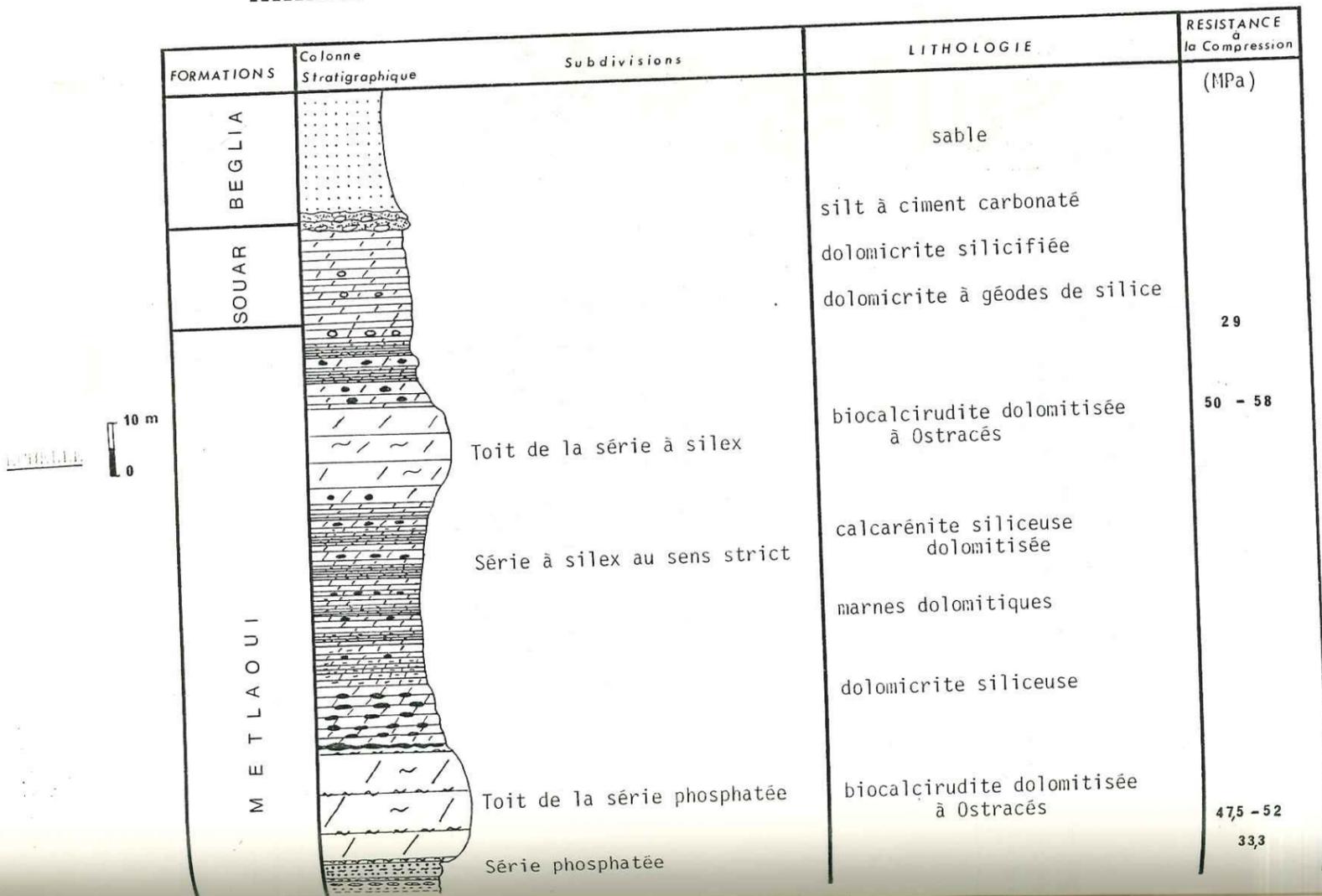
Avant de rencontrer l'anticlinal du jebel el Ardhia (Photo 4.1), l'oued el Khanga a creusé son lit dans les sables de la formation Beglia où il a déblayé une dépression large de 300 à 350 m. Il traverse ensuite l'anticlinal en cluse dont les gorges entament la série à silex de la formation Metlaoui (fig. 4.1). Ce terme comporte deux barres carbonatées, épaisses de 15 à 20 m, encadrant un ensemble de dolomies à silex interstratifiés et de marnes dolomitiques finement litées se débitant en éléments centimétriques.

Les deux barres sont hachées par des discontinuités dont la direction majeure est sensiblement Nord-Sud et le pendage entre 90 et 75° W (fig. 4.2). Une deuxième famille de fracture est parallèle à l'axe anticlinal ($N80$ à $N90$) avec un pendage compris entre l'horizontale et 15° S . La présence de ces deux systèmes de fractures, combinée avec le litage, contribue à découper des blocs métriques.

En surface, ces fractures paraissent partiellement obturées par de la calcite imprégnée de traces d'oxyde. Elles sont à l'origine de l'écroulement de blocs au niveau de la gorge aval d'el Ardhia.

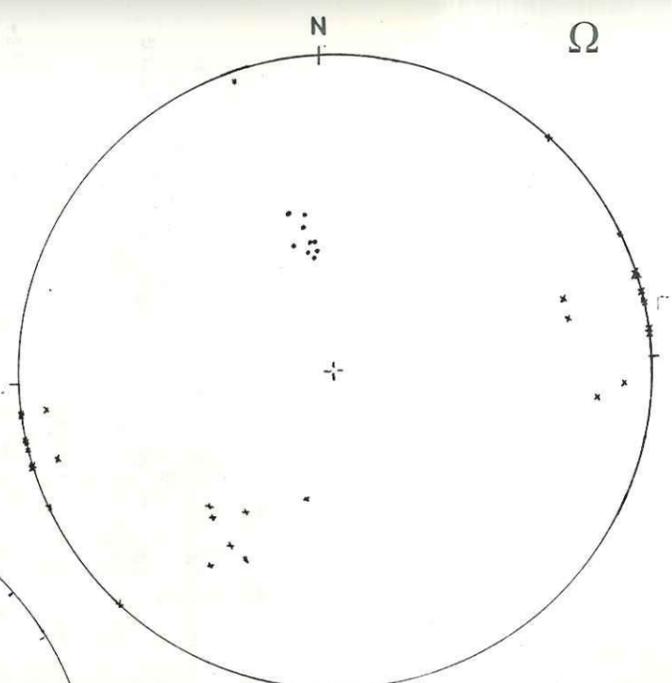
Ce terme médian de la formation Metlaoui forme l'ossature de l'anticlinal d'el Ardhia. Son plongement amont de 50 à 60° N , et l'existence à sa base des

Figure 4.1 : COLONNE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES UNITES ENTAILLEES PAR L'OUED EL KHANGA

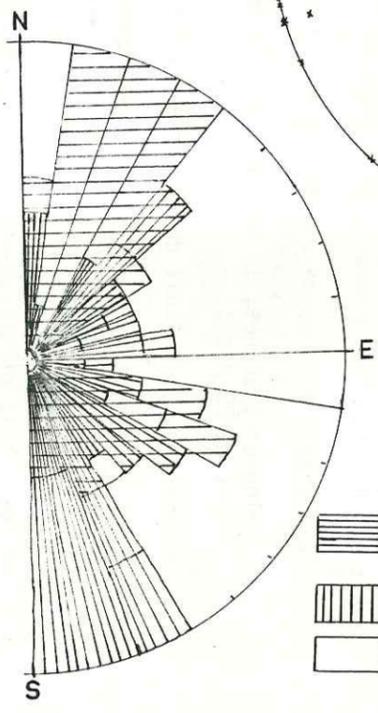


Fracturation du toit de la série phosphatée

- x pôles des plans de fractures (site de l'O. el KHANGA)
- ⊙ pôles des plans de fractures (site de l'O. el OUDEI)
- pôles des plans des couches du flanc nord



Fracturation du toit de la série à silex



Rosace des fracturations

- ▨ calcaire de la barre supérieure de la formation ABIOD
- ▤ toit de la série à silex
- toit de la série phosphatée

Figure 4.2 : FRACTURATION DU ROCHER DE FONDATION

niveaux imperméables de la série phosphatée sont favorables à la création d'une retenue.

2 - CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU TERME MEDIAN -

A défaut de carottes de sondage dans le rocher, nous avons effectué nos essais sur des cubes de 10 cm de côté. L'essai de compression simple a été réalisé à l'aide du "Soil Test CT 920", au Laboratoire du Ministère de l'Agriculture (Sidi Fathallah), la mise en charge se faisait à vitesse constante.

Cet essai nous a donné les résultats suivants :

- dolomies blanches, surmontant le toit de la série à silex, à une résistance de 29 MPa ;
- barre calcaire, toit de la série à silex, $50 < R_c < 58$ MPa ;
- série à silex au sens strict à une résistance beaucoup plus faible, due à son hétérogénéité lithologique (rognons de silex, intercalations de marnes dolomitiques très friables).
- les essais effectués sur les calcaires de la barre inférieure les situent au voisinage des calcaires supérieurs ($47,5 < R_c < 52$ MPa), à l'exception des niveaux phosphatés à leur base, moins résistants, 33,3 MPa.

Au point de vue pétrographique, la base de la barre inférieure est formée de grains de phosphate centimétrique et de fragments de lamellibranches (Photo 4.2.a) alors que les niveaux carbonatés dont la résistance dépasse 50 MPa sont à grain très fin (Photo 4.2.b) avec des fragments d'Ostracés de longueur centimétrique.

3 - PERMEABILITE DU TERME MEDIAN -

En lame mince, les niveaux carbonatés de la série à silex paraissent assez poreux, ce qui est en relation avec la dolomitisation partielle de leur

Photo 4.2.a : TEXTURE DE LA BASE DE LA BARRE CARBONATEE (TIOT DE LA SERIE PHOSPHATEE)

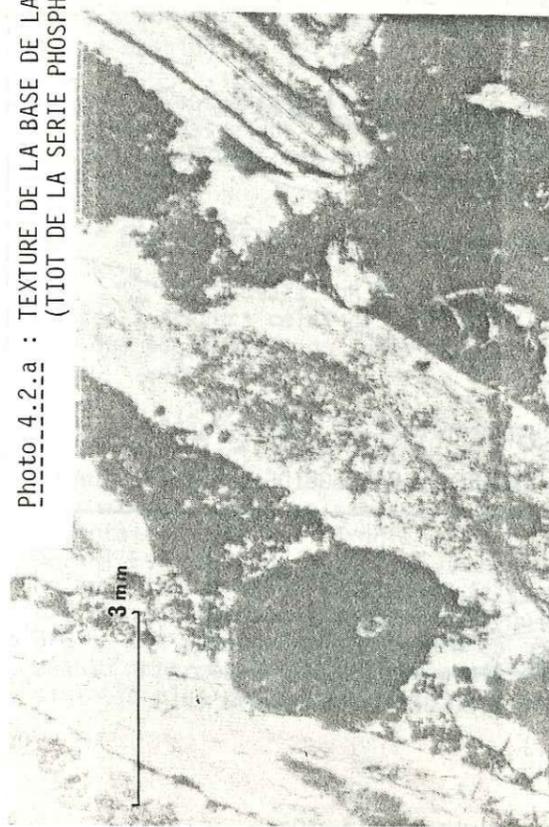
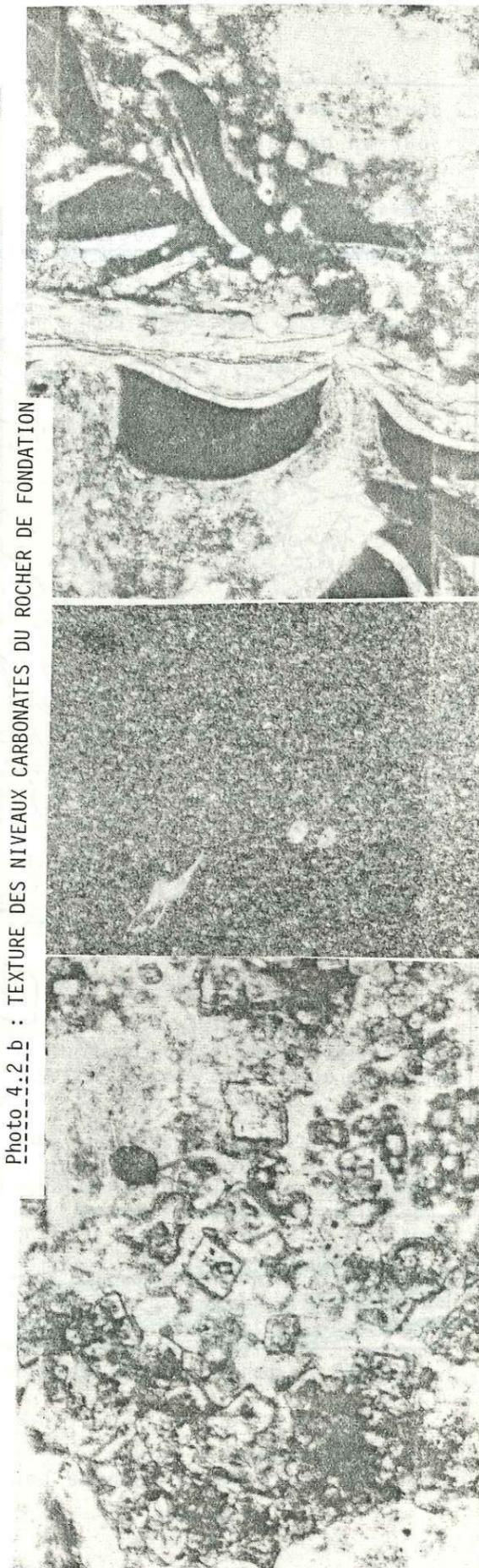
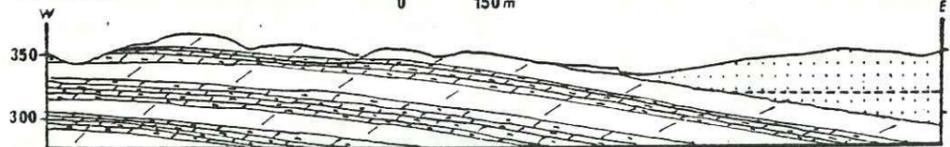
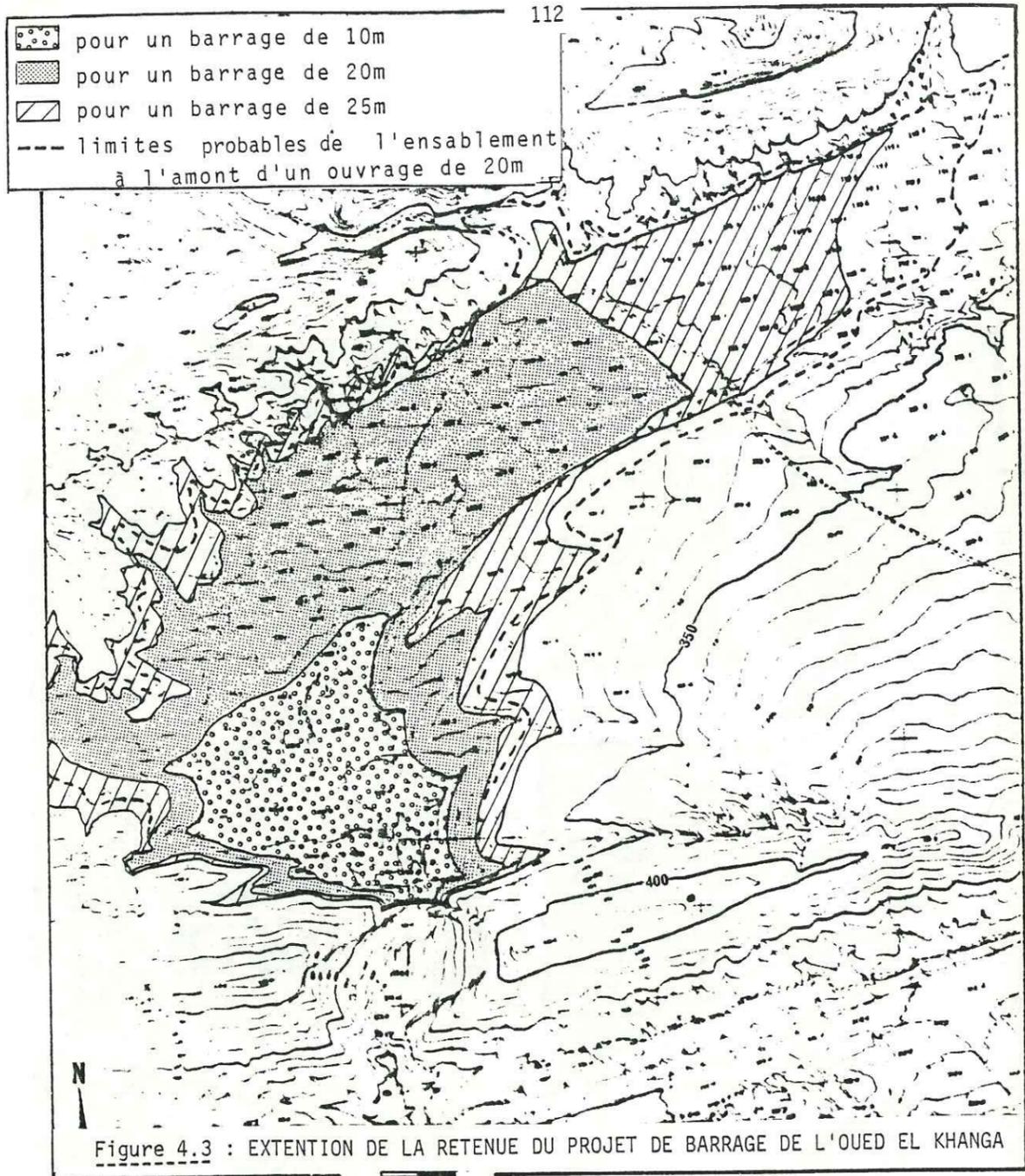


Photo 4.2.b : TEXTURE DES NIVEAUX CARBONATES DU ROCHER DE FONDATION





- ▤ sable de la formation BEGLIA
- ▨ formation SOUAR
- cote de la retenue pour un ouvrage de 20m

* cf Photo 4.1

ciment et sa dissolution locale. A cette perméabilité d'interstices s'ajoute l'abondance de la fracturation, responsable d'une perméabilité en grand de l'ensemble de la série, en dépit de l'intercalation de niveaux relativement imperméables.

A l'intrados de la barre inférieure, nous n'avons pas observé de suintement ni de traces d'ancienne circulation d'eau.

4 - PROJET D'AMENAGEMENT -

Quelle que soit la hauteur du barrage, la retenue de l'oued el Khanga se localisera en grande partie dans le lit de l'oued et baignera ses deux berges (fig. 4.3).

D'après les sondages électriques que nous avons réalisés dans le lit de l'oued, les dépôts alluviaux ne dépassent pas 4 à 5 mètres (fig. 4.4). Ces alluvions reposent la plupart du temps sur la formation Beglia. Toutefois, selon les endroits, celle-ci est tantôt complète vers le haut, et donc couronnée par un niveau à intercalations argilo-sableuses, tantôt débarrassée de cette couverture par l'érosion, de telle sorte que les alluvions sont en contact avec des sables.

Tout à fait à l'aval, au contact du site du barrage projeté, les dolomies blanchâtres de la formation Souar, qui affleurent un peu dans le lit de l'oued, s'intercalent entre ces sables et la barre calcaire supérieure.

4.1 - ETANCHEITE DES APPUIS DE L'OUVRAGE ET DE LA RETENUE

La fracturation du rocher de fondation laisse prévoir des fuites importantes à travers celui-ci. De plus, la structure du jebel el Ardhia laisse supposer une possibilité de fuite par contournement de l'arête anticlinale qui plonge de 10° vers l'Est.

Pour estimer ce dernier risque, nous sommes parti de la carte géologique détaillée de cet anticlinal (fig. 4.5). Au niveau de la fermeture périclinale, (Est de la gorge), le contact perméable (sable formation Beglia) et imperméable, (formation Souar), se situe à la cote 340 m. La coupe axiale de la terminaison orientale du jebel el Ardhia (fig. 4.3) montre le plongement de cette structure vers l'Est qui peut entraîner un contournement. Sur la figure 4.5, nous avons matérialisé le tracé en plan du filet liquide qui peut donner des fuites possibles par contournement par des ouvrages de 10, 20 et 25 m de hauteur (1-1' ; 2-2' ; 3-3'). Ces points, tous situés à la même cote que la retenue et au contact perméable imperméable, nous ont permis d'estimer le trajet minimal et l'issue possible la plus proche des fuites. C'est ainsi que pour un ouvrage de 10 m de

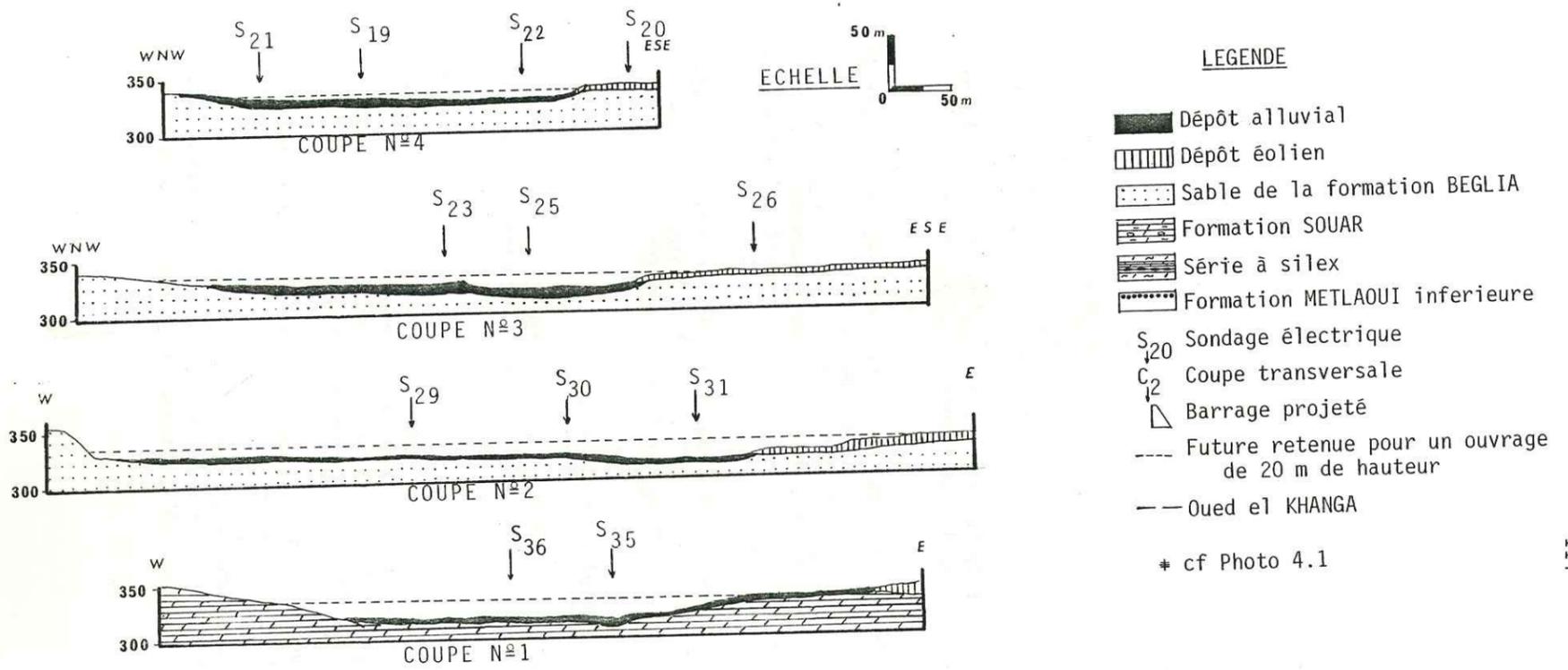


Figure 4.4.a : COUPES SERIEES TRANSVERSALES* DU SUD AU NORD DE L'OUED EL KHANGA

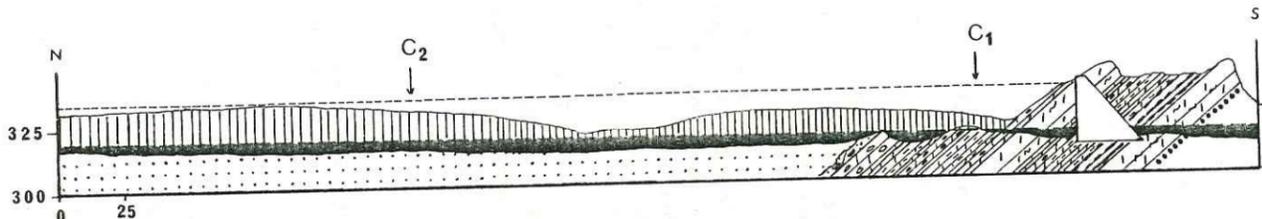


Figure 4.4.b : COUPE* LONGITUDINALE NORD-SUD DE L'OUED EL KHANGA

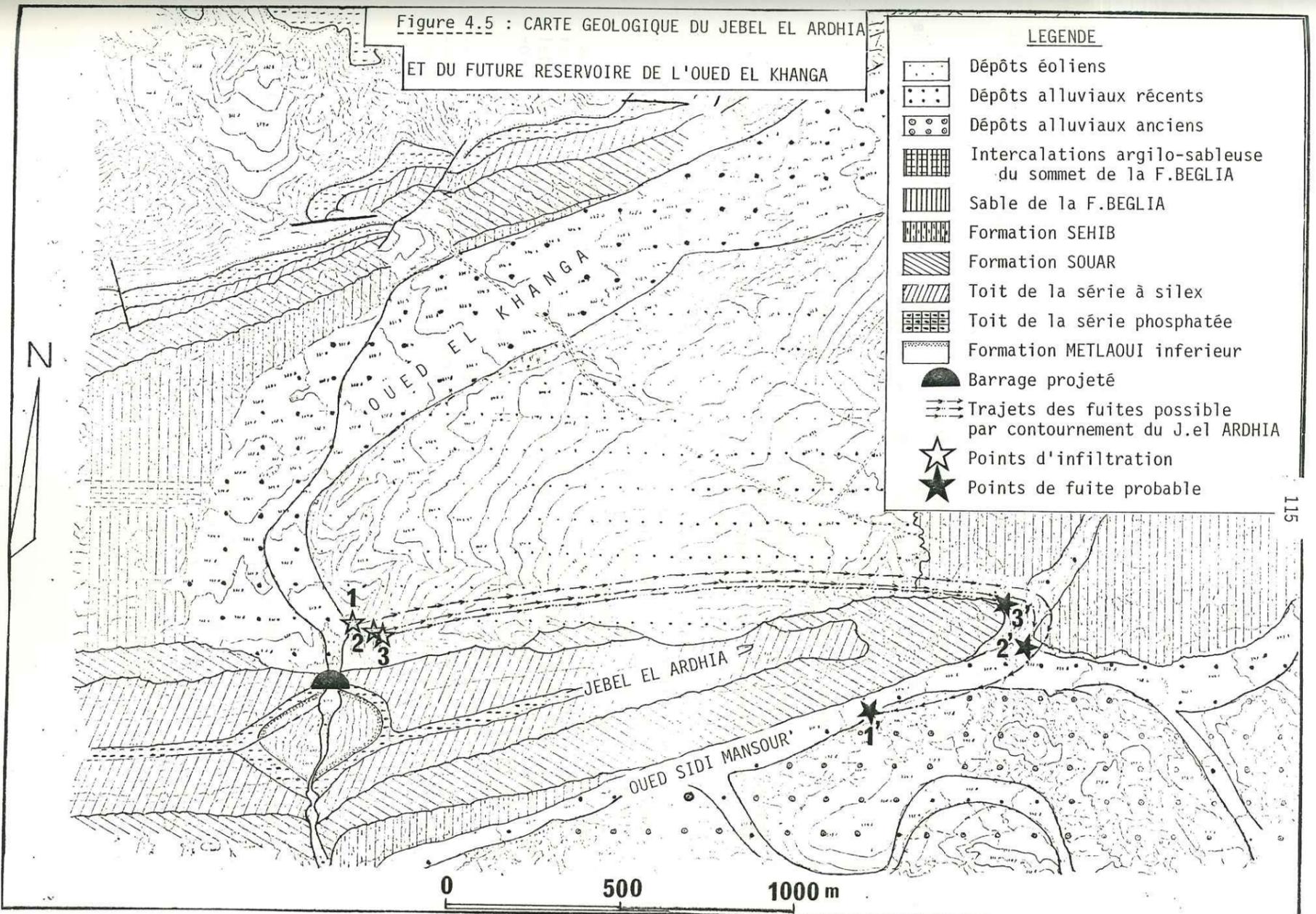


Figure 4.5 : CARTE GEOLOGIQUE DU JEBEL EL ARDHIA ET DU FUTURE RESERVOIRE DE L'OUED EL KHANGA

hauteur, le point le plus proche possible de fuite (1') se situerait à 3 km de l'origine de l'infiltration (1), ce point se situerait dans le lit de l'oued Sidi-Mansour.

Pour un ouvrage de 20 m; le point le plus proche possible de fuite (2') se situerait à 2,5 km de l'origine d'infiltration (2).

Quant aux fuites possibles par contournement de l'anticlinal d'el Ardhia, à la suite de construction d'un barrage de 25 m, elles apparaîtraient au fond du thalweg au niveau de la piste Tamerza - Redeyef (3').

Nous n'avons pas considéré les filets liquides qui seraient issus de la queue des retenues, car ceux-ci auront à traverser perpendiculairement les bancs de sable consolidé ce qui s'oppose considérablement à la fuite.

4.2 - DEVENIR DE LA RETENUE : INFILTRATION ET ENSABLEMENT

La cuvette de la retenue est formée par des sables de la formation Beglia, ce qui rend vraisemblable une infiltration des eaux. D'autre part, connaissant l'importance du transport solide des eaux de crue, nous devons nous attendre à un ensablement rapide de la cuvette.

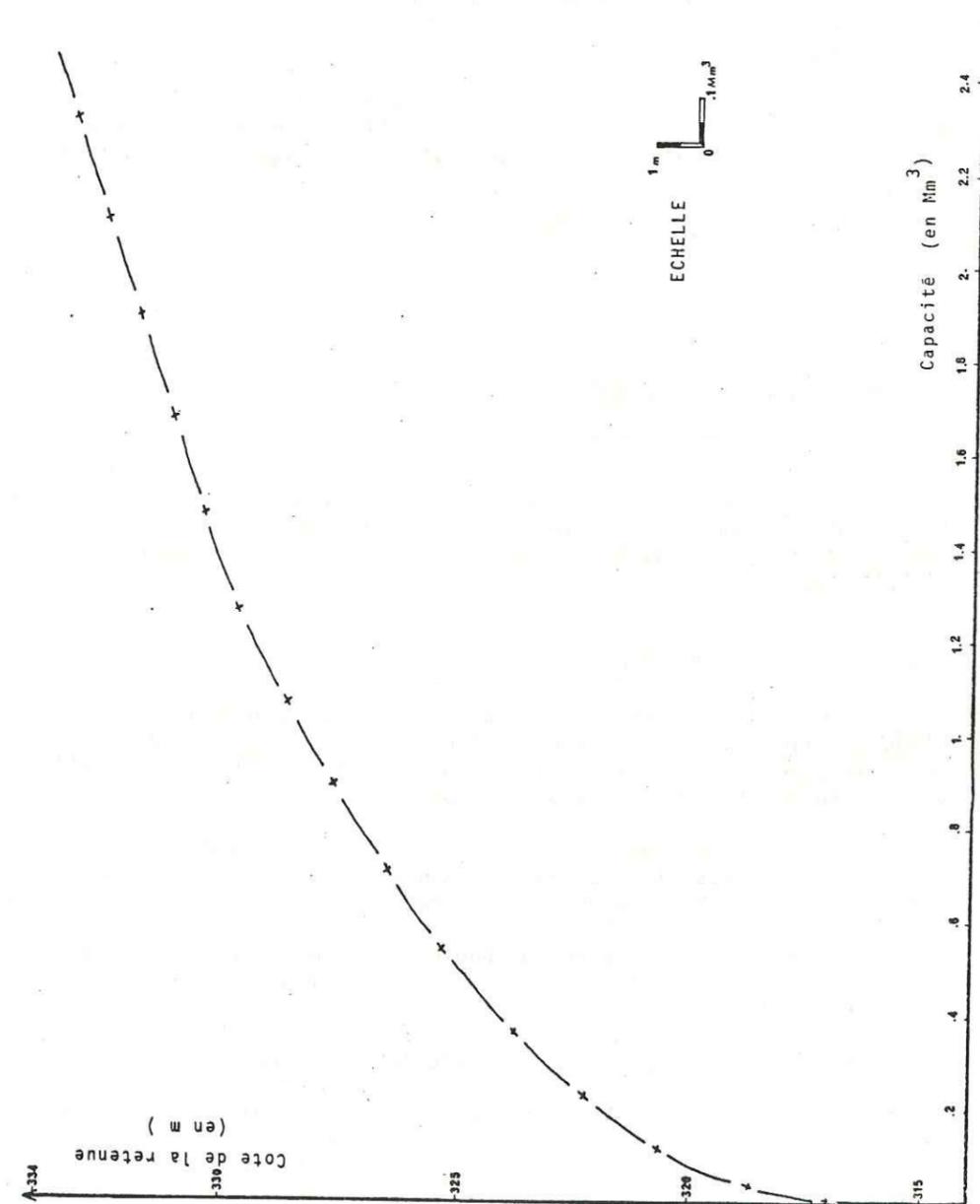
Pour illustrer ces deux particularités, nous allons supposer pour l'ouvrage comme hauteur : 20 m. La capacité de la retenue libre, déterminée par planimétrie, serait de $2,5 \text{ Mm}^3$ (fig. 4.6), ce qui représente la moitié des apports moyens annuels des crues (5 Mm^3). Le taux d'abrasion annuel pour l'ensemble du bassin versant de l'oued el Khanga est compris entre 250000 t à 300000 t; si nous supposons que la moitié de cette quantité arrivera à la retenue, nous devons nous attendre à son ensablement total au bout de 25 ans; cette durée serait réduite si l'on avait affaire à des années exceptionnellement pluvieuses, et tout le matériel arraché au bassin versant se retrouverait dans la retenue. Cette durée serait prolongée dans le cas contraire.

Une fois la retenue totalement ensablée, l'oued va rétablir sa pente initiale (1/80 à 3/100), mais en se raccordant désormais au niveau du seuil de déversement, ainsi que la chose s'est produite pour la retenue de Foum el Khanga. Dans ces conditions, le volume du sable stocké en amont du barrage dépasserait 5 Mm^3 . Le volume d'eau absorbé par cette masse dépendra de la porosité du dépôt : pour $n = 15 \%$, on aurait $0,8 \text{ Mm}^3$ et pour $n = 30 \%$, on aurait $1,5 \text{ Mm}^3$. Ces deux valeurs de porosité représentent une fourchette vraisemblable de la porosité des dépôts qu'on aurait probablement stockés.

Mais il faut aussi s'attendre à ce que, sous une charge atteignant 20 m, cette eau s'infiltré dans les sables de la formation Beglia sous-jacente. Nous savons déjà que celle-ci constitue un aquifère dont le niveau piézométrique se tiendrait actuellement à une profondeur de 17,5 m (amont) à 26 m (aval) sous le site de la future retenue. Il existe donc là une possibilité d'importante capacité supplémentaire de stockage éventuelle.

Une fois cette nappe suralimentée, quelle modification de son comporte-

Figure 4.6 : GRAPHIQUE DE CAPACITE DE LA RETENUE LIBRE DE L'OUED EL KHANGA



ment pouvons-nous attendre à plus ou moins long terme ? Y aura-t-il augmentation du débit de la source rive gauche de l'oued el Oudeï (n° 23 située à 2000 m de la future retenue) ou bien des exutoires de Tamerza, et éventuellement de nouveaux exutoires ?

Nous manquons trop d'informations piézométriques pour trancher mais, vu la structure géologique, la première hypothèse nous paraît la plus probable ainsi que la dernière.

De toute façon, un débit régularisé supplémentaire, bien que soustrait à l'aménagement de l'oued el Khanga puisqu'il se déchargerait dans un autre bassin versant, ne constitue pas un inconvénient puisqu'il pourrait être, malgré tout, exploité.

5 - CHOIX DU TYPE D'OUVRAGE -

Le choix du type d'ouvrage est conditionné par son utilisation et la hauteur de retenue souhaitable, les conditions morphologiques, les caractéristiques géotechniques du rocher de fondation, et par la disponibilité des matériaux de construction.

5.1. - HAUTEUR DE RETENUE SOUHAITABLE

Cet ouvrage servira à créer une accumulation d'alluvions imprégnées d'eau et alimentant aussi la nappe sous-jacente. Pour un ouvrage de 10 m de hauteur, la capacité initiale de la retenue serait de 385 000 m³ ; elle serait très vite ensablée et l'infiltration trop peu importante.

Pour un ouvrage de 25 m, la capacité initiale de la retenue serait de 5,5 Mm³, mais après alluvionnement complet, le sable accumulé pourrait déborder sur l'oasis de Brik et la petite palmeraie située à l'Est de la piste de Midès.

C'est donc un ouvrage de hauteur intermédiaire (20 m environ) qui correspondrait le mieux à l'objectif recherché. Cet ouvrage doit être conçu de telle sorte qu'il ne retiendra qu'une partie des eaux des crues ; il faut donc qu'il soit déversant, même pour les crues de faible débit ; ceci permettrait d'éliminer une grande partie des particules les plus fines et donc le risque de colmatage de l'accumulation sableuse. Il faut que le déversement s'effectue au cours de chaque crue, d'où la nécessité d'avoir un dispositif adéquat, par exemple, des vannes qui seront plus ou moins ouvertes selon l'intensité de la crue. Vu les difficultés d'entretien de ces vannes, il serait plus simple d'envisager des fentes verticales dans le corps même de l'ouvrage (fig. 4.7). Celles-ci seraient partiellement obturées une fois que le sable atteindrait leur point le plus bas.

Figure 4.7 : SCHEMA DU TYPE D'OUVRAGE POUR L'AMENAGEMENT DE L'OUED EL KHANGA

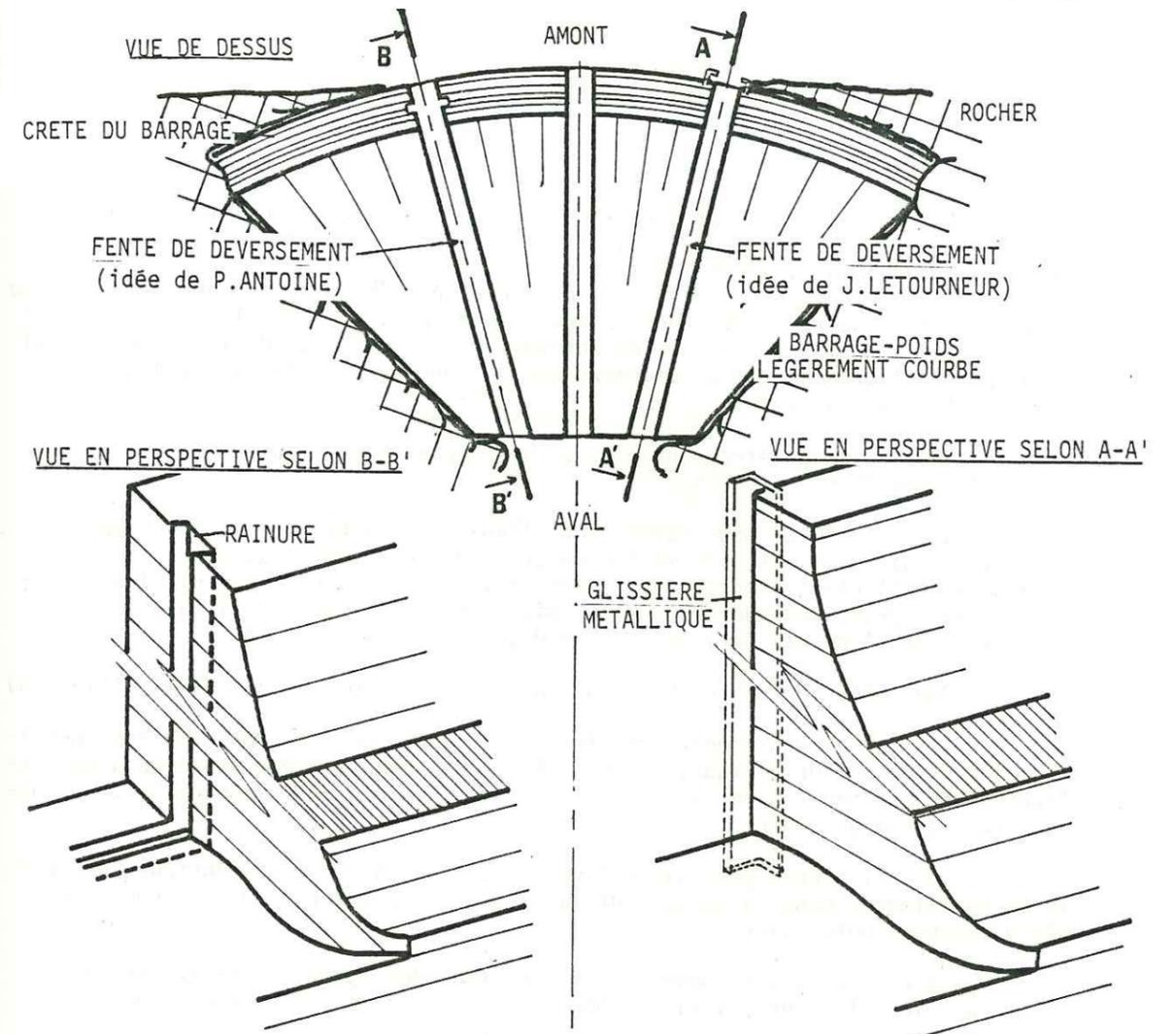
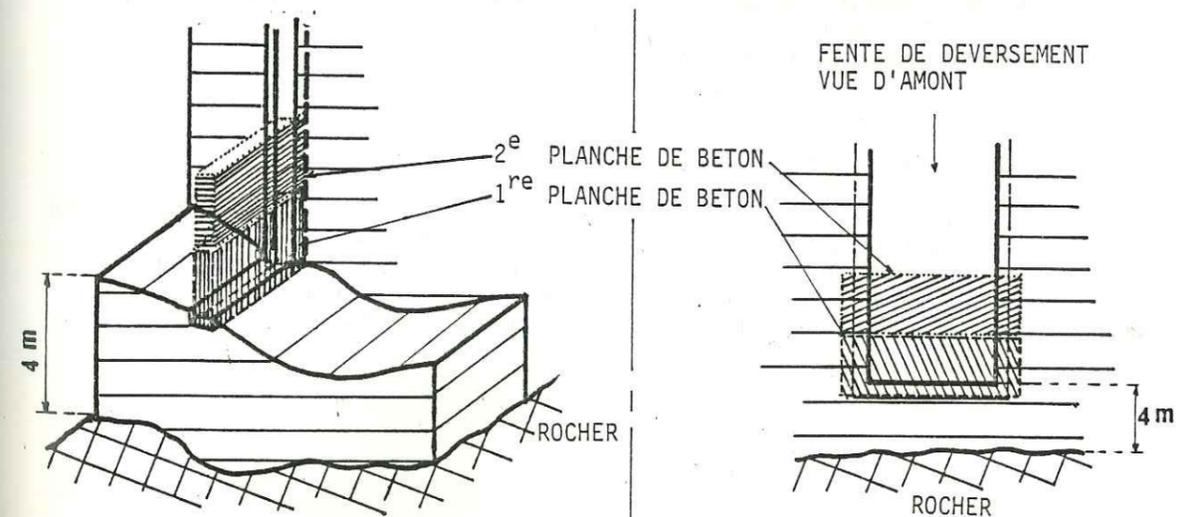


Figure 4.8 : DIFFÉRENTES MÉTHODES D'OBTURATION DES "FENTES" DE DEVERSEMENT



5.2. - CONDITIONS MORPHOLOGIQUES ET PROPRIETES GEOTECHNIQUES

La barre rocheuse, toit de la série phosphatée, n'est pas suffisamment épaisse pour servir de rocher de fondation à elle seule. Le rétrécissement de la vallée est donc très local et constitué par une sorte de diaphragme incliné vers le Nord. Immédiatement à l'aval, la cluse s'élargit à travers des matériaux plus tendres. D'autre part, la charpente rocheuse est très fracturée. Une voûte ne conviendrait donc ni aux caractéristiques du rocher, ni à la topographie. D'autre part, l'ouvrage devra fonctionner en seuil déversant, ce qui élimine en principe les barrages en remblai. Le type de barrage le mieux adapté au site et aux conditions particulières de cet aménagement serait donc le barrage-poids, qui sollicite peu les appuis latéraux.

Celui-ci peut être construit en une seule étape, tout en laissant des fentes de déversement des crues.

D'après ce que nous savons sur l'évolution du barrage de prise de Foum el Khanga, ces fentes doivent être profondes d'au moins 16 m. La largeur, le nombre et l'orientation de ces fentes sont du domaine des hydrauliciens. Toutefois, nous proposons que ces fentes soient orientées vers le lit de l'oued pour dissiper l'énergie de l'eau qui se déverse.

Pour obturer ces fentes, plusieurs méthodes sont envisageables (fig.4.8).

Sur le parement amont, ces fentes seraient pourvues de glissières métalliques sur toute leur hauteur, et on y enfilerait des planches de béton armé préfabriquées, introduites par le haut et glissées jusqu'à une butée de base ou jusqu'à la planche précédente.

Ces glissières pourraient être conçues au cours de la construction sous forme de rainures dans le béton dont la largeur serait fonction de l'épaisseur des planches d'obturation.

La hauteur des planches serait fonction des apports solides des eaux des crues, leur largeur devrait supporter la poussée du sable stocké aux crues suivantes.

Le déversement fréquent par ces fentes exigerait la protection du pied de chute contre l'érosion qui serait de plus en plus importante à mesure que l'obturation progressive des fentes augmenterait la hauteur de chute.

5.3. - MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Pour les agrégats de béton, les calcaires du toit de la série phosphatée peuvent être utilisés après concassage ; il est possible de les exploiter par gravité au flanc Nord de jebel el Ardha à quelques dizaines de mètres du site vers l'Ouest. A ce matériel pourront s'ajouter les sables alluviaux de l'oued el Khanga et les alluvions plus grossières de l'oued Sidi-Mansour.

6 - CONCLUSION -

La gorge de l'oued el Khanga est favorable à l'aménagement d'un barrage-poids submersible en béton, mais on doit attirer l'attention du projeteur sur les phénomènes d'érosion régressive qui seront importants en aval de l'ouvrage (matériaux argileux phosphatés très friables).

De fait, la protection aval du barrage de prise de Foum el Khanga (enrochements) a été emportée par la première crue d'automne (1979).

Enfin, une attention particulière devra être portée aussi au pouvoir érosif des eaux de crues qui, retrouvant leur charge solide après l'ensablement total de la retenue, auront à nouveau, après une période d'atténuation, un pouvoir érosif identique à l'actuel.

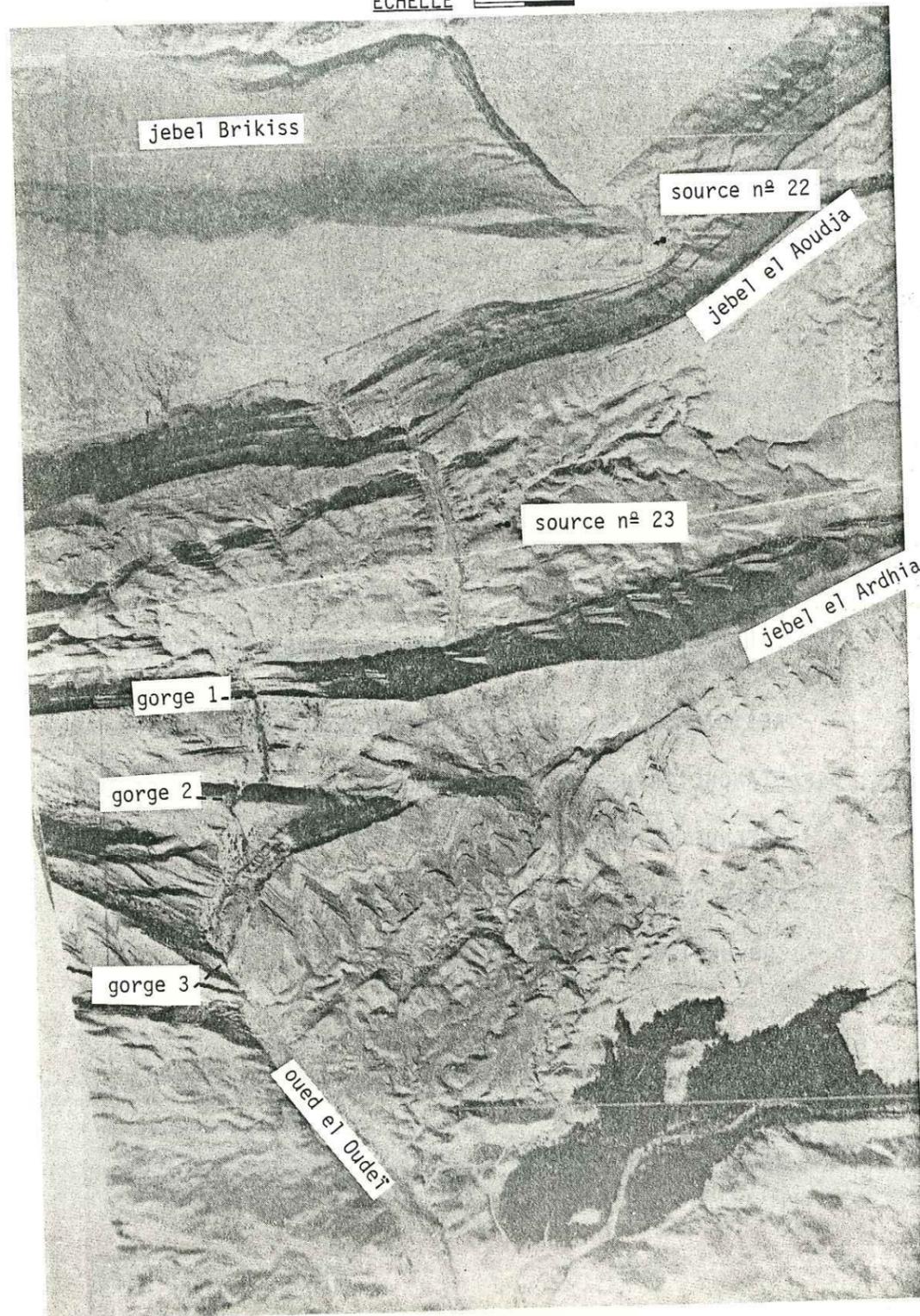
SOUS-CHAPITRE II :

ETUDE DE L'AMENAGEMENT DE LA GORGE DE L'OUED EL OUDEI

- 1 - ETUDE MORPHOSTRATIGRAPHIQUE DES TROIS GORGES DE L'OUED EL OUDEI
- 2 - RESISTANCE A LA COMPRESSION DU CALCAIRE ABIOD
- 3 - ETANCHEITE DES APPUIS AU NIVEAU DES GORGES 1 ET 2
- 4 - RETENUE DE L'OUED EL OUDEI
- 5 - CHOIX DU SITE ET DU TYPE D'OUVRAGE
- 6 - CONCLUSION

Photo 4.3 : VUE AERIENNE DES GORGES DE L'OUED EL OUDEI

ECHELLE 0 200 m



L'oued el Oudeï a entaillé profondément l'anticlinal d'el Ardhia et l'anticlinal de Brikiss. Dans ce dernier, il a creusé une gorge profonde de 70 m et large de 3 à 4 m, dans la barre supérieure de la formation Abiod. Plus en aval, au niveau de jebel el Ardhia, trois gorges se succèdent d'amont en aval, que nous noterons 1, 2 et 3 (Photo 4.3).

Les gorges 1 et 3 sont entaillées dans la série à silex, alors que la gorge 2 se situe au niveau du coeur de l'anticlinal (barre supérieure de la formation Abiod).

Ces trois gorges sont plus ou moins favorables à l'aménagement. Dans cette région, l'oued a un écoulement assuré par le surplus du débit pérenne des sources de Midès et le débit des deux sources de sa rive gauche.

1 - ETUDE MORPHOSTRATIGRAPHIQUE DES TROIS GORGES DE L'OUED EL OUDEI -

1.1 - GORGE 1 (Photo 4.4)

Cette gorge se présente de la même façon que celle de l'oued el Khanga. A son niveau, la barre calcaire supérieure, toit de la série à silex, n'est pas massive mais plutôt litée, et d'aspect moins résistant que sur le site précédent. Alors que le caractère beaucoup plus massif et compact de la barre inférieure (N80 55°N) explique le creusement de quatre marmites sécantes sur 18 m de longueur et 10 m de largeur.

1.2 - GORGE 2 (Photo 4.5)

Elle est entaillée dans la barre supérieure de la formation Abiod, sur une longueur de 55 m. Sa profondeur est de 70 m pour une largeur au fond de 2 à 3 m.

Le flanc Nord de cette barre, de direction N80, plonge de 60° vers le Nord, alors que sa retombée Sud est affectée par une faille normale de direction N100, plongeant de 55° vers le Sud.

Le calcaire est massif, formé de bancs métriques sans délits marneux.

Photo 4.4 : VUE D'AMONT DE LA GORGE 1

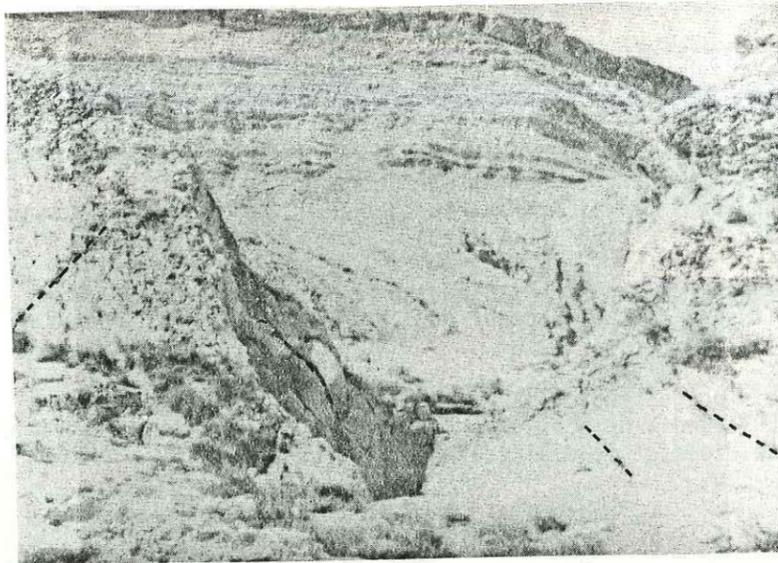
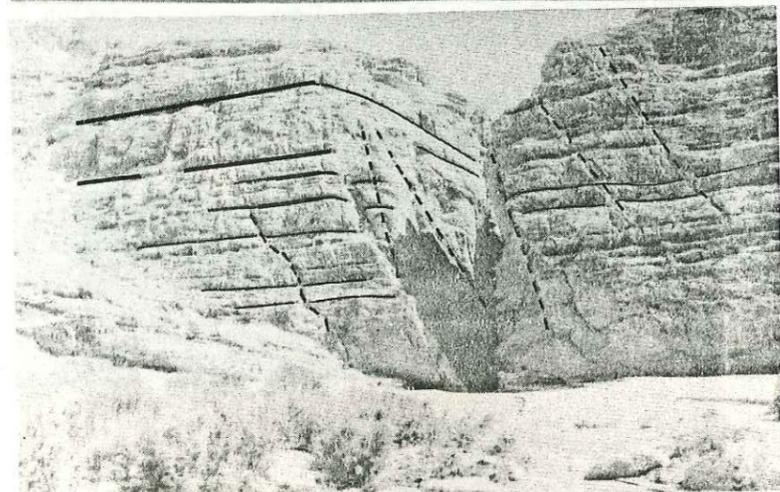
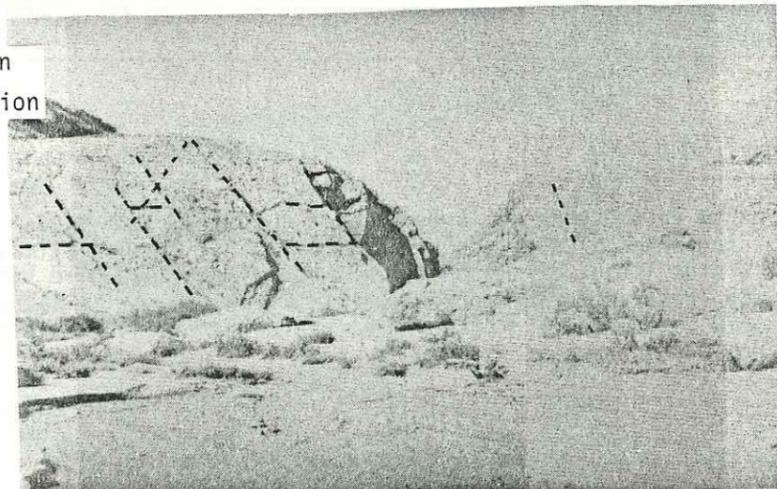


Photo 4.5 : VUE D'AMONT ET D'AVANT DE LA GORGE 2

--- Fracturation
 — Stratification



A l'amont de cette barre, qui joue un rôle de barrage partiel, des crues anciennes ont déposé leurs apports solides sur une distance de 200 m. Le sommet de ces alluvions domine actuellement de 12 m le lit de l'oued.

1.3 - GORGE 3 (Photo 4.5')

Elle est entaillée dans le terme médian de la formation Metlaoui (série à silex). Le pendage de ces couches (25 à 30°S) y est beaucoup plus faible qu'à l'amont. A son issue Nord, on constate la présence d'un écoulement de blocs énormes provenant de la falaise qui constitue le toit de la série phosphatée. Les risques d'écroulement futurs rendent cet emplacement peu favorable à l'établissement d'un ouvrage.

2 - RESISTANCE A LA COMPRESSION DU CALCAIRE ABIOD -

Au site de la gorge 1, nous retrouvons les mêmes roches qu'à l'oued el Khanga, sauf en ce qui concerne le toit de la série à silex, plus lité et moins résistant.

La résistance à la compression du calcaire Abiod est de 40 MPa. Il s'agit d'un calcaire organogène à ciment micritique.

3 - ETANCHEITE DES APPUIS AU NIVEAU DES GORGES 1 ET 2 -

La perméabilité du rocher de fondation est directement liée à la fracturation.

3.1 - GORGE 1 (Photo 4.6.a)

La barre calcaire du toit de la série phosphatée est découpée par les mêmes familles de discontinuités que sur le site de l'oued el Khanga.

Photo 4.5' : VUE D'AMONT DE LA GORGE 3



Photo 4.6.a : GORGE 1 : VUE DES MARMITES CREUSEES DANS LA BARRE CARBONATEE (TOIT DE LA SERIE PHOSPHATEE)

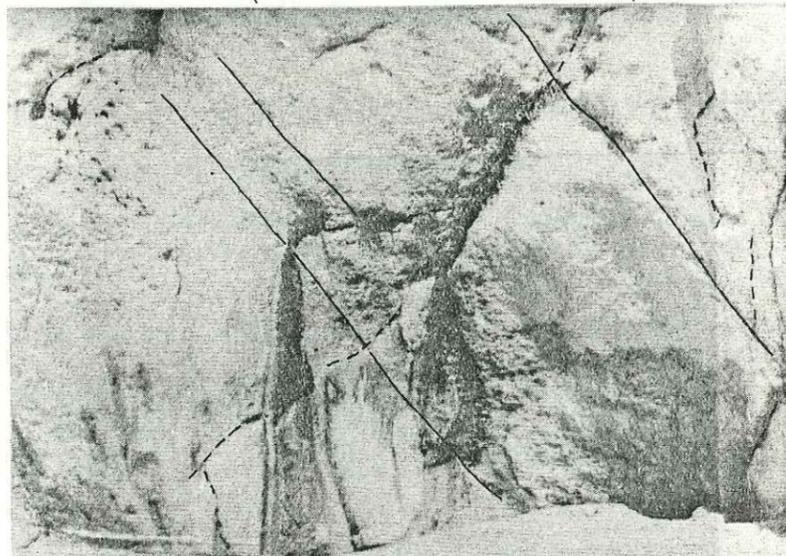
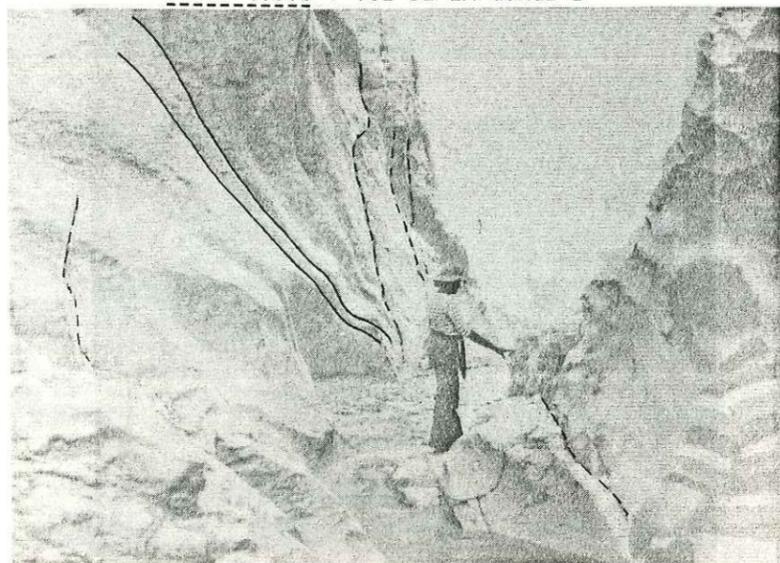


Photo 4.6.b : VUE DE LA GORGE 2



Ces discontinuités sont larges de 2 cm et des suintements s'observent à l'intérieur des marmites, même en période sèche.

La présence de fractures subverticales et de fractures subhorizontales à faible plongement Sud, combinées avec le litage, contribue à découper des blocs métriques. Les discontinuités subhorizontales drainent l'eau des autres fractures.

3.2 - GORGE 2 (Photo 4.6.b)

Nous avons effectué un levé des directions de fracturation sur la surface structurale du calcaire Abiod et le long de la gorge. Les directions dominantes sont subméridiennes subverticales (Fig. 4.9). Ici au contraire, les lèvres des discontinuités sont jointives, légèrement broyées, et nous n'y avons pas remarqué de traces de circulation d'eau.

Dans son état actuel, la barre calcaire, toit de la série phosphatée, n'est nullement étanche. Elle nécessiterait un déroctage et un traitement important pour obturer les fissures qui drainent le rocher.

En conclusion, nous pensons qu'à cet égard la barre de calcaire Abiod (gorge 2) paraît plus satisfaisante.

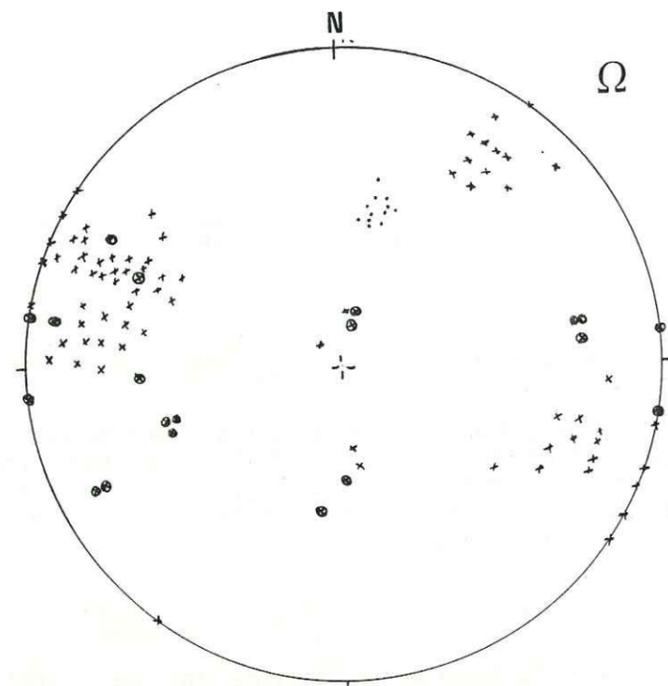
4 - RETENUE DE L'OUED EL OUDEI -

Ne disposant pas d'un fond topographique détaillé, nous avons utilisé, pour le planimétrage, un agrandissement au 1/25000 de la feuille de Metlaoui. Celui-ci nous a permis d'estimer qu'un barrage de 20 m établi au niveau des gorges 1 ou 2 créerait une retenue d'une surface approximative de 280 000 ou 300 000 m² dont la capacité serait de l'ordre de 2 Mm³.

Les deux barrages étant fondés vers la cote 282 ou 280, on peut en déduire que l'eau baignerait l'Eocène supérieur gypseux et atteindrait vraisemblablement la source amont (cf. Fig. 2.9 - source n° 23).

Sur le plan de l'étanchéité, la cuvette se loge dans un synclinal qui comporte des niveaux imperméables (Fig. 4.10) : marnes de la formation El Haria, et termes inférieurs de la formation Metlaoui. L'axe du synclinal est occupé par les gypses de l'Eocène supérieur, qui présentent déjà des cavités

Figure 4.9 : FRACTURATION DE LA BARRE ABIOD (GORGE 2)



- ⊗ pôles des plans de fractures du site 2
- x pôles des plans de fractures dans la gorge de jebel Brikiss
- pôles des plans des couches du site 2

Figure 4.10 : COUPES LONGITUDINALES DE L'OUED EL OUDEI

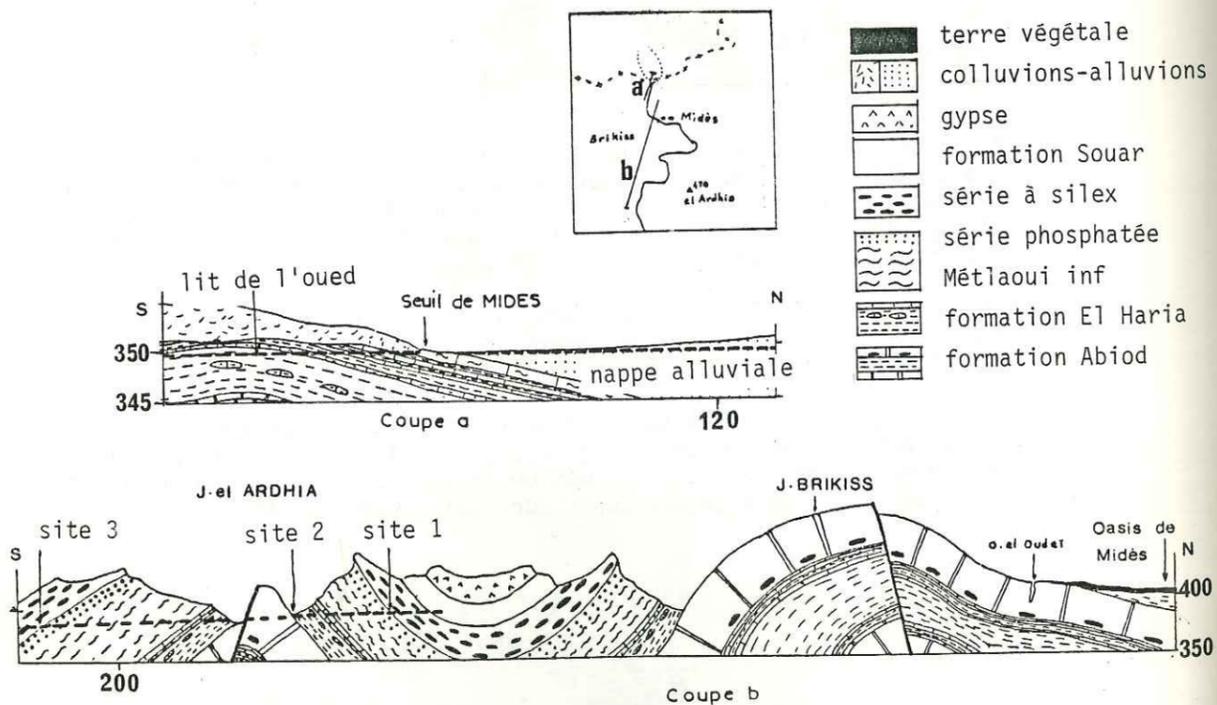
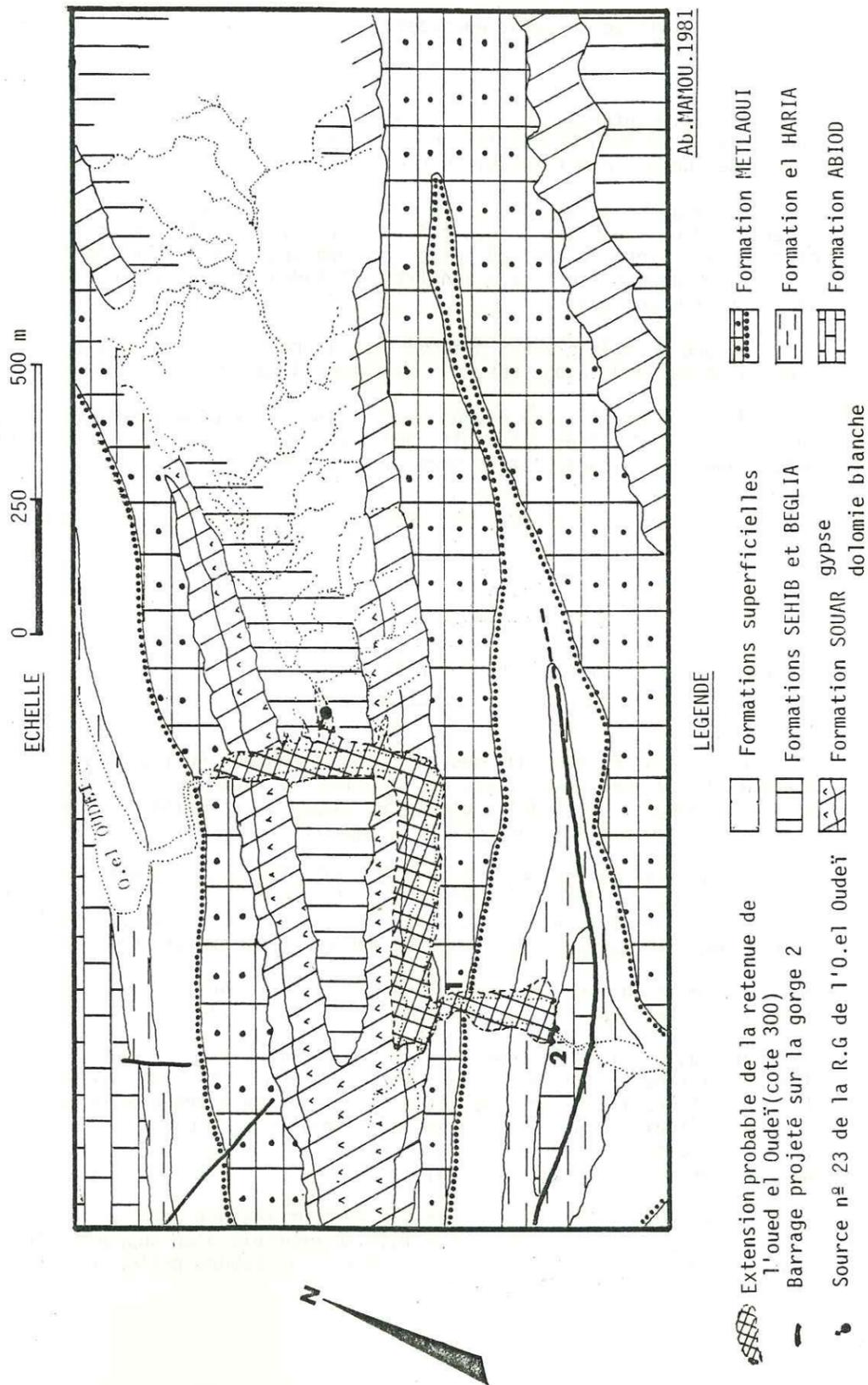


Figure 4.11 : GEOLOGIE DES SITES 1 ET 2 DE L'OUED EL OUDEI-EXTENSION PROBABLE DE LA RETENUE CREE PAR UN BARRAGE DE 20 m DE HAUTEUR



Ab. MAMMOU. 1981

LEGENDE

- ⊗ Extension probable de la retenue de l'oued el Ouedi (cote 300)
- Barrage projeté sur la gorge 2
- Source n° 23 de la R.G de l'O. el Ouedi
- Formations superficielles
- Formations SEHIB et BEGLIA
- Formation SOUAR gypse dolomie blanche
- Formation METLAOUI
- Formation el HARIA
- Formation ABIOD

développées mais se trouvent enveloppés par les formations précédentes.

Le plongement axial vers l'Est de la structure (Fig. 4.11) et la présence de la source n° 23 qui sera probablement émergée, nous laisse supposer que notre retenue va alimenter la nappe qui donne naissance à cette source et ceci sur une distance de 2000 m jusqu'au point où la nappe joue le rôle de barrage hydraulique. Ce qui constituerait une nouvelle réserve à l'abri de l'évaporation.

A l'aval de cette source, la structure paraît favorable à l'étanchéité. En effet, que l'oued ait un débit faible ou même nul, l'inféoflux qui circule dans ces alluvions ne se perd pas en profondeur, ainsi qu'en témoignent les sources qui apparaissent dans son lit à la faveur des seuils constitués par le substratum rocheux.

La présence de niveaux gypseux dans la retenue accroîtra la salinité de l'eau stockée. Nous avons réservé une annexe à ce problème (annexe III).

Ultérieurement, nous devons nous attendre à l'ensablement de la retenue par les apports solides des débits pérennes, et surtout à la suite de crues grâce auxquelles l'ensablement sera plus rapide.

5 - CHOIX DU SITE ET DU TYPE D'OUVRAGE -

Nous avons vu que pour des barrages de hauteur égale, on doit s'attendre à réaliser, sur ces deux sites, des retenues de capacité équivalente. Le choix entre les gorges 1 et 2 doit donc tenir compte en priorité de l'étanchéité des appuis et du volume des ouvrages.

La qualité du rocher au site n° 2 nous apparaît meilleure, comme nous l'avons indiqué ci-dessus. D'autre part, la gorge 2, plus étroite sur toute sa hauteur qu'au site n° 1, n'exigerait, pour être barrée, qu'un volume moindre de matériaux, ce qui renforce encore notre préférence.

Le choix du type de barrage est conditionné par l'étroitesse de la gorge et le fait que cet ouvrage doit être submersible.

Or, malgré les réserves signalées pour le barrage précédent, il y a là deux conditions tout à fait défavorables pour un barrage en remblai. La meilleure solution, ici encore, paraît être celle d'un ouvrage en béton, plus facile à construire dans cette gorge très étroite, et pouvant être submergé, (même éventuellement en période de construction, ce qui n'est pas souhaitable mais ne serait pas catastrophique).

Un barrage voûte paraît particulièrement indiqué dans ce site très étroit, et le rocher paraît tout à fait susceptible d'en supporter les contraintes. Mais, comme dans le cas précédent, il faudra prêter une attention

particulière aux érosions au pied aval du barrage lors de l'évacuation des crues. D'autre part, étant donné qu'au niveau du site, l'oued a un écoulement pérenne, il faudra prévoir d'évacuer cette eau durant la construction, soit par une conduite provisoire passant par le barrage et obturée ensuite, soit par construction en deux phases, soit encore par une galerie souterraine de dérivation provisoire.

Si la solution d'une galerie de dérivation était adoptée, nous pensons qu'elle devrait être en rive gauche, creusée dans le rocher de fondation. Après la construction, elle pourrait être utilisée, en la prolongeant en amont par un filtre, comme une galerie de drainage profonde.

Connaissant le régime d'écoulement de l'oued el Oudeï, nous pensons que la retenue sera remplie en premier lieu par le débit pérenne des sources amont. Au niveau de la queue de la retenue des dépôts deltaïques de la charge solide se formeront grâce aux apports solides des eaux pérennes. L'ensablement de la retenue se fera à la suite des crues saisonnières. Le colmatage des sables sera peu probable du fait que le barrage va déverser à la suite des premières crues, d'où le transport de particules fines.

Enfin, nous attirons l'attention du projeteur sur les problèmes d'installation du chantier et la construction dans une gorge aussi étroite.

6 - CONCLUSIONS -

Le meilleur site de l'oued el Oudeï nous paraît être celui de la gorge 2. Il posera en premier lieu le problème de l'installation du chantier et de l'accès au site, en deuxième lieu, la conception d'un barrage probablement en voûte muni d'un dispositif de déversement qui protégera le parement aval du barrage.

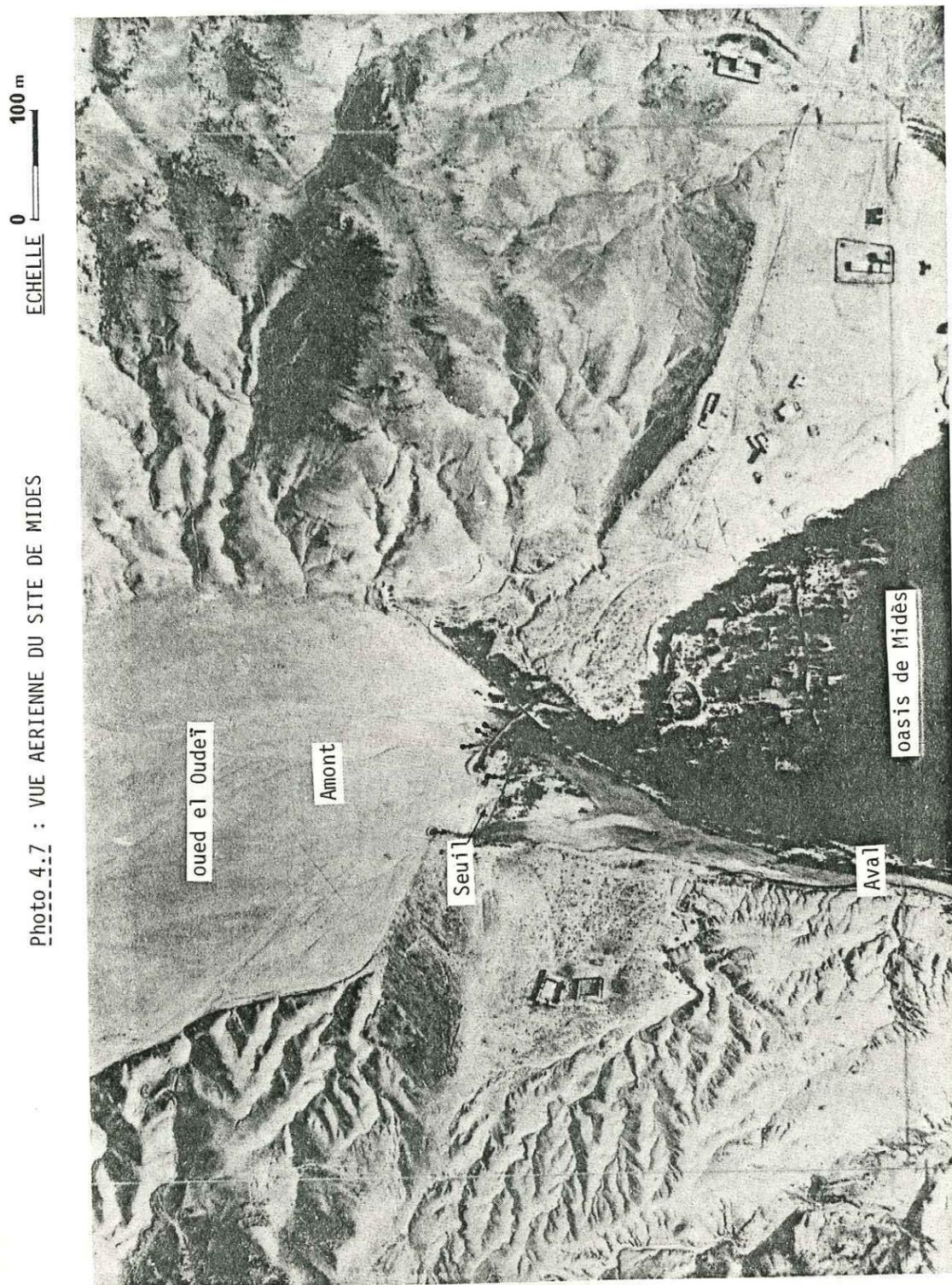
Ces difficultés doivent pouvoir être surmontées, mais il faudra ensuite penser à l'utilisation de l'eau ainsi retenue et à son acheminement vers le lieu de cette utilisation avec un minimum de perte.

SOUS-CHAPITRE III :

ETUDE DU SITE DE MIDES

1 - EXPLOITATION PAR POMPAGE DE LA NAPPE ALLUVIALE

2 - SURELEVATION DU SEUIL



Au Nord de l'oasis de Midès, l'oued el Oudeï traverse la barre supérieure de la formation el Haria et les premiers niveaux de la formation Metlaoui (Photo 4.7).

Ces niveaux constituent, à l'aval d'une plaine d'alluvions, un seuil qui force les eaux souterraines à ressortir au jour (cf. fig. 4.10). Le débit global des exutoires est susceptible d'assurer, en période humide, l'irrigation de l'oasis, alors qu'en été, période au cours de laquelle le palmier réclame le maximum d'eau, il devient insuffisant.

En période d'étiage, les agriculteurs recherchent l'eau à l'amont du seuil et au droit de son échancre la plus basse, à 1 m sous le terrain naturel, alors qu'en période humide, à la suite des premières crues, la nappe monte jusqu'à 0,2 m du sol, ce qui revient à dire que la tranche renouvelable est de 0,8 m.

Pour assurer une meilleure irrigation, la Direction des Ressources en Eaux (D.R.E.) du Ministère de l'Agriculture envisage de foncer un puits en amont du seuil. Pour notre part, nous pensons que la surélévation du seuil serait plus efficace.

Dans ce qui suit, nous allons étudier ces deux possibilités et voir les avantages et les inconvénients de tel ou tel projet.

1 - EXPLOITATION PAR POMPAGE DE LA NAPPE ALLUVIALE -

L'exploitation par pompage entraînera le tarissement des exutoires naturels et un rabattement beaucoup plus rapide du niveau statique. Ce mode d'exploitation va faire appel aux réserves non renouvelables, d'où un déficit important du bilan hydraulique.

On peut aussi se demander si un seul puits sera suffisant pour fournir le débit total actuel des sources. A ceci s'ajoute le coût annuel du pompage et la difficulté d'assurer dans ce type de région un entretien satisfaisant. Ceci peut être évité par le retour aux méthodes anciennes qui utilisaient des pompes éoliennes et des réservoirs.

2 - SURELEVATION DU SEUIL -

La surélévation de ce seuil augmenterait la puissance de la nappe souterraine par suite du stockage de la charge solide des crues. En plus, elle protégerait l'oasis des crues dévastatrices en canalisant l'écoulement au centre du lit de l'oued.

Cet ouvrage s'appuierait, en rive droite, sur le calcaire à Ostracés de la base de la formation Metlaoui, qui dessine déjà le seuil naturel, et se raccorderait en rive gauche au mur de protection de l'oasis contre les crues.

Afin que celui-ci ne soit pas endommagé par le déversement des crues exceptionnelles, la crête de l'ouvrage ne doit pas se raccorder à celle du mur ; ou bien nous pouvons proposer un seuil déversant au milieu de l'ouvrage dont la cote sera plus basse que la crête de l'ouvrage et du mur (Fig. 4.12). Cette partie déversante de l'ouvrage sera la zone préférentielle de l'écoulement des eaux de crue.

Dans sa partie Est (rive gauche), le seuil rocheux est affecté par un décrochement sénestre qui passe juste sous le mur de protection. Cet accident étant susceptible de drainer l'eau stockée, il conviendra de reconnaître en détail la morphologie du substratum rocheux sous les alluvions pour éviter les pertes.

D'autre part, le seuil est recoupé par une série de petites fractures ouvertes, à l'échelle des bancs (Fig. 4.13). c'est au niveau de celles-ci que se localisent les exutoires naturels de la nappe. Un captage ayant été réalisé, au cours des années 60, au contact de certaines d'entre elles, on a constaté que d'autres émergences étaient ensuite apparues.

Une fois le seuil surélevé, il est vraisemblable que l'augmentation de la charge fera se multiplier les points de sorties. Il convient donc de développer de façon convenable les dispositifs de captage avant la construction de l'ouvrage.

2.1 - TYPE D'OUVRAGE

Cet ouvrage pourrait être un simple "seuil déversant" classique en béton, fondé sur le seuil rocheux. Pour se raccorder au mur de protection, il aurait une hauteur de 3 m. Il serait rectiligne sur 100 m en partant de la rive droite. Les agrégats de béton peuvent être extraits du flanc Nord de jebel Brikiss.

Figure 4.12 : SCHEMA DU TYPE D'OUVRAGE POUR LA SURELEVATION DU SEUIL DE MIDES

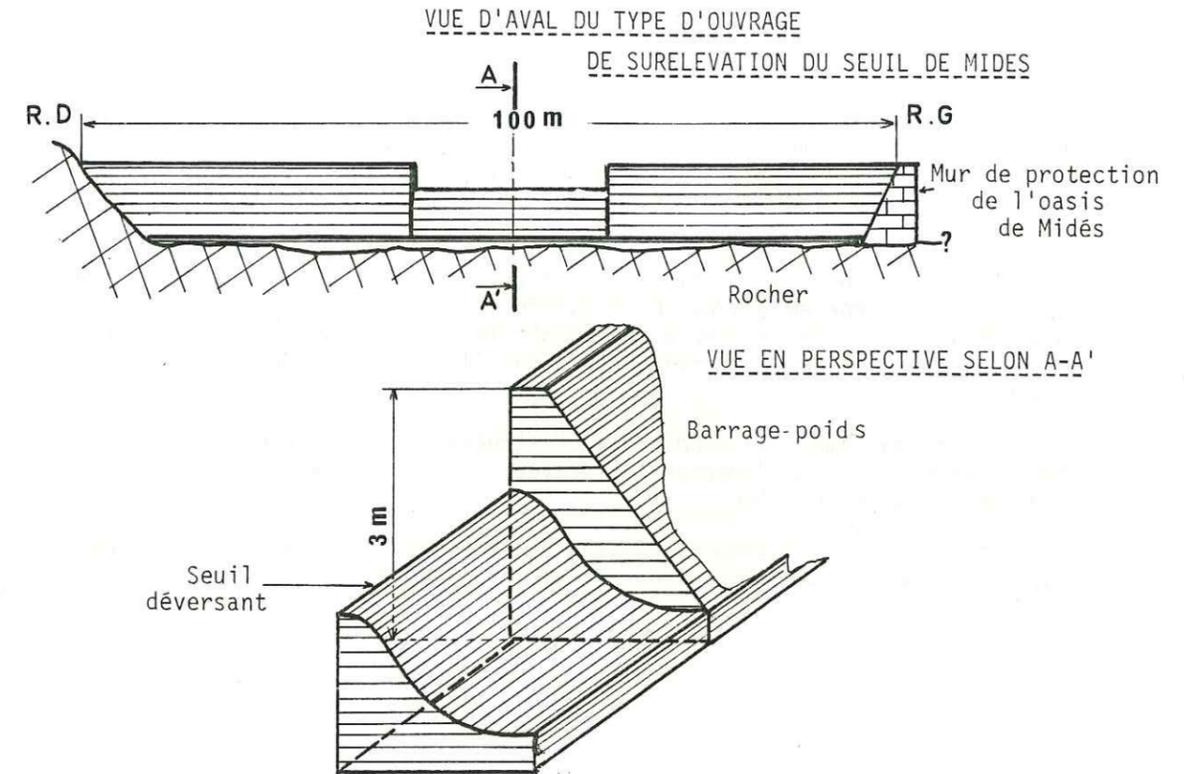
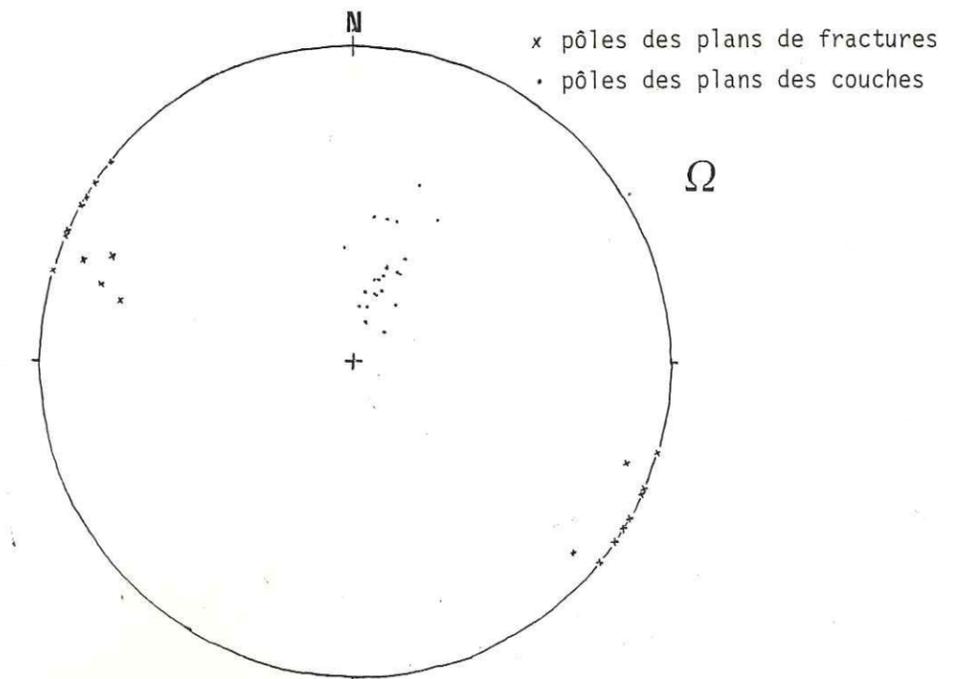


Figure 4.13 : FRACTURATION AU NIVEAU DU SEUIL DE MIDES



2.2 - CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES ET AGRICOLES

L'accumulation de sable étant accrue derrière l'ouvrage, cela devrait augmenter en même temps les réserves renouvelables de la nappe qui y est contenue. Il en résulterait une amélioration des conditions d'irrigation de l'oasis de Midès durant la période d'étiage.

En contre partie, après relèvement du seuil, tant que la retenue créée n'aura pas fait le plein d'alluvions, il en résultera un certain déficit du débit solide de son émissaire. Or c'est justement ce même sable que l'on tentera simultanément de stocker à l'aval par la construction du barrage sur l'oued el Oudeï, d'où un certain retard dans la cadence de remblayage de sa retenue.

Ceci nous amène à proposer la construction de l'ouvrage de Midès, en premier lieu, et de ne démarrer les travaux aval qu'une fois que la retenue sera complètement ensablée.

Nous proposons cette succession vu la nécessité d'un apport supplémentaire d'eau pour l'oasis de Midès, le plus rapidement possible.

CONCLUSION -

Au terme de ce chapitre, il nous faut envisager quelles seraient les répercussions de l'aménagement de ces divers sites sur l'hydrogéologie et le développement de l'agriculture.

En ce qui concerne l'oued el Khanga, les dépôts éoliens présents sur sa rive gauche, à l'amont du barrage prévu, sont pédologiquement valables pour la culture du palmier.

Il suffira donc d'y foncer des puits en bordure de la retenue ensablée, et de refouler l'eau au moyen de petites pompes, jusqu'à des réservoirs situés au sommet des terrains à irriguer. Les eaux non évaporées ni absorbées par les plantes pourraient ainsi revenir par infiltration à la nappe qui se trouve en contre-bas.

Même si la création d'une nouvelle palmeraie se révélait difficile, l'ouvrage contribuerait malgré tout à l'augmentation des réserves d'eau de la région, soit en alimentant la nappe sous-jacente de la formation Beglia, soit en créant une nappe alluviale.

Il apparaît donc certain que l'aménagement de la gorge de l'oued el Khanga contribuerait à l'infiltration d'une partie des eaux des crues et donc à l'augmentation des réserves souterraines.

De son côté, l'aménagement de l'oued el Oudeï (gorge 2) permettrait le stockage du débit des sources de Midès et de la rive gauche de l'oued. D'autre part, la différence des cotes des deux retenues de l'oued el Khanga (334 m pour un ouvrage de 20 m de hauteur) et de l'oued el Oudeï (300 m) nous laisse supposer une possibilité d'alimentation de l'Est vers l'Ouest.

La réserve de l'oued el Oudeï pourrait être directement exploitée par une prise souterraine ou une prise de surface suivie d'un canal qui acheminerait l'eau jusqu'à la retombée Sud de l'anticlinal d'el Ardha, où il serait possible de créer une petite palmeraie au Nord-Ouest de l'oasis de Tamerza. Cette eau pourrait également augmenter le débit d'étiage pour l'irrigation des oasis de Foum el Khanga.

Enfin, la surélévation du seuil de Midès aurait des répercussions immédiates sur les réserves d'eau et sur l'agriculture à l'intérieur même de l'oasis de Midès.

La réalisation de l'aménagement projeté sur le réseau hydrographique de la région de Tamerza, que nous venons d'étudier, n'aura aucune conséquence

défavorable sur l'alimentation en eau des oasis de Foum el Khanga, qui sont jusqu'à présent irriguées en premier lieu par le surplus des sources de Tamerza.

Elles le sont aussi, subsidiairement, par les sources aval de l'oued el Oudeï et le faible surplus des sources de Midès. Or le régime de ces dernières sources sera quelque peu modifié, car elles seront en partie stockées et ne s'écouleront plus de façon permanente tout au long de l'année.

Toutefois, la rétention pratiquée au moyen des barrages servira précisément à soutenir les débits durant la période sèche, et Foum el Khanga en profitera donc aussi.

QUATRIEME PARTIE

CHAPITRE 5 : ETUDE DES DEPOTS ALLUVIAUX.

CHAPITRE 6 : FACTIBILITE DU STOCKAGE DE L'EAU DANS LE SABLE
ET CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES.

INTRODUCTION -

Comme nous l'avons déjà vu dans le chapitre précédent, les futures réserves qui seront créées par les deux ouvrages sur les oueds el Khanga et el Oudeï vont être stockées dans les matériaux charriés et probablement dans les dépôts sous-jacents de la formation Beglia.

C'est pourquoi nous avons réservé cette dernière partie de notre travail à l'étude de ces dépôts ainsi qu'à la factibilité de cette technique de stockage.

Dans le chapitre 5, nous allons étudier la granulométrie de ces dépôts et leurs caractéristiques hydrauliques. Nous évaluerons aussi, grâce à la prospection électrique, l'épaisseur de ceux qui sont déjà en place, essentiellement au niveau de la future cuvette de l'oued el Khanga et en amont du seuil de Midès.

Dans le chapitre 6, nous allons parler de la factibilité du stockage et des facteurs qui conditionnent une meilleure efficacité de cette technique dans le Sud-Ouest tunisien.

Enfin, nous parlerons des conséquences hydrogéologiques du stockage dans le sable.

CHAPITRE 5

ETUDE DES DEPOTS ALLUVIAUX

5.1 - RAPPELS

5.2 - CARACTERISTIQUES DES ALLUVIONS

5.3 - ETUDE DES DEPOTS ALLUVIAUX PAR PROSPECTION
ELECTRIQUE

5.4 - CONCLUSIONS.

Tous les échantillons que nous allons étudier ont été pris soit en surface soit à faible profondeur à l'aide d'une tarière à main. Ce dernier procédé a été essentiellement utilisé pour échantillonner dans la retenue comblée du barrage de prise de Foug el Khanga.

Avant d'analyser les résultats de cette étude, nous allons rappeler la définition des principaux coefficients granulométriques utilisés et des caractéristiques géotechniques que nous avons étudiées et indiquer, pour certains, la méthode appliquée.

5.1. - RAPPELS

5.1.1. - COEFFICIENTS GRANULOMETRIQUES

Tirés directement de la courbe granulométrique cumulative, ce sont :

- Le coefficient d'uniformité ou coefficient de Hazen.

$C_u = d_{60}/d_{10}$, il exprime également l'étalement granulométrique, les d_{60} et d_{10} correspondent aux ouvertures du tamis au travers duquel passent 60 % et 10 % du poids de l'échantillon.

- coefficient de courbure.

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{60} \cdot d_{10}}$$

- Hétérométrie : H_e exprimée par le rapport d_{85}/d_{15} , elle caractérise l'étalement de la granulométrie.

Granulométrie	d_{85}/d_{15}
très serrée	inf à 2
serrée	2 à 5
semi étalée	5 à 20
étalée	20 à 200
très étalée	sup à 200

5.1.2. - POURCENTAGE GRANULOMETRIQUE

Le Filler (Fi) correspond au pourcentage en poids des grains de taille inférieure à 0,08 mm.

5.1.3. - EQUIVALENT DE SABLE (ES)

Exprime l'abondance du sable, par rapport aux Fines, dans un échantillon et résulte d'un essai basé sur la sédimentation plus ou moins rapide des particules constituantes.

Les valeurs de ES que nous donnons pour nos échantillons correspondent à la "proportion" vraie, qui se lit sur la courbe granulométrique cumulative.

5.1.4. - PERMEABILITE (K)

Le coefficient approché de la perméabilité K est obtenu à l'aide de la formule de Hazen, à partir des courbes granulométriques.

$$K \text{ m/s} = (100.d_{10})^2$$

Cette formule empirique est considérée comme valable, surtout pour des sables peu compactés à granulométrie serrée, et pour des perméabilités moyennes ou élevées.

Pour les échantillons de faible perméabilité, nous avons déterminé le coefficient K au laboratoire à l'aide d'un perméamètre à charge constante (sous 0,2 - 1 - 2 bar) sur des matériaux légèrement tassés.

5.1.5 - TENEUR EN EAU W

C'est le rapport en pourcentage du poids de l'eau au poids de l'échantillon après passage à l'étuve (24 h à 105 °C).

5.1.6. - POROSITE

C'est le rapport du volume des vides au volume apparent de l'échantillon.

Pour mesurer la porosité du sable, nous avons appliqué la méthode décrite par H. Schoeller (1962) :

On tasse le sable jusqu'au refus, au fur et à mesure de son introduction dans un verre cylindrique gradué, pour obtenir un volume V. Puis on le sèche à 105 - 110 ° jusqu'à poids constant. Le sable est ensuite lentement versé dans

un volume V' d'eau. Le niveau d'eau monte et indique un volume global X. Ce procédé a l'avantage de ne pas emprisonner les bulles d'air, que l'on peut d'ailleurs chasser à l'aide d'un agitateur.

$$\text{La porosité } n = \frac{V + V' - X}{V}$$

5.1.7. - DENSITE EN PLACE

C'est le rapport du poids d'un volume de l'échantillon au poids du même volume d'eau. Nous avons mesuré la densité en place à l'aide d'un densimètre à membrane. Nous avons mesuré cette caractéristiques physiques avant de déterminer le coefficient de perméabilité K. Il était en effet nécessaire, pour rendre valables les mesures au perméamètre, de rétablir d'abord les conditions naturelles de compacité de sable essayé.

5.2 - CARACTERISTIQUES DES ALLUVIONS -

5.2.1. - SEDIMENTS DE LA RETENUE DU BARRAGE DE PRISE DE FOUM EL KHANGA

Les courbes cumulatives des échantillons de la retenue du barrage de prise de Foum el Khanga (Fig. 5.1) placent ces sédiments dans la catégorie des

Figure 5.1 : COURBES CUMULATIVES DES ECHANTILLONS DE LA RETENUE DU BARRAGE DE PRISE DE FOUM EL KHANGA

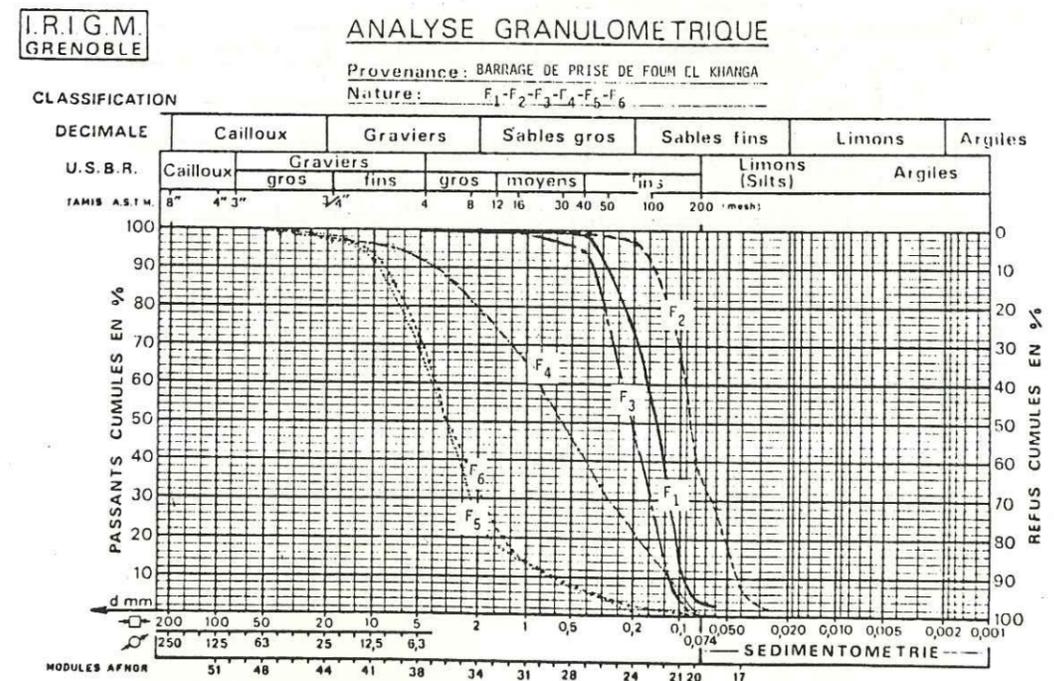
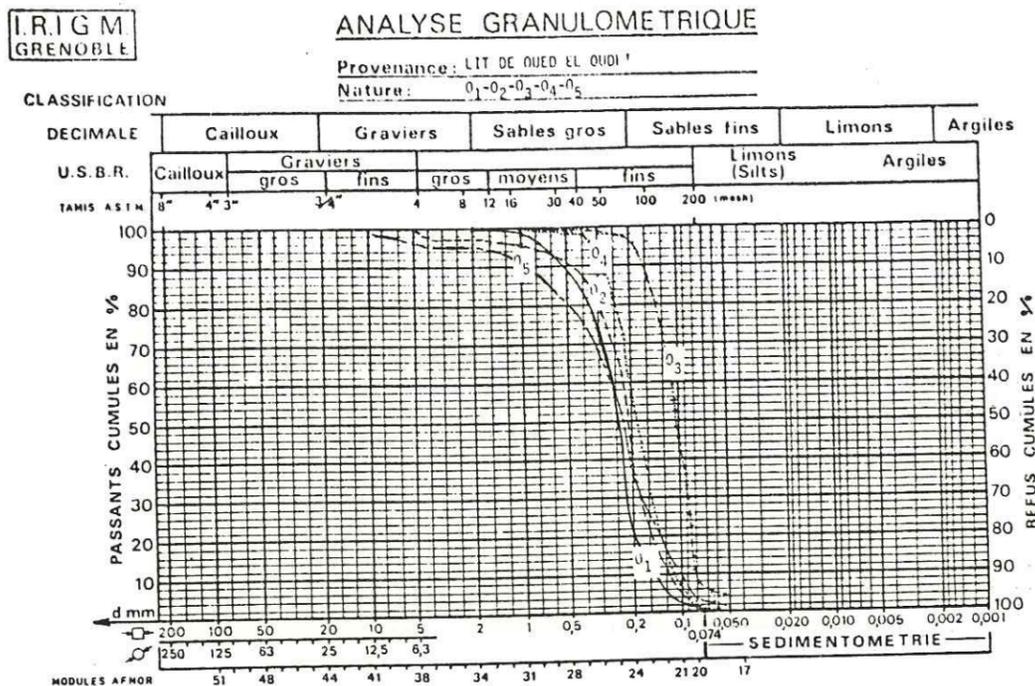


Figure 5.2 : COURBES CUMULATIVES DES DEPOTS ALLUVIAUX DE L'OUED EL OUDEI



sables selon la classification décimale (2 à 0,02 mm) et dans la catégorie des sables avec une faible proportion de limon selon la classification U.S.B.R., exception faite pour l'échantillon F₂, pris en surface à une époque où la retenue n'était pas complètement comblée.

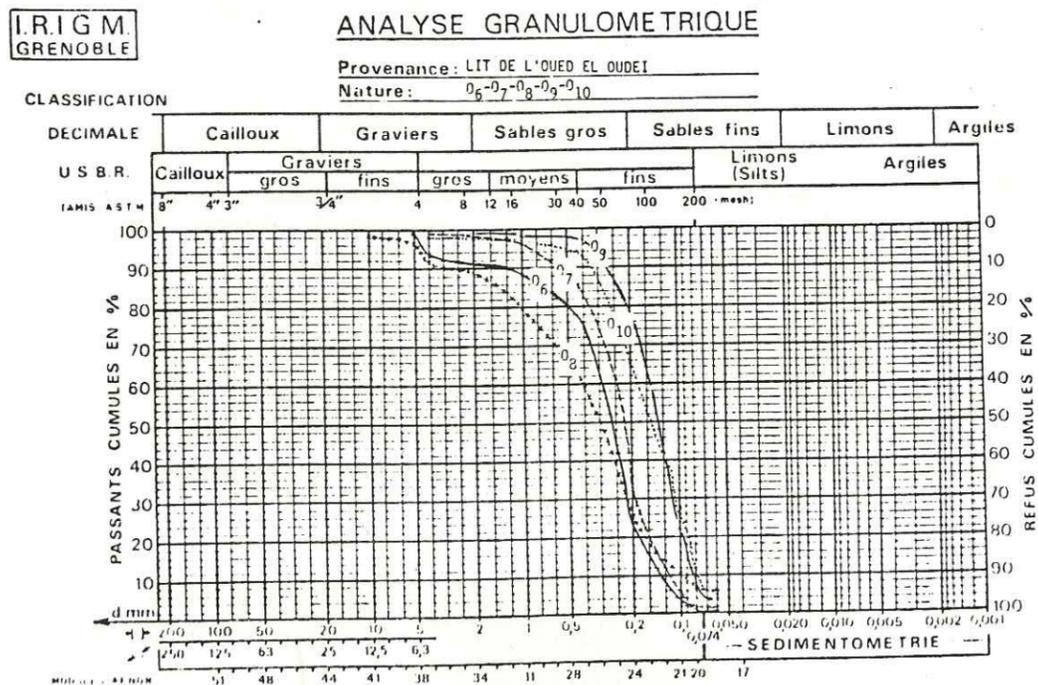
Le coefficient de perméabilité de Hazen varie de 10^{-5} à 8.10^{-3} m/s. Pour les échantillons de faible perméabilité (10^{-5}), nous avons déterminé le coefficient de perméabilité à l'aide d'un perméamètre sous charge constante (0,2 - 1 et 2 bar) (Tableau 5.1).

L'augmentation de la charge provoque une augmentation de la compacité de l'échantillon, ce qui explique la diminution de la perméabilité. A la fin de la mesure, nous avons déterminé la teneur en eau de l'échantillon étudié. La porosité, mesurée selon la méthode de Schoeller, de l'échantillon F₁ est égale à 35 %.

Tous les échantillons ont été pris loin de l'écoulement pérenne. Leur teneur en eau augmente à partir de la surface, généralement sèche (apports éoliens), jusqu'à atteindre la teneur de saturation (20 à 35 %) qui correspond au niveau de la nappe, vers 0,8 à 0,9 m de profondeur.

L'étude de ces sédiments montre que l'ouvrage de Foum el Khanga n'a retenu que des matériaux relativement grossiers, essentiellement des sables, et que presque tous les matériaux en suspension ont passé par dessus l'ouvrage.

5.2.2. - DEPOTS ALLUVIAUX DE L'OUED EL OUDEI



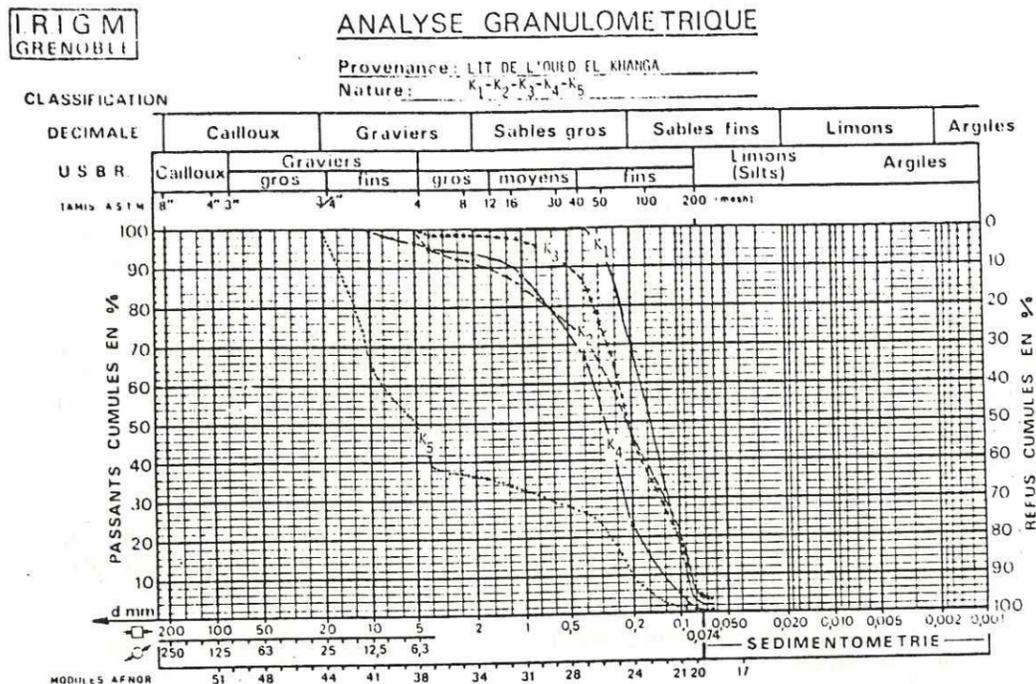
Les courbes cumulatives des échantillons de l'oued el Oudeï (Fig.5.2), pris en aval des gorges de jebel el Ardha, classent ces échantillons dans la catégorie des sables fins à moyens. Les limons représentent moins de 10 % du poids de l'échantillon. La granulométrie de ces sables est serrée à semi-étalée (0₉) alors que l'échantillon 0₃ a une granulométrie très serrée.

La perméabilité calculée selon la formule de Hazen est de l'ordre de 10^{-4} m/s. Le coefficient de perméabilité K déterminé au laboratoire, pour les échantillons 0₁, 0₃ et 0₉, est compris entre 10^{-2} et 10^{-4} , ce qui est en bon accord avec les valeurs trouvées en appliquant la formule de Hazen. La teneur en eau de saturation est de l'ordre de 20 à 30 %, alors que la porosité des échantillons 0₇ et 0₈ est respectivement de 35 et 30 %.

Nous remarquons que les dépôts alluviaux de l'oued el Oudeï sont formés essentiellement de sable bien lavé. Toutefois, à la suite des crues, une mince pellicule argileuse se forme dans les délaissés de l'oued. Ces pellicules fines sont reprises par l'érosion éolienne après une période de sécheresse ou par la crue suivante.

Nous pouvons retenir que les dépôts alluviaux de l'oued el Oudeï constitueraient un bon matériau pour le stockage de l'eau.

Figure 5.3 : COURBES CUMULATIVES DES DEPOTS ALLUVIAUX DE L'OUED EL KHANGA



5.2.3. - LES DEPOTS ALLUVIAUX DE L'OUED EL KHANGA

Les échantillons de l'oued el Khanga ont été prélevés en amont du site dont on projette l'aménagement.

L'analyse granulométrique de ces dépôts (Fig. 5.3) nous a permis de les classer dans la catégorie des sables fins à moyens bien classés. Leur granulométrie est serrée à semi étalée.

Le coefficient de perméabilité calculé par la formule de Hazen est toujours voisin de 10^{-4} m/s, ce sont des sables moyennement perméables, ce qui est confirmé par la détermination au laboratoire.

L'échantillon K₅ du lit mineur de l'oued se classe dans la catégorie des graviers fins sableux, alors que les autres échantillons se classent dans la catégorie des sables.

La teneur en eau de saturation serait de l'ordre de 20 à 35 %.

Comme les dépôts alluviaux de l'oued el Oudeï, ceux de l'oued el Khanga peuvent constituer un bon matériau de stockage de l'eau, à condition qu'ils gardent, dans le temps, les mêmes caractéristiques granulométriques et que la proportion des Fines ne dépasse pas 10 %.

5.2.4. - SABLES DE LA FORMATION BEGLIA

Ces dépôts sédimentaires de la formation Beglia ont une granulométrie qui varie de très serrée (B₈) à serrée (B₂ ; B₃ ; B₄ ; B₇) jusqu'à semi étalée (B₁ ; B₅ ; B₆ ; B₉), comme le montre la figure 5.4.. La perméabilité calculée par la formule de Hazen varie de $4 \cdot 10^{-5}$ à 10^{-4} .

La granulométrie de ces dépôts ne diffère pas beaucoup de celle des dépôts alluviaux des oueds el Khanga et el Oudeï qui pourraient en dériver directement par érosion de la même formation à l'amont. Etant donné que ces sables sont de même perméabilité que les dépôts alluviaux, on peut supposer qu'en cas de submersion, ils constitueraient un réservoir de qualités comparables.

La granulométrie des échantillons étudiés est souvent peu dispersée, avec un maximum qui se tient dans des limites étroites qui doivent correspondre à une phase éolienne ou à un classement par les eaux des crues. Quant aux matériaux plus grossiers, ils se concentrent dans le lit mineur de l'oued (K₅) et correspondent à l'érosion par les eaux courantes.

La courbe granulométrique est plus ou moins la somme de 2 courbes élémentaires correspondant à un mélange de ces deux origines, où le classement éolien ou des eaux courantes est toujours prédominant, voire seul représenté. En effet, l'emprunt de ces matériaux pourrait se faire aux dépens d'un matériau déjà relativement homométrique ou peu hétérométrique (sables de la formation Beglia).

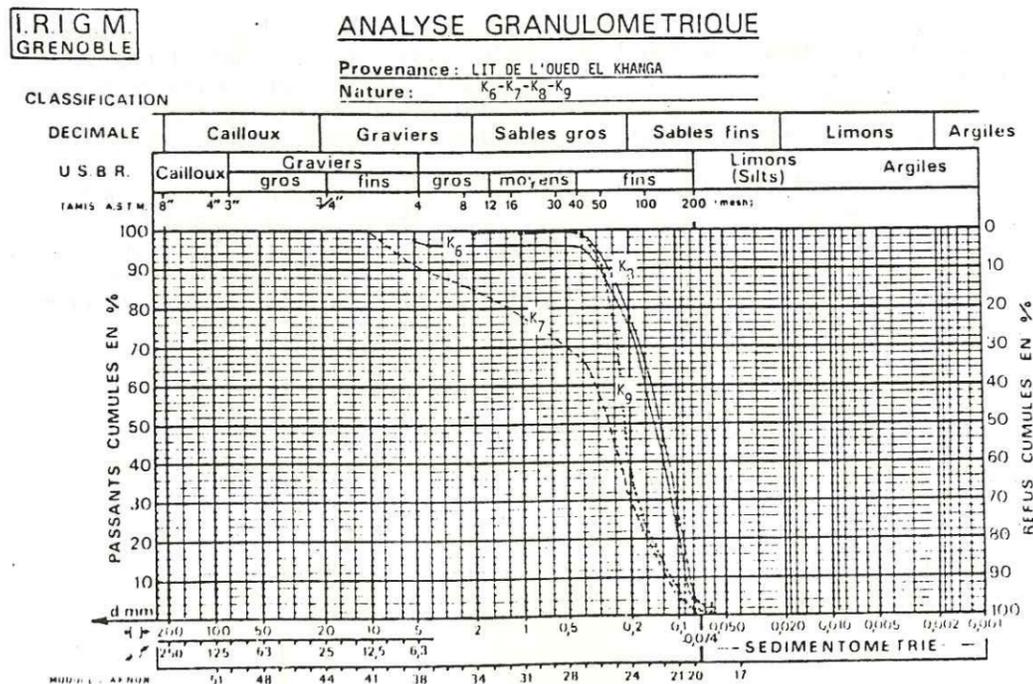


Figure 5.4 : COURBES CUMULATIVES DES SABLES DE LA FORMATION BEGLIA

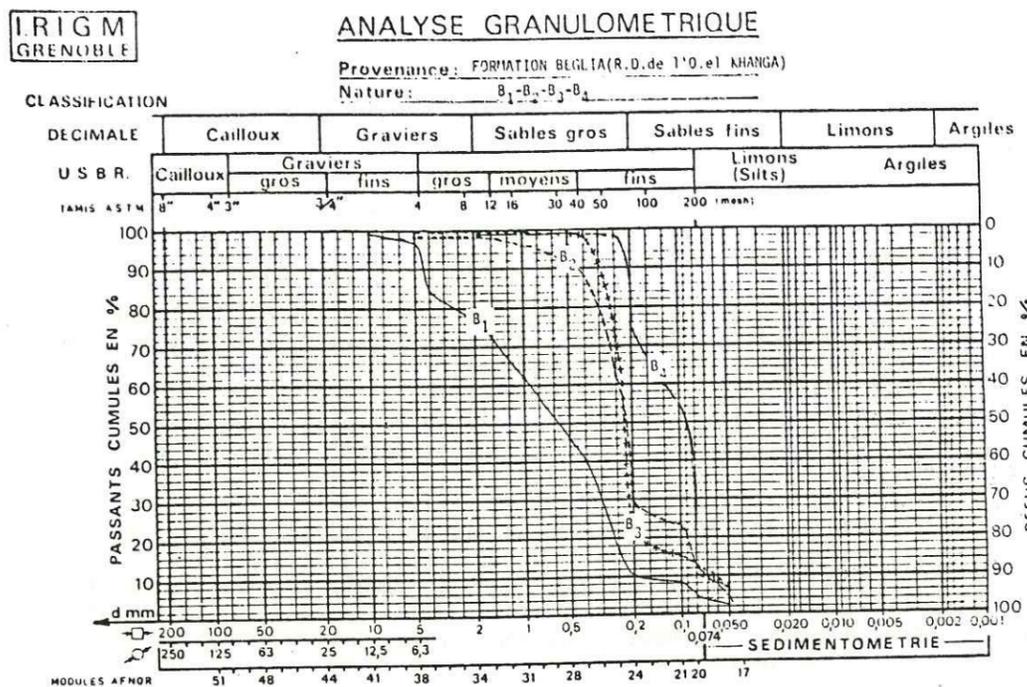
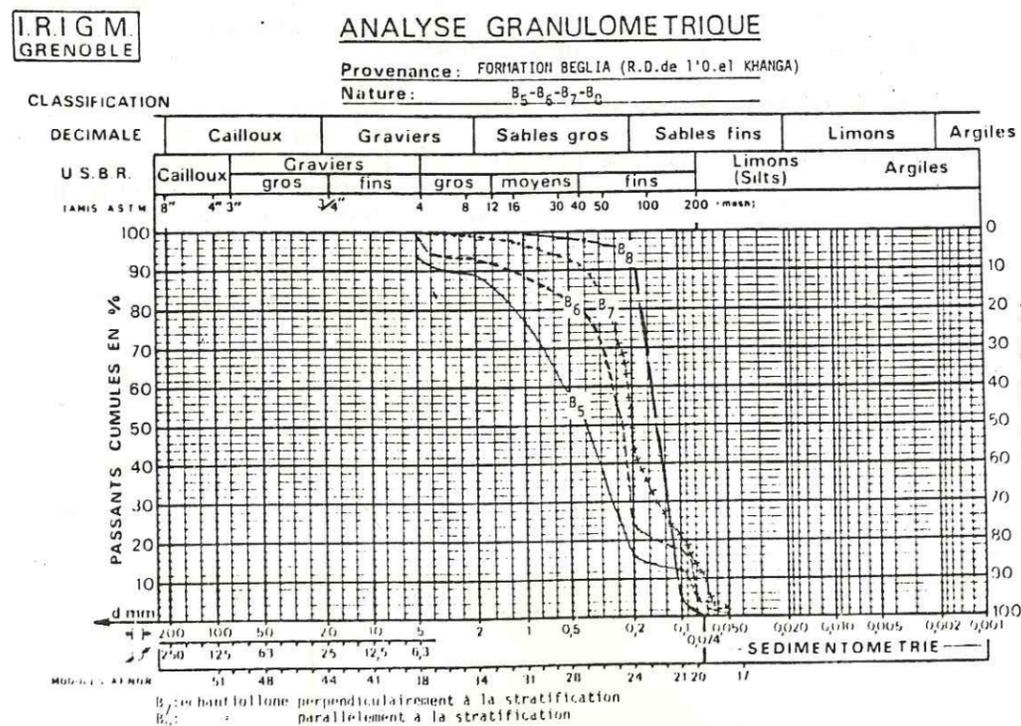


Tableau 5.1 :

TABEAU RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES DEPOTS ALLUVIAUX ET CONTINENTAUX

	W%	Cu	Cc	He	ES	K (m/s)	Fi	K(m/s)		
								0,2	1	2
F1		2	0,8	2	99	8.10 ⁻³	3,6			
F2	25	2,1	1,1	3	99	10 ⁻⁵	35,6	3.10 ⁻³	8.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴
F3	19	1,7	0,8	2	99	10 ⁻⁴	0,1	"	2.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴
F4		6,4	0,7	18	80	"	1,6			
F5		5,3	1,6	6	70	5.10 ⁻³	-			
F6		5,3	1,2	6	72	5.10 ⁻³	0,4			
O1	18	1,7	1,2	3	100	2.10 ⁻⁴	0,4	4.10 ⁻²	7.10 ⁻⁴	8.10 ⁻⁴
O2		1,2	1,1	2	97	"	0,6			
O3	28	1,5	0,8	1	100	6.10 ⁻⁵	5	10 ⁻²	7.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴
O4		1,6	1,3	2	100	10 ⁻⁴	0,8			
O5		2,7	1,2	4	95	"	2,8			
O6		1,6	1,3	3	91	2.10 ⁻⁴	0,5			
O7		1,9	1,1	2	99	10 ⁻⁴	1,0			
O8		4	1,2	10	89	"	6,1			
O9	19	2,1	0,9	2	99	7.10 ⁻⁵	3,9	4.10 ⁻²	10 ⁻³	7.10 ⁻⁴
O10		2,2	0,7	3	97	6.10 ⁻⁵	5,2			
K1	29	2	1,0	2	100	8.10 ⁻⁵	2	10 ⁻²	7.10 ⁻⁴	7.10 ⁻⁴
K2		2,3	1,1	2	91	7.10 ⁻⁵	3,5			
K3		2,9	1,0	3	98	"	3,8			
K4		2,5	1,0	5	94	2.10 ⁻⁴	1,0			
K5		40	0,3	68	36	4.10 ⁻⁴	0,1			
K6	23	2	0,8	2	96	8.10 ⁻⁵	3,3	3.10 ⁻²	8.10 ⁻⁴	6.10 ⁻⁴
K7		2,3	1,0	13	85	10 ⁻⁴	0,8			
K8		1,7	0,8	2	100	7.10 ⁻⁵	2,3			
K9		1,8	1,2	1	100	10 ⁻⁴	1,6			
B1		4,5	0,5	16	76	4.10 ⁻⁴	6,5			
B2		3	2,7	4	98	6.10 ⁻⁵	12,6			
B3		3,5	3,2	2	99	4.10 ⁻⁵	16,5			
B4		2	0,6	2	99	5.10 ⁻⁵	16			
B5		5,7	1,5	6	89	8.10 ⁻⁵	2,7			
B6		3,7	2,4	6	93	5.10 ⁻⁵	5,1			
B7		2,5	1,3	3	99	7.10 ⁻⁵	6,2			
B8		1,6	1,0	1	100	10 ⁻⁴	0,7			



5.3. - ETUDE DES DEPOTS ALLUVIAUX PAR PROSPECTION ELECTRIQUE -

La région de Tamerza n'avait pas fait l'objet de campagnes de prospection électrique et c'est dommage, car on aurait pu en obtenir des résultats intéressants quant à l'hydrogéologie, surtout celle de l'extrémité occidentale du synclinal.

De plus, les sondages de reconnaissance sont moins denses que dans le bassin de Moularès - Redeyef, ce qui constitue un obstacle supplémentaire pour l'interprétation des sondages électriques que nous avons personnellement réalisés.

La Direction des Ressources en Eaux n'ayant pu nous accorder aucune aide en ce qui concerne la géophysique, nous n'avons pu réaliser qu'une reconnaissance électrique légère, et sur deux sites seulement : l'amont du site de barrage projeté sur l'oued el Khanga, et l'amont du seuil de Midès.

5.3.1. - BUTS ET PROGRAMME DE PROSPECTION

Sur le premier site, le but de la campagne électrique était de déterminer l'épaisseur des terrains de couverture reposant sur la formation Beglia et éventuellement de déceler si ces dépôts continentaux comportaient une tranche sèche. Pour cela, nous avons réalisé 27 sondages dans le lit de l'oued el Khanga et 27 encore au niveau des berges de la rive gauche, dont deux pour étalonner les sables de la formation Beglia (S'0 et S'24 r.d). Les sondages S'9 et S'48 ont, pour leur part, été réalisés afin de recouper le niveau phréatique de la nappe de la formation Beglia.

Sur le site de Midès, où nous avons cherché à déterminer l'épaisseur de l'accumulation d'alluvions et la cote du niveau piézométrique, nous n'avons pu implanter que 9 sondages, disposés selon un maillage de 50 à 100 m : la proximité de la frontière algérienne nous interdisait en effet d'étendre notre recherche en direction de l'amont, où la plaine alluviale se prolonge.

5.3.2. - APPAREILLAGE UTILISE ET LIMITES DE LA PROSPECTION

Au cours de la première campagne (décembre 1980 - janvier 1981), nous avons utilisé le BEVAC de l'I.R.I.G.M. Ses performances étaient limitées par la tension du courant injecté et par l'extrême sécheresse de la tranche supérieure des alluvions.

Ansi, nous n'avons pu porter les lignes d'injection AB à plus de 100 m. Quelques mois plus tard, nous avons réalisé une deuxième campagne électrique à l'aide du GEOSTUDY du laboratoire de géologie de la Faculté des Sciences de Sfax. (*)

(*) Nous remercions le Directeur du Laboratoire, Monsieur Amouri M. et M. Rouis Med Jamel qui nous ont aidé à réaliser notre dernière campagne.

Le courant injecté étant débité par un groupe électrogène qui peut produire jusqu'à 500 V, ceci nous a permis d'atteindre des lignes d'injection de 400 m; malgré la sécheresse des alluvions (mai 1981).

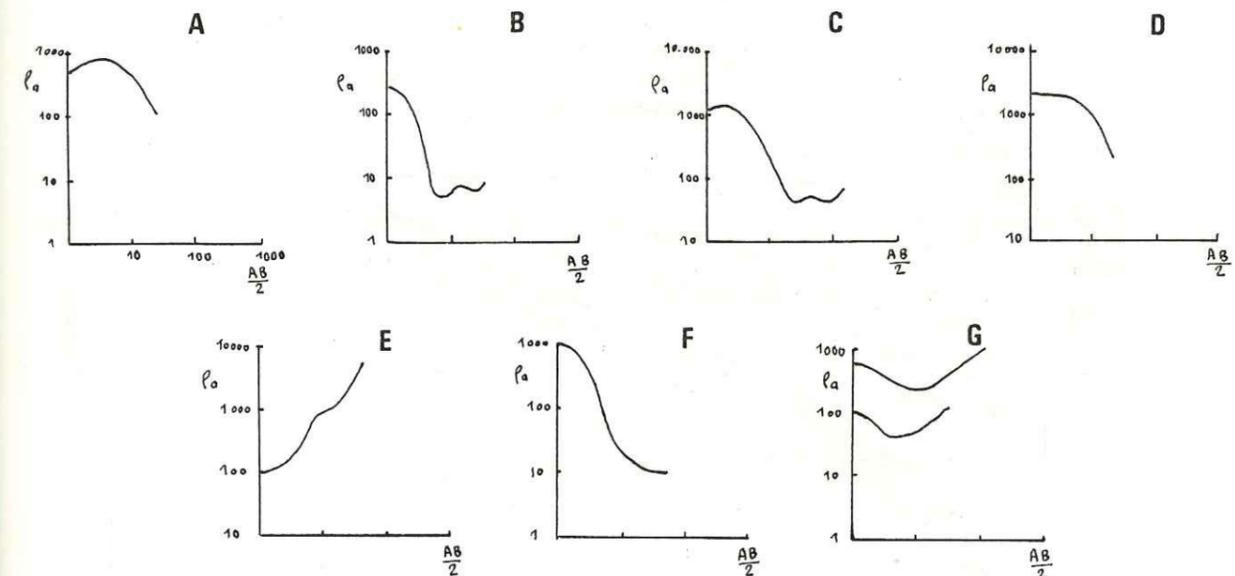
Nous avons totalisé 60 sondages électriques (dispositif Schlumberger AB-MN).

5.3.3. - RESULTATS DES SONDES ELECTRIQUES

En très grande majorité, les courbes de résistivité apparente des sondages exécutés à l'oued el Khanga se regroupent en 4 grandes familles A, B, C, D (fig. 5.5). Trois sondages seulement nous ont donné des courbes complètement distinctes des précédentes (E).

Par contre, les courbes de résistivité apparente des sondages de Midès se regroupent en deux familles (F ; G).

Figure 5.5 : RESULTATS DES SONDES ELECTRIQUES EXECUTES EN AMONT DE LA GORGE DE L'OUED EL KHANGA ET DU SEUIL DE MIDES



5.3.4. - INTERPRETATION DES SONDES ELECTRIQUES

Pour interpréter les courbes de résistivité apparente, nous avons appliqué la méthode du lieu des "croix" qui est due au professeur L. Cagniard. Cette méthode a pour avantage d'utiliser les abaques deux terrains et 3 abaques auxiliaires.

Figure 5.6 : CARTE D'ISORESISTIVITE APPARENTE DE TERRAINS DE SURFACE EN AMONT DE LA GORGE DE L'OUED EL KHANGA

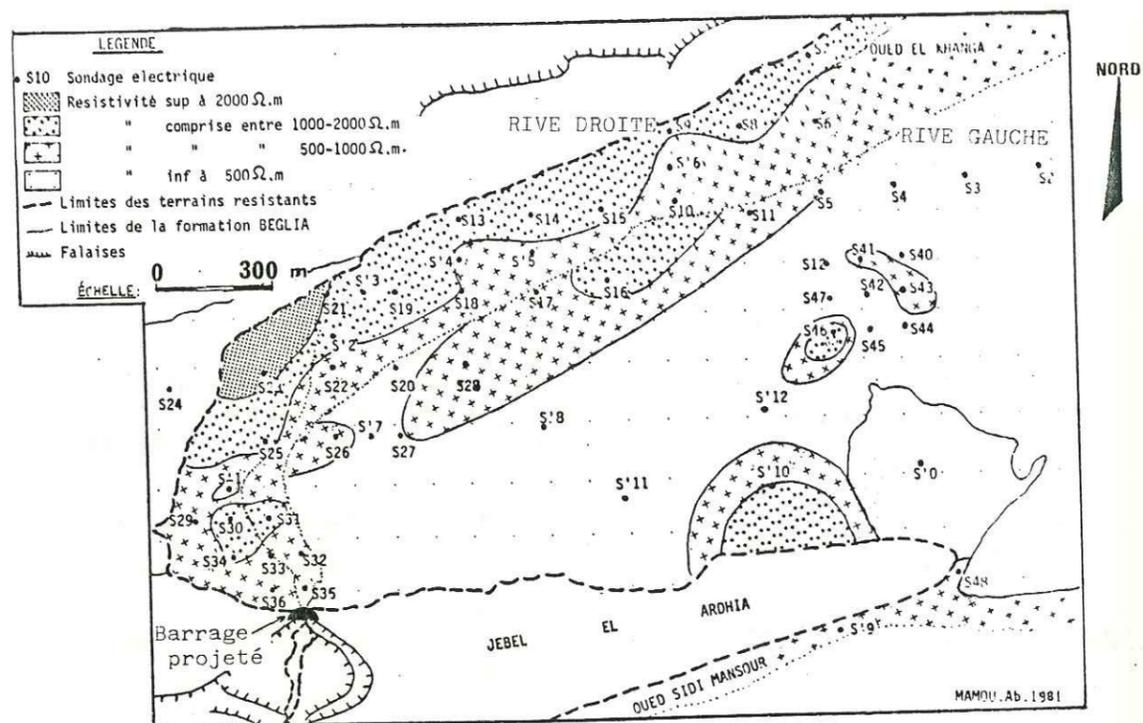
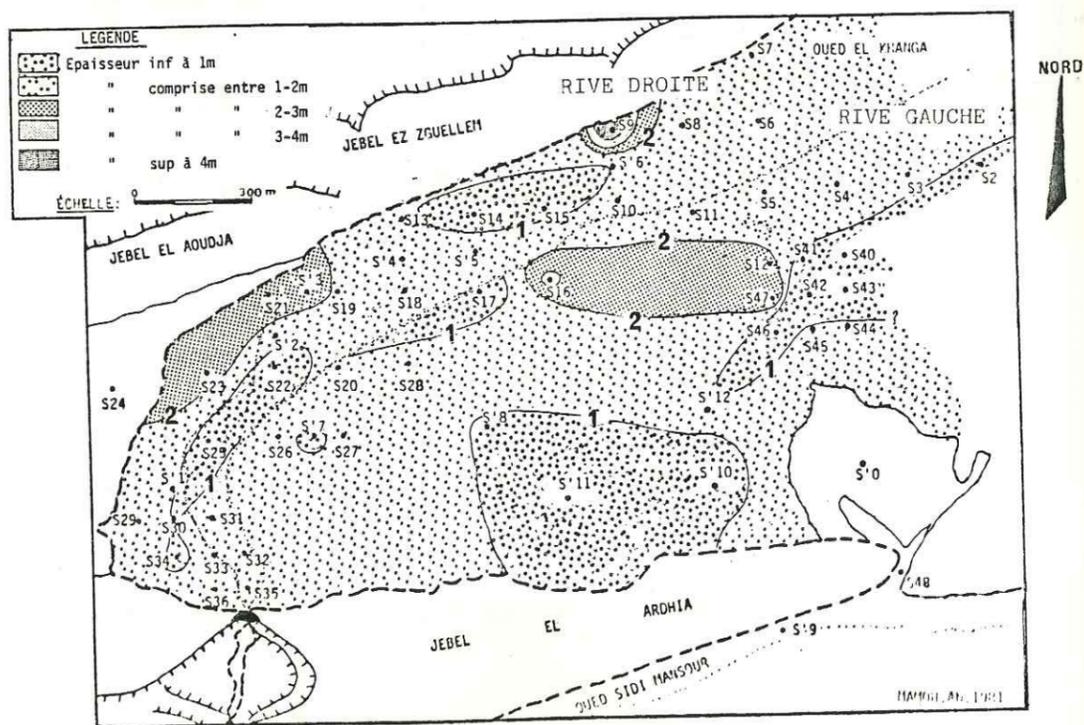


Figure 5.7 : CARTE DES ISOPAQUES DES TERRAINS SUPERFICIELS



Le principe consiste, lorsqu'on a obtenu une courbe révélant la présence de plusieurs terrains, à la décomposer en une série de deux "terrains" en assimilant à chaque fois le groupe de deux terrains qui précèdent celui que l'on étudie à un seul terrain. L'abaque deux terrains fournit alors les rapports de résistivité et l'abaque auxiliaire, les rapports d'épaisseur entre les deux terrains successifs.

Nous avons fait deux interprétations, soit à partir des courbes réelles, soit à partir des courbes lissées.

5.3.4.1. - Secteur de l'oued el Khanga -

A partir de l'interprétation grossière des courbes de résistivité, nous avons tracé les cartes d'isoresistivité apparente et des isopaques des terrains superficiels.

La carte d'isoresistivité (fig. 5.6) montre qu'il y a une certaine hétérogénéité dans les dépôts alluviaux et les dépôts de couverture : les résistivités les plus élevées ($2000 \Omega.m$) correspondent aux dépôts de terrasse (S21, S23), alors que les résistivités les plus faibles ($500 \Omega.m$) correspondent aux dépôts de sable lâche (éolien).

La carte des isopaques (fig. 5.7) montre que l'épaisseur des formations superficielles est variable selon les sondages ($< 1 m$ à $> 4 m$). L'épaisseur faible de terrain superficiel repérée par les sondages S'8, S'11 et S'10 correspond probablement à la partie mouvante des dépôts éoliens. Nous pouvons expliquer l'importance de l'épaisseur du terrain superficiel au niveau du sondage S9 par un surcreusement dû au débouché d'un affluent de l'oued el Khanga.

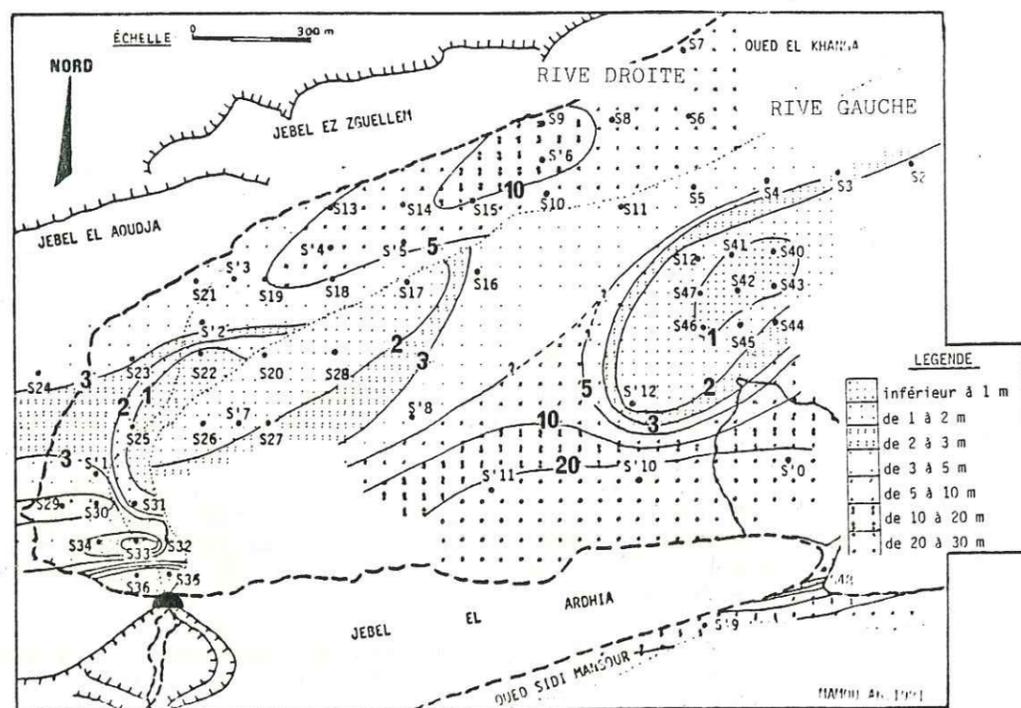
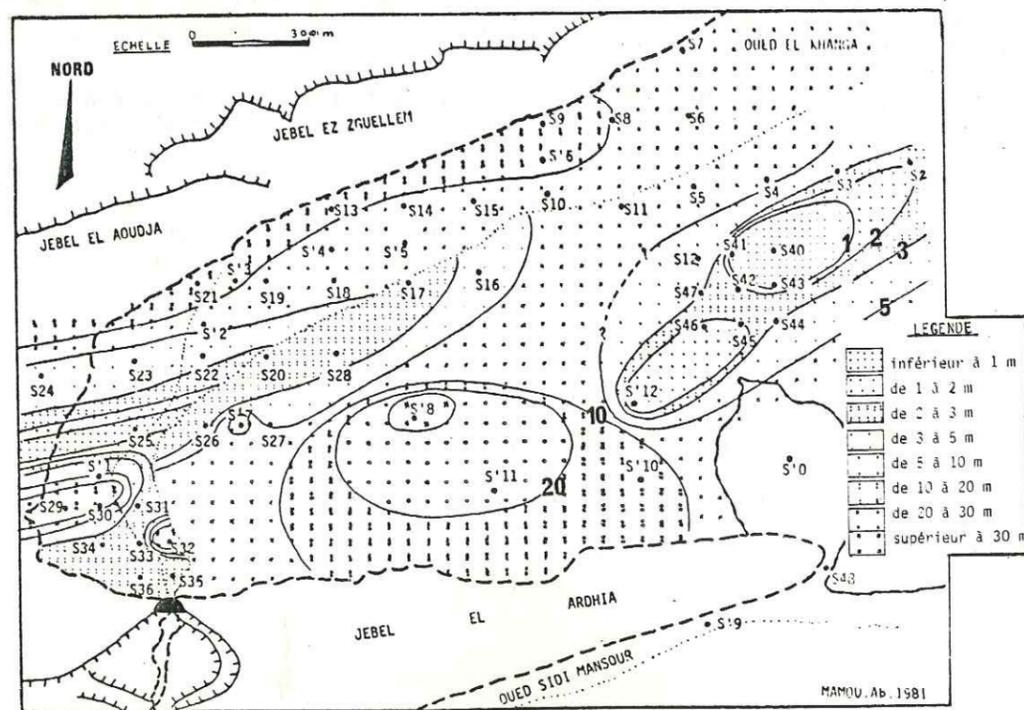
Nous pouvons donc dire que, du lit de l'oued à la retombée du jebel el Ardha, le premier terrain rencontré est hétérogène, à la fois quant à son épaisseur et quant à sa résistivité. La différence de résistivité du terrain de couverture (essentiellement des sables) est due à la granulométrie, au degré de tassement, à la présence de sel ou d'humidité.

L'interprétation plus fine des courbes de résistivité apparente nous a permis de tracer les cartes des isopaques des terrains de résistivité supérieure à 10, 30 et $100 \Omega.m$.

- La carte des isopaques des terrains de résistivité apparente supérieure à $10 \Omega.m$ (Fig. 5.8) montre qu'au niveau des sondages S40, S41, S43, S46 et S'12 leur épaisseur est inférieure à 1 m, de même qu'au niveau du sondage S25. Au contraire, dans l'intervalle qui sépare le premier groupe de S25, les sondages S'8 et S'7 les montrent avec une épaisseur de 20 à 30 m.

D'autre part, les sondages situés à proximité des structures anticlinales montrent que les terrains de résistivité supérieure à $10 \Omega.m$ y sont beaucoup plus épais.

Les terrains de faible résistivité sont soit des niveaux argileux, soit des niveaux saturés. D'après nos observations portant sur le terrain, les tranchées de recherche d'eau, et ce que nous savons de la coupe de la formation Beglia, ces niveaux à faible résistance se rapporteraient à la tranche la plus élevée de la formation Beglia (alternance d'argile et de minces couches de sable) surtout au niveau des sondages S40, S25. Au con-

Figure 5.8 : CARTE DES ISOPAQUES DES TERRAINS DE RESISTIVITE SUPERIEURE à 10 Ω .mFigure 5.9 : CARTE DES ISOPAQUES DES TERRAINS DE RESISTIVITE SUPERIEURE à 30 Ω .m

traire, dans les autres sondages, les niveaux à 10 Ω .m correspondent plutôt à des zones saturées, ou bien à la présence de nodules ferrugineux dans les strates sableuses inférieures de la formation Beglia (sable à bois silicifié).

- La carte des isopaques des terrains de résistivité supérieure à 30 Ω .m (Fig.5.9) montre qu'au niveau des sondages S40, S41; S42, S43, S46, S47, S22 et S25, leur épaisseur est inférieure à 1 m, ce qui confirme les données de la première carte (Fig. 5.8).

Les sondages S17, S20, S26, S28 et S'7 leur assignent des épaisseurs comprises entre 1 et 2 m, ce qui s'expliquerait par la présence de niveaux relativement humides, dont témoignent des suintements observés au long de l'entaille de l'oued.

- Enfin, la carte des isopaques des terrains de résistivité supérieure à 100 Ω .m (Fig. 5.10), nous montre que ces dépôts sont plus épais au niveau des retombées de l'anticlinal alors qu'au milieu du bassin, ces terrains sont moins épais et ne dépassent pas 3 m. Cette carte montre une symétrie de part et d'autre des sondages S40, S42, S27, S28, S20, S22 et S27. Cet axe de symétrie correspond à l'axe du synclinal nord de Tamerza. La faible épaisseur des terrains résistants au niveau de l'axe du synclinal s'explique par les replis secondaires qui affectent les dépôts de la formation Beglia et par la tectonique récente (cf.1.3.3. et 2.3.3.2 - Fig 2.14).

5.3.4.2. - Secteur de Midès -

Les sondages M1 à M9 que nous avons réalisés à l'aide du Bevac en amont du seuil de Midès nous ont permis de tracer la carte d'isorésistivité apparente du niveau superficiel ainsi que la carte des isobathes et la carte d'isorésistivité du deuxième terrain.

La Figure 5.11 montre que la résistivité apparente croît d'aval en amont, de 140 Ω .m (M2) à plus de 1600 Ω .m (M9). Le sondage M2 a été effectué au niveau des dépôts alluviaux relativement humides, alors que les sondages amont ont été exécutés dans des dépôts de plus en plus secs et consolidés. Ainsi nous pouvons dire que, pour des résistivités inférieures à 100 Ω .m, nous atteignons la zone saturée de la nappe alluviale.

La carte d'isobathes (Fig. 5.12) nous montre que l'épaisseur des sables secs varie dans l'intervalle 0,70 - 1,30 m. Ces dépôts sont plus épais au milieu du lit de l'oued et en rive droite.

Sur une coupe transversale, leur allure est donc irrégulière, ce qui implique que le niveau piézométrique n'est pas plan, d'où l'on peut conclure à l'existence de chenaux à écoulement préférentiel. Faute d'un fond topographique détaillé, nous n'avons malheureusement pas pu esquisser la carte isopièze de la nappe au moment de nos mesures (décembre 1980).

La carte d'isorésistivité du deuxième terrain (Fig.5.13) nous montre que celui-ci est peu résistant au niveau des sondages M1 à M5 et M9, alors qu'au niveau des sondages M6, M7 et M8, la résistivité est supérieure à 100 Ω .m.

Figure 5.10 : CARTE DES ISOPAQUES DES TERRAINS DE RESISTIVITE SUPERIEURE à 100 Ω.m

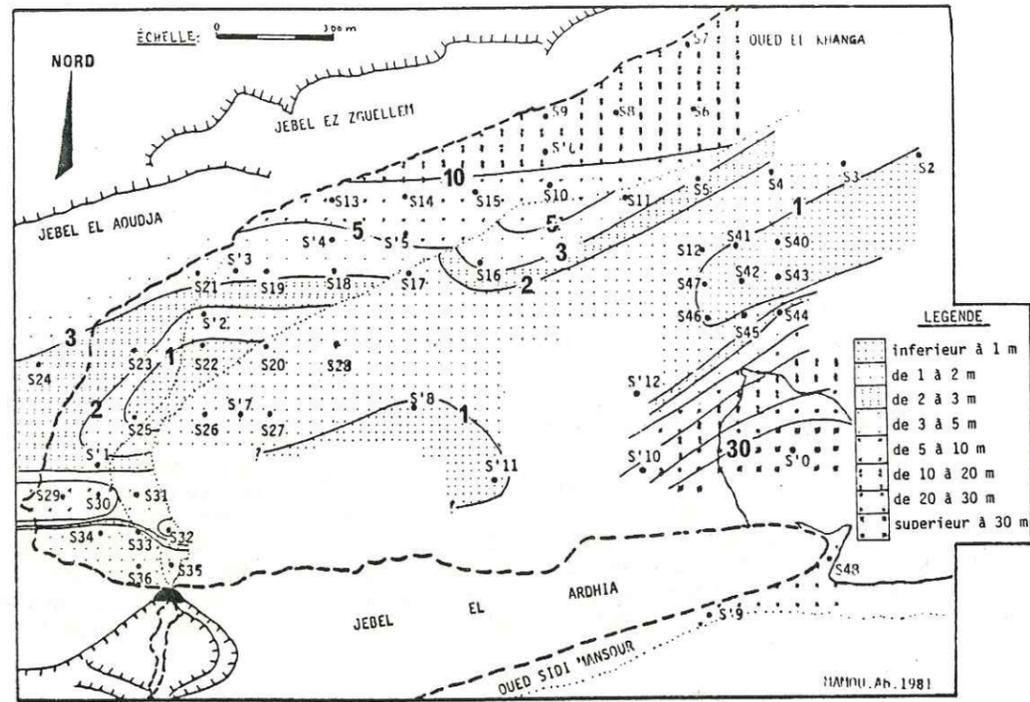


Figure 5.11 : CARTE D'ISORESISTIVITE APPARENTE DES DEPOTS ALLUVIAUX SUPERFICIELS EN AMONT DU SEUIL DE MIDES

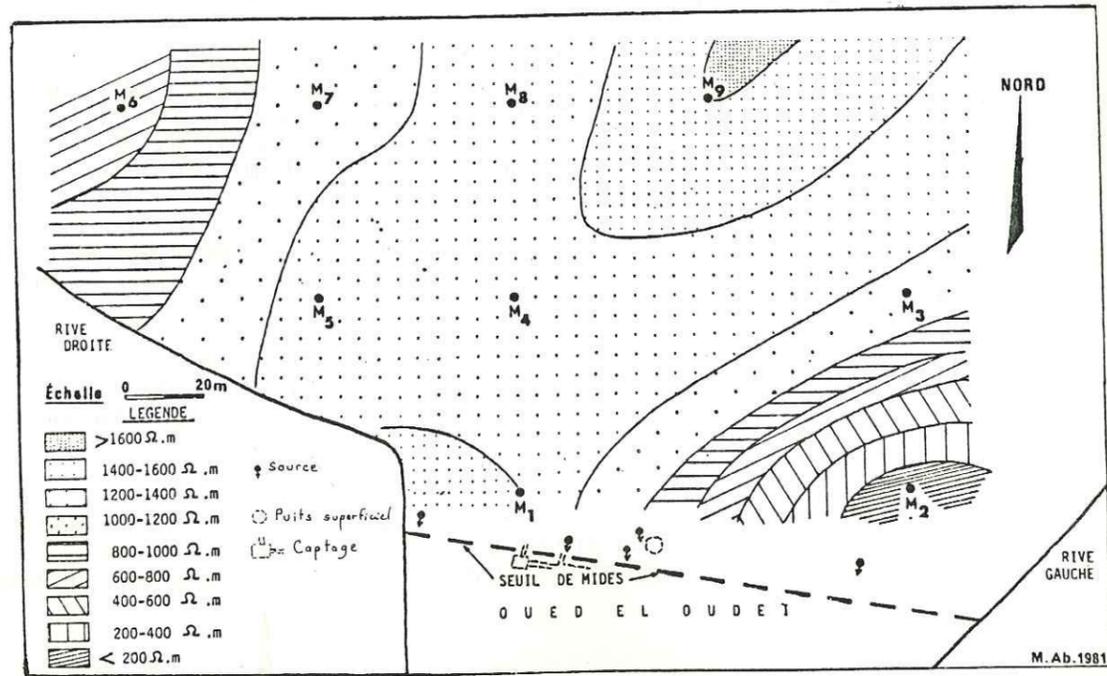


Figure 5.12 : CARTE D'ISOBATHES DES DEPOTS ALLUVIAUX ET COUPES TRANSVERSALES

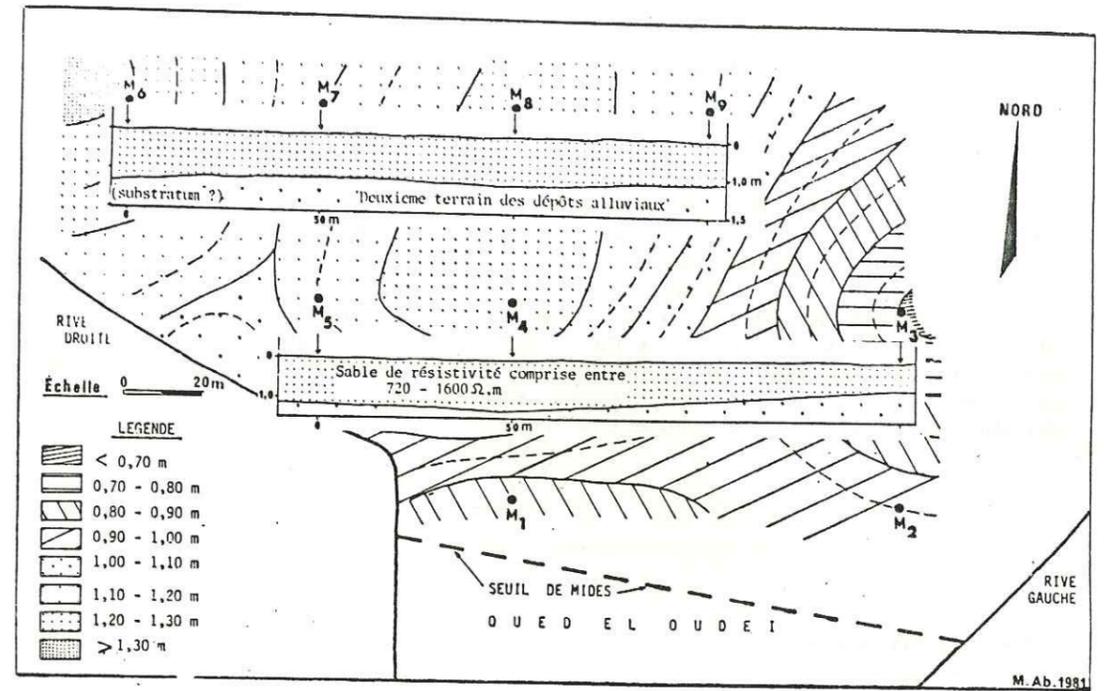
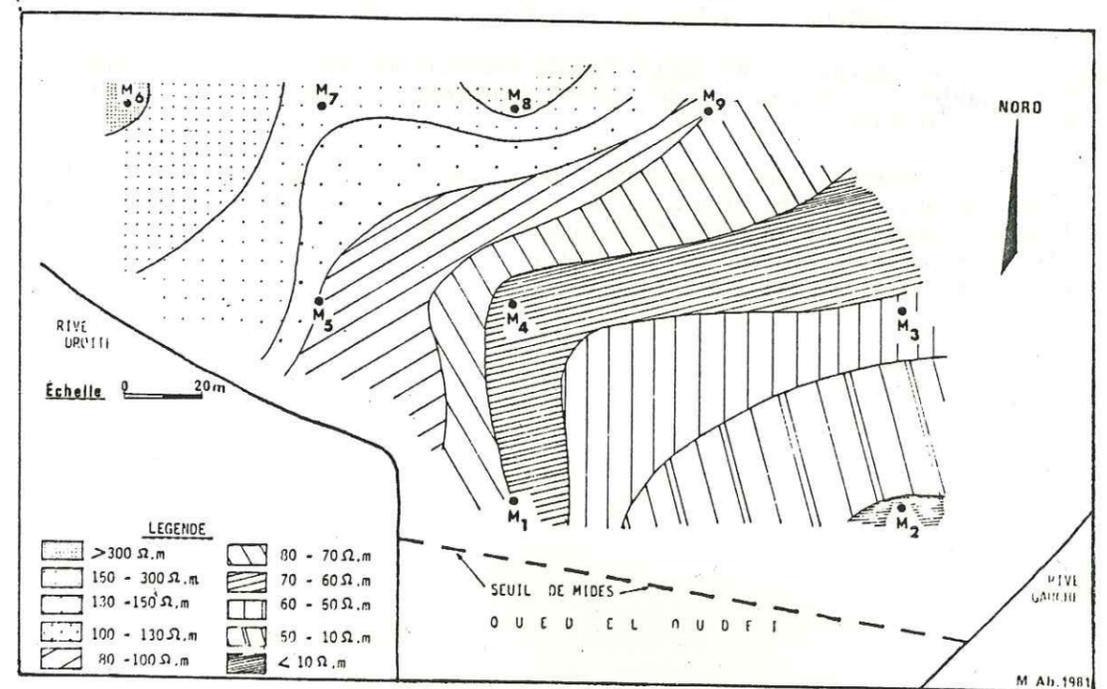


Figure 5.13 : CARTE D'ISORESISTIVITE APPARENTE DU DEUXIEME TERRAIN



Le niveau peu résistant du premier groupe correspond aux dépôts alluviaux saturés, donc le niveau aquifère, alors que pour le deuxième groupe, le niveau résistant correspond soit à un niveau sec des dépôts alluviaux, soit au substratum ou "mur imperméable".

Les courbes de résistivité des sondages M1, M2 et M6 (Famille G définie au 5.3.3.) présentent une branche ascendante après un terrain de faible résistivité ; nous supposons que cette branche doit correspondre au mur imperméable. Ce substratum se situe respectivement aux profondeurs 5,5, 8,0 et 1,3 m pour les sondages M1, M2 et M6. Sur une coupe transversale, le substratum est incliné vers l'Est, c'est-à-dire qu'il est plus déprimé du côté de la rive gauche. Ce surcreusement en amont et vers la rive gauche est dû à la structure en forme de cuvette et au décrochement, déjà signalé dans le paragraphe 4.3.2, qui aurait entraîné un surcreusement local.

5.4 - CONCLUSIONS -

Si les sondages exécutés en amont du seuil de Midès nous ont permis tirer des conclusions concernant l'hydrogéologie et la morphologie du substratum de la nappe, ceux du secteur de l'oued el Khanga nous ont uniquement révélé l'existence de niveaux à faible résistivité correspondant aux intercalations argileuses que peut effectivement présenter le sommet des sables de la formation Beglia vers le milieu de la structure synclinale.

Ailleurs, les niveaux à faible résistivité peuvent correspondre soit à des sables saturés, soit à des sables renfermant un dépôt ferrugineux (sable à bois silicifié).

Cependant, ces interprétations et ces hypothèses exigeront une confirmation qui ne pourra être apportée que par une extension des techniques utilisées : sondages mécaniques d'étalonnage et mesures systématiques des résistivités sur toute la hauteur de la formation Beglia, en tenant compte de la minéralisation de l'eau qui l'imprègne.

CHAPITRE 6 :

FACTIBILITE DU STOCKAGE DE L'EAU DANS LE SABLE ET CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES

INTRODUCTION

- 6.1. - MATERIEL DE STOCKAGE ET TYPE D'OUVRAGE
- 6.2. - INFILTRATION ET EVAPORATION
- 6.3. - REDUCTION DE L'EVAPORATION APRES STOCKAGE
- 6.4. - CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES DES AMENAGEMENTS PROJETES

INTRODUCTION -

La valeur élevée de l'évaporation et l'importance du débit solide des oueds sont les deux facteurs qui nous ont aiguillé vers la technique de stockage dans les matériaux charriés.

Pour que cette technique soit efficace, trois conditions au moins doivent être satisfaites :

- les matériaux de stockage retenus doivent être suffisamment grossiers (au moins sables fins), l'élimination des fines étant assurée par le choix d'un ouvrage approprié ;
- il faut que l'infiltration de l'eau dans le réservoir sableux soit rapide, afin de mettre celle-ci à l'abri d'une évaporation immédiate ;
- pour parer à l'évaporation différée due à l'ascension capillaire, il faut maintenir la nappe souterraine ainsi créée à une profondeur suffisante.

6.1. - MATERIEL DE STOCKAGE ET TYPE D'OUVRAGE -

L'analyse granulométrique des sédiments déposés en amont du barrage de prise de Foum el Khanga nous a montré que ce matériel est formé essentiellement de sable moyen à grossier, voire de graves. Cet ouvrage haut de 4 m n'a retenu que la fraction grossière charriée par les eaux de crue. Donc, pour les ouvrages projetés en amont, il faudra qu'il y ait aussi une possibilité de déversement pour une partie des eaux de crue, afin d'entraîner les fines restées en suspension.

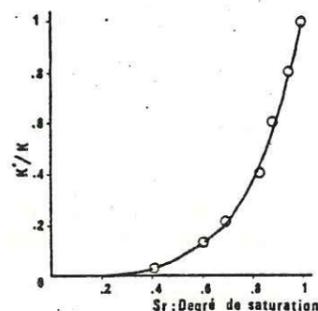
Le type d'ouvrage que nous avons proposé pour les sites amont, surtout pour celui de l'oued el Khanga, tient compte de cette nécessité.

6.2. - INFILTRATION ET EVAPORATION -

SCHOELLER (1962) a étudié l'infiltration dans les terrains à porosité d'interstices sans liaison hydraulique avec la nappe sous-jacente et sous une charge constante ou variable. Ceci correspond approximativement à ce que nous

pourrons avoir à la suite de la première crue.

Les sables alluviaux initialement secs, vont être submergés brutalement sous une lame d'eau h_0 et par une tranche de sable charrié d'une épaisseur x (Fig. 6.1). La vitesse d'infiltration verticale dépend de h_0 et de la perméabilité du sable sec K' (perméabilité réduite à cause de la présence de l'air dans la porosité effective du sable). La perméabilité réduite dépend de la perméabilité réelle K (Darcy) et du degré de saturation.



La relation entre ces termes est sensiblement définie par la courbe suivante.

Figure 6.1 :

RELATION ENTRE K'/K ET LE DEGRÉ DE SATURATION (S_r)
(D'après B.P. GORBUNOV; 1951)

Au cours de l'opération, la saturation augmente sans qu'il y ait changement de la perméabilité du sable sec jusqu'à 20 % de saturation. A partir de ce moment, la vitesse d'infiltration augmente.

D'après la loi de Darcy, la vitesse d'infiltration est égale à :

$$v = Ki$$

La charge appliquée aux molécules d'eau au front de la zone d'infiltration est : $h_0 + x - L + F(e)$ où :

- $F(e)$ = force de succion en force capillaire du terrain ;
- L = résistance qu'oppose l'air à la pénétration de l'eau dans le terrain sec, provoquant une perméabilité réduite ;
- h = hauteur de la lame d'eau (m) ;
- x = épaisseur de sable charrié par la crue et saturé.

Nous pouvons alors déterminer le gradient hydraulique :

$$i = \frac{h_0 + x - L + F(e)}{x}$$

Mais cette formule suppose qu'on a une tranche d'eau renouvelable toujours de même hauteur. Or dans la réalité, les crues et les apports des oueds sont très irréguliers, ce qui entraîne une variation au cours du temps de la tranche d'eau h_0 d'un δh qui dépend de l'évaporation et de l'infiltration ;

la formule précédente doit alors être modifiée :

$$i = \frac{(h_0 - \delta h) + x - L + F(e)}{x}$$

$$v = K \frac{(h_0 - \delta h) + x - L + F(e)}{x} \quad \text{comme } y = ax$$

$$v = \int_{t=0}^{t=t_i} \frac{dy}{dt} = Ka \frac{(h_0 - \delta h) + y/a - L + F(e)}{y}$$

L'intégration de cette expression nous donne la vitesse d'infiltration en fonction de la hauteur d'eau infiltrée d'un instant $t = 0$ à un instant $t = t_i$ qui correspond à un temps où la tranche d'eau se retrouvera entièrement dans le terrain.

A partir de ce moment, la charge hydraulique diminue à cause des forces capillaires H , d'où une nouvelle expression de la vitesse d'infiltration :

$$v = \int_{t=t_i}^{\infty} \frac{dy}{dt} = Ka \frac{(h_0 - \delta h) + y/a - L + F(e) - H}{y}$$

il est logique que cette vitesse soit plus faible que la première.

Nous pouvons donc dire que la vitesse d'infiltration dépend : de la hauteur de la lame d'eau, de la perméabilité des dépôts filtrants, du degré de saturation et du temps.

Dans la réalité, deux cas peuvent se présenter : une crue importante, qui se déversera par-dessus l'ouvrage, ce qui entraînera une bonne partie des particules fines ; une crue de faible débit, à la suite de laquelle une épaisse couche de fines se déposera en amont de l'ouvrage. Dans ce dernier cas, ce "cake" s'opposera ensuite à l'infiltration, même si ces matériaux sont recoupés par les fentes de dessiccation qui se développent en période de sécheresse ; en effet, le retrait cesse alors par le fait de la nouvelle submersion et les fentes se referment plus ou moins vite. Par contre, ce "cake" maintiendrait le sable sous-jacent à un degré d'humidité plus élevé que s'il était à l'air libre : on aurait donc alors un degré de saturation plus élevé et une perméabilité plus satisfaisante.

Figure 6.2 : INFILTRATION DE L'EAU A TRAVERS DES SABLES SECS

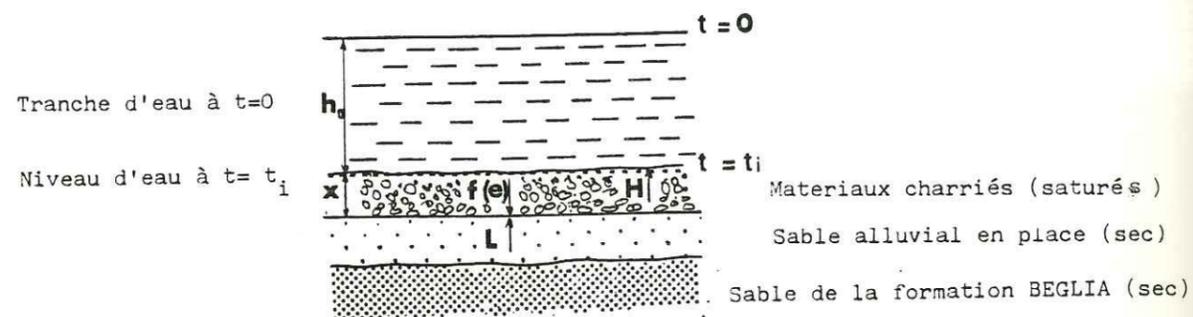
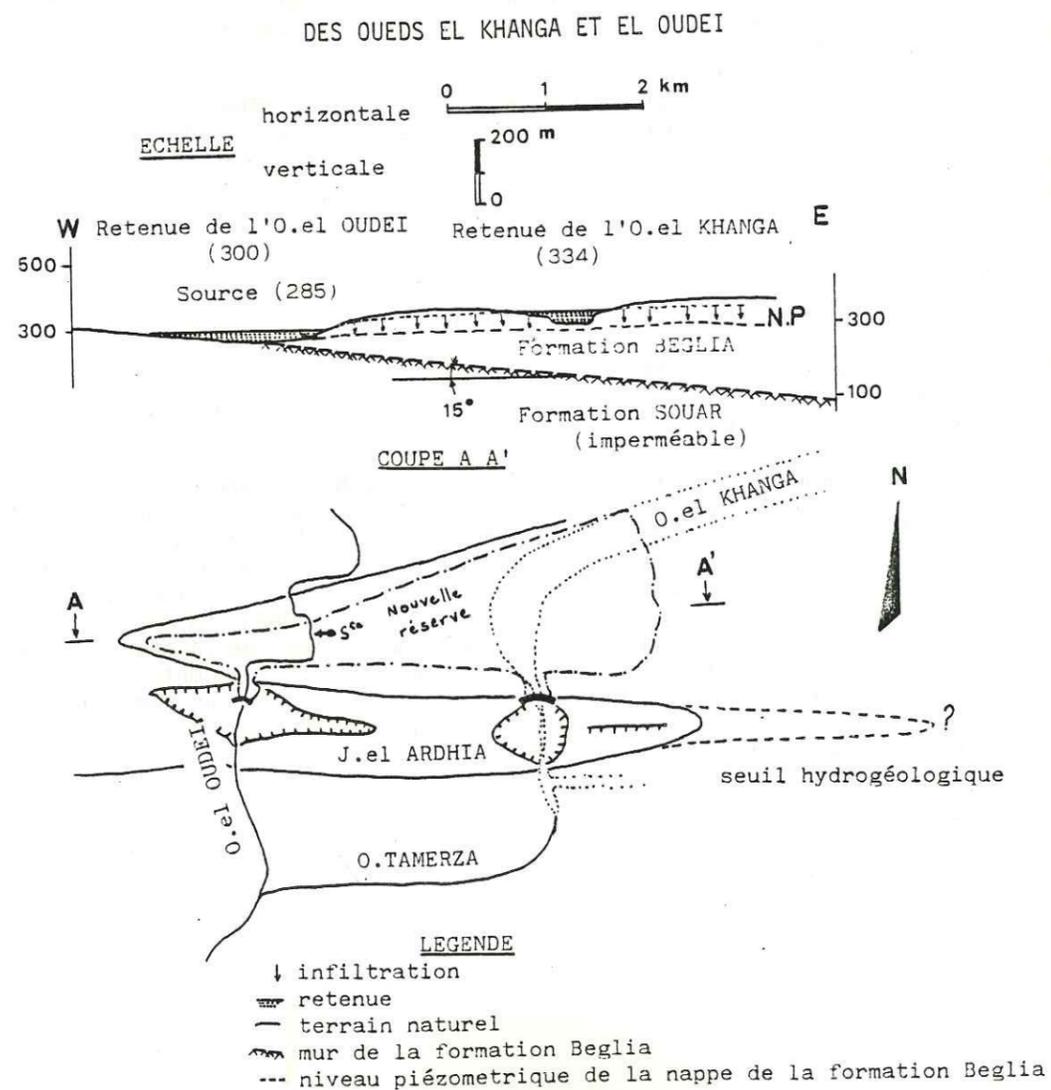


Figure 6.3 : CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES DU BARRAGE DES GORGES



6.3. - REDUCTION DE L'EVAPORATION APRES STOCKAGE -

Nous savons déjà (cf. chapitre 3) que le stockage de l'eau dans le sable réduit considérablement l'évaporation par rapport à ce qu'elle serait dans une retenue à l'air libre. A partir d'une certaine profondeur du niveau piézométrique sous la surface du terrain, la protection peut même devenir quasi totale. Dans le cas de la future retenue de l'oued el Khanga, il n'y aura aucune précaution à prendre pour maintenir l'eau à une profondeur suffisante, celle-ci serait en effet drainée par les dépôts sous-jacents. C'est donc seulement au début de la période succédant à une crue que se produira une perte, tant que les dépôts les plus superficiels ne seront pas ressuyés.

La profondeur à laquelle une nappe se trouve protégée contre l'évaporation par effet capillaire varie en fonction de la granularité de l'aquifère. Quelques chiffres significatifs ont été fournis par les expériences de A. Keen (1927) : 0,35 m dans des sables grossiers ; 0,7 m dans des sables fins ; 0,9 m dans un limon argileux. En effet, il ne s'agit pas d'une protection absolue, car le transit se fait encore au-dessus de la frange capillaire, mais par des mécanismes (pellicules d'eau adsorbée par les grains, phase vapeur) qui en réduisent très considérablement le débit.

Même si la granulométrie des dépôts accumulés grâce aux barrages varie d'un point à un autre, on peut donc estimer malgré tout qu'une profondeur de 1 m environ sera, dans tous les cas, suffisante.

6.4 - CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES DES AMENAGEMENTS PROJETES -

Les deux barrages étudiés sur l'oued el Khanga et l'oued el Oudeï créeraient deux retenues distantes de 2 km, dont les plans d'eau seraient respectivement - pour des ouvrages d'une hauteur de 20 m - aux cotes 334 et 300 (Fig. 6.2).

Dans le cas de l'oued el Khanga, l'eau infiltrée, après avoir traversé le recouvrement alluvial, rejoindrait en profondeur les sables de la formation Beglia. Or ces sables occupent un synclinal recoupé, plus à l'Ouest, par l'oued el Oudeï et déboucheraient ainsi dans la rive gauche de la retenue créée sur celui-ci. L'existence actuelle d'une source (cote 285) à cet endroit prouve déjà qu'au moins localement les conditions d'une circulation souterraine de l'Est vers l'Ouest existent. Mais nous pensons que la différence de charge provoquée artificiellement d'un bassin vers l'autre a des chances d'amplifier ce transit : il y aurait à la fois création d'une réserve dans la partie du synclinal comprise entre les deux oueds (sous la cote 334) et d'un supplément d'alimentation pour la retenue la plus basse (oued el Oudeï).

Il semble donc que, si l'infiltration des eaux de crue peut se poursuivre assez longtemps sans être limitée par un malencontreux colmatage des alluvions superficielles, on aboutirait au remplissage du vaste réservoir constitué par la tranche sèche des sables de la formation Beglia, en plus des dépôts alluviaux stockés. Ce réservoir s'étendrait à l'Ouest, au-delà de l'oued el Oudeï, et vers l'Est jusqu'au point où l'effacement progressif de l'anticlinal d'el Ardha empêche celui-ci de jouer plus longtemps son rôle de seuil hydraulique (ce point, faute de reconnaissances profondes, ne peut être déterminé avec précision).

Ainsi délimité, entre les deux anticlinaux qui le bordent au Nord et au Sud, le réservoir synclinal a une superficie d'environ 1,75 km² et doit contenir un volume de sable d'environ 60 Mm³. Une porosité moyenne de 20 % lui conférerait donc une capacité de plus de 10 Mm³.

- CONCLUSIONS -

Le problème qui nous était posé était celui d'un éventuel développement hydroagricole de la région de Tamerza. Ce qui supposerait avant tout, qu'il soit démontré qu'une augmentation des ressources locales est possible.

Après examen de diverses possibilités et compte tenu des conditions topographiques, hydrauliques, hydrogéologiques et climatiques, la solution qui nous a paru répondre le mieux à ce cas particulier est celle du stockage des eaux dans les matériaux meubles retenus par des barrages relativement petits.

Ceci nous a donc conduit à aborder des domaines très variés ; pour certains d'entre eux, tels que climat et hydrologie, nous avons dû pallier l'absence de stations de mesure en nous livrant à des estimations, basées sur des données de provenance plus ou moins éloignée, ou sur des moyennes régionales.

Pour la géologie et l'hydrogéologie, outre les observations de surface détaillées que nous avons pu réaliser, nous n'avons malheureusement pu disposer d'aucun moyen de reconnaissance profond, tel que sondages ou piézomètres, qui nous auraient permis une reconstitution satisfaisante des structures aquifères naturelles et des réserves qu'elles peuvent déjà recéler.

En ce qui concerne les barrages, notre examen des caractéristiques géotechniques des gorges des oueds el Khanga et el Oudeï nous a permis de définir les implantations et les types d'ouvrages qui sont réalisables dans des gorges étroites.

La reconnaissance très détaillée des multiples points d'eau de la région nous a amené, par le moyen d'un classement thermique et chimique, à définir l'existence de plusieurs nappes distinctes.

Enfin, l'étude des caractéristiques granulométriques et hydrauliques des alluvions actuelles des oueds et de celles qui ont comblé la retenue du barrage de prise de Foum el Khanga nous permet d'être optimiste quant aux capacités d'absorption de ces matériaux, à condition que les ouvrages soient conçus pour n'en retenir que la fraction suffisamment grossière.

L'aspect favorable du projet ne se limite d'ailleurs pas à l'accumulation d'une nappe souterraine dans les alluvions stockées derrière les bar-

rages. En effet, les deux retenues étant situées sur une même structure synclinale dont le coeur est constitué par une formation sableuse (Formation Beglia), on peut espérer qu'il en résultera l'accumulation d'une réserve beaucoup plus importante.

Mais avant de réaliser un tel projet, il resterait encore beaucoup à faire. Et d'abord sur le plan de la position actuelle des nappes : des piézomètres implantés dans la formation Beglia seront nécessaires pour y situer le niveau phréatique et, par la suite, pour observer son évolution lorsque les dispositifs de rétention des crues seront en place.

Plus généralement, on devra être en mesure de vérifier l'efficacité du stockage souterrain en comparant les données piézométriques et les enregistrements de stations de mesure des débits liquides superficiels.

Enfin, si l'on souhaite que cet aménagement fournisse des données expérimentales utilisables ensuite sur d'autres sites, il faudra y assurer une observation détaillée des apports liquides et solides (débits, type de matériaux, chimie des eaux, etc...).

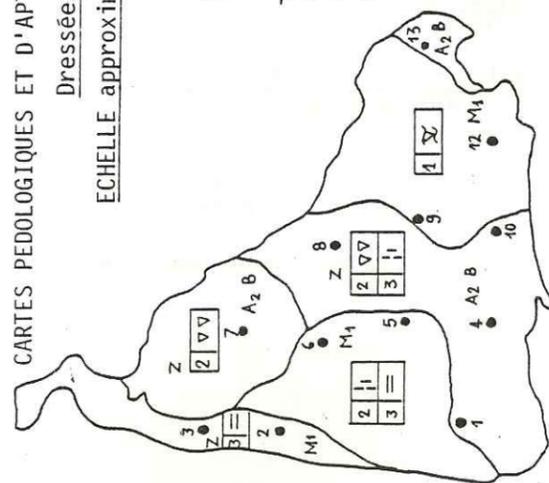
Ces restrictions faites, il nous semble qu'au niveau d'une reconnaissance d'avant-projet, nous apportons un document de travail qui peut servir de base de départ pour les études ultérieures.

ANNEXE : I

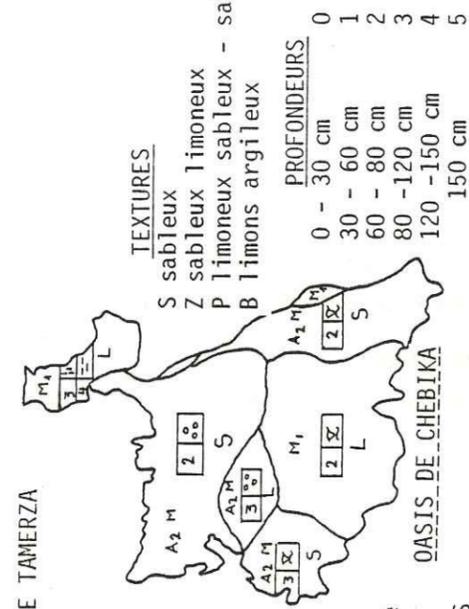
CARTES PEDOLOGIQUES ET D'APTITUDES DES OASIS DE LA REGION DE TAMERZA

Dressées par P. MARTINI (1968)

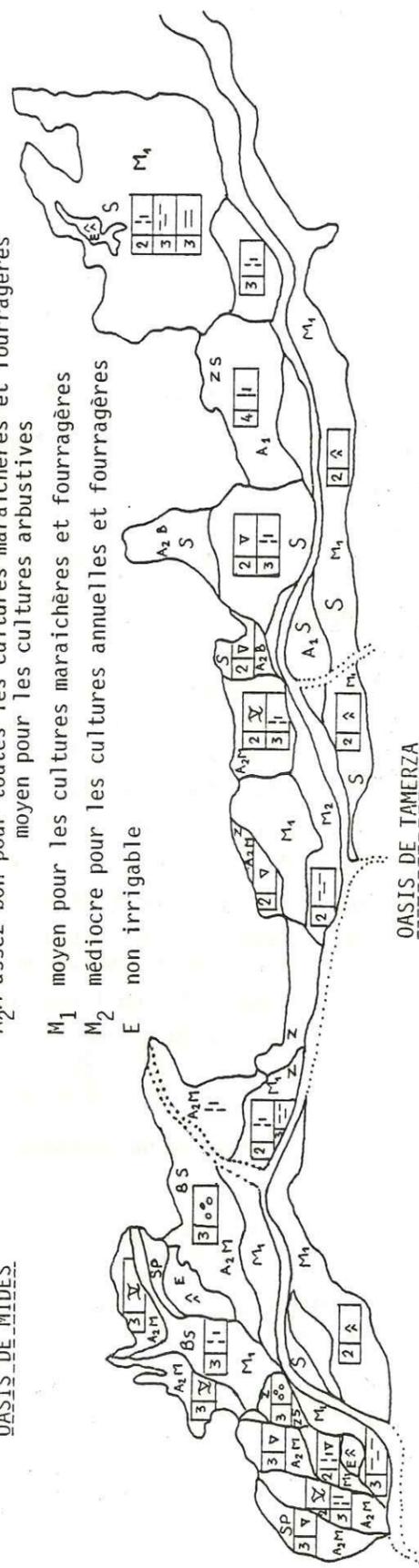
ECHELLE approximative : 1/10000



OASIS DE MIDES



OASIS DE CHEBIKA



OASIS DE TAMERZA

TEXTURES
 S sableux
 Z sableux limoneux
 P limoneux sableux - sablo-argileux
 B limons argileux

PROFONDEURS
 0 - 30 cm
 30 - 60 cm
 60 - 80 cm
 80 - 120 cm
 120 - 150 cm
 150 cm

HYDROMORPHIE
 | pseudogley

SIGNES COMPLEMENTAIRES
 = nappe
 v amas et nodules de Gypse
 x encroutement friable calcaire
 A affleurement ou dalle calcaire
 % présence de cailloux

APTITUDES

A₁ bon pour toutes les cultures arbustives, maraichères, fourragères
 A₂B assez bon pour toutes les cultures arbustives, maraichères, fourragères
 A₂M assez bon pour toutes les cultures maraichères et fourragères moyen pour les cultures arbustives
 M₁ moyen pour les cultures maraichères et fourragères
 M₂ médiocre pour les cultures annuelles et fourragères
 E non irrigable

- ANNEXE II -

CALCUL DE L'EFFICACITE DU STOCKAGE
DANS LES RETENUES ENSABLEES DU SW AFRICAIN

d'après O. Wipplinger.

NOTATION -

- n : porosité du sable
 W_1 : teneur volumique du sable à la fin de la saison pluvieuse, à la saturation, $W_1 = n$, se produit à la suite d'années exceptionnellement pluvieuses.
 W_2 : rétention spécifique de sable avec une quantité d'eau moyenne W_1 .
 V_s : volume du sable (m^3).
 H_s : hauteur maximale du sable (m).
 Q_A : volume d'eau extrait (m^3/an).
 T_E : temps nécessaire pour l'approvisionnement de la tranche supérieure exposée à l'évaporation, 0,9 m (ans).
 T_D : temps total de l'approvisionnement du réservoir (ans)
 R_E : rapport du volume exposé à l'évaporation au volume total du sable =

$$\frac{0,9.S}{\frac{1}{3} H_s.S} = \frac{2,7}{H_s}$$

 F : efficacité du stockage = $\frac{\text{extraction journalière possible}}{\text{volume d'eau absorbé}}$

O. Wipplinger suppose que l'évaporation n'affecte que la tranche supérieure du sable, en 3 mois, quand il n'y a pas d'eau extraite du réservoir.

D'autre part, il suppose que cette tranche est complètement humide au cours de la saison pluvieuse.

ANALYSE -

L'apport maximum de base peut être de $V_s W_2$.

Quand T_D , T_E $\frac{1}{4}$ an, l'apport journalier peut être déduit de $R_E V_s W_2$ et la réduction journalière par évaporation peut être proportionnelle à T_E : $T_E/1/4 R_E V_s W_2$.

Apport journalier pour la tranche exposée à l'évaporation : $Q_A T_E$

$$Q_A T_E = R_E V_s W_2 - T_E \frac{1}{4} R_E V_s W_2 \quad (1)$$

Apport journalier pour la tranche inférieure du sable ($H_s - 0,9$)m =

$$Q_A (T_D - T_E) = (1 - R_E) V_s W_2 \quad (2)$$

$$\frac{(1)}{(2)} = \frac{T_E}{T_D - T_E} = \frac{R_E (1 - T_E/1/4)}{1 - R_E}$$

$$T_D - T_E = T_E \frac{1 - R_E}{1 - T_E/1/4} = \frac{1 - R_E}{R_E} \left(\frac{1}{\frac{1}{T_E} - 4} \right)$$

$$T_D - T_E = T_E + \frac{1}{\frac{H_s}{2,7}}, \quad \frac{1}{\frac{1}{T_E} - 4} \quad (3)$$

$$F = \frac{\text{extraction journalière possible}}{\text{volume total d'eau absorbé}} = \frac{Q_A T_D}{R_E V_s W_1 + (1 - R_E) V_s W_2}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{de l'équation (1)} \quad R_E V_s = \frac{Q_A T_E}{W_2 (1 - T_E/1/4)} \\ \text{de l'équation (2)} \quad (1 - R_E) V_s W_2 = Q_A (T_D - T_E) \end{array} \right\} F = \frac{Q_A T_D}{\frac{W_1 Q_A T_E}{W_2 (1 - T_E/1/4)} + Q_A (T_D - T_E)}$$

$$F = \frac{T_D}{T_D - T_E + \frac{W_1}{W_2} \frac{1}{\frac{1}{T_E} - 4}} \quad (4)$$

Les équations 3 et 4 ne peuvent pas être résolues pour n'importe quelle valeur de H_s et T_E .

Hs (m)	$\frac{1}{(H_s - 0,9)^3 - 1}$	T_E (an)	$\frac{1}{T_E - 4}$
3	0,52	0,25	
6	1,59	0,24	6,0
9	2,69	0,23	2,86
12	3,85	0,22	1,82
15	4,90	0,20	1,0
18	6,25	0,18	0,64
21	7,12	0,14	0,32
24	8,3	0,10	0,17
27	9,34	0,05	0,06
30	10	0,0	0,0

Si on connaît le temps d'approvisionnement de la tranche supérieure (T_E), la hauteur maximale du sable et le rapport W_1/W_2 , on peut calculer T_D = temps total de l'approvisionnement du réservoir à l'aide de l'équation (3).

Par exemple $W_1 = 0,4$ $W_2 = 0,25$ $\frac{W_1}{W_2} = 1,6$ $H_s = 30$ m $\frac{1}{\left(\frac{H_s}{H_s - 0,9}\right)^3 - 1} = 10$

Pour $T_E = 0,14$ $\frac{1}{T_E - 4} = 0,32$

$$T_D = T_E + 10 \cdot 0,34 = 0,14 + 10 \cdot 0,32 = 3,32$$

Pour calculer F on applique l'expression (4)

$$F = \frac{T_D}{T_D - T_C + \frac{W_1}{W_2} \frac{1}{\frac{1}{T_E} - 4}} = \frac{3,32}{3,18 + 1,6 \cdot 0,32} = 0,90$$

	T_E	0,14	0,10	0,05
(3)	T_D	3,32	1,77	0,67
(4)	F	0,90	0,91	0,93

En faisant des calculs pour des H_s différents, O. Wiplinger a pu tracer les courbes d'égale efficacité de stockage dans le sable (cf. fig. 3.14).

- ANNEXE III -

Pour étudier l'effet du gypse sur la salinité de l'eau de la future retenue de l'oued el Oudeï, nous avons réalisé une série de mesures de la conductivité et de la teneur en gypse au Laboratoire de l'E.G.T.H. et sur le terrain.

LES DONNEES DE TERRAIN -

En partant des sources de Midès, nous avons mesuré la conductivité de l'eau tout le long de l'oued el Oudeï à des endroits précis en trois périodes différentes (décembre 1979, mars et juin 1980). Nous avons choisi nos points de mesure en fonction des affleurements de bancs de gypse dans le lit de l'oued (Fig. 1).

Les mesures de conductivité ont été faites à l'aide de l'appareil WTW Messgerat - D 8 120 Weilheim et les valeurs obtenues corrigées en fonction de la température de l'eau.

Les valeurs trouvées ont été reportées en ordonnées sur un graphique dont les abscisses représentent la distance comptée à partir de l'exutoire de Midès (Fig. 2). Les apports latéraux (sources), qui entraînent une variation de la conductivité, ont été situés au long de l'oued sur la figure 1.

Nous avons constaté deux augmentations de la conductivité :

- la première entre les sources de Midès et la sortie de la gorge du jebel Brikiss (1-2) ;
- la seconde, moins importante, à la rencontre des deux dernières sources précédant la station de l'oued el Oudeï, avant le confluent avec l'oued Tamerza (point 11 - Fig. 1).

Au contraire, la conductivité reste quasiment stable à la traversée des affleurements de gypse de la formation Metlaoui inférieure et de l'Eocène supérieur au coeur du synclinal.

Ces mesures fournissent une image des variations de la minéralisation des eaux traversant des formations lithologiquement différentes ; mais elles montrent aussi que ces variations sont différentes lorsque les eaux re-traversent une deuxième fois ces mêmes formations au-delà de l'axe anticlinal (point 9, cf. Fig.1).

Figure 1 : CARTE DE SITUATION DES STATIONS DE MESURE DE LA CONDUCTIVITE LE LONG DE L'OUED EL OUDEI

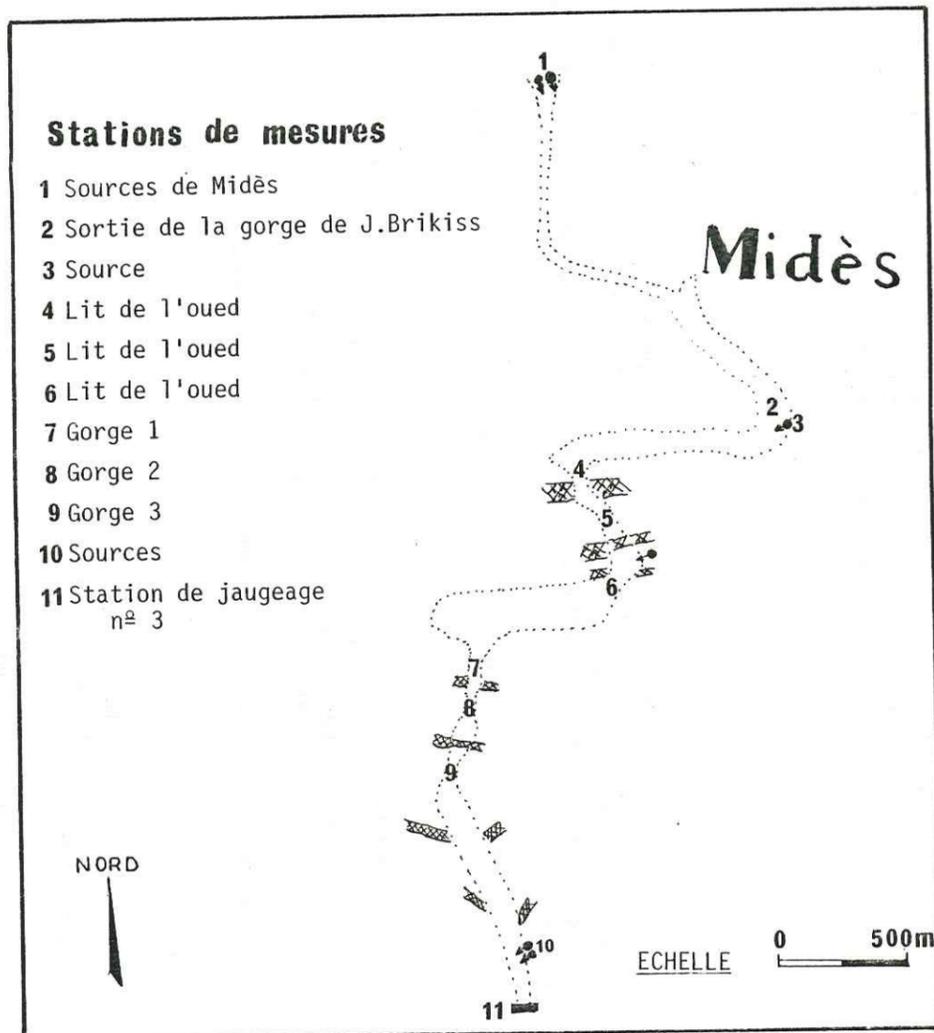
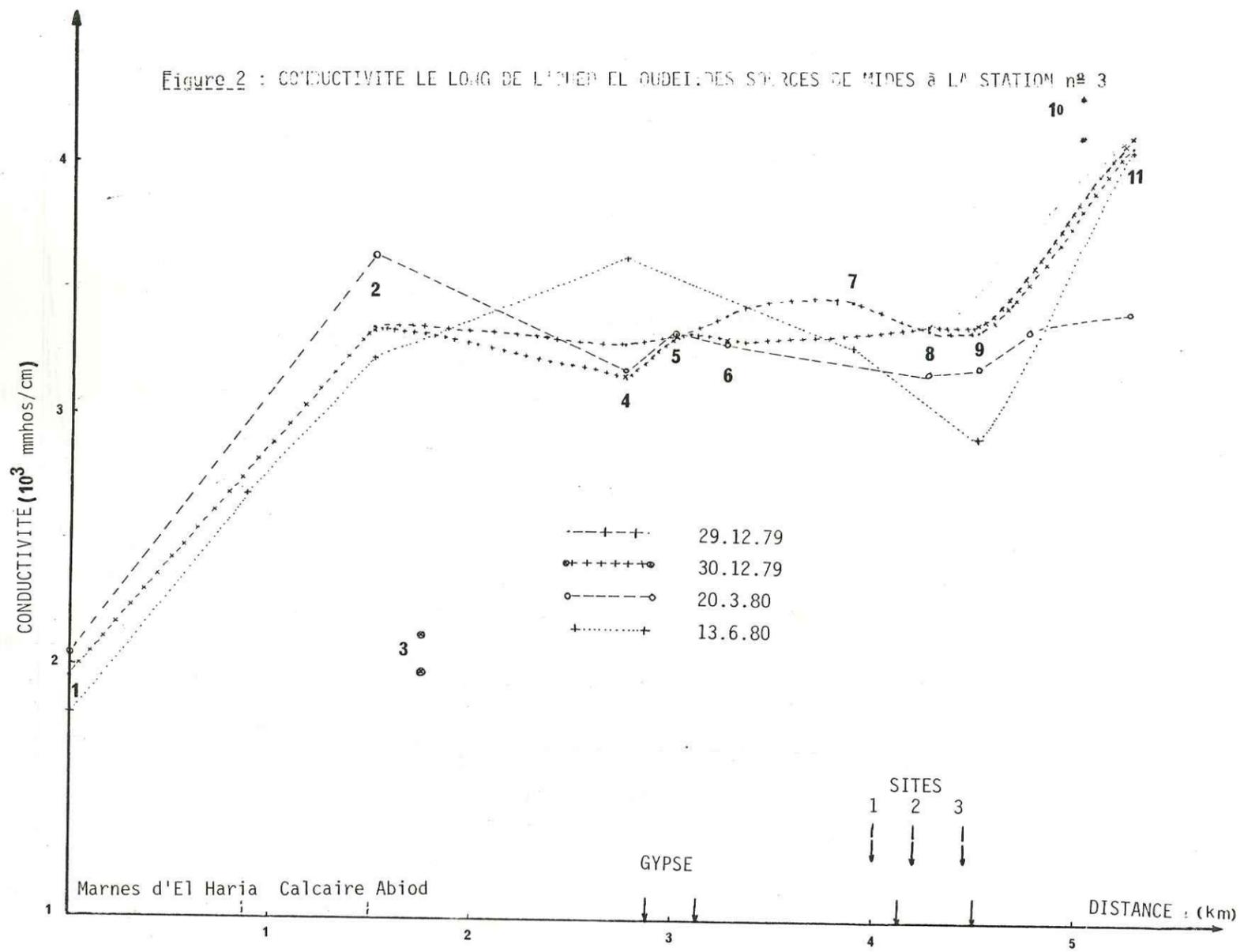
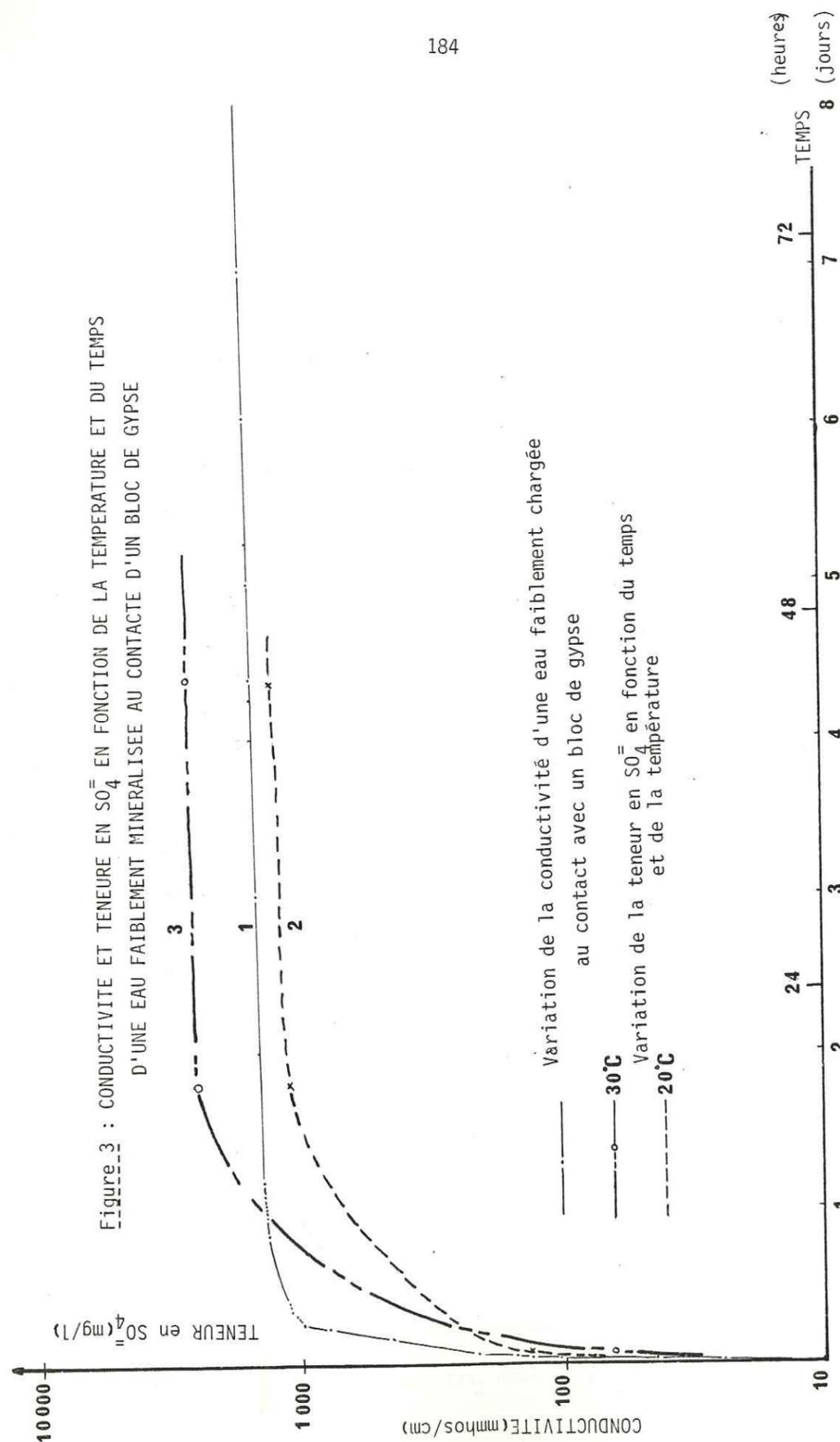


Figure 2 : CONDUCTIVITE LE LONG DE L'OUED EL OUDEI DES SOURCES DE MIDES A LA STATION n° 3





Nous pouvons penser que l'eau des sources de Midès, d'abord agressive, se sature progressivement en traversant les marnes de la formation el Haria et le calcaire de la barre supérieure de la formation Abiod (gorge du jebel Brikiss). A la sortie de celle-ci, l'eau, pratiquement saturée, a perdu toute agressivité. Les augmentations de la conductivité observées sont dues à l'apport latéral des sources de la rive gauche de l'oued el Oudeï.

EXPERIENCES DU LABORATOIRE -

Pour évaluer la dissolution du gypse au contact d'une eau immobile, ce qui serait le cas dans la retenue de l'oued el Oudeï, nous avons immergé de petits blocs de gypse (30 à 50 cm³), préalablement taillés, dans une eau de faible conductivité (eau distillée) ou de forte conductivité (eau de l'oued el Oudeï prélevée au point 11 - cf. Fig.1).

Des mesures périodiques de la conductivité et de la teneur de l'eau en sulfate en fonction de la température, nous ont permis de tracer les courbes de la figure 3.

La courbe 1 nous montre que l'eau faiblement chargée (à 20°C, température ambiante du laboratoire) dissout très activement le gypse pendant les premières heures et que sa conductivité se stabilise bientôt aux alentours de 1 500 à 2 000 mmhos/cm.

A ce stade, nous avons introduit un agitateur dans le bac, mais ceci n'a pas provoqué d'augmentation de la conductivité ; il semble donc y avoir saturation à ce niveau de concentration.

Parallèlement, des blocs de gypse taillés ont été immergés dans une eau faiblement chargée ; sur des prises d'eau faites à intervalles réguliers, nous avons dosé la teneur en sulfate ; cette expérience a été réalisée à deux températures différentes (20 et 30°C).

Les courbes 2 et 3 montrent que la concentration se stabilise au bout de 24 h, et que l'eau est plus chargée quand on opère à 30° qu'à 20°C.

En ce qui concerne notre future retenue de l'oued el Oudeï, les risques d'augmentation de la salinité des eaux pérennes des sources de Midès doivent être écartés, car elles arrivent au site avec une conductivité déjà plus élevée que celle que nous avons obtenue lors de l'essai à l'eau distillée. En revanche, si les eaux des sources ne parviennent plus à la retenue par suite de leur captage, nous ne devons plus compter que sur celles des crues, pour lesquelles nous devons nous attendre à une faible minéralisation, probablement de l'ordre de 2 à 3 g/l.

Pour compléter nos informations à ce sujet, il serait très intéressant de poursuivre l'étude de l'évolution de la salinité des eaux après la réalisation du barrage.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMAND C.-DELAQUAIZE B.(1977):Analyse physicochimique des eaux. Memento pratique,Laboratoire d'hydrologie de l'Université Scientifique et Médicale de Grenoble,Institut Dolomieu;21p.
- ANDRIEU M.(1974):Etude par prospection électrique de la région de Moularès-Redeyef.Rapport interne de la D.R.E.S.
- ANTOINE P.-BARBIER R.(1973):Géologie des barrages de faible hauteur et de leur retenue. Ann.Inst.Tech.Bat. Tra.Pub.Fr n° 312 série sols et fondation n° 101;pp27-36.
- BAUMER M.(1978):L'eau dans les zones arides.Technologie appropriées de conservation et d'utilisation. Total information n° 73;pp15-21.
- BEN AYED N.(1980):Le rôle des décrochements E-W dans l'évolution de l'Atlas tunisien.C.R.Somm.Soc.Géol.Fr. fasc 1;pp29-32.
- BERKALOFF E.-TIXERONT M.J.(1958):Carte de ruissellement annuel moyen en Tunisie. Notice,Imp.officiel ;11p.
- BESBES M.(1978):Etude hydrogéologique du bassin de Moularès-Redeyef.Modèle mathématique.Ecole des Mines;41p.
- BUREAU DE L'INVENTAIRE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES(1950):Barrage sur l'oued el Kébir.Graphique des capacités;2p.
- BOURGES J.(1974):Aperçu sur l'hydrologie du Centre Sud tunisien.Reseau d'observation et crues exceptionnelles. D.R.E.S;2p.
- BURGER S.W.-BEAUMONT R.D.(1966):Sand storage dams for water conservation.National Mechanical Engineering Research Institute.
- BUROLLET P.F.(1956):Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale.(Thèse Alger). Ann.Mines.Géol.(Tunis)n° 8;325p.
- CASTANY G.(1951):Etude géologique de l'Atlas tunisien oriental.(Thèse Paris).Ann.Mines.géol.(Tunis)n°8;632p.
- CASTANY G.(1966):Traité pratique des eaux souterraines.Paris Dunod;661p.
- CENTRE NATIONALE D'ETUDE AGRICOLE(1979):Plan directeur des eaux du Sud-Projet de création et de rénovation des oasis dans le Sud tunisien . Rapport général ;150p.
- CLAUDON G.(1975):Methodes et applications du dépouillement des sondages électriques à "n" terrains. Memoire de D.E.A.Géologie appliquée.Université de Besançon ;46p.
- COQUE R.(1962):Etude géomorphologique de la Tunisie présaharienne. Paris Armond Colin ;420p.
- COEUR-BIZOT J.(1950):Sondage de la retenue du barrage de l'oued el Kébir. Neyrpic Grenoble ;11p.
- DELTEIL F.'Deseneux' (1981):Sur la datation des niveaux à bois fossiles du Sud-Ouest tunisien. C.R.Acad.Sc.Paris.(déposé le 11.5.81) ;5p.
- DURAND R.(1954):Observation sur le charriage solide de quelques oueds de la Tunisie. Neyrpic, laboratoire dauphinoise d'hydraulique ;21p.
- FABRE D.-ROBERT J.P.(1975):Analyse expérimentale des ruptures de la couverture liées à un mouvement décrochant du socle et applications. Ann.Soc.Géol.Nord. XCV 3 ;pp175-182.
- FARHAT H.(1978):Hydrogéologie du bassin de Moularès-Redeyef. D.R.E.S ;3p.
- FERSI M.(1979):Estimation du ruissellement moyen annuel sur les bassins du Sud-Est, Sud-Ouest et du Sahel sud. D.R.E. Gabès ;4p.
- FOURNIE D.(1978):Nomenclature lithostratigraphique des séries du Crétacé supérieur au Tertiaire de Tunisie. Bull.Cent.Rech.Explor.Prod.ELF-Aquitaine 2 ;pp97-148.
- FREYDET P.-DELTEIL F.'Deseneux'-BOUREAU E.(1981):Sur les conditions de sédimentation de niveaux à bois fossiles du "Continental terminal dans le Sud-Ouest tunisien. Résumé d'une note préparé pour le 1^{er} Congrès National des Sc. de la terre ;1p.
- GAUSSEN-VERNET (1954):Carte des précipitations moyen annuel des années 1900 à 1940. Imp.La rapide ;20p.
- GAZZAH A.(1977):Compte rendu de fin de forage piézomètre de Redeyef n° 18 686/5. D.R.E.S ;2p.
- GIGNOUX M.-BARBIER R.(1955):Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques. Paris Masson ;344p.
- GIRAUD A.(1974):Etude géologique sur quelques sites de barrages. Essai méthodologique. Thèse de 3^{ème} cycle Grenoble ;114p.
- GORBUNOV B.P.(1951):About permeability of loess soils with fractured structure. Works of the Institute of construction AN vol 2 Tashkent.
- GOTTIS G.-STROHL R.(1952):Les grands barrages de la Tunisie. 19^{ème} Congrès géologique Inter. Monographie régionale 2^{ème} série Tunisie n° 4 ;pp5-10.
- GROUPE HUIT-CERES (1973):Villes et développement. Ministère de l'Economie Nationale .Direction de l'aménagement du territoire. 2volumes ;1191p.
- GROUPE DE TRAVAIL PERMANENT POUR LES BARRAGES EN AMENAGEMENT RURAL (1977):Technique des barrages en aménagement rural. Ministère de l'Agriculture - Direction de l'aménagement (France) ;325p.
- HAZAN R.-THAVIN J.P.(1968):Un exemple de recharge de nappe:le bassin de Charf el Akab (province de Tânger,Maroc) Bull.B.R.G.M ;pp75-78.
- HOUPERT R.(1970):La résistance à la rupture des roches en compression simple. C.R. 2^{ème} Congrès Inter.Méca.Roch. Belgardes Vol 2 Communi. 3-8 ;7p.

- KEEN A.(1927):The limited role of capillarity in supplying water to plant roots. Washington , First Inter.Congress. of soil. Science Vol 1 ;p504.
- KESSEN W.J.(1976):Reconnaissance en vue de captage et exploitation des eaux des oueds el Khanga et el Oudeï. Rapport interne de l'E.G.T.H. Section Génie Civil ;36p.
- KESSEN W.J.(1979):Remarques relatives à l'exploitation des ouvrages aménagés à Fom el Khanga-Tamerza en 1978-79. Rapport interne de l'E.G.T.H. Section Génie Civil ;3p.
- KESSEN W.J.(1979):Reflexions sur les possibilités de l'exploitation des crues pour l'agriculture au Sud tunisien (région de Tamerza-Midés). Rapport interne de l'E.G.T.H. Section Génie Civil ;10p.
- KESSEN W.J.(1980):Note: Visite du barrage de prise de Fom el Khanga -Digue de déviation et apis de Tabeditt. Rapport interne de l'E.G.T.H. Section Génie Civil ;13p.
- LETOURNEUR J.-MICHEL R.(1971):Géologie du Génie Civil: Paris Armand Colin ;728p.
- MARTIN A.-MOUSSU M.(1968):Alimentation artificielle de la nappe de Sébikotane (Sénégal) par création d'une retenue d'eau. Bull.de B.R.G.M. 2^{ème} série section III n°1 ;pp79-87.
- MARTINI P.(1968):Cartes pédologique et d'aptitudes des oasis de Tamerza , Midés et Chebika. Service pédologique Ministère de l'Agriculture ;4cartes.
- MENARD M.(1937):Note sur le barrage en enrochements construit sur l'oued el Kébir, sur les fuites constatées à la mise en charge de l'ouvrage et sur les travaux d'étanchements réalisés. Direction des Travaux Publics.
- MENARD M.(1941):Natices sur le barrage reservoir construit sur l'oued el Kébir à Sidi Boubaker. Direction des Travaux Publics.
- MULLER FUGA J.F.(1952):Conditions favorables à l'alimentation des nappes en pays arides (Sahara oriental). 19^{ème} Cong.Géol.Inter.Alger ,section 8 ,fasc 8, résumé ;p105.
- PREZIOSI P.(1954):La classification des climats par l'emploi des indices climatiques-Essai d'application de la nouvelle classification de Thornthwaite à la Tunisie. D.R.E.S ;11p.
- PROST A.(1897):Hydrologie du bassin tunisien du chott el Gharsa. 32p.
- RICOLVI M.(1977):Forage de l'oued Zelles n°18 716/5. Service Géol. et Rech. de la C^{ie} des phosphates ;2p.
- RICOLVI M.(1977):Etude hydrogéologique du bassin de Moularès-Redeyef. D.R.E.S.-Serv.Géol.et Rech.C^{ie} des phosphates 35p.
- RIOU CH.(1979):Evaluation de l'évaporation des nappes d'eau libre pour quelques stations de Tunisie. 9p.
- ROUX H.-DOUVILLE H.(1910):La géologie des environs de Redeyef . Bull.Soc.Géol.Fr. 4^{ème} Série 10 ;pp646-660.
- ROUX H.(1911):Les plis des environs de Redeyef-Contribution à l'étude de l'Atlas saharien. Bull.Soc.Géol.Fr. 4^{ème} Série 11 ;pp249-284.
- SASSI M.(1974):La sédimentation phosphatée au Paléocène dans le Sud et le Centre-Ouest de la Tunisie. Thèse Sci. Orsay 249p +1vol fig +1vol Pl.
- SAUERMAN H.B.(1966):Water storage in sand-filled dams. National Mechanical Engineering Research Institute.
- SCHNEIDER B.(1966):Contribution à l'étude des massifs de fondation de barrage. Trav.Lab.Géol.Grenoble mém 7 ;242p.
- SCHOELLER H.(1962):Les eaux souterraines . Paris Masson ; 642p.
- SEKLANI M.(1976):Economie et population du Sud tunisien . Paris, C.N.R.S ; 455p.
- SIMLER L.-CARNEIRO FEITOSA E.(1968):Prospection électrique- Application de la méthode et notion pratique d'exploitation et de présentation des résultats. Bull. du B.R.G.M. 2^{ème} série section III n° 4 ;pp45-50.
- SO.G.ET.H.A.(1961):Etude hydrologique de l'oued el Khanga- Stations de jaugeage .Projet ;3p.
- SO.G.ET.H.A.(1964):Aménagement de l'oued el Khanga- Etude hydrologique ;96p.
- SOLIGNAC M.(1931):Le Pontien dans le Sud tunisien. Ann.Univ. de Lyon ,nouvelle série I Sci.Méd. fasc 48.
- SOLIGNAC M.(1932):Carte géologique provisoire au 1/200 000. Tunisie , feuille de Gafsa n° XVII.
- S.N.P.A. (1976):Etude des déformations structurales . Les plis en échelon de Redeyef. Rapport inédit ;35p.
- STEBLINE A.(1961):Oued Tamerza- Etude hydrogéologique de la zone de captage de la rive gauche- Sondages de prospection avec étude de perméabilité (note provisoire). G.H.A.R ;6p.
- SYKES G.G.(1937):Desert water tanks. Engineering news record n° 1
- THOMAS Ph.(1885):Sur la découverte de gisements de phosphates de chaux dans le Sud de la Tunisie. C.R.Acad.Sci. Paris 101 ;pp1184-1187.
- TIXERONT M.J.(1951):Etude du ruissellement et de l'érosion dans le bassin de l'oued el Kébir. D.R.E.S ;10p.
- TIXERONT M.J.(1956):Transport de matériaux et ruissellement de l'oued el Kébir , periode 1952-1956.
- TIXERONT M.J.-BERKALOFF E.(1957):Evaluation de l'érosion en Tunisie par la méthode hydrologique , periode 1953-1956. C.R.Assem. de l'A.I.H.S. de Toronto ;pp260-265.
- TIXERONT M.J.(1958):Le ruissellement en Tunisie. Imp. Bascour et Muscat ;13p.
- TIXERONT M.J.(1960):Les débits solides des cours d'eau d'Algérie et de Tunisie. H.A.R. série 2 fasc 1 ;37p.
- WIPPLINGER O.(1958):The storage of water in sand an investigation of the properties of nature and artificial sand reservoirs and of methods of developing such reservoirs. South West africa administration water affairs branch. Windhoek S.W.A ;107p.
- WIPPLINGER O.(1974):Sand storage dams in South-West africa. Die siviele ingenieur in Suid africa ;pp135-136.
- WIPPLINGER O.(1981):Copie d'article (sans titre ni référence) ;12p.

TABLEAUX	Pages
0.1 Evolution de la population entre 1956-1966	7
0.2 Composition de la population active (1966)	9
0.3 Proportion des jeunes	9
0.4 Composition de la population de la région de Tamerza	12
0.5 Emplois dans la région de Tamerza	12
0.6 Superficie et production des oasis de la région de Tamerza	13
1.1 Nomenclature lithostratigraphique	20
2.1 Evapotranspiration potentielle dans la région de Tamerza	47
2.2 Indices climatiques de Thornthwaite des bassins versants des oueds el Khanga et el Oudeï	51
2.3 Ruissellement selon M.Fersi et M.J.Tixeront	54
2.4 Crues des oueds el Khanga et el Oudeï	56
2.5 Taux d'abrasion et teneur en suspension des eaux des crues des oueds el Khanga et el Oudeï	57
2.6 Inventaire des points d'eau de la région de Tamerza-Tableau récapitulatif	62
2.7 Caractéristiques physiques des eaux de la région de Tamerza	68
3.1 Evaporation des nappes d'eau libre de quelques stations en Tunisie	87
3.2 Envasement et perte de capacité de la retenue de l'oued el Kébir	91
3.3 Données relatives de l'évolution de la retenue du barrage de l'oued el Kébir Pluviométrie-Volume exploité-Evaporation	92
5.1 Tableau récapitulatif des caractéristiques des dépôts alluviaux et continentaux	157
FIGURES	
0.1 Carte de situation	6
0.2 Extrait de la carte topographique (feuille de Mélaoui)	8
0.3 Aménagement hydraulique de la région de Tamerza-Carte du réseau hydrographique	10
1.1 Evolution paléogéographique de la Tunisie présaharienne	18
1.2 Carte de localisation des coupes géologiques et des colonnes stratigraphiques	22
1.3 Colonne stratigraphique de la formation Aleg	24
1.4 Colonne stratigraphique des formations Abiod et El Haria	25
1.5 Colonne stratigraphique des terrains eocènes	26
1.6 Carte des affleurements phosphatés et corrélation des profils stratigraphiques des tranchés TK2 , TAMII	28
1.7 Colonne stratigraphique du "Continental terminal":formations Sehib et Beglia	30
1.8 Carte géologique des formations superficielles de la région de Tamerza	32
1.9 Cadre tectonique de la région de Tamerza	
1.9.a Carte géologique du "Triangle de Moularès"	35
1.9.b Carte tectonique simplifiée de l'Atlas tunisien	35
1.10 Coupes sériées des flancs nord et sud du jebel Bliji	37
1.11 Coupes du jebel Brikiss et du synclinal de Tamerza	38
2.1 Carte des précipitations sur le bassin versant de l'oued Fom el Khanga	44
2.2 Courbes hypsométriques des bassins versants des oueds el Khanga et el Oudeï	44
2.3 Carte des isohyètes des années 1968-1971 (Gouvernorat de Gafsa)	45
2.4 Précipitation annuelle en fonction de la latitude	45
2.5 Température moyenne annuelle en fonction de l'altitude	47
2.6 Lame ruisselée en fonction de la précipitation moyenne annuelle et l'indice de pente global	53
2.7 Hydrogrammes des crues des oueds el Khanga et el Oudeï	55
2.8 Carte hydrogéologique de la région de Moularès-Redeyef-Tamerza Carte piézométrique du bassin de Moularès-Redeyef	58
2.9 Carte des points d'eau de la région de Tamerza	60
2.10 Etude hydrogéologique de l'oued Tamerza-Carte des sondages de reconnaissance	64
2.11 Sondage de la rive gauche de l'oued Tamerza	65
2.12.a Analyses chimiques des eaux des familles A.C.E.G.	69
2.12.b Analyses chimiques des eaux de la famille B	70
2.12.c Analyses chimiques des eaux des familles C.D	71

2.13 Coupe au niveau du seuil de Midès	74
2.14 Exemple de drain naturel de la nappe éolienne, rive gauche de l'oued el Khanga	74
2.15 Coupe transversale de l'oued Tamerza	76
3.1 Carte de situation des grands ouvrages hydrauliques en Tunisie	84
3.2 Techniques de stockage de l'eau dans les monts de Matmata	84
3.3 Schéma du barrage collinaire de Matmata	86
3.4 Schéma géologique du bassin versant de l'oued el Kébir	88
3.5 Evolution du réservoir de l'oued el Kébir	90
3.6 Courbes des capacités de la retenue du barrage de l'oued el Kébir	90
3.7 Les phases d'envasement de la retenue de l'oued el Kébir(1959-1979)	93
3.8 Pluviométrie-Débits des conduites vers Tunis-Evaporation(1959-1979)	93
3.9 Courbes d'efficacité du stockage en retenue classique	96
3.10 Techniques de stockage de l'eau dans le sable-Méthode d'exploitation par drainage	95
3.11 Projet d'aménagement de la région de Tamerza	97
3.12 Barrage de prise de Foug el Khanga	97
3.13 Ensablement de la station de jaugeage n° 4 par les apports solides de l'oued Foug el Khanga	99
3.14 Courbes d'efficacité de stockage en retenue ensablée	96
4.1 Colonne lithostratigraphique des unités entaillées par l'oued el Khanga	108
4.2 Fracturation du rocher de fondation	109
4.3 Extension de la retenue du projet de barrage de l'oued el Khanga	112
4.4.a Coupes sériées transversales du Sud au Nord de l'oued el Khanga	114
4.4.b Coupe longitudinale Nord-Sud de l'oued el Khanga	114
4.5 Carte géologique du jebel el Ardha	115
4.6 Graphique de capacité de la retenue libre de l'oued el Khanga	117
4.7 Schéma du type d'ouvrage pour l'aménagement de l'oued el Khanga	119
4.8 Différentes méthodes d'obturation des "fentes" de déversement	119
4.9 Fracturation de la barre Abiod supérieure (gorge 2)	130
4.10 Coupe longitudinale de l'oued el Oudeï	130
4.11 Géologie des sites 1 et 2 de l'oued el Oudeï-Extension probable de la retenue créée par un barrage de 20 m de hauteur	131
4.12 Schéma du type d'ouvrage pour la surélévation du seuil de Midès	139
4.13 Fracturation au niveau du seuil de Midès	139
5.1 Courbes cumulatives des échantillons de la retenue du barrage de prise de Foug el Khanga	151
5.2 Courbes cumulatives des dépôts alluviaux de l'oued el Oudeï	152
5.3 Courbes cumulatives des dépôts alluviaux de l'oued el Khanga	154
5.4 Courbes cumulatives des sables de la formation Beglia	156
5.5 Résultats des sondages électriques exécutés en amont de la gorge de l'oued el Khanga et du seuil du Midès	159
5.6 Carte d'isorésistivité apparente des terrains superficiels en amont de la gorge de l'oued el Khanga	160
5.7 Carte des isopaques des terrains superficiels	160
5.8 Carte des isopaques des terrains de résistivité supérieure à 10 Ω .m	162
5.9 Carte des isopaques des terrains de résistivité supérieure à 30 Ω .m	162
5.10 Carte des isopaques des terrains de résistivité supérieure à 100 Ω .m	164
5.11 Carte d'isorésistivité apparente des dépôts alluviaux superficiels en amont du seuil de Midès	164
5.12 Carte d'isobathes des dépôts alluviaux et coupes transversales	165
5.13 Carte d'isorésistivité apparente du deuxième terrain	165
6.1 Relation entre K'/K et le degré de saturation (Sr)	170
6.2 Infiltration de l'eau à travers des sables secs	172
6.3 Conséquences hydrogéologiques du barrage des gorges des oueds el Khanga et el Oudeï	172

PHOTOS

1.1 Vue aérienne de l'écroulement au Sud-Ouest de l'oasis de Tamerza	34
--	----

3.1 Barrage de prise de Foug el Khanga, septembre 1979	100
4.1 Vue aérienne du site de l'oued el Khanga	106
4.2.a Texture de la base de la barre carbonatée (toit de la série phosphatée)	111
4.2.b Texture des niveaux carbonatés du rocher de fondation	111
4.3 Vue aérienne des gorges de l'oued el Oudeï	124
4.4 Vue d'amont de la gorge 1	126
4.5 Vues d'amont et d'aval de la gorge 2	126
4.5' Vue d'amont de la gorge 3	128
4.6.a Gorge 1:vue des marmites creusées dans la barre carbonatée(toit de la série phosphatée)	128
4.6.b Vue de la gorge 2	128
4.7 Vue aérienne du site de Midès	136

CARTE HORS TEXTE

P1 1.1 Carte géologique de la région de Tamerza (1/25 000)	
--	--

TABLE DES MATIERES

	Pages
AVANT-PROPOS	
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE -	
0.1 Introduction générale	5
0.2 Généralités	7
0.2.1 Cadre géographique	7
0.2.2 Cadre économique et social	7
0.2.3 Réseau hydrographique	11
0.2.4 Données statistiques sur la région de Tamerza	11
0.2.5 Projet d'aménagement et plan d'étude	13°
DEUXIEME PARTIE -	
<u>CHAPITRE 1 - ETUDE GEOLOGIQUE</u>	
1.1 Géologie régionale	19
1.1.1 Historique des travaux	19
1.1.2 Cadre structural et paléogéographique	19
1.2 Stratigraphie de la région de Tamerza	21
1.2.1 Crétacé supérieur	21
1.2.1.1 Formation ALEG	23
1.2.1.2 Formation ABIOD	23
1.2.2 Passage Crétacé-Tertiaire	23
1.2.3 Eocène	27
1.2.3.1 Formation METLAOUI	27
1.2.3.2 Formation SOUAR	29
1.2.4 Dépôts du "Continental terminal"	29
1.2.4.1 Coupe de l'oued el Khanga	31
1.2.4.2 Coupe de Henchir el Hanoute	31
1.2.5 Formation SEGUI	31
1.2.6 Formations superficielles	33
1.2.6.1 Dépôts alluviaux	33
1.2.6.2 Eboulis et écroulements rocheux	33
1.2.6.3 Dépôts éoliens	36
1.2.6.4 Dépôts lacustres ou lagunaires	36
1.3 Tectonique de la région de Tamerza	36
1.3.1 Anticlinal du jebel Blijj	36
1.3.2 Anticlinal du jebel Brikiss	39
1.3.3 Synclinal de Tamerza	39
<u>CHAPITRE 2 - HYDROLOGIE ET HYDROGEOLOGIE</u>	
2.1 Climat	43
2.1.1 Précipitations	43
2.1.2 Températures	46
2.1.3 Evaporation et évapotranspiration	48
2.1.3.1 Evaporation	48
2.1.3.2 Calcul de l'évapotranspiration potentielle	49
2.1.4 Végétation	51
2.2 Hydrologie	52
2.2.1 Ruissellement	52
2.2.2 Crues saisonnières	54
2.2.3 Débit solide	56

2.3 Hydrogéologie	59
2.3.1 Inventaire des points d'eau de Tamerza et caractéristiques hydrogéologiques des différentes formations	59
2.3.2 Caractéristiques physicochimiques des eaux	63
2.3.2.1 Température	66
2.3.2.2 Conductivité	67
2.3.3 Alimentation et sens d'écoulement des nappes	73
2.3.3.1 Nappe alluviale de Midès	73
2.3.3.2 Nappe éolienne de la région de Aine el Kerma	73
2.3.3.3 Nappe "miopliocène"	75
2.3.3.4 "Nappe" du Crétacé supérieur	75
2.3.4 Débit des sources	77
2.4 Conclusions	77
TROISIEME PARTIE -	
<u>CHAPITRE 3 - STOCKAGE DE L'EAU EN ZONE ARIDE</u>	
Introduction	83
3.1 Techniques traditionnelles de stockage dans les monts de Matmata	83
3.1.1 Les "Mejels" et les "Fouskias"	85
3.1.2 Les barrages collinaires	85
3.1.3 Efficacité de ces techniques de stockage	87
3.2 Stockage en retenue - Exemple du barrage de l'oued el Kébir	87
3.2.1 Cadre géographique et géologique	88
3.2.2 Caractéristiques du barrage	89
3.2.3 Evolution de la retenue	89
3.3 Stockage en nappe sous terrainne	94
3.3.1 Technique de stockage	95
3.3.2 Exploitation des eaux stockées-Barrage de prise de Foum el Khanga	95
3.3.3 Evolution de la retenue du barrage de prise de Foum el Khanga	98
3.3.4 Efficacité du stockage dans le sable-Méthode de calcul	100
<u>CHAPITRE 4 - ETUDE DU PROJET D'AMENAGEMENT DES GORGES DES OUEDS EL KHANGA ET EL OUDEI</u>	
Introduction	103
<u>SOUS-CHAPITRE I - ETUDE DE L'AMENAGEMENT DE LA GORGE DE L'OUED EL KHANGA</u>	
1 Etude morphostratigraphique de la gorge de Sidi Mansour	107
2 Caractéristiques mécaniques du terme médian	110
3 Perméabilité du terme médian	110
4 Projet d'aménagement	113
4.1 Etanchéité des appuis de l'ouvrage et de la retenue	113
4.2 Devenir de la retenue : infiltration et ensablement	116
5 Choix du type d'ouvrage	118
5.1 Hauteur de la retenue souhaitable	118
5.2 Conditions morphologiques et propriétés géotechniques	120
5.3 Matériaux de construction	120
6 Conclusion	121
<u>SOUS-CHAPITRE II - ETUDE DE L'AMENAGEMENT DE LA GORGE DE L'OUED EL OUDEI</u>	
1 Etude morphostratigraphique des trois gorges de l'oued el Oudeï	125
1.1 Gorge 1	125
1.2 Gorge 2	125
1.3 Gorge 3	127
2 Résistance à la compression simple du calcaire Abiod	127
3 Etanchéité des appuis des gorges 1 et 2	127
3.1 Gorge 1	127
3.2 Gorge 2	129
4 Retenue de l'oued el Oudeï	129
5 Choix du site et du type d'ouvrage	132
6 Conclusions	133

SOUS-CHAPITRE III - ETUDE DU SITE DE MIDES

1	Exploitation par pompage de la nappe alluviale	137
2	Surélévation du seuil	138
2.1	Nature de l'ouvrage	138
2.2	Conséquences hydrogéologiques et agricoles	140
	Conclusion	141

QUATRIEME PARTIE -

Introduction

CHAPITRE 5 - ETUDE DES DEPOTS ALLUVIAUX

5.1	Rappels	149
5.1.1	Coefficients granulométriques	149
5.1.2	Pourcentage granulométrique	150
5.1.3	Equivalent de sable	150
5.1.4	Perméabilité	150
5.1.5	Teneur en eau	150
5.1.6	Porosité	151
5.1.7	Densité en place	151
5.2	Caractéristiques des alluvions	151
5.2.1	Sédiments de la retenue du barrage de prise de Foug el Khanga	153
5.2.2	Dépôts alluviaux de l'oued el Oudeï	155
5.2.3	Dépôts alluviaux de l'oued el Khanga	155
5.2.4	Sable de la formation Beglia	158
5.3	Etude des dépôts alluviaux par prospection électrique	158
5.3.1	Buts et programme de prospection	158
5.3.2	Appareillage utilisé et limites de la prospection	159
5.3.3	Résultats des sondages électriques	159
5.3.4	Interprétation des sondages électriques	161
5.3.4.1	Secteur de l'oued el Khanga	163
5.3.4.2	Secteur de Midès	166
5.4	Conclusions	

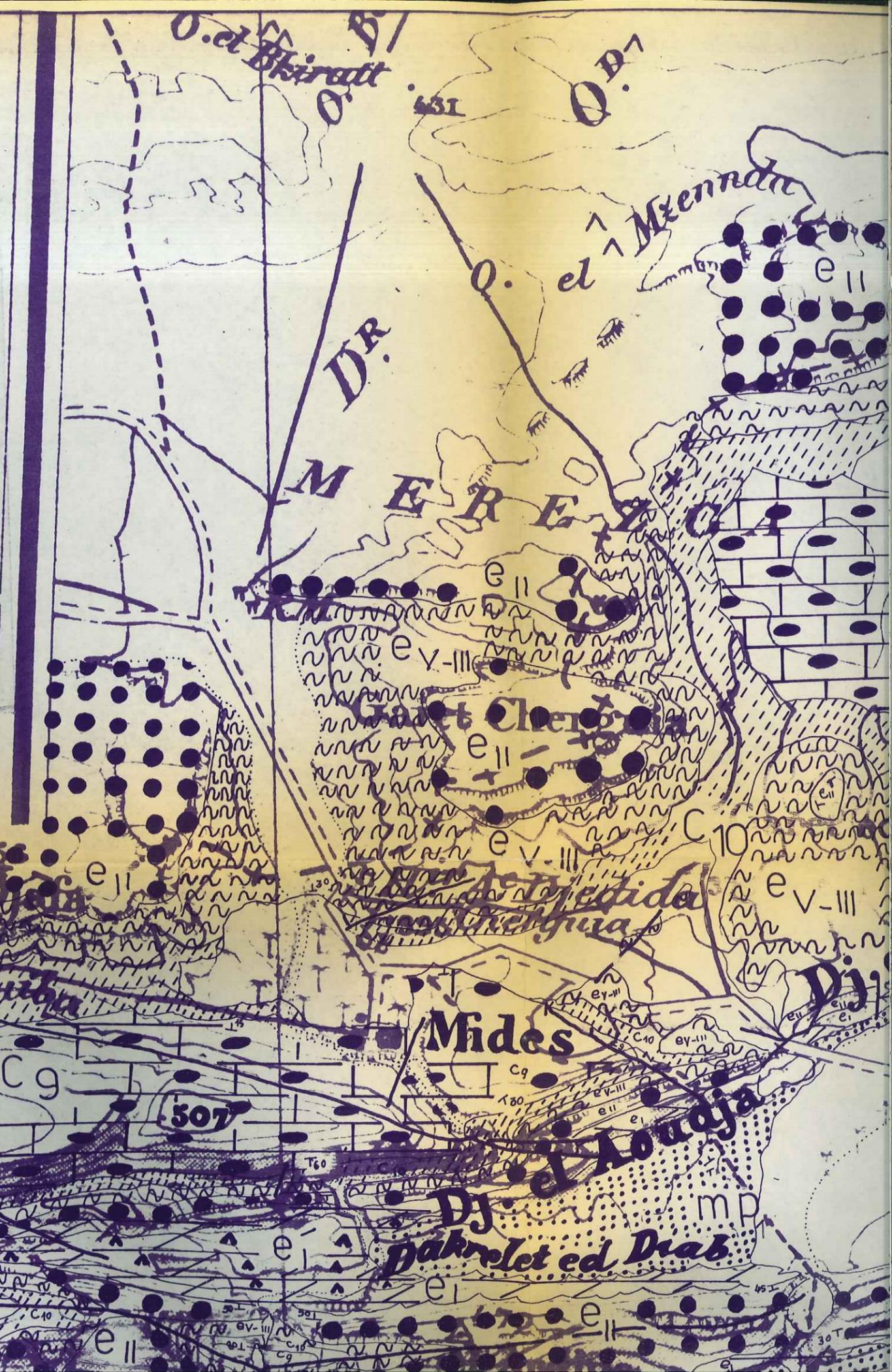
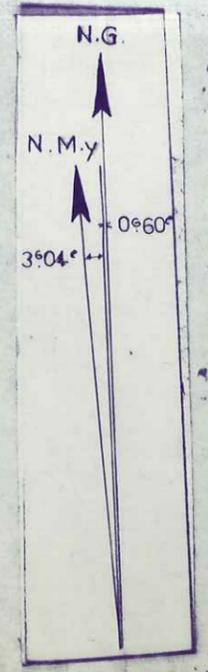
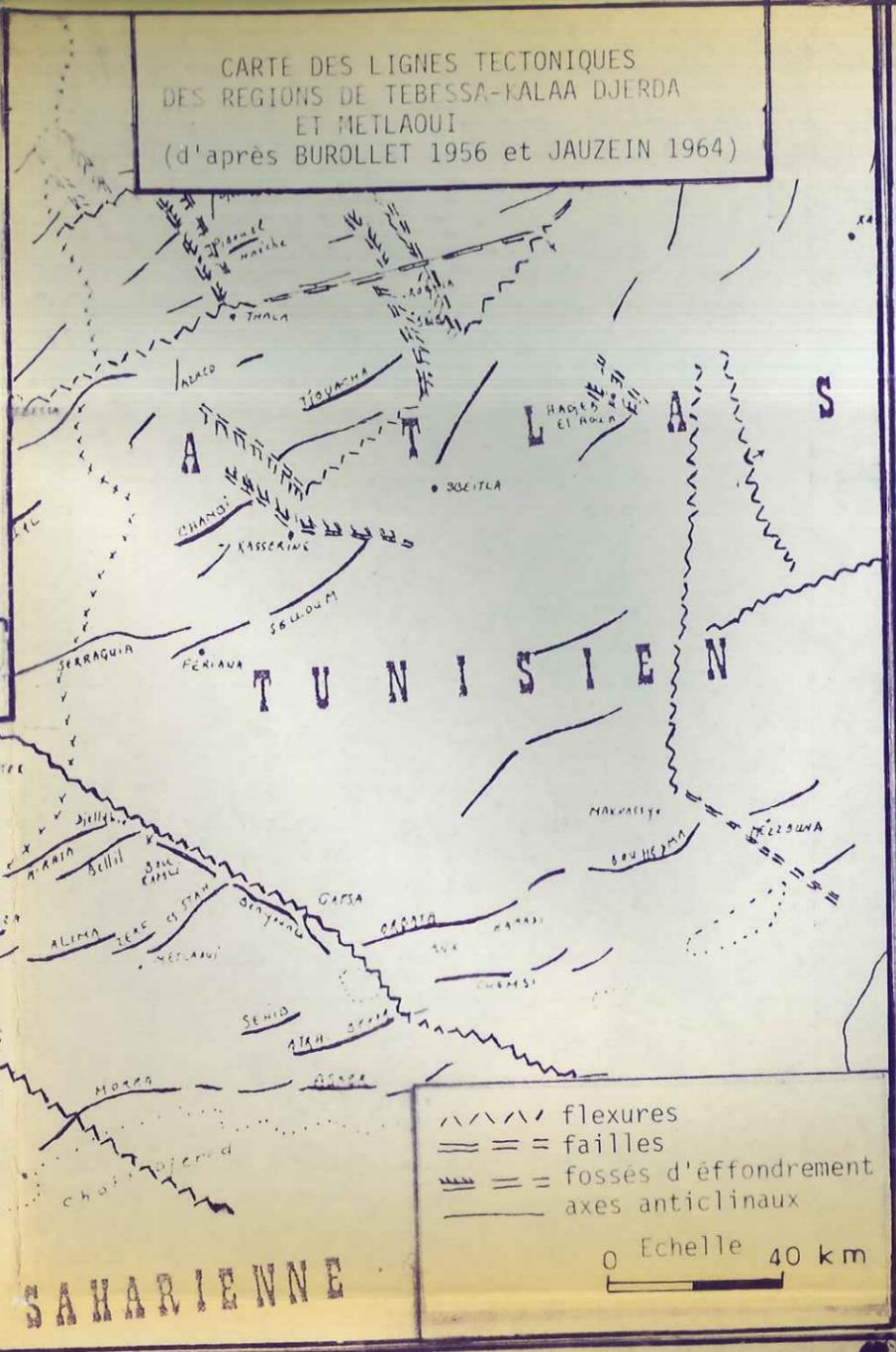
CHAPITRE 6 - FACTIBILITE DU STOCKAGE DE L'EAU DANS LE SABLE
CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES

	Introduction	169
6.1	Matériel de stockage et type d'ouvrage	169
6.2	Infiltration et évaporation	173
6.3	Reduction de l'évaporation après stockage	173
6.4	Conséquences hydrogéologiques des aménagements projetés	175
	CONCLUSIONS	177
	ANNEXES	187
	BIBLIOGRAPHIE	189
	LISTE DES ILLUSTRATIONS	192
	TABLE DES MATIERES	





CARTE DES LIGNES TECTONIQUES DES REGIONS DE TEBESSA-KALAA DJERDA ET METLAOUI (d'après BUROLLET 1956 et JAUZEIN 1964)



157 *Hir*

Foum el K...
158

LEGENDE

Q	Quaternaire : Alluvions - Colluvions - Dépôts lacustres & éoliens	
P	Pliocene	SEGUI
mp	Miopliocene	IBEGLIA
		SEHIB
e ₁	Lutétien sup	SOUAR
e ₁₁	Lutétien inf	METLAOUI
e _{v-III}	Yprésien	
C ₁₀	Montien Danien	EL HARIA
C ₁₉	Maestrictien	
C ₈	Campanien	AIBIOD
C _{7T}		
C ₆	Santonien Coniacien Turonien	ALEG

UNITÉS LITHOLOGIQUES ou FORMATIONS

-  Contour géologique observé
-  Faille
-  Pendage de couche en degrés
-  Surface de rupture d'écroulement
-  Limite d'extension de la masse écroulée



