

Pio
Min

286

PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT

F. A. O.

الجمهورية اللبنانية

REPUBLIQUE LIBANAISE

MINISTERE DES RESSOURCES

مكتب وزير الدولة لشؤون التنمية الإدارية
مركز مشاريع ودراسات القطاع العام
HYDRAULIQUES ET ELECTRIQUES

PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE

République Libanaise
Bureau du Ministre d'Etat pour la Réforme Administrative
Centre des Projets et des Etudes sur le Secteur Public
(C.P.E.S.P.)

ETUDE GEOLOGIQUE DU SITE DE BARRAGE D'ILAT

HG 13

Beyrouth, le 5 Janvier 1971

M.F.N. 538

PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR LE DEVELOPPEMENT

F.A.O.

REPUBLIQUE LIBANAISE

MINISTERE DES RESSOURCES
HYDRAULIQUES ET ELECTRIQUES

PROJET DE DEVELOPPEMENT HYDRO-AGRICOLE

ETUDE GEOLOGIQUE DU SITE
DE BARRAGE D'ILAT

HG 13

Beyrouth, le 5 janvier 1971.

SOMMAIRE

	<u>Page</u>
<u>Avant-propos</u>	1
<u>1 - Généralités</u>	3
1 - 1 Situation	3
1 - 2 Caractéristiques principales du site.	3
1 - 3 Etudes antérieures	4
1 - 4 Etude actuelle	4
<u>2 - Géologie régionale</u>	5
2 - 1 Stratigraphie	5
2 - 2 Structures	5
<u>3 - Géologie du site et de la retenue</u>	10
3 - 1 Le site de barrage	10
3 - 2 La retenue	11
<u>4 - Géologie de la galerie de dérivation</u>	13
<u>5 - Les travaux de reconnaissance</u>	15
5 - 1 Le forage de Kraïbé	15
5 - 2 La galerie de reconnaissance d'Illât..	16
5 - 3 Les forages au site d'Illât	16
<u>6 - L'étanchéité de la retenue</u>	19
<u>7 - Les matériaux de construction</u>	21
7 - 1 Les enrochements	21
7 - 2 Matériaux pour le noyau étanche	21
<u>8 - Conclusions</u>	22
 Annexe 1 - Coupe géologique sondage F 1	 23
" 2 - " " " F 2	24
" 3 - " " " F 3	25
" 4 - " " " F 4	26
" 5 - Géologie de la galerie de reconnaissance	27
" 6 - Coupe géologique du forage de Kraïbé ..	29

AVANT-PROPOS

En 1967/68, le Gouvernement libanais a décidé d'intensifier son action dans le domaine de l'irrigation, plus particulièrement dans le nord du pays. C'est ainsi qu'a été créé le Projet de Développement Hydro-Agricole, avec le concours du Programme des Nations-Unies pour le Développement (PNUD) et de l'Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (F.A.O.).

Le Projet a été déclaré opérationnel en mars 1968, date qui marque le début officiel des travaux. Il est rattaché à la Direction Générale de l'Équipement du Ministère des Ressources Hydrauliques et Électriques.

Les objectifs assignés au Projet sont les suivants :

- 1) Investigations complémentaires (Hydrologie, Hydrogéologie, Pédologie).
- 2) Planification hydraulique du Nord du Liban.
- 3) Étude de factibilité pour l'irrigation de la plaine d'Akkar (10.000 ha environ).
- 4) Projet et exécution d'un secteur pilote de 300 ha.
- 5) Participation à l'exécution d'un périmètre de 800 ha.
- 6) Expérimentation et démonstrations hydro-agricoles.
- 7) Études hydrogéologiques particulières.
- 8) Organisation et législation pour l'utilisation des eaux.
- 9) Démarrage d'une planification nationale de l'utilisation des eaux.

./.

A la date d'édition du présent dossier, les principaux collaborateurs du Projet (Ingénieurs ou assimilés) sont les suivants:

	<u>Experts de la</u> <u>F.A.C.</u>	<u>Ingénieurs du Gouvernement</u> <u>libanais et de contrepartie</u>
Direction	MM. J. P. Villaret	MM. H. Nakas
Agronomie	A. Marasovic C. Petersen	S. Bitar M. Soufy
Hydrologie	J. H. Visser A. Servais	C. Arab M. Naja
Génie Civil	J. Soltes M. Bos	A. Atallah
Hydrogéologie	G. Chapond A. Guerre	G. Makhouf
Irrigation	M. Mesny E. Kramer	S. Sibani A. Mikati
Economie des exploitations	U. Grieb	A. Faza'a F. Leger
Economie générale	A. Odeurs M. Bral	G. Panayot
Législation des eaux		A. Wakim

Ce rapport entre dans le cadre des études de Planifi-
cation hydraulique du Liban-Nord (Objectif N° 2 du Projet).

Il a été préparé et rédigé par MM. CHAPOND et GUERRE.

1 - GENERALITES

1.1 - Situation (voir fig. N° 1)

Le site de barrage d'Illât est situé sur le Nahr el Aarqa, à 1 km au sud-ouest du village d'Illât et à environ 700 m à l'aval du confluent du Nahr el Maïyet et du Nahr el Kouaïch.

Les coordonnées du site, d'après la carte au 1/20.000 de Halba, sont les suivantes :

$$x = 185,170$$

$$y = 285,380$$

$$z = 264 \text{ m (cote du lit de la rivière)}$$

Dans les études antérieures, ce site est désigné sous le nom "Aarqa III". Il existe à proximité un autre site, connu sous le nom "Aarqa IV" situé à environ 500 m à l'amont du site "Aarqa III". Pour des raisons géologiques le site de Aarqa IV n'a pas été retenu.

1.2 - Caractéristiques principales du site.

Un ouvrage d'une hauteur de 105 m permettrait de créer une retenue de 40 Mm³ dont l'utilisation principale serait l'irrigation de la plaine d'Akkar.

Le volume des remblais nécessaires serait de l'ordre de 2,1 Mm³ et le coefficient d'accumulation correspondant ($\frac{VE}{VR}$) est alors de 10,9, ce qui n'est pas très favorable.

Un ouvrage plus réduit de 80 m de haut, diminuerait le volume de la retenue à 17 Mm³ et le coefficient d'accumulation baisserait encore et serait égal à 15,4.

En principe, l'ouvrage envisagé serait un barrage en enrochement avec noyau étanche, mais la possibilité de construire un barrage poids en béton n'est pas à exclure totalement, compte tenu de la bonne qualité des fondations.

Le bassin-versant réduit à l'amont de la retenue (75 km²) et la faiblesse relative des apports moyens mensuels (de l'ordre de 10 Mm³) obligent à prévoir une dérivation des eaux excédentaires du Nahr Abou Moussa par l'intermédiaire d'une galerie de 4,77 km de long, afin d'assurer le remplissage de la retenue.

L'étude géologique de cette galerie de dérivation est incluse également dans le présent rapport.

1.3 - Etudes antérieures.

Les études géologiques, antérieures au présent rapport sont essentiellement des études préliminaires, faisant suite à des visites rapides sur le terrain. On peut citer en particulier :

- Liban-Nord - Mission du 5 au 13 décembre 1965. Compte rendu de M. Petiteville sur les sites de barrage. (Office du Litani).
- Prospection des sites de barrages sur les Mahr el Barad, Aarqa et Ostouène - février 1966 par MM. Levrat, Meouchy et Kansou de l'Office National du Litani.
- Rapport géologique sur les sites de barrages du Liban-Nord (novembre 1966) par M. A. Guerre de la Direction des Ressources Hydrauliques et Electriques.
- Barrages au Liban-Nord "Impressions de visite des sites". (Novembre 1966) par L. Dubertret, Directeur Scientifique au Conseil National de la Recherche Scientifique.

1.4 - L'étude actuelle.

Les cartes géologiques au 1/20.000 (pour la zone de la galerie de dérivation Abou-Moussa-Aarqa) au 1/10.000 (pour la retenue du barrage) et au 1/2.000 (pour le site de barrage) ont été réalisées en différentes interventions, totalisant environ 2 mois de géologie sur le terrain, durant la période comprise entre mars 1969 et janvier 1970.

Les géologues ayant participé à ce travail sont F. Chapond et A. Guerre (Hydrogéologues du Projet) ainsi que R. Karch (Hydrogéologue du Ministère des Ressources Hydrauliques et Electriques).

M. P. Petiteville (SOFRELEC-PARIS) a été notre consultant en géologie de barrage.

Les travaux qui comprenaient 5 forages, dont 1 pour la reconnaissance de la galerie de dérivation et 1 galerie de reconnaissance au droit du site, ont été exécutés par la Société NIXEX, entre les mois de novembre 1969 et de décembre 1970.

2 - GÉOLOGIE RÉGIONALE

Le compartiment septentrional du Massif du Liban qui porte le point culminant de la chaîne (Jornet es Saouda 3.086m) est formé par des terrains d'âge secondaire qui plongent vers le nord et vers l'ouest par l'intermédiaire d'une flexure brutale.

Ces terrains jurassiques et crétacés s'ennoient, à la bordure des reliefs, sous les dépôts plus récents du Miocène continental et du Pliocène volcano-sédimentaire (voir figure N° 2).

2.1 - Stratigraphie (voir figure N° 3).

2.1.1 - Le Jurassique

Les terrains les plus anciens, rencontrés dans la région étudiée, appartiennent au Jurassique moyen. Ils affleurent au cœur du massif et dans la zone des hauts plateaux de la partie amont du Abou Moussa.

La série débute au Bathonien avec des dolomies et des calcaires dolomitiques à petites intercalations marneuses, surmontés par une falaise calcaire d'une trentaine de mètres d'épaisseur.

Au-dessus, on rencontre normalement un complexe volcanique ou son équivalent latéral de marnes brunes ou vertes.

Enfin des calcaires graveleux et oolithiques constituent le sommet de la série jurassique. Cette partie terminale est le plus souvent érodée, de telle sorte que les couches du Crétacé inférieur reposent en discordance directement sur les calcaires et dolomies du Bathonien.

2.1.2 - Le Crétacé

Il a été subdivisé en trois formations :

- Le Crétacé inférieur, série détritique et terrigène avec intercalation de niveaux calcaires et volcaniques.
- Le Crétacé moyen, puissante série calcaire et dolomitique.
- Le Crétacé supérieur, essentiellement marneux.

./.

a) Le Crétacé inférieur (grès de base et Aptien)

Il auréole les noyaux jurassiques. Sur le versant nord du Liban, son épaisseur est réduite et le faciès gréseux normal est en partie remplacé par des argiles et des marnes. Les dépôts volcaniques sont abondants, soit sous forme de basaltes en coulées, massifs ou altérés, soit sous forme de tufs volcaniques passant à des cinerites ou à des argiles détritiques rouges et vertes.

Deux épisodes volcaniques principaux peuvent être distingués : le premier antérieur à la falaise de Blanche, barre calcaire et dolomitique qui est considérée comme le niveau repère de l'Aptien supérieur ; le second immédiatement postérieur à la falaise de Blanche, qui s'est vraisemblablement prolongé durant une partie de l'Albien.

b) Le Crétacé moyen (Albien - Cénomaniens - Turonien).

La transgression du Crétacé moyen a recouvert l'ensemble du domaine des massifs côtiers libano-syriens et a permis la sédimentation d'une épaisse série calcaire et dolomitique.

L'Albien a un faciès marno-dolomitique, difficilement séparable du Cénomaniens inférieur avec lequel il est généralement associé.

Le Cénomaniens est subdivisé en trois groupes lithologiques principaux dans le Liban-Nord.

- Le Cénomaniens inférieur (130m) est essentiellement dolomitique. Il s'agit de dolomies et de marnes dolomitiques avec de rares intercalations de calcaires fins contenant localement des récifs de rudistes silicifiés (Radiolitidés, Nerinea Cretacea CONRAD N. Gemmifera COQU.).
- Le Cénomaniens moyen (350 m) est principalement calcaire. Il comprend des alternances de marnes, de calcaires marneux riches en silex et en géodes de quartz, de calcaires fins massifs et de barres de calcaires dolomitiques. La faune rencontrée est caractérisée par Exogyra flabellata GOLD. Hemiaster aff. Saulcyé d'ORB., Acanthoceras sp.
- Le Cénomaniens supérieur (150m) est calcaire et dolomitique. Il débute par des marnes jaunes et des calcaires lumachelliques. Au-dessus suivent des calcaires cristallins puis une alternance de calcaires dolomitiques et de calcaires fins à niveaux siliceux. (Radiolitidés, Nérinées, Acanthoceratides).

Le Turonien est souvent érodé ou recouvert par des dépôts plus récents. Son épaisseur de 100 m environ est réduite par rapport à celle qu'il présente dans le Liban central (200m), comme cela se produit également pour le Cénomaniens supérieur.

Il est caractérisé par la succession suivante de bas en haut (région de Bqerzlé).

- Marnes et calcaires marneux à huîtres.
- Calcaires fins et calcaires dolomitiques.
- Bancs de calcaire fin blanc à digitations marneuses devenant plus marneux dans sa partie terminale.

c) Le Crétacé supérieur (Sénonien)

Les affleurements de cet âge sont rares dans la région étudiée. On les trouve à l'état de lambeaux en bordure des reliefs, au contact entre le Cénomano-Turonien et le Mio-Pliocène, ou en fenêtre dans le Mio-Pliocène à la faveur d'un pli ou d'une faille. On rencontre également le Sénonien pincé dans d'étroits synclinaux.

Le Crétacé supérieur est constitué par des calcaires marneux feuilletés, des marno-calcaires et des marnes à lits de silex noirs.

2.1.3 - Le Tertiaire

L'Eogène n'est pas connu dans la région ; le Néogène est représenté par les formations continentales du Pontien et par les dépôts volcano-sédimentaires du Pliocène.

a) Le Pontien

Il repose en discordance sur le Crétacé, en bordure des reliefs et est particulièrement développé dans la zone aval du Nahr Bared.

Il s'agit de conglomérats grossiers à ciment marneux rougeâtre avec intercalations de lits et de lentilles d'argile rouge dont l'épaisseur totale peut dépasser plusieurs centaines de mètres.

Vers le nord l'épaisseur diminue tandis que la granulométrie devient plus fine en général. Ainsi, dans la basse vallée du Nahr el Aarqa, les conglomérats ne dépassent pas 100 m d'épaisseur et passent latéralement et progressivement à des dépôts lacustres (marnes à concrétions calcaires).

b) Le Pliocène

La transgression du Pliocène inférieur a recouvert la partie ouest de la zone où se sont accumulés les dépôts continentaux du Pontien. Une subsidence importante a permis la sédimentation d'une épaisse série de marnes et de calcaires gréseux, dans le même temps que des épanchements volcaniques s'accumulaient dans la partie est de la zone de Tripoli-Homs.

2.1.4 - Le Quaternaire

Les dépôts quaternaires sont de types variés et leur importance varie grandement d'un point à un autre.

- Les dépôts fluviatiles localisés dans le lit des rivières, leur épaisseur est très variable, quelques mètres dans la vallée de l'Aarqa à plusieurs dizaines de mètres dans la vallée du Bared. Des lambeaux de terrasses anciennes sont parfois accrochés sur les versants.
- Les brèches de pente. Une grande partie des versants, surtout ceux entaillés dans les formations de dolomie gréseuse, de marnes ou de calcaires marneux, sont recouverts de dalles de brèches indurées.
- Les dépôts colluviaux meubles ou faiblement consolidés, ils s'accumulent en général au pied des versants sur une épaisseur pouvant atteindre une quinzaine de mètres. Ils sont surtout localisés dans les ouadis entaillant les formations tendres du Cénonien et du Néogène.
- Les glissements en masse. Ils affectent certaines barres calcaires du Cénoniano-Turonien reposant sur des niveaux marneux jouant un rôle de lubrifiant. Ils sont particulièrement importants dans les vallées du Bared et du Abou Moussa où les structures sont favorables à de tels décollements. Des glissements moins importants existent également dans la vallée de l'Aarqa et de ses affluents.

2.2 - Structures.

Les terrains jurassiques et crétacés des hauts plateaux plongent vers la zone déprimée de Tripoli-Homs par l'intermédiaire d'une flexure importante dans la partie supérieure du versant, puis par une zone de plis d'altitude décroissante à enveloppe de Cénoniano-Turonien qui disparaissent sous la couverture des terrains néogènes eux-mêmes caractérisés par des ondulations plus douces s'amortissant progressivement vers le nord et vers l'est.

Les vallées du Bared et du Aarga, encaissées dans cette bordure plissée et sensiblement perpendiculaires aux axes structuraux, permettent de connaître le détail des structures.

L'orientation des plis est SO-NE avec une incurvation progressive des axes vers l'est. Les plis sont affectés par un faisceau de failles, de même orientation dont la principale est la faille d'Illât que l'on peut suivre depuis la vallée du Bared jusqu'à celle de l'Aarga et qui est associée à un synclinal pincé à flancs subverticaux.

Le style tectonique des plis est variable, depuis l'anticlinal à tendance coffrée avec zone axiale de plusieurs kilomètres de large jusqu'aux plis à tendance chevauchante par failles obliques.

Ces plis parallèles à la bordure du "horst" sont eux-mêmes affectés par des ondulations transversales se manifestant par des plongements axiaux variables et par des failles de réajustement de direction NO-SE.

3 - GEOLOGIE DU SITE ET DE LA RETENUE

3.1 - Le site de barrage (voir figures N° 4 et 5)

Le site de barrage est situé sur le flanc sud-est d'un anticlinal dont l'axe est orienté NE-SO et passe près du village d'Illât. Comme à cet endroit le Nahr el Aarga coule vers le nord-ouest, toutes les couches ont un pendage amont, ce qui est une situation favorable.

La succession stratigraphique observée au droit du site est la suivante de bas en haut :

- a) Calcaires lités finement en bancs de 10 à 20 cm d'épaisseur, calcaires à silex noirs et à passées dolomitiques, affleurant dans le coeur de l'anticlinal, à l'aval immédiat du site sur une épaisseur visible de 20 m (Cénomaniens moyen).
- b) Marnes sableuses dolomitiques de 7 à 8 m d'épaisseur (Cénomaniens moyen).
- c) Calcaires marneux et marno-calcaires à silex beige de 25 m d'épaisseur (Cénomaniens moyen).
- d) Alternance de calcaires massifs à grain fin, de calcaires dolomitiques et de petits bancs marneux, formant un ensemble massif et compact de 130 m d'épaisseur environ et d'âge également Cénomaniens moyen.

Le barrage s'appuierait essentiellement sur ces couches.

- e) Bancs de marnes jaunes à huîtres associés à des lumachelles calcaires de 20 à 30 m d'épaisseur en moyenne, formant la base du Cénomaniens supérieur.
- f) Calcaires massifs et calcaires dolomitiques du Cénomaniens supérieur qui forment le sommet des deux rives.

Les dépôts quaternaires observables au site de barrage sont très réduits. L'épaisseur des alluvions ne dépasse pas 2 m et les éboulis meubles que l'on rencontre localement à la base des versants, sont constitués de blocs calcaires enrobés dans une matrice d'argile ocre et leur épaisseur est de 1 à 2 m en moyenne.

Malgré l'importance des calcaires et des dolomies dans la série, les signes de karstification sont rares ou peu évolués, aucun gouffre n'a été rencontré ; seules des surfaces légèrement lapiazées indiquent un début d'altération des calcaires.

D'une façon générale, la régularité des couches, l'aspect massif et compact de l'ensemble, caractérisé par une forte proportion de bancs calcaires durs, font que les appuis du barrage sont solides et qu'aucun problème de stabilité ne se pose dans le cas d'un barrage en enrochement. Il peut être même envisagé la construction d'un barrage poids en béton.

3.2 - La retenue (voir figures N° 6 et 7)

La retenue prévue se trouve dans les couches du Cénomani-
en qui elles-mêmes reposent sur le complexe volcanique imperméa-
ble de l'Aptien supérieur. La description détaillée de l'ensemble
de la série Cénomaniennne est donnée dans le chapitre 2 du présent
rapport.

Structuralement, les terrains perdent d'altitude du
S.E. vers le N.O. et sont affectés par une série d'accidents tec-
toniques dont l'orientation générale est SO - NE.

Cette série d'accidents est la suivante du S.E. vers le
N.O. :

- a) Après une première zone à pendage régulier et assez doux (20°
vers le N.O.), apparaît une flexure brutale "en genou" qui décale
d'environ 400 m vers le bas les couches du Cénomanienn inférieur.
- b) Une zone synclinale, parfois pincée et localement déversée,
étroitement associée à une grande faille, "La faille d'Illât",
qui peut servir de relai. En effet à l'aval de la retenue, la
charnière synclinale se trouve au nord de la faille d'Illât alors
qu'à l'amont de la retenue, elle se trouve au sud de la faille
et se subdivise même en plusieurs petits plis faillés dans la
région du Nahr el Mayiet. Au pied amont du barrage, cette char-
nière synclinale est complètement pincée dans la faille d'Illât.
- c) Une zone anticlinale correspondant à l'anticlinal d'Illât vaste
et elle-même légèrement ondulée au point de prendre un style en
"anticlinorium".

./.

- c) Une zone synclinale de style assez pincé.
- e) Une zone anticlinale marginale, dernier accident visible avant la grande dépression subsidente, comblée par les dépôts miopliocènes.

Le Nahr el Aarga a implanté son lit de façon préférentielle au pied de la flexure, dans la zone faillée et redressée où l'on trouve les synclinaux plus ou moins pincés, alors que son affluent principal, le Nahr el Mouaïch a creusé son lit perpendiculairement aux structures.

C'est donc essentiellement la dépression synclinale liée à la faille d'Illât que la retenue baignera.

4 - GÉOLOGIE DE LA GALERIE DE DERIVATION

L'ouvrage de prise de cette galerie serait implanté sur le Nahr Abou Moussa au point de coordonnées ($X = 186,76 - Y = 270,20$ et $Z = 500$ m). Elle déboucherait dans le Nahr el Houaïch, affluent du Nahr el Aarga au point de coordonnées ($X = 187,90 - Y = 282,90$ et $Z = 480$ m) et sa longueur totale serait de 4,9 km.

La carte géologique au 1/20.000 (voir figure N°8) ainsi que la coupe géologique suivant le tracé de la galerie (voir figure N°9) montre que la région traversée par celle-ci est relativement tranquille.

La succession des terrains se présente comme suit de bas en haut :

- a) Calcaires et dolomies massifs du Jurassique moyen et supérieur (épaisseur supérieure à 1000 m). La série jurassique est monotone, de couleur grisâtre avec de rares niveaux marneux. Il est probable qu'elle doit être karstifiée en profondeur.
- b) Complexe volcanique (basaltes noirâtres, cinérites, brèches) passant latéralement à des marnes grises sombres et à des marno-calcaires du Jurassique supérieur. Cette partie terminale du Jurassique est souvent érodée et ne se retrouve pas à l'affleurement. Son épaisseur est donc très variable.
- c) Très de base de l'Aptien inférieur, jaunes à rougeâtres dont l'épaisseur très réduite est en moyenne de 20 m.
- d) Marno-calcaires et calcaires gréseux de l'Aptien inférieur dont l'épaisseur est de l'ordre de 30 m.
- e) Calcaires compacts à grains fins de la falaise de Blanche, d'âge Aptien supérieur, dont l'épaisseur se réduit progressivement du sud (30 m) vers le nord où ils disparaissent.
- f) Complexe volcanique (laves, cinérites, argiles d'altérations rougeâtres) de l'Aptien supérieur dont l'épaisseur variable peut atteindre 100m.
- g) Calcaires dolomitiques et marnes dolomitiques de l'Albien et du Cénomanién inférieur.

Le seul accident important est une faille, de direction E.O., passant à 1 km au nord de Hrar et près du village de Babchit. Cette faille qui se suit sur plus d'une dizaine de kilomètres a un rejet moyen de 80 m qui abaisse le compartiment nord.

Sur le profil de la galerie, au nord de cette faille, les couches plongent doucement vers le nord-ouest, avec un pendage compris entre 10 et 20 °.

Innédiatement au sud de cette faille, les pendages deviennent très faibles et une structure en dôme très amortie est discernable.

Telle qu'elle est prévue, la galerie restera en permanence dans les calcaires du Jurassique et les couches rencontrées se présenteront avec des pendages très faibles. Une zone broyée de 20 à 30 m de longueur devrait être rencontrée au passage de la faille principale près du kilomètre 2,3.

./.

5 - LES TRAVAUX DE RECONNAISSANCE

Ces travaux comprennent un forage de reconnaissance près de Kraïbé concernant la galerie de dérivation Abou Moussa-Aarqa, une galerie de reconnaissance près du site de barrage ainsi que 4 forages au droit du site proprement dit.

5.1 - Le forage de Kraïbé

Il a été implanté le long de la piste qui relie Krar à Kraïbé, à la cote 750 m et au point de coordonnées ($X = 187,500$ - $Y = 281,200$) d'après la carte au 1/20.000 de Bano.

Il a atteint la profondeur de 350 m soit la cote 400 m. Il a été foré par la méthode rotary dans les diamètres suivants :

- 12 " 1/4 jusqu'à 0 m
- 6 " 1/2 jusqu'à 160 m
- 5 " 3/4 jusqu'à 200 m
- 4 " 1/2 jusqu'à 350 m.

Des carottes ont été prises tous les dix mètres entre 310 et 350 m.

Le forage a été équipé d'un tubage piezométrique de 5" jusqu'à 160 m.

En cours de forage, des pertes de boue ont été enregistrées vers 50 m et entre 297 et 350 m.

La succession géologique rencontrée (voir coupe géologique en annexe), s'est révélée conforme à ce que l'on pouvait attendre des levés de surface (voir figure N°9).

Les calcaires jurassiques ont été rencontrés entre 155 et 350 m, ce qui montre qu'une galerie passant près de la cote 450m se trouvera dans cette formation.

Dans le Jurassique, le niveau d'eau statique obtenu après lavage de la boue a été de 110 m soit à la cote 640 m, résultat inattendu étant donné que les affleurements du Jurassique se rencontrent encore à la cote 440m dans la vallée de l'Abou Moussa et à la cote 430 m dans la vallée du Nahr Houaïch vers le nord.

Dans l'hypothèse d'un massif de calcaires et de dolomies karstifié, le niveau statique au forage de Kraïbé devrait se trouver aux environs de la cote 450 m. Il faut donc s'attendre à des nappes perchées éventuelles et par conséquent à des venues d'eau importantes lors du percement de la galerie, surtout au nord de la faille de Erar.

5.2 - La galerie de reconnaissance d'Ilât.

Cette galerie a une longueur de 165 m et une section moyenne de 3 m².

Comme son but était de reconnaître une zone redressée à la verticale (faille d'Ilât) correspondant à un grand accident régional, elle a été poursuivie parallèlement aux couches sur les 35 premiers mètres puis perpendiculairement sur une longueur de 116 m. Enfin, une antenne de 14 m a été percée dans une zone particulièrement broyée (voir figures N°4 et N°14).

Les couches rencontrées appartiennent toutes au Céno-manién et il s'agit de calcaires fins passant dans les 40 derniers mètres à des calcaires dolomitiques (voir coupe donnée en annexe). Le fait le plus remarquable est l'importance de la fissuration et de la fracturation. Des fissures ouvertes dont les parois sont recouvertes de calcite secondaire sont visibles vers 15,50 m et entre 40 et 50 m. De nombreuses zones broyées avec matrice d'argile rouge sont observables ainsi que des phénomènes de glissements différentiels entre les bancs.

Des suintements sont rares, seulement lorsque la galerie passe sous le petit affluent de la rive gauche du Nahr Aarga.

Il ressort que cette zone redressée et faillée est fortement fracturée et broyée et que la plus grande partie des vides est colmatée par des dépôts d'argile rouge, ce qui montre que la perméabilité de l'ensemble est peut-être moins forte que l'on pourrait le craindre en première hypothèse.

5.3 - Les forages au site d'Ilât

Il s'agit de 4 forages, exécutés en carottage continu avec des diamètres initiaux de 7" 1/2 et des diamètres finaux de 4" 7/16 avec utilisation des couronnes à diamant.

./.

Des essais d'eau de type "Lugeon" ont été exécutés systématiquement par tranches descendantes de 5 m suivant un cycle de pression : 3 - 6 - 10 - 6 - 3 Kg/cm².

Le forage F 1, vertical, d'une profondeur de 102 m a été implanté dans le lit de la rivière à la cote 265 m.

Le forage F 2, vertical, d'une profondeur de 150 m a été localisé sur le versant rive gauche à la cote 342 m.

Le forage F 3, vertical, d'une profondeur de 152 m a été implanté sur le versant rive droite à la cote 338 m.

Le forage F 4, incliné de 30° par rapport à la verticale en direction du S.E. (N° 140° E), d'une longueur de 150 m, a été localisé près du pied amont du barrage et de façon à reconnaître la faille d'Ilât en profondeur.

Les implantations sont données dans la figure N°4, les coupes géologiques sont citées en annexe et les résultats des essais Lugeons sont exposés dans les figures N°10 - 11 - 12 et 13.

Le forage F 1 a montré des absorptions d'eau fortes (10 à 20 L) dans les 40 premiers mètres correspondant à des calcaires du Cénomannien moyen et des absorptions faibles pour les marnes et calcaires dolomitiques sous-jacents à l'exception des passes comprises entre 70 et 80 m (présence de fissures ?). Le niveau d'eau dans ce forage est sensiblement le même que celui de la rivière.

Les forages F 2 et F 3 qui reconnaissaient les versants ont confirmé encore plus nettement les résultats du F 1 : fortes absorptions (10 à 30 Lugeons) dans les calcaires supérieurs que l'on rencontre jusqu'à une profondeur comprise entre 80 et 90 m et faibles absorptions, inférieures à 2 Lugeons dans les calcaires marneux et dolomitiques sous-jacents.

Les fortes absorptions observées dans les calcaires supérieurs en particulier au F 3 entre 30 et 50 m sont sans doute dues à la fissuration du massif, surtout près de l'axe de l'anticlinal d'Ilât, mais peut être en partie à des effets de versant.

Devant de tels résultats, il peut être affirmé que les niveaux marneux et dolomitiques qui affleurent dans le coeur de l'anticlinal à l'aval immédiat du barrage sont pratiquement imperméables et qu'un voile d'étanchéité pourrait très bien être raccordé à ces niveaux, à des profondeurs variant entre 50 et 100 m.

Les niveaux d'eau statiques enregistrés dans les forages sont 96 m au F 2 et 90 m au F 3. La rivière serait donc perchée d'environ 20 m au-dessus de la nappe aquifère.

Le forage F 4 a montré des absorptions importantes supérieures à 20 Lugeons à différents niveaux (20 m - 70 m - 85 m - 110 m - 150m). Ces fortes absorptions semblent plus en relation avec la fracturation des couches qu'avec leur facies.

Lors des essais Lugeons, on note un débonnage des fissures lorsque l'on monte en pression dans la tranche de terrains comprise entre 0 et 50 m de profondeur, alors que l'on assiste plutôt à un bourrage des fissures sous l'effet de la pression entre 50 et 150 m.

Ce phénomène est assez rassurant, s'il devait être confirmé, puisqu'il éviterait de descendre un voile d'étanchéité à des profondeurs excessives. Le niveau d'eau stabilisé en fin de forage est à environ 20 m sous le niveau de la rivière.

6 - L'ETANCHEITE DE LA RETENUE

C'est le problème principal pour le barrage d'Illât. Toute la retenue est constituée par des terrains calcaires et dolomitiques fissurés, parfois fracturés et broyés, dans lesquels les eaux accumulées s'infiltreront obligatoirement. Il reste donc à déterminer si ces eaux infiltrées pourront trouver des possibilités de sortie à une cote inférieure à 360 m.

En rive gauche. Les eaux s'infiltreront vers le sud et le sud-est dans les calcaires cénomaniens, mais viendront reposer sur les basaltes et les cinérites de l'Aptien supérieur comme le montrent les coupes de la figure N°7. Or, ces terrains de l'Aptien supérieur se comportent comme un niveau imperméable dans toute la région. Il n'y a donc aucune possibilité de fuite dans cette direction. En fait cette disposition géologique est même favorable puisqu'elle fonctionnerait comme un réservoir souterrain supplémentaire.

En rive droite. Les eaux s'infiltreront vers le nord et le nord-ouest perpendiculairement aux axes structuraux qui sont nombreux. Une telle succession de plis, ainsi que la présence de bancs marno-dolomitiques dans la série stratigraphique ne sont pas favorables à ces écoulements transversaux. En admettant que cela se réalise, les eaux infiltrées viendraient en contact avec le remplissage mio-pliocène imperméable de la trouée Tripoli-Mons qui se trouve partout à une cote supérieure à 350 m (voir figure N°7). Les pertes dans cette direction peuvent donc être pratiquement exclues.

C'est en fait vers l'ouest et le sud-ouest, parallèlement aux axes structuraux et au lit de la rivière que des pertes importantes sont susceptibles de se produire.

Au droit du barrage proprement dit un voile d'étanchéité d'une profondeur comprise entre 50 et 100m, se raccordant aux facies marno-dolomitiques du coeur de l'anticlinal d'Illât, permettrait sans doute d'assurer l'étanchéité.

Un voile au large en rive droite devrait être assez important, long de 400 m et profond de 100 m en moyenne à partir de la cote 360 m afin d'éviter les résurgences dans le petit affluent aval (Ouadi Beit Melhem). Ce voile pourrait également se raccorder aux facies peu perméables du coeur de l'anticlinal d'Illât.

Un voile au large en rive gauche pourrait prendre des proportions démesurées.

Il faut en effet non seulement fermer toute la retombée anticlinale sur laquelle s'appuiera le barrage, mais encore toute la zone faillée et redressée à la verticale correspondant à la faille d'Illât.

La disposition structurale des couches peut provoquer des circulations faciles le long de la faille et de ses épentes et des résurgences importantes sont à craindre le long du Nahr Châne, situé à seulement 650 m de la retenue, en se plaçant à la cote 360m. Cela obligera à prévoir un voile au large d'une longueur minimum de 500 m et d'une profondeur moyenne de 100 m à partir de la côte 360 m.

On remarquera qu'un tel voile ne se raccorde pas sur un niveau étanche et que l'on espère seulement augmenter ainsi la longueur de cheminement des filets d'eau, donc augmenter les pertes de charges et diminuer les débits des fuites.

Les résultats obtenus par les travaux de reconnaissance permettent de penser qu'à partir d'une certaine profondeur, supérieure à 50 m, les fissures ont tendance à se colmater sous l'effet de la mise en pression, ce qui est un élément favorable. Il reste que cette zone sera de loin la plus dangereuse et que les techniques mises en oeuvre ne permettent pas d'assurer une garantie totale de succès.

./.

7 - LES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

7.1 - Les enrochements

Aussi bien en rive droite qu'en rive gauche, il est possible d'ouvrir une carrière pour exploiter les calcaires énémiens à proximité immédiate du site. Ces calcaires sont massifs dans l'ensemble et durs. Ils pourraient constituer un excellent matériau pour l'enrochement.

Pour des raisons d'accès, c'est plutôt en rive droite qu'il conviendrait d'exploiter les calcaires.

7.2 - Les matériaux pour le noyau étanche

Les alluvions sont presque inexistantes à proximité immédiate du site. Il faut remonter à environ 3 km à l'amont du site, près de Gebrâzel pour trouver des alluvions dont le volume et la granulométrie sont encore mal connus. Les marnes à huîtres du Cénozanier sont peu épaisses, de l'ordre de 20 m et leur disposition structurale plissée empêche une exploitation aisée de volumes importants. C'est donc soit vers les dépôts mio-pliocènes situés vers le nord à environ 2 km du site, soit vers les argiles et cinérites de l'Aptien supérieur, situées vers le sud à environ 2 km du site également qu'il faudra rechercher. Dans ce domaine des reconnaissances complémentaires restent à faire.

8 - CONCLUSIONS

L'étude géologique détaillée a montré que le barrage s'appuiera sur le flanc d'un anticlinal dont les couches présentent un pendage amont et que la retenue baignera sur sa majeure partie, une zone synclinale plus ou moins pincée. Ces circonstances structurales sont à première vue favorables.

La bonne qualité des appuis constitués par des calcaires durs et massifs permet d'envisager la construction d'un barrage en enrochement sans aucun problème de stabilité.

L'épaisseur très réduite des alluvions, ainsi que des formations de pente récentes, l'absence de zone fluée ou glissée sont également des éléments favorables qui permettront de réduire au minimum la profondeur des fouilles.

Le plus grave problème, du point de vue géologique, est celui de l'étanchéité de la retenue.

C'est essentiellement sur des distances de 500 m, de part et d'autre du site, que des pertes importantes sont susceptibles de se produire, en raison de la grande perméabilité des calcaires cénozoïques, de l'existence de petits affluents à l'aval du barrage aussi bien en rive droite qu'en rive gauche et surtout de la présence de la faille d'Ilôt, au sud immédiat du barrage, qui pourrait entraîner très facilement les eaux de la retenue vers le Nahr Chêne.

Des voiles d'étanchéité importants seront donc nécessaires. Ces voiles seront très efficaces sous le barrage et au large en rive droite, par contre le voile au large rive gauche pourrait être très difficile à réaliser.

C'est une surface totale de voile de l'ordre de 100.000m² qu'il faut envisager, avec des taux d'absorption de coulis de l'ordre de 200 kg/m² soit un poids total de coulis de 20.000 tonnes.

Ces chiffres, même s'ils sont approximatifs et destinés à donner un ordre de grandeur, montrent que l'exécution des voiles d'étanchéité coûtera extrêmement cher.

En conclusion, le barrage d'Ilôt est géologiquement admissible, mais il reste à démontrer que la réalisation de l'étanchéité de la cuvette ne conduira pas à des prix totalement prohibitifs.

ANNEXE 1

Coupe géologique du sondage F 1

vertical, situé dans le lit de la rivière à la cote 265 m environ.

-
- 0 - 1 m Calcaires et graviers avec marnes brunes fluviatiles
 - 1 - 4 m Calcaires gris fracturés avec marnes brunes dans les fissures.
 - 4 - 5 m Calcaires gris clair fracturés.
 - 5 - 14 m Calcaires gris clairs et calcaires marneux.
 - 14 - 22 m Calcaires gris clairs localement fracturés.
 - 22 - 30 m Calcaires et calcaires marneux gris clairs fracturés.
 - 30 - 41 m Calcaires marneux et calcaires dolomitiques blanchâtres.
 - 41 - 52 m Calcaires dolomitiques et calcaires gris clair.
 - 52 - 63 m Calcaires fins et calcaires marneux dolomitiques.
 - 63 - 75 m Calcaires dolomitiques et calcaires gris clair finement fracturés.
 - 75 - 83 m Calcaires marneux et calcaires dolomitiques très fracturés.
 - 83 - 86 m Marnes grises.
 - 86 - 93 m Calcaires dolomitiques marneux gris sombre.
 - 93 - 97,5m Dolomies saccharoides gris brunâtre avec petits bancs de calcaires gris clair.
 - 97,5-102m Calcaires marneux et calcaires dolomitiques.

ANNEXE 2

Coupe géologique du sondage F 2

vertical, situé sur la rive gauche à la cote 342 m environ.

- | | | | |
|--------|---|---------|--|
| 0 | - | 3,5 m | Dépôts de versant non consolidés (y compris le remblai pour l'installation de la sondeuse). |
| 3,5 | - | 30,0 m | Calcaires cristallins beige clair moyennement fracturés à nombreux débris fossilifères, parfois lunachellique (15-16m), remplissage des fissures par des argiles ocrees et des marnes blanchâtres pulvérulentes. |
| 30,0 | - | 44,30m | Calcaires fins translucides, très fracturés avec remplissage des fissures par des marnes blanchâtres pulvérulentes. |
| 44,30- | | 51,0 m | Calcaires dolomitiques gris et dolomies blanchâtres peu ou pas fracturés, quelques signes de karstification avec remplissage d'argile ocrees. |
| 51,0 | - | 79,0 m | Calcaires fins translucides, très fracturés à tendance bréchique vers 79m. Argile rouge de remplissage dans les fractures. |
| 79,0 | - | 90,0 m | Calcaires dolomitiques blancs à grisâtres, légèrement marneux et friables peu fissurés. |
| 90,0 | - | 104,0 m | Calcaires fins translucides, assez fracturés, colmatage partiel des fissures par des argiles rouges. |
| 104,0 | - | 115,0 m | Calcaires dolomitiques blanchâtres peu ou pas fissurés avec intercalations de petits bancs de calcaires marneux légèrement fissurés, avec remplissage d'argiles rouges. |
| 115,0 | - | 140,2 m | Calcaires beiges ou translucide à grains fins, très fracturés, ayant tendance à se débiter en plaquettes et avec argiles rouges dans les fissures. |
| 140,2 | - | 141,0 m | Dolomies compactes grisâtres. |
| 141,0 | - | 150,0 m | Calcaires fins peu fissurés, avec enduit argileux dans les fissures. |

ANNEXE 3

Coupe géologique du sondage F 3

vertical, situé sur la rive droite à la cote 330 m environ.

0	-	33,60 m	Calcaires fins sublithographiques, blanchâtres, fracturés à tendance bréchique entre 21 et 31 m, remplissage d'argile rouge dans les fractures et présence de calcite secondaire dans les cavités.
33,60-		36,00 m	Calcaires marneux beiges finement lités, relativement compacts.
36,00-		57,00 m	Calcaires cristallins beiges avec passées de calcaires dolomitiques marneux plus compacts, fracturés et fissurés à remplissage d'argile rouge dans les vides.
57,00-		77,00 m	Calcaires dolomitiques blanchâtres légèrement marneux à texture gréseuse, moyennement fissurés.
77,00-		93,00 m	Calcaires fins beiges, fracturés, remplissage des fissures par des argiles rouges et des fragments de calcaires; tendance bréchique (91 - 93m).
93,00-		100,00 m	Dolomies à texture gréseuse, légèrement marneuses, friables et peu ou pas fissurées.
100,00-		131,00 m	Calcaires marneux jaunâtres, finement lités, se débitant en plaquettes, peu fissurés dans l'ensemble.
131,00-		146,5 m	Dolomies jaunâtres à texture gréseuse, légèrement marneuses, diaclasées mais sans remplissage d'argile rouge, assez friables.
146,5	-	152,0 m	Calcaires marneux, légèrement dolomitiques, gris régulièrement et finement lités, compacts.

ANNEXE 4

Coupe géologique du sondage F 4

- incliné à 30° par rapport à la verticale - direction N. 140 E.
et situé au pied amont du barrage à la cote 265 m environ.

0	- 10	m	Calcaires fins beiges, très fracturés avec traces d'oxydes ferrugineux.
10	- 10	m	Calcaires dolomitiques beiges, saccharoïdes, fracturés, se débitant en esquilles, avec traces d'oxydes ferrugineux.
10	- 43,50m		Calcaires fins crypto-cristallins gris et beiges, avec débris fossilifères (gros rudistes), très fracturés. Les fissures sont remplies d'argiles rouges ou ocre et d'enduits noirs de manganèse.
43,50	- 52,60m		Calcaires dolomitiques blanchâtres, assez compacts avec quelques cavités tapissées de calcite et fissures remplies d'argile rouge - aspect parfois de Cargneule.
52,60	- 67,60m		Dolomies calcaires grisâtres compactes non ou peu fissurées.
67,60	- 84	m	Calcaires dolomitiques beiges très fracturés à passages bréchiques avec remplissage des joints et des fissures par de l'argile rouge et du quartz secondaire (79,50 m).
84	- 84,50m		Brèche à matrice d'argile rouge.
84,50	- 130	m	Alternance de calcaires fins gris à beiges et de calcaires dolomitiques gris compacts. Les niveaux calcaires sont en général plus fracturés avec dépôts d'argile rouge dans les fractures.
130	- 137	m	Calcaires cristallins très fracturés à tendance bréchique (stries et cannelures).
137	- 150	m	Calcaires dolomitiques blanchâtres et calcaires marmoréens très fracturés, altérés en cargneules avec remplissage d'argile rouge et de calcite secondaire.

ANNEXE 5

Géologie de la galerie de reconnaissance

située en rive gauche, au pied amont du barrage à la cote approximative 275 m.

- 0 - 35,50 m Calcaires fins beiges, durs, moyennement fracturés avec glissements différentiels entre les bancs et un remplissage partiel des fissures par des argiles calcaires rougeâtres.
- On note une fissure ouverte à 11,50 m et une autre à 15,50 m dont les parois sont revêtues de calcite secondaire. Ces fissures larges de 10 cm en moyenne sont orientées perpendiculairement aux bancs.
- Direction moyenne des couches = N 40°E
- Pendage moyen des couches = 60° vers le S.E.
- 35,50 - 119 m Calcaires fins beiges grossièrement fracturés avec remplissage d'argiles rouges abondantes des fractures.
- On note des zones franchement broyées :
- entre 40 et 46 m
 - entre 53 et 70 m
 - entre 90 et 101 m
 - entre 109 et 119 m
- Une grande fissure ouverte sur une largeur de 15 à 50 cm perpendiculaire aux bancs, partiellement colmatée par des blocs enrobés d'argile rouge est visible entre 40 et 50 m.
- Des suintements d'eau sont observables entre 72 et 78 m.
- Direction générale moyenne des couches = N 40°E
- Pendage moyen des couches = 65° vers le S.E.
- 119 - 140 m Calcaires dolomitiques blanchâtres fracturés avec remplissage d'argile détritique rouge dans les fissures et les joints de stratification.
- Zone particulièrement broyée entre 130 et 136 m.
- Direction générale des couches = N 50°E
- Pendage moyen des couches = 70° vers le sud-est.

Géologie de la galerie de reconnaissance (suite)

140 - 151 m Calcaires fins broyés avec matrice d'argile rouge.
Direction des couches = N. 50°E
Pendage moyen = vertical

Antenne latérale

C - 14,30 m Calcaires en bancs de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur, peu fracturés sur la paroi gauche, et très fracturés sur la paroi droite - fracturation différentielle des bancs.
Direction des couches = N 40°E
Pendage moyen : 65° vers le sud-est.

ANNEXE 6

Coupe géologique du forage de Kraïbé

(Reconnaissance de la galerie de dérivation Abou Moussa - Aarga)

-
- | | | |
|-------|-------|---|
| 0 - | 2 m | Basaltes altérés rougeâtres. |
| 2 - | 27 m | Alternance d'argiles rougeâtres et grisâtres et de cinérites altérées. |
| 27 - | 43 m | Basaltes gris sombre légèrement altérés. |
| 43 - | 47 m | Basaltes gris sombre et petits bancs de calcaires gris clair (95 % de basaltes au moins). |
| 47 - | 50 m | Calcaires gris clair. |
| 50 - | 59 m | Calcaires gris clair alternant avec des marnes gris sombre à rougeâtres. |
| 59 - | 60 m | Marnes grises. |
| 60 - | 60 m | Alternance de marnes grises et de calcaires gris clair. |
| 60 - | 83 m | Calcaires marnoux gris verdâtres. |
| 83 - | 93 m | Sables avec petits lits marnoux. |
| 93 - | 100 m | Alternance de calcaires marnoux et de marnes grises. |
| 100 - | 101 m | Marnes grises. |
| 101 - | 155 m | Alternance de marnes indurées grisâtres et de bancs calcaires fins gris clair. (petits lits marnoux rougeâtres entre 145 et 155 m). |
| 155 - | 180 m | Calcaires beige clair. |
| 180 - | 350 m | Calcaires et dolomies beiges avec petites intercalations de marnes verdâtres. On note des marnes rouges entre 335 et 337 m. |

Stratigraphie :

0 -	50 m	Aptien supérieur
50 -	93 m	Aptien inférieur
93 -	155 m	Jurassique supérieur
155 -	350 m	Jurassique moyen à supérieur.