



**HAL**  
open science

## Aménagement du Nahr Beyrouth. Etude géologique du site de Mkalles et de la cuvette de Hasaima - Liban

Georges Sabbagh

► **To cite this version:**

Georges Sabbagh. Aménagement du Nahr Beyrouth. Etude géologique du site de Mkalles et de la cuvette de Hasaima - Liban. Géologie appliquée. Université de Grenoble, 1964. Français. NNT : . tel-00820530

**HAL Id: tel-00820530**

**<https://theses.hal.science/tel-00820530>**

Submitted on 6 May 2013

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

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



## DEUXIEME THESE

Proposition donnée par la Faculté.

AMENAGEMENT DU NAHR BEYROUTH.

ETUDE GEOLOGIQUE DU SITE DE MKALLES  
ET DE LA CUVETTE DE HASAIMA

par

Georges N. SABBAGH

Grenoble, le 26 oct. 1964.

30 AOUT 2003  
Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
MAISON DES GEOSCIENCES  
DOCUMENTATION  
B.P. 53  
F. 38041 GRENOBLE CEDEX  
Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 46 58  
Mail: ptalour@ujf-grenoble.fr



DEUXIEME THESE

Proposition donnée par la Faculté

AMENAGEMENT DU NAHR BEYROUTH

Etude géologique du site de MKALLES  
et de la cuvette de HSAÏMA

par

Georges N. SABBAGH.

Grenoble, le 26 octobre 1964.

*KLX*  
FONDS de KARSTOLOGIE  
JACQUES CHOPPY  
Inv. : QKC 932  
BBS : 6.2 SAB

S O M M A I R E

PREMIERE PARTIE

Avant-propos  
Introduction..... 1

1.0 Situation géographique et buts de l'ouvrage..... 3

1.1 Situation géographique..... 3

1.2 Choix de l'emplacement et buts de l'ouvrage..... 3

2.0 Géologie..... 4

2.2 Stratigraphie - emplacement et abords..... 4

2.2 Tectonique générale..... 5

DEUXIEME PARTIE

3.0 Zone de fondation et d'ancrage..... 7

3.1 Stratigraphie suivant l'axe de l'ouvrage..... 7

3.2 Tectonique..... 8

3.3 Conclusions relatives à la stabilité des appuis... 9

4.0 Conditions géologiques de la retenue..... 10

4.1 Etanchéité au voisinage de l'ouvrage..... 10

4.2 Cuvette de Hsaïma. Conditions géologiques et étanchéité..... 11

4.3 Conclusions relatives à l'étanchéité de La cuvette

Conclusion générale..... 14

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.  
MAISON DES GEOSCIENCES  
DOCUMENTATION  
B.P. 53  
F. 38041 GRENOBLE CEDEX  
Tel. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 45 58  
Mail: plalour@ujf-grenoble.fr  
30 AOUT 2003

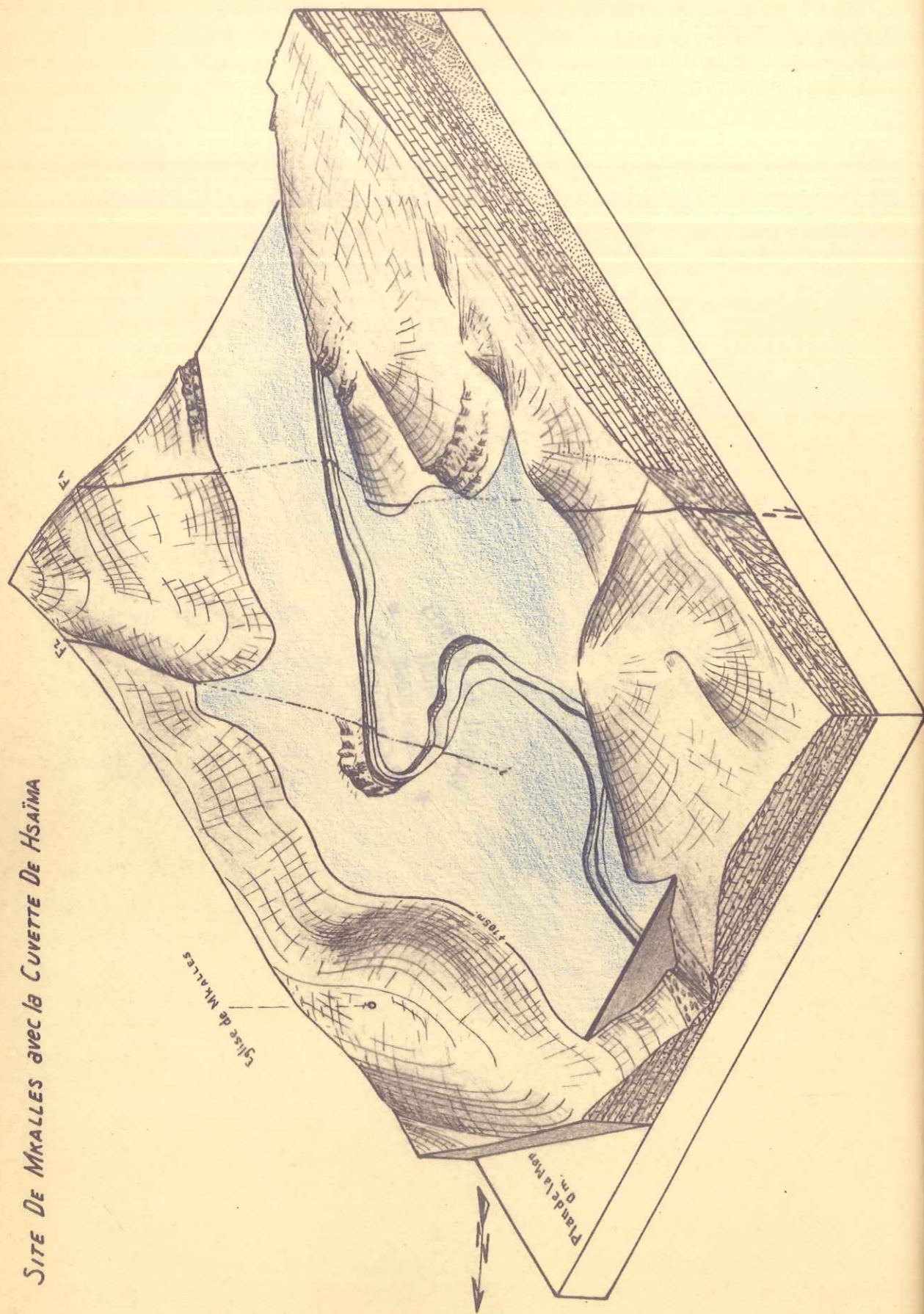
FONDS DE RECHERCHE  
YVES CHENY  
1998

LISTE DES PLANCHES

---

- N° 1.- Plan géologique au 1/10 000.  
N° 2.- Coupe stratigraphique générale au 1/2 000.  
N° 3.- Schéma structural au 1/200 000  
N° 4.- Coupe géologique AB suivant l'axe du barrage au 1/2 000.  
N° 5.- Fig. 1 : Coupe géologique CD à travers la cuvette et les deux failles F1 et F2.  
Fig. 2 : Coupe géologique EF le long de la cuvette de Hsaïma.  
- Un tableau des analyses granulométriques des sables  
- Un stéréogramme du site de Mkalles avec la cuvette de Hsaïma.
-





SITE DE MKALLES avec la CUVETTE DE HSAÏMA

## AVANT-PROPOS.

L'aménagement du Nahr Beyrouth ou fleuve de Beyrouth entre dans le cadre de la planification des eaux libanaises.

Le barrage de QARAOUN, pour l'aménagement du Nahr el Litani qui est en cours de réalisation dans la Bekaa Sud, représente le projet principal de cette campagne.

Etant donné le profit appréciable que l'économie nationale peut en tirer, tant sur le plan industriel pour la production de l'énergie que sur le plan agricole (irrigation et mise en valeur des terrains en friche), le gouvernement libanais a décidé de projeter une série de barrages pour l'utilisation systématique de certains cours d'eau permanents ou périodiques de nature torrentielle.

L'aménagement du fleuve de Beyrouth vient s'intégrer dans ce projet.



INTRODUCTION.

Nous avons entrepris cette étude sous la direction de Monsieur J.O. HAAS, ingénieur-géologue conseil, sur l'initiative du Directeur du Groupement pour l'Aménagement du Nahr Beyrouth.

Dans les rapports qui ont précédé cette étude, trois sites différents furent proposés pour l'aménagement du Nahr, ce sont, de l'amont vers l'aval, dans l'ordre suivant les sites de :

- ELLQUAÏZE
- DAHR EL CHARCHAR
- MKALLES

En 1963, le groupement chargé des études retient l'emplacement de Mkalles, situé en aval des deux premiers. Considéré comme le plus favorable des trois pour l'exécution du projet, cet emplacement fait l'objet de notre étude. Les deux premiers furent abandonnés par suite du faible volume possible des retenues. Celui de Mkalles, profitant de la cuvette de Hsaïma, augmente jusqu'au double la capacité d'emmagasinage par rapport aux autres.

Du point de vue type, il s'agit d'un barrage-poids en béton, sa hauteur maxima serait de 80 m, avec un axe de 298 m de longueur environ. La capacité de sa retenue est estimée à 30 millions de mètres cubes.

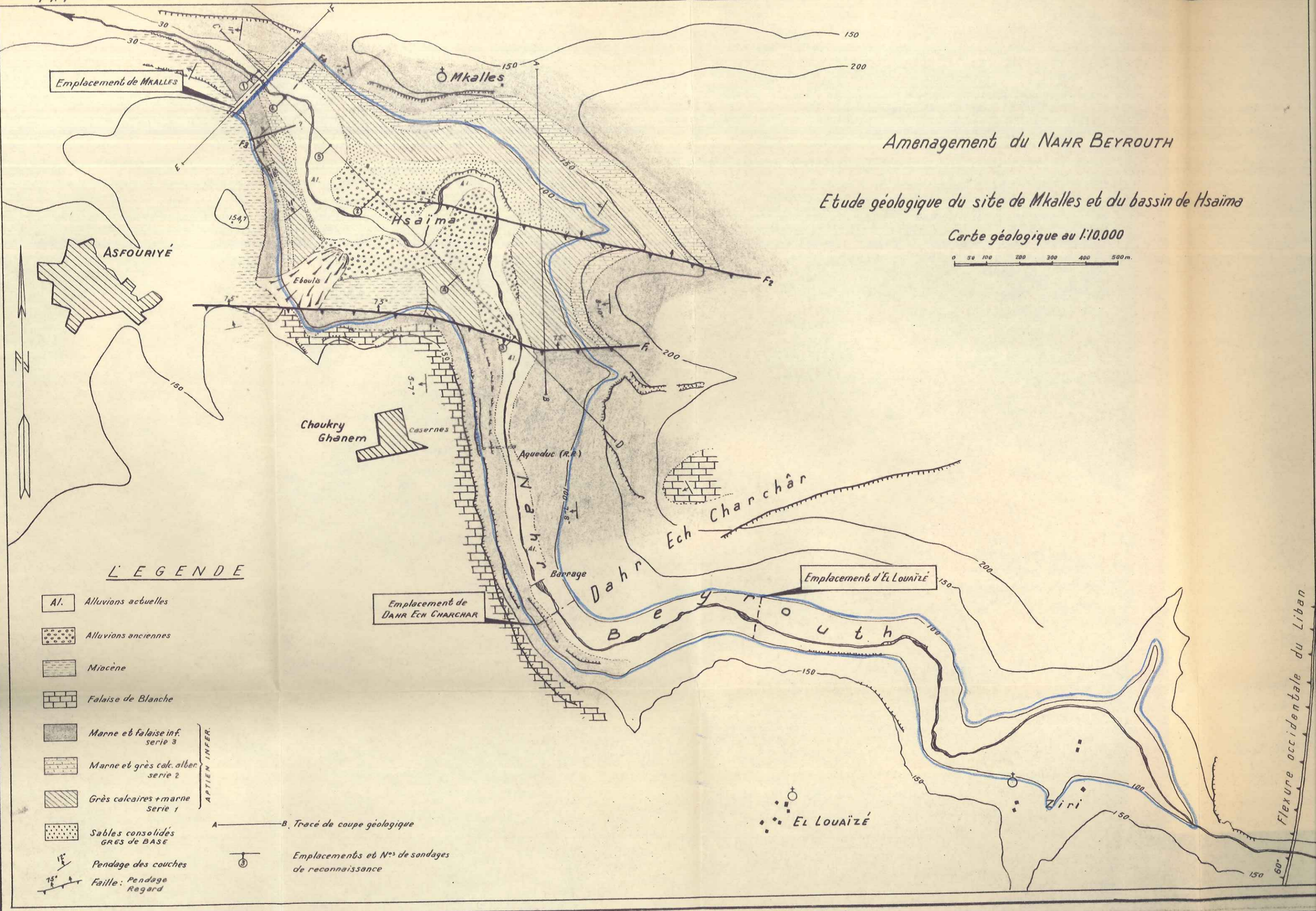
Notre travail porte particulièrement sur la connaissance géologique des appuis de l'ouvrage, de la nature des assises des soubassements, ainsi que sur la question des fuites au large en rive gauche du bassin de Hsaïma, réservoir principal



# Amenagement du NAHR BEYROUTH

## Etude géologique du site de Mkalles et du bassin de Hsaima

Carte géologique au 1:10,000



### L'EGENDE

- A1. Alluvions actuelles
- Alluvions anciennes
- Miocène
- Falaise de Blanche
- Marne et falaise inf. serie 3
- Marne et grès calc. alben. serie 2
- Grès calcaires + marne serie 1
- Sables consolidés GRÈS de BASE
- Pendage des couches
- Faille: Pendage Regard

APTIEN INFÉR.

A — B. Tracé de coupe géologique

Emplacements et N°s de sondages de reconnaissance

Flexure occidentale du Liban

du barrage (Pl. n° 1).

Comme fond topographique pour les levés géologiques, nous avons utilisé la coupure au 1/10 000 Beyrouth SE. Sur la carte aérophotogramétrique au 1/2 000 à l'état de brouillon manquaient en effet les points de repère nécessaires pour un lever détaillé. Les altitudes ont été mesurées avec l'altimètre de Géodésie Thommen et les variations barométriques furent contrôlées au moyen d'un barographe.

Je remercierai Pierre ANTOINE, Assistant à l'Institut de Géologie Dolomieu, pour les précieux conseils dont il m'a fait bénéficier grâce à son expérience de la géologie du Liban.

Je remercie également Monsieur DAYRE, Assistant au Laboratoire de Mécanique des Sols, qui m'a fourni des renseignements d'ordre technique fort utiles.

---

## 1.0 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET BUTS DE L'OUVRAGE.

### 1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE.

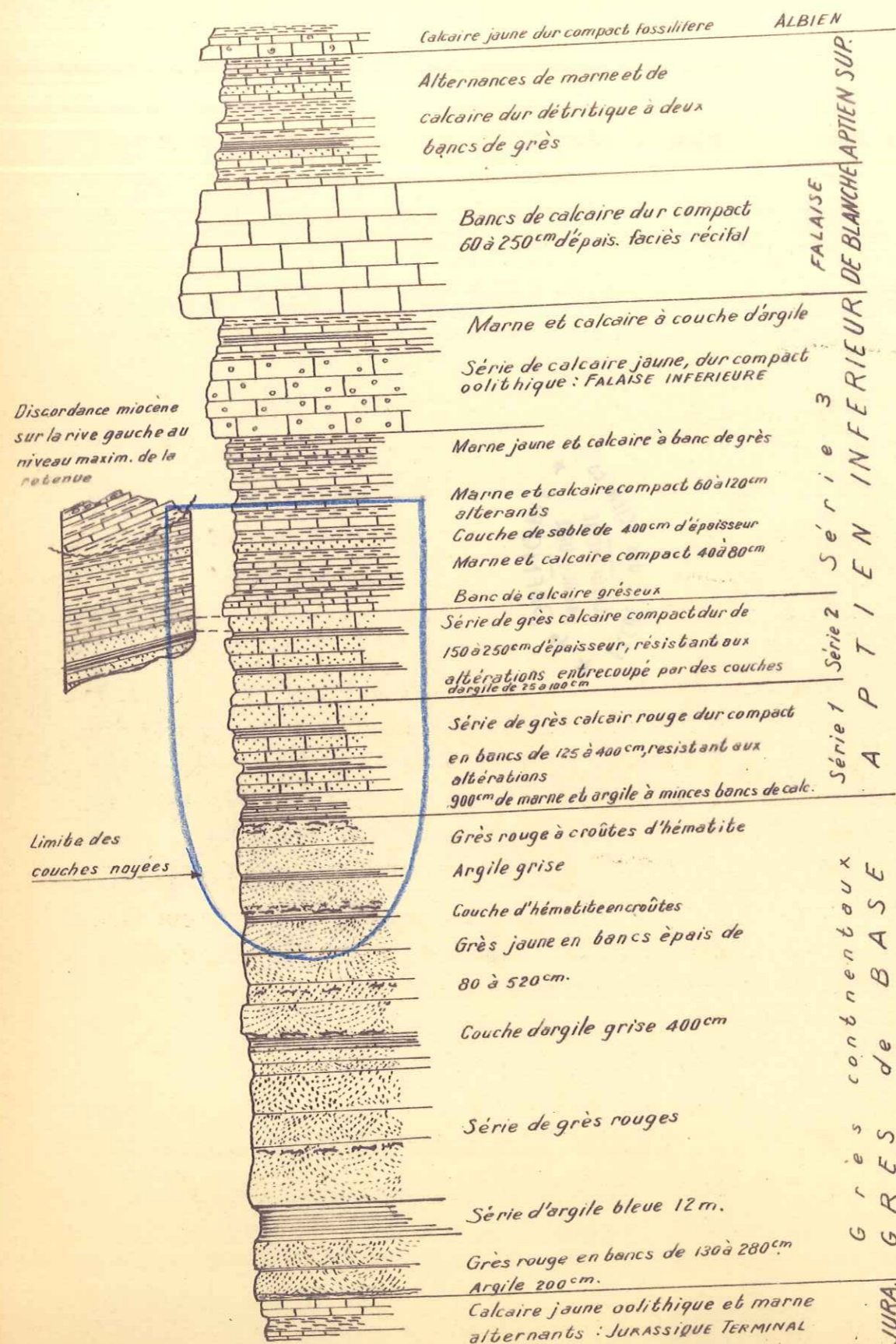
Sur le versant occidental du Mont Liban qui se trouve entaillé par une série de vallées transversales à profils forts, le fleuve de Beyrouth creuse son lit en direction approximative SE-NW. Sa partie supérieure s'appelle Nahr el Metn jusqu'au Nord de Abadiyé où il reçoit les eaux du bassin versant de Nahr-el-Jamani. A partir de ce point et vers l'Ouest jusqu'à la mer, le fleuve porte le nom de Nahr Beyrouth.

En effet, entre Abadiyé et Ziri, les eaux traversent les calcaires massifs du Jurassique, ce qui donne à la vallée l'aspect d'un canon ; des falaises de 200 m de hauteur dominent verticalement les deux rives du fleuve, puis, plus bas, en traversant les terrains plus tendres du Crétacé inférieur, la vallée devient plus large jusqu'au bassin de Hsaïma, situé à 1 km à l'Est de Asfouriyé. Dans cette localité, le cours du fleuve trace des méandres avant sa sortie par la gorge de Mkalles. A l'exception de la moitié NW du versant droit, où la roche affleure, toute la partie inférieure de la cuvette est occupée par des plantations d'orangers et d'oliviers cultivés en terrasses ; la partie supérieure est couverte par une forêt de pins assez dense. A 2 km en aval, le fleuve quitte la direction Se-NW et coule vers le Nord jusqu'à son embouchure en traversant la plateforme de Beyrouth.

### 1.2 CHOIX DE L'EMPLACEMENT ET BUT DE L'OUVRAGE.

A 6 km à l'Est de la côte, l'emplacement choisi est situé à l'entrée d'une petite gorge où s'engouffre le fleuve à sa sortie de la cuvette de Hsaïma.

Coupe stratigraphique détaillée de la région étudiée  
Ech. 1:2.000



Le site de Mkalles fut choisi pour les principales raisons suivantes :

- 1° - La présence de la cuvette de Hsaïma directement en amont de l'ouvrage.
- 2° - L'étroitesse de la gorge de Mkalles réduit au minimum possible l'axe du barrage.
- 3° - Malgré sa situation (plus en aval) par rapport à Louaïzé et Dahr ech Charchar, son niveau couvre la retenue de ces deux dernières (Pl. N° 1).
- 4° - Par la suite, les installations d'adduction seront moins longues, tout en gardant la cote nécessaire pour la distribution des eaux.

Etant donné que la zone se caractérise par un climat méditerranéen, les précipitations que la région reçoit se localisent généralement sur quatre mois de l'année. Ainsi, la retenue de ce barrage dont le niveau atteindra 100-105 m d'altitude, représente un réservoir régulateur qui permet de profiter au maximum possible des eaux torrentielles que le fleuve reçoit durant la période des grandes pluies. Cette eau serait distribuée rationnellement au cours de la saison sèche, sur la zone côtière située en dessous de 75 m environ.

Du fait du manque d'altitude et de l'absence d'un seuil ou d'une rupture de pente de profil à l'emplacement de l'ouvrage, il ne serait pas possible que l'eau soit turbinée avant sa distribution pour l'irrigation et les besoins domestiques.

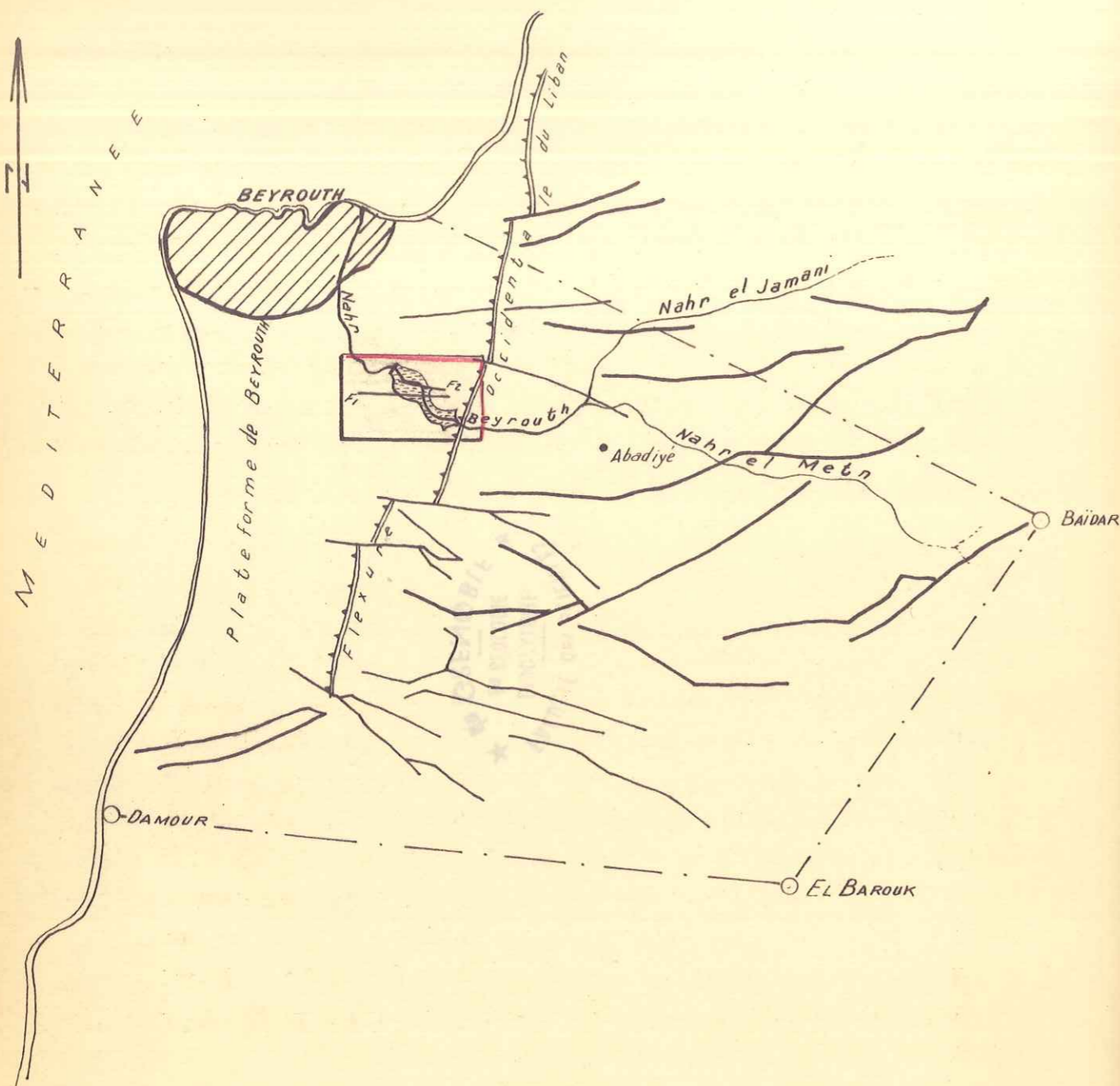
2.0 GEOLOGIE.

2.1 STRATIGRAPHIE - EMPLACEMENT ET ABORDS.

La région étudiée est couverte en grande partie par le Crétacé inférieur. Les étages de ce système représentent la

## SCHEMA STRUCTURAL DU CHAMP DE FRACTURES BAÏDAR-BEYROUTH

Ech. 1:200.000



D'après carte géol. 1:200.000 - L. Dubertret 1955

couverture des calcaires massifs du Jurassique qui constituent le noyau du Mont Liban.

Dans cette région, la série stratigraphique est constituée par les sous-étages du Jurassique supérieur, les Grès de Base et la totalité de l'Aptien jusqu'à la base de l'Albien. Localement, sur la rive gauche, le Miocène discordant se moule irrégulièrement sur une surface d'érosion au-dessus des anciennes formations. Au fond de la vallée, les alluvions fluviales couvrent une partie du bassin et cachent les affleurements des étages marins qui constituent le bed-rock. Sur la planche n° 2, jointe au présent texte, nous donnons une coupe stratigraphique générale de la région.

2.2. TECTONIQUE GÉNÉRALE.

Du point de vue tectonique, la région se place entre la bordure ~~EGYPTAISE~~ plate-forme de Beyrouth et l'axe de la flexure occidentale du Mont Liban. Elle est située sur l'angle NW du ~~du~~ Champ de fractures de DAMOUR EL BAROUK - BAÏDAR - BEYROUTH (Pl. N° 3). Ainsi elle fait partie de la zone côtière qui se trouve affectée par des failles transverses EW et perpendiculaires aux grands axes tectoniques. A l'Ouest de la flexure occidentale où se place l'ouvrage, les couches plongent en général vers l'Ouest, pouvant occasionnellement varier entre SW et NW. Leur inclinaison, qui atteint 60° à la retombée de la flexure, diminue progressivement pour arriver à 12° sur les rives du bassin.

La partie S du bassin de Hsaïma se trouve affectée par la faille F<sub>1</sub> de Asfouriyé. Orientée E-W et du type inverse conforme, son rejet atteint 100 m avec un pendage de 75° vers le Nord. Elle affecte tous les étages constituant le bassin et se trouve doublée à 360 m au Nord, par une faille F<sub>2</sub> parallèle, de même type, avec 50 m de rejet (Pl. N° 1 et n° 4, fig. 1).

Etude géologique du bassin de Hsaïma

Coupes au 1:10.000

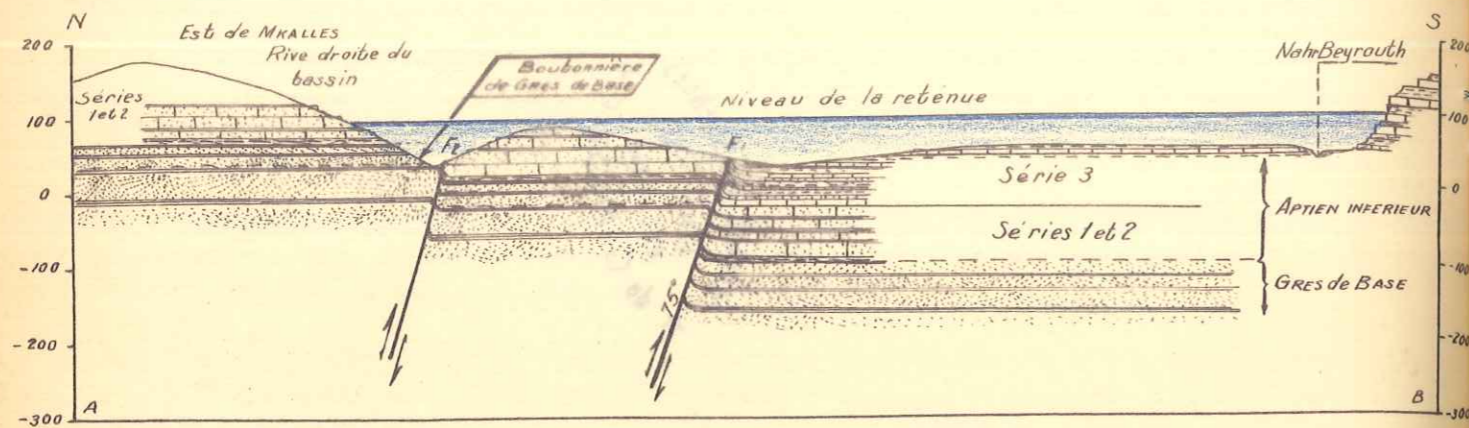


Fig. 1 - Coupe AB à travers la partie Est du bassin de HSAÏMA

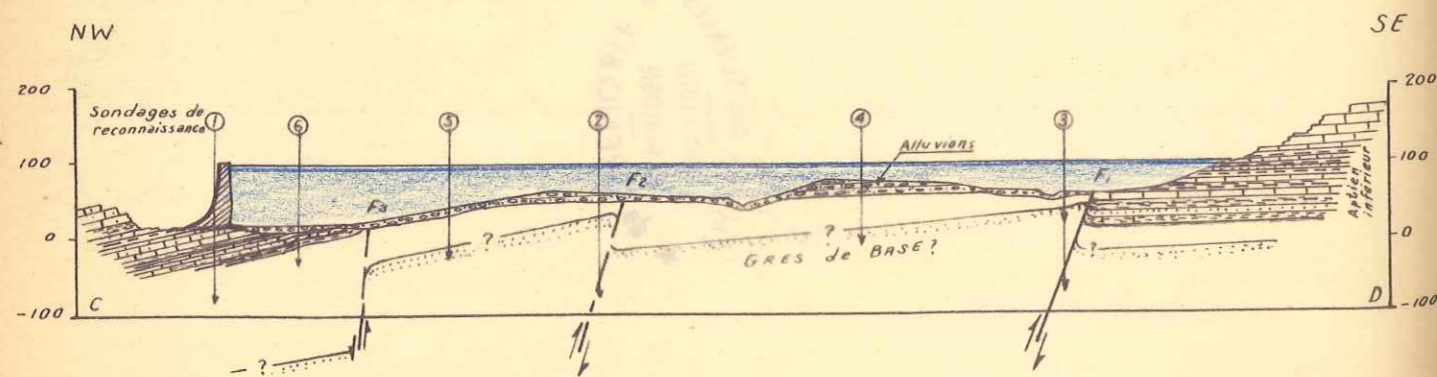


Fig. 2 - Coupe CD le long du bassin de HSAÏMA

Celle-ci se perd dans la cuvette, sous les alluvions fluviales. La succession stratigraphique normale ne suggère pas que la faille affecte la rive gauche. Cependant, dans son tronçon W, elle remonte les Grès de Base au niveau de l'Aptien inférieur. Ces grès, bien tassés et peu perméables, constituent une boutonnière dans la partie centrale du bassin.

La première, F1, considérée comme accident principal, affecte la totalité du bassin.

Ce système de deux failles dont les lèvres inférieures sont situées au SE provoque un escalier dont les trois marches sont inclinées vers le NW (vers l'aval) pl. 4, fig. 2.

Au cours de notre étude, nous avons mis en évidence la présence de deux autres failles F3 et F4 (pl. 1). Ces deux accidents se rattachent au système de failles directes conformes avec des regards NW contraires à ceux de F1 et F2 (pl. 4, fig. 2).

La faille F3, plane, subverticale avec 25 m de rejet, recoupe en direction NNE-SSW, les étages de la rive gauche à 120 m en amont du barrage projeté. La zone broyée atteint 6 m de largeur, elle est constituée par une brèche à éléments de grès calcaire ( $\phi$  10 à 20 cm) cimentés par de l'argile peu gréseuse, d'aspect plastique. La faille F4, parallèle à l'axe de l'ouvrage, avec seulement 12 m de rejet, est visible à 75 m en amont. Affleurant sur 65 m de long, elle affecte les couches de la rive droite, et ne présente ni brèche ni zone de broyage.

Les accidents ainsi décrits se rattachent à la tectonique générale par les mouvements suivants :

- 1er mouvement : compression latérale de la zone étudiée entre le Mont Liban et la plateforme de Beyrouth, d'où l'apparition des failles inverses conformes F1 et F2.
- 2e mouvement : phase de détente, réajustement et apparition des petites failles directes conformes F3 et F4.

DEUXIEME PARTIE

---

3.0 Zone de fondations et d'ancrage stratigraphique  
suivant l'axe de l'ouvrage.  
Tectonique.  
Conclusions relatives à la stabilité des appuis.

4.0 Conditions géologiques de la retenue  
Etanchéité au voisinage de l'ouvrage.

Conclusion générale.

---

3.0 ZONE DE FONDATIONS ET D'ANCRAGE.

3.1 STRATIGRAPHIE SUIVANT L'AXE DE L'OUVRAGE

Comme nous l'avons déjà signalé dans le paragraphe 1.1 : Situation géographique, la partie inférieure de la rive gauche est occupée par des plantations en terrasses et la partie supérieure par une forêt de pins ; celle-ci pousse sur une couche d'éboulis d'où émergent de temps en temps quelques assises dures servant de repère stratigraphique.

Cependant, en suivant les routes tracées à différents niveaux parallèles à la vallée, ainsi que le canal d'irrigation, nous avons pu effectuer par synthèse de trois coupes superposées la coupe complète de la rive gauche. Cette coupe se détaille de bas en haut comme suit :

A partir du lit actuel et vers le haut :

Epaisseurs en cm	Description lithologique
50-470	Alluvions fluviatiles actuelles, sable et galets de calcaire de 10 à 20 cm de Ø (roches meubles) ; <u>Aptien inférieur : série 2.</u>
2 000	Grès compact dur, à ciment calcaire, en bancs de 125 à 300 cm d'épaisseur, entrecoupés par des couches de marne ou d'argile de 30 à 100 cm d'épaisseur. Série résistante aux altérations. <u>Aptien inférieur : série 3 :</u>
120	Marne grise tendre ;
200	Calcaire dur compact, légèrement gréseux ;
80	Marne tendre schisteuse
50	Banc de calcaire jaune compact
115	Marne grise tendre
110	Calcaire dur compact
525	Couche à marne gris-verdâtre, d'aspect plastique



Epaisseurs en cm	Description lithologique
800	Série de marne à 3 bancs de calcaires durs de 150, 75 et 50 cm d'épaisseur
150	Banc de calcaire jaune gréseux à grains de quartz
125	Banc de calcaire jaune dur, néritique, d'aspect légèrement poreux
400	Marne jaune à rognons (concrétions) de calcaire
150	Marne verte, bien compacte
120	Calcaire blanc craquelé à la partie supérieure et compact dur à la base
315	Marne jaune-verdâtre, d'aspect schisteux
110	Calcaire verdâtre dur, concrétionné
500	Marne blanche et jaune à banc de calcaire (50 cm).
350	Calcaire blanc, dur, compact
210	Marne blanche altérée ou friable
100	Calcaire blanc dur
450	Sable jaune et rouge friable, non consolidé
200	Calcaire jaune gréseux à grains de quartz et calcaire fossilifère ;
300	Marne blanc-jaunâtre et grise, à rognons de calcaire.

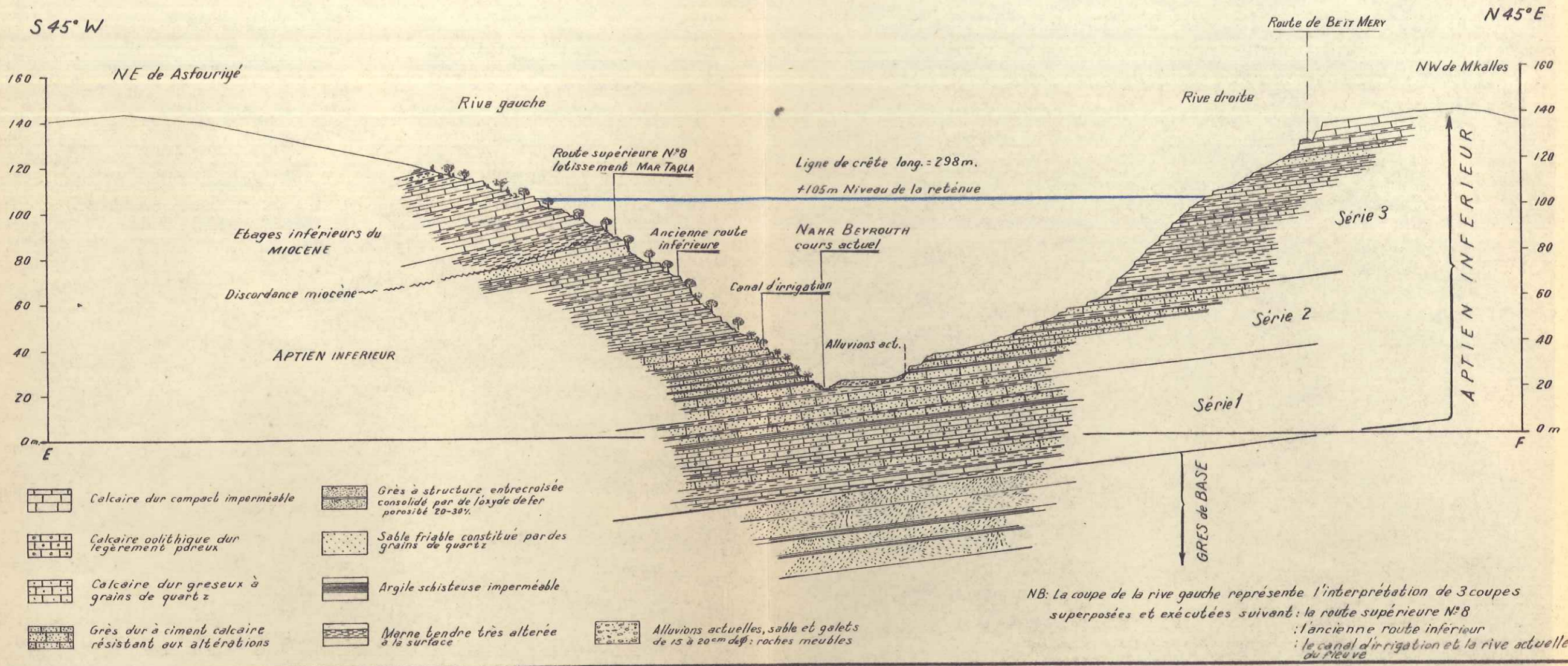
Discordance miocène

Base du Miocène marin

550	Série de marne blanche et jaune avec un banc de calcaire de 50 cm d'épaisseur
400	Calcaire blanc, dur, compact, en bancs de 100 à 200 cm d'épaisseur, à minces intercalations marneuses (5 à 7 cm) ;
200	Marne blanche, tendre
270	Calcaire blanc, dur, compact ; <u>le niveau maximum de la retenue atteint ce banc de calcaire ;</u>
150	Couche de marne blanche.

COUPE GEOLOGIQUE TRANSVERSALE SUIVANT L'AXE DU BARRAGE (Sibe de MKALLES)

Ech. 1:2.000



NB: La coupe de la rive gauche représente l'interprétation de 3 coupes superposées et exécutées suivant: la route supérieure N°8; l'ancienne route inférieure; le canal d'irrigation et la rive actuelle du rieu ve

Bien que cette coupe représente la succession stratigraphique détaillée de la rive gauche, il serait nécessaire, pendant la campagne de reconnaissance, de faire une saignée suivant le tracé de la coupe. On déterminerait ainsi, avec certitude, la position des différentes couches constituant les appuis.

Si l'on se reporte à la planche N° 5, on constate que les affleurements de la rive droite sont en concordance avec les couches de la rive gauche. Le pendage est de quelques degrés SW. Cependant cette rive se caractérise par l'absence du Miocène, et la série stratigraphique se termine par les termes supérieurs de l'Aptien inférieur, au niveau de la route de Beït Mery (pl.5).

### 3.2 TECTONIQUE

Dans la zone de fondation de l'ouvrage, les études géologiques de surface n'ont montré aucun accident tectonique qui puisse compromettre le choix de l'emplacement. Mais nous soulignons que, à l'amont, les couches accusent une inclinaison de 12° vers le SW ; à l'aval, le pendage s'accroît pour atteindre 22°. Cette inclinaison qui continue jusqu'à la côte pourra favoriser les fuites après la mise en eau du barrage et, par la suite, mettre l'eau en charge dans les couches sous-jacentes aux fondations.

### 3.3 CONCLUSIONS RELATIVES A LA STABILITE DES APPUIS.

Nous soulignons que les emplacements à pendage aval sur des assises hétérogènes à intercalations marneuses nécessitent beaucoup d'attention.

En effet, dans la "Géologie des Barrages", 1955, M. GIGNOUX et R. BARBIER, page 171, dernier paragraphe, on trouve :

"Le plongement aval est, au contraire, moins favorable, et en outre, il favorise les glissements des bancs, puisque, dans la zone d'ancrage, les composantes horizontales des pressions exercées par la retenue sont dirigées vers l'aval ; des précautions spéciales doivent alors être prises pour assurer les fondations (ex. barrage de Beni Bahdel, p. 156)."

Pour le barrage de Mkalles, il se peut que la résultante du poids du barrage et de la force horizontale due à la retenue soit telle que l'on puisse craindre des glissements vers l'aval, d'autant plus que nous sommes en présence de lits argileux à faible angle de frottement alternant avec des bancs calcaires.

D'autre part, sous les fondations, compte tenu de l'hétérogénéité des appuis, des phénomènes de tassement pourront se produire dans les couches marneuses ou argileuses.

Il sera donc nécessaire de s'entourer de toutes les garanties permettant d'éviter les risques pouvant découler de tels glissements ou tassements.

#### 4.0 CONDITIONS GEOLOGIQUES DE LA RETENUE.

##### 4.1 ETANCHEITE AU VOISINAGE DE L'OUVRAGE.

Durant les travaux de reconnaissance qui précéderont l'exécution du projet, des essais de perméabilité devront se faire, sur les différentes assises qui constituent les appuis des fondations. Cependant, dès à présent, et sans connaître les résultats de ces essais, nous pensons qu'il serait prudent de faire une comparaison avec d'autres ouvrages de situation géologique analogue déjà étudiés, et d'en tirer certaines conclusions.

Dans la "Géologie des Barrages" de M. GIGNOUX et R. BARBIER, 1955, Etude de l'emplacement de Salbgriffon sur l'Estéron, p.137. paragraphe 5, on lit :

"Les injections d'eau sous pression donnèrent de grosses pertes dans le Berriasien, tandis que les pertes diminuaient

progressivement jusqu'à s'annuler en s'enfonçant dans le massif calcaire (Jurassique supérieur, roche homogène). Comme on le voit, le comportement du Berriasien (roche hétérogène, voir règle p. 156) rappelle ici celui de l'Hauterivien du fond des fouilles de Génissiat (sur le Rhône), Hauterivien formé également d'alternances de calcaires et de marnes".

En ce qui concerne le barrage de Mkalles, si l'on tient compte de ces exemples, du pendage aval et de l'hétérogénéité de l'Aptien inférieur (coupe pl. 5), des dangers de fuites pourraient éventuellement se localiser au contact entre les bandes de calcaire ou de grès calcaire et les couches de marne ou d'argile. Les cheminements pourraient donc être favorisés suivant les plans de stratification entre deux couches de propriétés physiques différentes.

Dans une telle éventualité, l'étanchéité au voisinage de l'ouvrage risque d'être compromise et on devrait prévoir un voile normal sous les fondations. En cas de nécessité, ce voile pourrait se prolonger au large sur les deux rives, jusqu'aux failles F3 et F4.

#### 4.2 CUVETTE DE HSAIMA : CONDITIONS GEOLOGIQUES ET ETANCHÉITÉ.

Sur 460 000 m<sup>2</sup>, 215 000 sont occupés par des alluvions fluviales actuelles et anciennes. Celles-ci se localisent au fond de la cuvette et le long des deux rives du fleuve et paraissent être très perméables.

Sur le versant gauche, au-dessus de la limite supérieure des alluvions, affleurent les séries 1 et 2 de l'Aptien inférieur. Elles sont partiellement recouvertes par des éboulis de roches marneuses et les termes inférieurs du Miocène, marneux eux aussi (pl. 1).

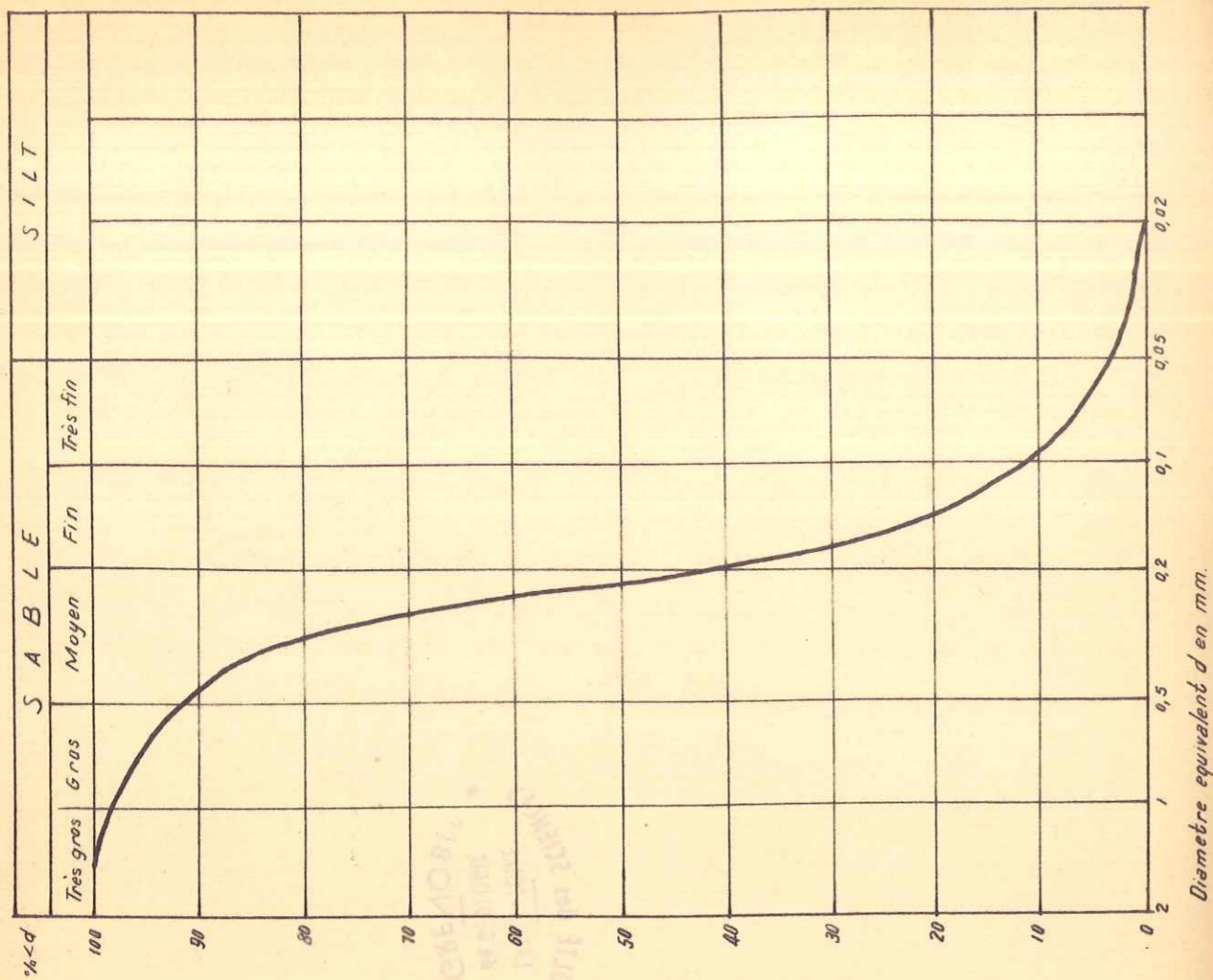
D'autre part, sur le versant droit, la faille F2 trace la limite sud de la boutonnière des Grès de Base dont la superficie

atteint 140 000 m<sup>2</sup>. Plus haut, vers le Nord, les séries inférieures de l'Aptien affleurent en concordance au-dessus des Grès et du niveau maximum de la retenue.

Dans la cuvette même, les couches accusent une inclinaison aval moins forte que celle observée à l'emplacement du barrage. S<sup>o</sup>ciatement sur la rive gauche, au Sud de F3, où l'on observe de faibles ondulations voisines de l'horizontale.

En suivant le tracé de F1 sur le terrain, nous avons constaté que les zones bréchiques se trouvent colmatées par la série marneuse du Miocène inférieur et les intercalations argilo-marneuses de l'Aptien. Dans son tronçon ouest, le passage de F2 est facilement reconnaissable par différenciation d'étages, tandis que le tronçon E, caché sous les terrasses, se poursuit en direction ESE, en affectant, par une tectonique plus souple, la partie inférieure de la série 3. Au cours de notre étude, nous n'avons pas rencontré de brèches ou de cassures parallèles au plan de F2.

Etant donné que l'étanchéité de la retenue ne pose pas de problème important vers l'amont, nous limiterons notre étude à la cuvette proprement dite, dont la faille F1 constitue la bordure Sud. Les parties couvertes par les séries 1 et 2 de l'Aptien inférieur, par les éboulis de roches marneuses et les marnes inférieures du Miocène, paraissent être assez étanches. Leur aspect à l'affleurement, ainsi que leur comportement général, ne permettent pas de penser que ces couches puissent être le siège d'infiltrations souterraines importantes. Par contre, les affleurements alluvionnaires mettront en cause l'étanchéité de la cuvette. Ceci, d'une part à cause de leur nature de roche meuble et très perméable, d'autre part parce qu'ils cachent une grande partie du bed-rock dont nous ne pouvons que supposer la nature. (pl. 4, fig. 2).



*Etude des sables prélevés dans la galerie d'Awali - projet du LITANI - Courbe granulométrique du laboratoire de SOGREAH aimablement communiquée par monsieur le professeur R. BARBIER*

*On remarque la présence d'une fraction non négligeable de silt 0,05 à 0,02 mm. de diamètre, ce qui diminue sensiblement la perméabilité*

Les épaisseurs de ces alluvions, ainsi que leur granulométrie devront être étudiées dans les sondages et tranchées de reconnaissance que nous avons projetés suivant l'axe de la coupe CD.

De toute façon, les résultats obtenus par ces investigations préliminaires devront être complétés par une campagne de reconnaissance détaillée.

#### 4.3 CONCLUSIONS RELATIVES A L'ETANCHEITE DE LA CUVETTE.

Dans son ensemble, la cuvette est occupée par des formations assez étanches, y compris les Grès de Base. Ces grès sont constitués en général par des sables très fins et bien tassés. Leur perméabilité s'est révélée beaucoup moins grande qu'on ne l'a toujours estimée.\* Cependant, il serait utile de faire quelques essais d'eau dans les sondages de reconnaissance. Le problème des alluvions reste ouvert jusqu'à l'exécution des sondages et travaux de recherche, de même pour les couches sous-jacentes constituant le bed-rock. Les brèches colmatées le long de F1 assurent l'étanchéité de son plan, ou tout au moins augmenteront-elles les pertes de charge qui pourront se localiser dans de petites cassures.

Pour la faille F2, le problème paraît être différent à son passage à travers les Grès de Base. En de nombreux cas analogues, par l'apparition de sources de faibles débits, des phénomènes de drainage furent constatés suivant les plans de ces failles. De toute façon, le sondage projeté n° 2 pourra éventuellement fournir des indications utiles à ce sujet.

\* Résultats de perméabilité sur différents échantillons de sable prélevés du tunnel d'Awali-projet Litani, aimablement communiqués par Monsieur le Professeur BARBIER :

"Des essais soumis sur le sable ont donné des perméabilités variant de  $3,6 \times 10^{-3}$  cm/s à  $8 \times 10^{-3}$  cm/s, suivant que le sable avait subi de compactage ou qu'il était resté meuble. En place, il est beaucoup plus tassé et, en plus, un léger ciment diminue notablement ses perméabilités".

C O N C L U S I O N   G E N E R A L E .

Au début de cette étude, nous avons vu qu'au point de vue topographique, le site de MKALLES est très favorable pour l'implantation du barrage. Cependant, les reconnaissances géologiques de surface ont révélé la présence de certains problèmes délicats qui pourront se poser pour l'exécution du projet.

Ainsi, dans la zone des fondations, une série de sondages de reconnaissance devront être exécutés suivant l'axe de l'ouvrage, pour étudier les problèmes suivants :

- 1) la situation des assises et leur comportement en profondeur
- 2) le prélèvement d'échantillons pour faire des essais de porosité et étudier la possibilité de tassement des couches tendres (essais oedométriques);
- 3) faire quelques essais d'injection pour avoir une idée approximative sur le volume du voile normal projeté contre les fuites aval ;
- 4) étudier le régime d'écoulement souterrain s'il y a lieu ;
- 5) si c'est nécessaire, étudier l'angle de frottement et la cohésion entre couches tendres (marne ou argile) et couches dures (calcaire ou grès calcaire). De ces deux points importants dépendra la stabilité du barrage.

Ceci, en ce qui concerne la zone des fondations.

Pour étudier la cuvette, nous avons projeté une série de sondages suivant la coupe CD. Ces sondages sont numérotés par ordre d'importance. Le sondage n° 1, qui d'ailleurs s'intègre dans les sondages axiaux, étudiera l'épaisseur des alluvions qui devront être décapées au début des fouilles. En traversant les alluvions, il donnera les renseignements nécessaires sur la nature du bed-rock. Ensuite, suivent les autres sondages pour les raisons suivantes :



N° 2 : pour étudier les alluvions, déterminer la limite supérieure des Grès de Base et le passage de F2 ;

N° 3 : pour étudier l'épaisseur des alluvions, déterminer la limite supérieure des Grès de Base et le passage de F1 ;

N° 4 : épaisseur des alluvions, nature du bed-rock et limites des Grès de Base ;

N° 5 : épaisseur des alluvions, nature du bed-rock et limite des Grès par rapport au numéro 2 ;

N° 6 : épaisseur des alluvions et nature du bed-rock.

Nous soulignons que les sondages susceptibles de rencontrer les Grès de Base doivent être forés au double carottier, et avec le minimum possible de circulations d'eau.

D'autre part, quelques essais d'injection devront être faits dans les zones ou plans de failles dont l'étanchéité paraît douteuse. Par la suite, l'étanchéité de la cuvette devrait être assurée par l'injection des zones qui se sont révélées perméables durant les essais de reconnaissance.

Au cours de cette campagne de reconnaissance, une partie des travaux projetés sera éventuellement modifiée ou éliminée en fonction des résultats et des problèmes qui pourront se poser.

Pour conclure, nous pouvons dire que le projet ne présente pas de difficultés particulières. Toutefois, il faut attendre les résultats du programme de reconnaissances établi plus haut, pour d'éventuelles modifications au projet. Il ne faut pas perdre de vue qu'un ouvrage en béton de 80 m de haut est un travail assez considérable. L'hétérogénéité des assises peut faire craindre des tassements différentiels préjudiciables à l'ouvrage. Il est donc à conseiller d'attendre les résultats complets de l'étude des propriétés mécaniques du sol avant de fixer définitivement le type d'ouvrage qui sera retenu.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- GIGNOUX (M.) et BARBIER (R.) 1955.- Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques, 343 pages, 28 planches photographiques hors texte, 176 figures, Masson, Paris.
- Ministère des Travaux Publics du Liban. Rapport préliminaire pour l'aménagement du Nahr Beyrouth.
- DUBERTRET (L.) 1945.- Carte géologique au 1/20 000 du site de Beyrouth, avec notice explicative.
- DUBERTRET (L.) 1945-54.- Carte géologique : Feuille de Beyrouth au 1/50 000, avec notice explicative.
- DUBERTRET (L.) 1955.- Carte géologique du Liban au 1/200 000 avec notice explicative
- Service topographique de l'Armée.- Feuille topographique au 1/10 000 SE de Beyrouth.
- Groupement chargé des Etudes : Feuille topographique de la région étudiée à l'échelle 1/2 000 (à l'état de brouillon).