Etude géologique des terrains de fondation du barrage de Bou-Hanifa

Autor(en): **Falconnier, Alfred / Lombard, Augustin**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **68 (1942)**

Heft 12

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-51805

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

68e année 13 juin 1942 N° 12

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :
Suisse : 1 an, 13.50 francs
Etranger : 16 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 11 francs
Etranger : 13.50 francs
Prix du numéro :
75 centimes.
Pour les abonnements s'adresser à la librairie F. Rouge & Cie, à Lausanne.

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

COMITÉ DE PATRONAGE. — Président : R. Neeser, ingénieur, à Genève ; Vice-président : M. Imer, à Genève; secrétaire : J. Calame, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg :* MM. L. Hertling, architecte ; A. Rossier †, ingénieur ; *Vaud :* MM. F. Chenaux, ingénieur ; E. Elskes, ingénieur ; Epitaux, architecte ; E. Jost, architecte ; A. Paris, ingénieur ; Ch. Thévenaz, architecte ; *Genève :* MM. L. Archinard, ingénieur ; E. Odier, architecte ; *Neuchâtel :* MM. J. Béguin, architecte ; R. Guye, ingénieur ; A. Méan, ingénieur ; *Valais :* M. J. Dubuis, ingénieur ; A. de Kalbermatten, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur, Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Publicité :
TARIF DES ANNONCES
Le millimètre (larg. 47 mm.) 20 cts.
Tarif spécial pour fractions de pages.
Rabais pour annonces répétées.
ANNONCES-SUISSES S. A.
5, Rue Centrale,
LAUSANNE
& Succursales.

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. Stucky, ingénieur, président ; M. Bridel ; G. Epitaux, architecte ; M. Imer.

SOMMAIRE : *Etude géologique des terrains de fondation du Barrage de Bou-Hanifia*, par Alfred Falconnier et Augustin Lombard, Drs. Sc., géologues-conseils. — *Société suisse des ingénieurs et des architectes : Rapport de gestion de l'exercice 1941* (suite et fin). — Nécrologie : *Georges Chappuis, ingénieur.* — Service de placement.

Etude géologique des terrains de fondation du Barrage de Bou-Hanifia [1]

par Alfred FALCONNIER et Augustin LOMBARD, Drs. Sc., géologues-conseils.

Introduction.

La construction du barrage de Bou-Hanifia sur l'Oued El Hammam à 4 km à l'amont du village de Bou-Hanifia les Thermes (Département d'Oran, Algérie) a nécessité de très sérieuses investigations géologiques.

De profondes excavations, de nombreux puits et galeries de reconnaissance ainsi que 3000 m de forages ont permis de préciser dans le détail la géologie assez compliquée de cette région.

Des problèmes techniques et géotechniques de toute espèce se sont posés aux ingénieurs lors de l'établissement du projet et de son exécution, étant donné la nature du sol de fondation.

L'emplacement choisi est, géologiquement parlant, très peu favorable mais, devant l'impossibilité de pouvoir choisir un meilleur emplacement, les ingénieurs ont cherché à vaincre les difficultés naturelles en employant les moyens techniques les plus modernes.

Nous ne voulons pas, dans les lignes qui vont suivre, exposer à nouveau les résultats concluants des expériences et entrer dans un domaine qui n'est pas de notre compétence directe : nous nous limiterons à donner un résumé synthétique des bases géologiques qui servirent de guide aux ingénieurs chargés d'étudier et d'exécuter le le projet en question [2].

Plusieurs géologues éminents ont donné leur avis sur Bou-Hanifia : ce sont MM. *J. Savornin, Ch. Jacob* et *M. Lugeon.*

Avant d'exposer en détail les résultats géologiques auxquels nous sommes arrivés après de laborieuses recherches, nous donnerons un aperçu géographique et général sur l'emplacement du barrage et de ses organes annexes (voir planche I).

Le barrage de Bou-Hanifia en enrochement de blocs arrimés avec masque amont étanche, haut de 55 m et long de 460 m, a pour appui, rive droite, un éperon dû à la confluence de l'Oued El Hamman avec le Chabet Sidi Sahnoun et pour appui, rive gauche, un mince éperon déterminé par un méandre de l'Oued El Hammam à l'amont du barrage.

C'est au travers de cet éperon rive gauche que sont percés les deux souterrains de dérivation capables de débiter 1200 m³/sec durant les travaux. Ces derniers étant terminés, l'un des souterrains sert de vidange de fond (débit 500 m³/sec sous pleine charge) et l'autre de prise d'eau.

Le niveau de retenue normal a été fixé à la cote 295,00, la crête du barrage étant à la cote 300,00.

La capacité de la réserve est de 71 millions de mètres cubes alors que le débit annuel moyen de l'Oued El Ham-

[1] Cette étude a été faite pour le compte de la société *Sondages, Etanchements, Consolidations, procédés Rodio*, à Paris. Nous devons à l'obligeance de M. *G. Rodio*, Dr *h. c.*, ingénieur-conseil, l'autorisation de publier ces lignes.

[2] On trouvera, dans les mémoires du deuxième Congrès des Grands Barrages, tenu en 1936 à Washington, une série d'études dues à la plume autorisée de MM. *Martin* et *Drouhin*, ingénieurs des Ponts et Chaussées, relatives aux problèmes qui se sont posés à Bou-Hanifia et en Algérie. Ces problèmes ont trait principalement à la compressibilité des soubassements marneux, à la lutte contre l'érosion souterraine des sables et à la technique des injections.

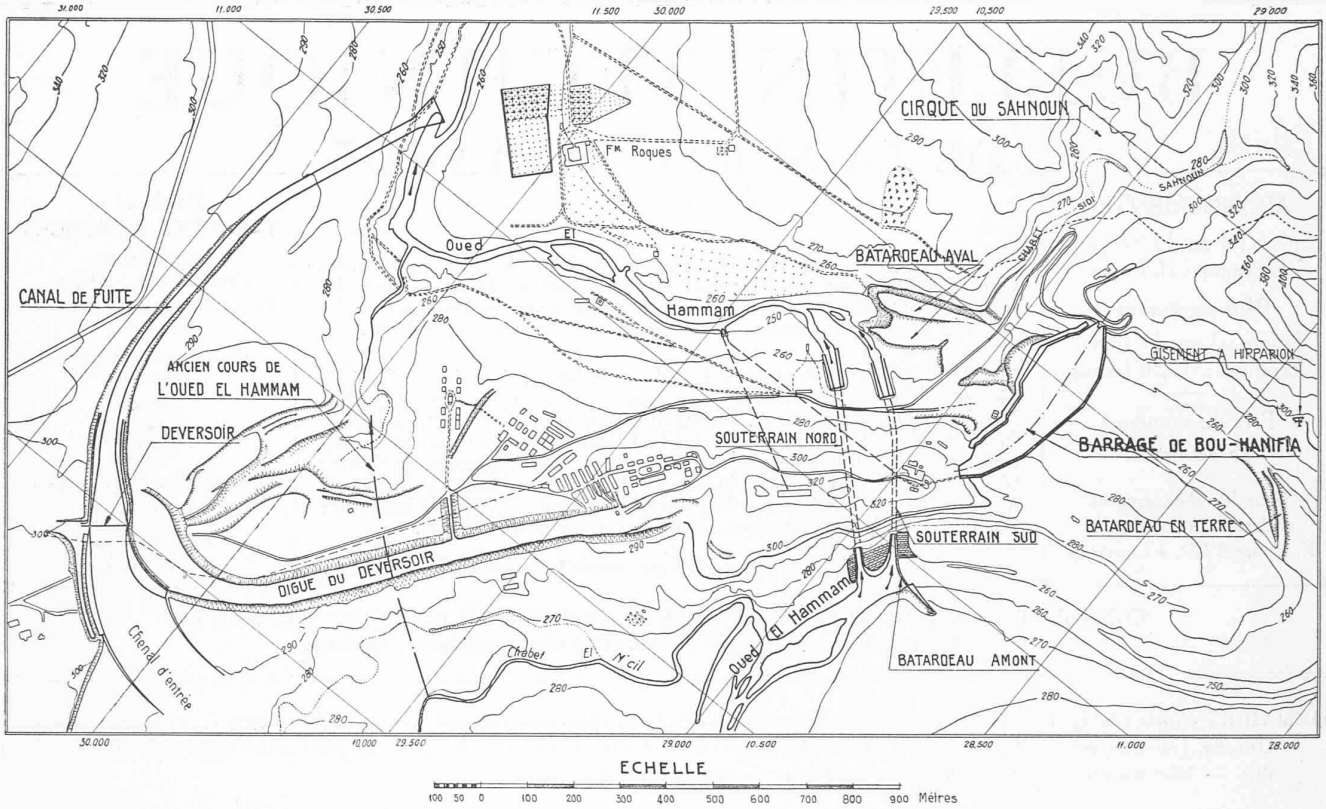


Planche I. — Plan de situation des ouvrages.

La dépression du Chabet El Guendoul mentionnée dans le texte est située à l'extrêmité de la flèche indiquant l'ancien cours de l'Oued El Hamman.

mam est de 100 millions de mètres cubes. Son débit d'étiage est de 0,8 m³/sec et son débit de crue dépasse 4000 m³/sec.

Le déversoir de crues à vannes automatiques situé à 2 km au N.-W. du barrage sur un plateau qu'entament les dépressions du Chabet El Guendoul et du Chabet El Haraig peut débiter 5500 m³/sec.

A la suite du déversoir, un canal de fuite de 1350 m de longueur évacue les crues pour les restituer à l'Oued El Hammam à l'aval du barrage.

Entre le déversoir et l'éperon d'appui rive gauche du barrage, une digue en terre de 1 km de longueur, arasée à la cote 301,50, ferme une dépression topographique et assure la continuité de la cuvette.

La description géologique que nous donnons ci-après comprend la région du barrage proprement dite et celle intéressant les travaux d'étanchement au large du barrage. Nous dirons également quelques mots concernant la région du déversoir et du canal de fuite. Elle n'offre pas un intérêt scientifique pour un géologue, mais présente, par contre, un intérêt pratique pour celui qui est chargé d'étudier certains sols de fondation.

I. Stratigraphie [1].

Nous adopterons la classification pratique suivante des terrains intéressant le barrage :

A. Soubassement marneux tertiaire.
B. Complexe gréso-marneux pontien.
C. Alluvions quaternaires anciennes et modernes.

L'épaisseur respective de ces divers terrains est de quelques centaines de mètres pour le soubassement marneux, de plus de 200 m pour le Pontien, et très variable pour les dépôts quaternaires.

Leur répartition est schématiquement la suivante : la région du barrage, le cours de l'Oued El Hammam à l'amont de ce dernier et celui du Chabet Sidi Sahnoun sont intéressés par tous ces terrains mais principalement par le complexe pontien. Au nord de cette région, les plateaux qu'entaillent les affluents rive gauche de l'Oued El Hammam soit l'Oued M'cil, le Chabet El Haraig, le Chabet El Guendoul, ainsi que le cours aval de l'Oued El Hammam, sont formés par des terrasses quaternaires

[1] D'après la carte géologique au 1 : 50 000 de Mascara relevée par M. *Dalloni*, nous aurions affaire à la série stratigraphique suivante : A. Un soubassement marneux éocène. — B. Un complexe gréso-marneux oligocène. — C. Des dépôts quaternaires d'alluvions anciennes et modernes.

Cette série stratigraphique doit être révisée depuis la découverte paléontologique de M. *Suess* (voir comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. 194, pp. 1970-1972, 30 mai 1932).

Le gîte fossilifère découvert par M. *Suess*, à l'amont du barrage non loin du batardeau en terre (voir planche I), démontre sans aucun doute que le complexe gréso-marneux attribué à l'Oligocène doit être rattaché en grande partie au Pontien. Pour l'instant, nous considérons l'ensemble du complexe comme pontien en attendant des études plus détaillées qui préciseront l'âge relatif de chacun des termes de ce complexe.

Quant au soubassement marneux d'âge éocène, ne comprendrait-il pas des terrains d'âge plus récent, en d'autres mots, n'aurions-nous pas affaire ici à une série compréhensive de faciès marneux englobant la plupart des termes du tertiaire inférieur et moyen ?

Nos préoccupations ayant été à Bou-Hanifia d'ordre surtout pratique et technique, nous n'avons pu élucider ce problème mais nous attirons l'attention des géologues sur une question qui mérite d'être examinée dans son ensemble.

Pour le moment, nous parlerons d'un soubassement marneux tertiaire sans en préciser l'âge relatif.

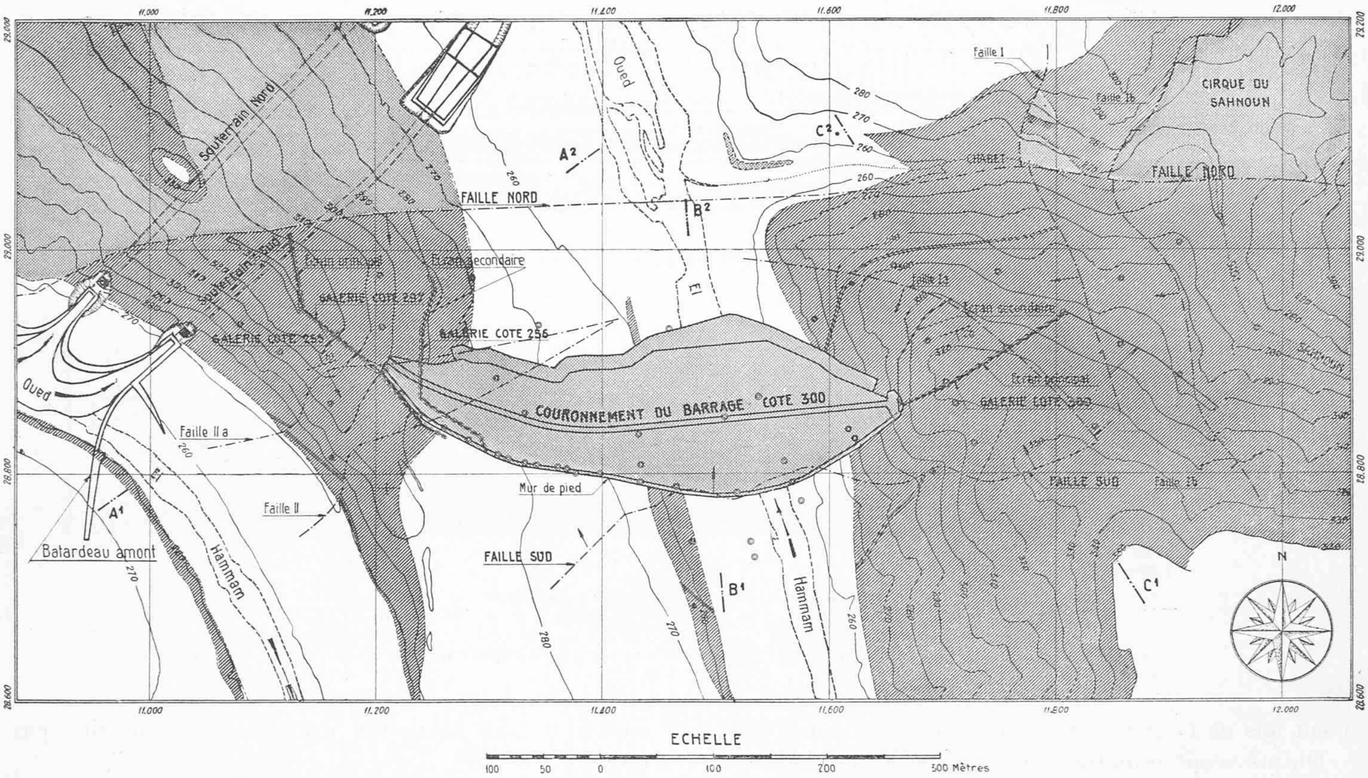


Planche II. — Carte géologique de l'emplacement du barrage.

Surface gris foncé : Complexe gréso-marneux pontien. — Surface gris clair : Soubassement marneux tertiaire et barrage.

d'alluvions anciennes ou modernes reposant directement sur le soubassement marneux tertiaire. Le Pontien ne forme plus dans cette région que des buttes-témoins isolées telles que celle du Djebel Rakhmoun El Kébir (voir feuille de Mascara au 1 : 50 000, planche II et figure 1).

§ 1. *Le soubassement marneux tertiaire* [1].

Bien que ce dépôt soit essentiellement argileux, il présente cependant tous les caractères physiques d'une roche à cassure conchoïdale. Cette argile a par conséquent subi de fortes compressions et atteint le stade d'un dépôt consolidé. Sa teneur moyenne en eau est de 12 %.

En surface, elle présente des signes évidents d'altération et d'oxydation sur quelquefois plus de 10 m d'épaisseur. Sa teneur en eau dépasse alors 20 % et son angle de frottement interne tombe à 16°.

A l'emplacement du barrage, ce soubassement marneux est recouvert par un important manteau de terrains pontiens (voir figures 2, 3, 4, 5 et 6). Il sert d'ancrage à tous les organes d'étanchéité (mur de pied ou écrans principaux d'injection) chargés d'assurer, au droit et au large du barrage, l'imperméabilité du bassin.

Si, à l'aplomb du barrage, l'encastrement du sabot du mur de pied dans le soubassement marneux n'a donné lieu à aucun mécompte, il en fut tout autre-

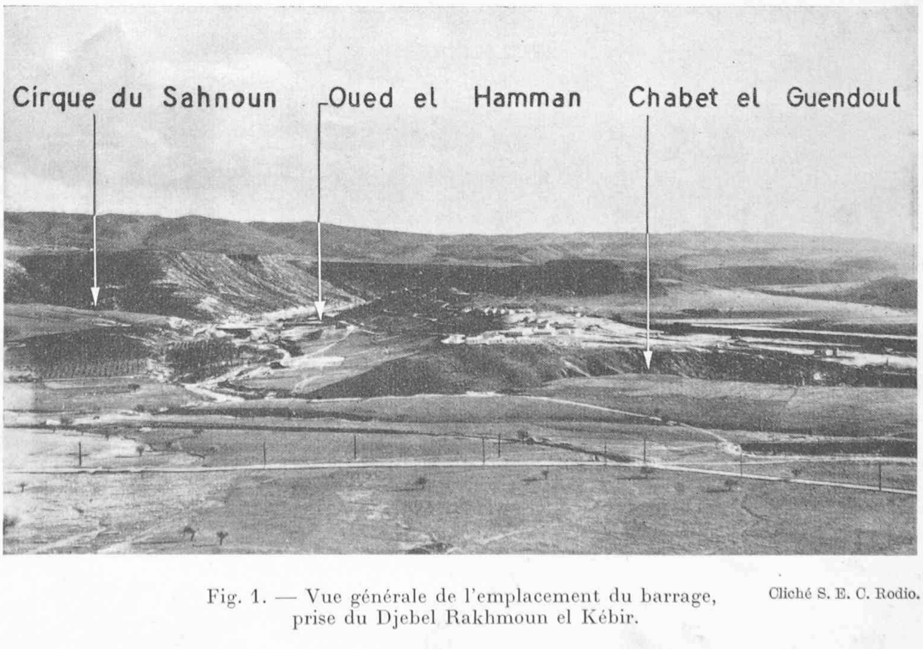


Fig. 1. — Vue générale de l'emplacement du barrage, prise du Djebel Rakhmoun el Kébir. Cliché S. E. C. Rodio.

[1] Il forme, dans la région du barrage, un ensemble très homogène et non stratifié de couleur gris-verdâtre. C'est un dépôt bathyal où les fossiles sont rares, parmi lesquels il faut noter la présence de fort belles dents de squales.

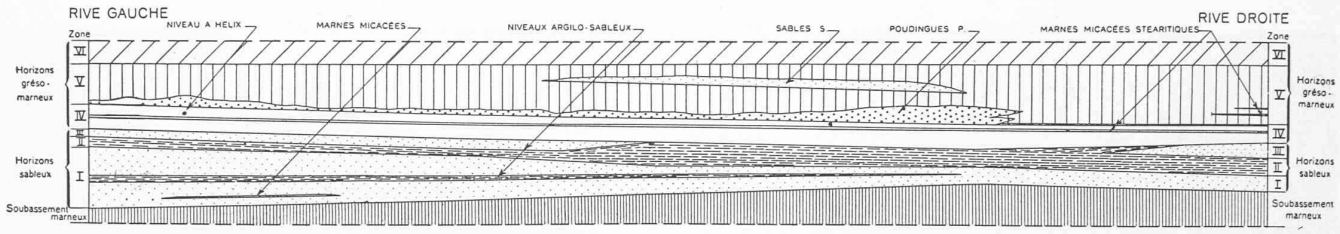


Fig. 2. — Tableau synoptique des assises pontiennes.

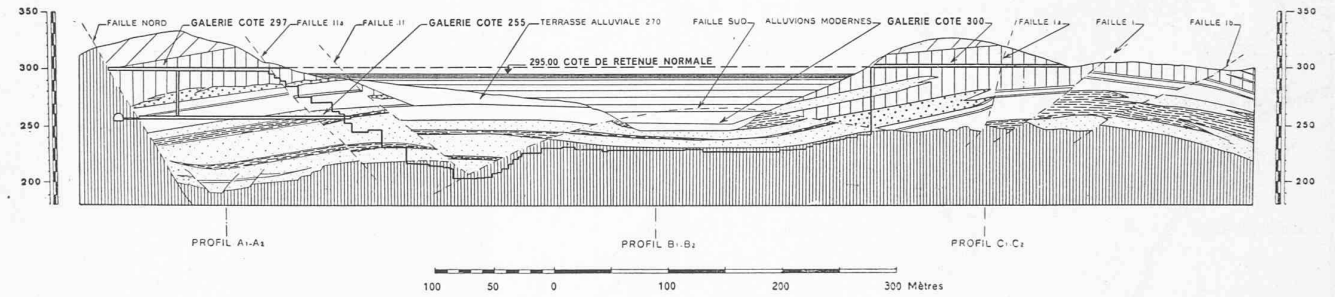


Fig. 3. — Profil géologique suivant les ouvrages principaux d'étanchéité.

ment lors de l'excavation du canal de fuite du déversoir.

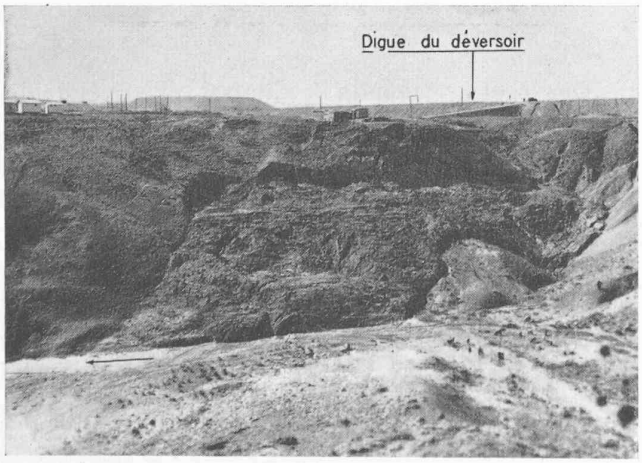
On prévoyait primitivement d'aménager le Chabet El Guendoul comme canal de fuite. Les versants marneux de cet affluent de l'Oued El Hammam sont en état d'équilibre instable et présentent en plusieurs points des traces très nettes de glissements anciens ou en cours de formation (voir figure 7).

On a creusé une série de puits sur l'axe primitivement choisi du futur canal. Les coupes géologiques ainsi obtenues sont défavorables. Elles démontrent que la couche supérieure du terrain, formée de travertins et de grès, est instable sur de larges zones en bordure de l'Oued El Hammam et du Chabet El Guendoul. Les plaques de travertins suivent les déformations du soubassement marneux et subissent un « abattage des têtes de couches » semblable aux nombreux exemples déjà décrits par Lugeon.

Cet abattage passe fréquemment à des glissements dont l'origine est due aux eaux d'infiltration, à des affouillements ou à des travaux d'excavation, etc. (affouillements consécutifs à la crue de 1927, travaux d'excavation à la pelle mécanique en 1932).

C'est la raison pour laquelle on a préféré creuser un canal dans le plateau quaternaire (voir planche I et figure 8) de manière à asseoir les bajoyers et le radier du canal de fuite sur des terrains alluviaux plus ou moins cimentés et sur un soubassement marneux aussi peu altéré que possible.

Lors du creusement du canal, on a déjà pu se rendre compte que les terrains quaternaires étaient très hété-



Cliché S. E. C. Rodio.

Fig. 7. — Glissement de terrain dans le ravin du Chabet el Guendoul. (1er avril 1939).

Cliché Chagnaud.

Fig. 8. — Vue générale du tronçon central du canal de fuite durant les travaux d'excavation.

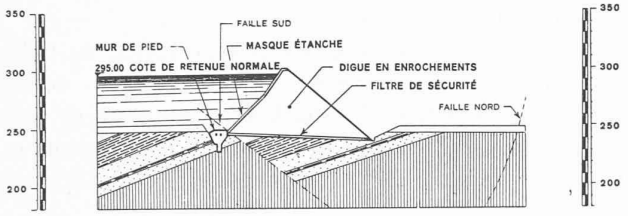


Fig. 4. — Profil géologique B_1—B_2.

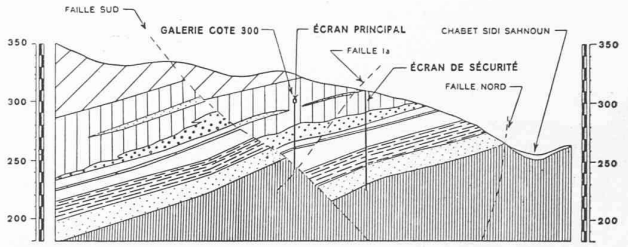


Fig. 5. — Profil géologique C_1—C_2.

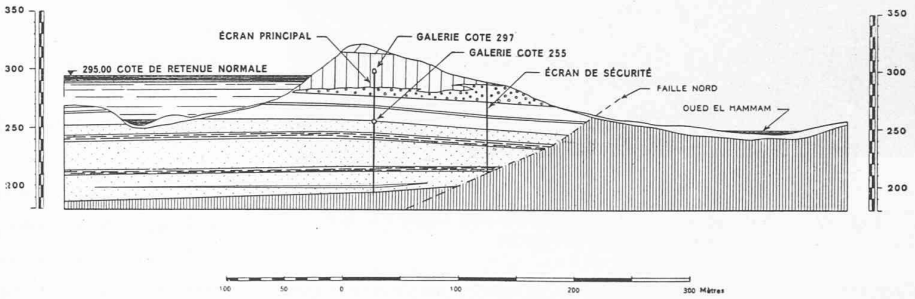


Fig. 6. — Profil géologique A_1—A_2.

rogènes et que leur tenue, en tant que terrain d'appui, variait sensiblement d'un tronçon à l'autre.

Le soubassement marneux présentait partout des signes plus ou moins évidents d'altération et spécialement dans le dernier tronçon du canal de fuite au point de raccordement avec l'Oued El Hammam.

De gros glissements de terrains se sont produits dans les derniers 300 m conformément, d'ailleurs, aux prévisions que nous avions faites, bien que la profondeur des excavations n'excédât pas 15 m (voir figures 9 et 10).

Les causes qui ont déterminé ces glissements ne sont pas d'ordre purement géologique. Ce sont des plans de rupture de forme approximativement circulaire dus aux contraintes mécaniques qui affectent un sol de fondation en état de décompression. L'équilibre statique de ces terrains marneux est rompu soit artificiellement par des surcharges (remblais) ou par des décharges dues à des excavations dans un terrain offrant peu de cohésion et dont l'angle de frottement interne est faible, soit naturellement par les poussées tangentielles d'une nappe phréatique.

Dans la figure 11, nous avons représenté schématiquement l'équilibre des moments $L \times \Sigma Fr$ (bras de levier L par somme des frottements et des réactions du terrain

Cliché Ponts et chaussées.

Fig. 9. — Vue des glissements de terrain du tronçon aval du canal de fuite (17 mars 1937).

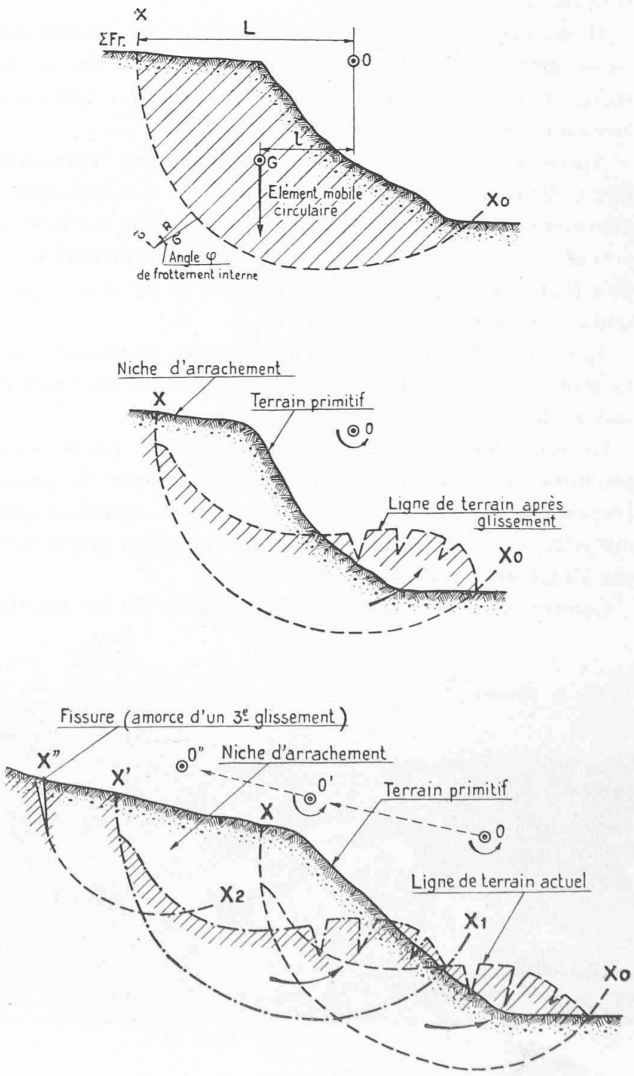
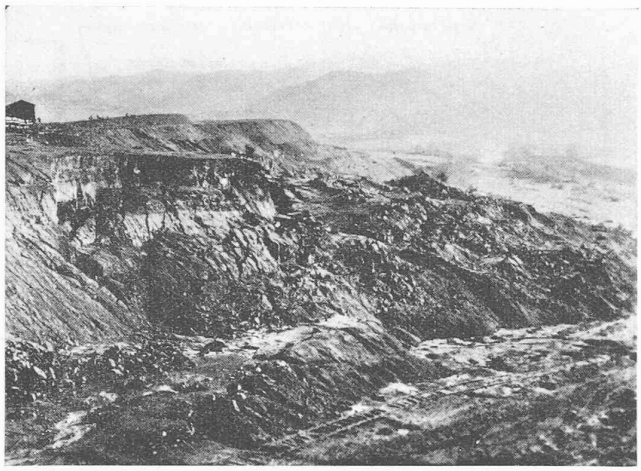


Fig. 11. — Mécanisme des glissements ayant affecté les terrains devant servir d'appui au bajoyer rive gauche du canal de fuite.



Cliché Ponts et chaussées.

Fig. 10. — Vue générale du tronçon aval du canal de fuite prise le 6 janvier 1938.

s'opposant au glissement) et $l \times g$ (bras de levier l par poids de l'élément mobile circulaire susceptible de basculer) par rapport au centre théorique 0 du plan de rupture circulaire $X - X0$.

Il est clair que si la valeur de $l \times g$ est légèrement supérieure à celle de $L \times \Sigma Fr$, on aura affaire à un moment de rotation capable de faire basculer l'élément circulaire intéressé autour du centre 0.

Après basculement, on aura le glissement représenté par la figure 11. On constatera une niche d'arrachement circulaire et au bas du talus un bombement de terrain crevassé. On pourra également assister à la formation de plusieurs basculements successifs tels qu'ils sont représentés par la figure 11.

Il y aura alors déplacement du centre théorique 0 de rotation en 0′ et 0″ jusqu'à ce que l'équilibre du versant soit réalisé.

Ce sont des glissements de cette nature qui se sont produits dans le tronçon final du canal de fuite. Le profil trapézoïdal du canal de fuite a été alors remplacé par un profil circulaire suivant l'élégante solution préconisée par l'ingénieur *Caquot*.

Comme nous le verrons au paragraphe 3, les dépôts quaternaires recouvrant ce soubassement marneux sont imbibés d'eaux sulfatées alcalines.

On connaît l'action défloculante qu'exercent de telles eaux sur les terrains marneux ou argileux : cette action a pour effet de graisser les diaclases et les plans de rupture affectant un talus de cette nature, surtout quand ce dernier se décomprime au cours des travaux d'excavation.

L'action de ces eaux joue donc un rôle important dans le mécanisme des glissements de terrain. Le fait également intéressant à noter est que ces glissements se produisent souvent après une longue période de sécheresse, la concentration en sels alcalins des eaux d'imbibition augmentant par suite de la forte évaporation.

§ 2. *Le complexe gréso-marneux pontien* [1].

L'âge de ce complexe étant déterminé, tâchons d'en préciser l'origine, la nature et la structure. Ce sont des dépôts essentiellement détritiques comprenant toute la gamme des roches depuis les poudingues grossiers jusqu'aux sables les plus fins en passant par tous les intermédiaires des grès grossiers, des grès fins et des grès tendres.

La friabilité de ces dépôts provient généralement de leur mauvaise cimentation, de sorte que l'on se trouve souvent en présence de sables ou grès sableux et non de véritables grès.

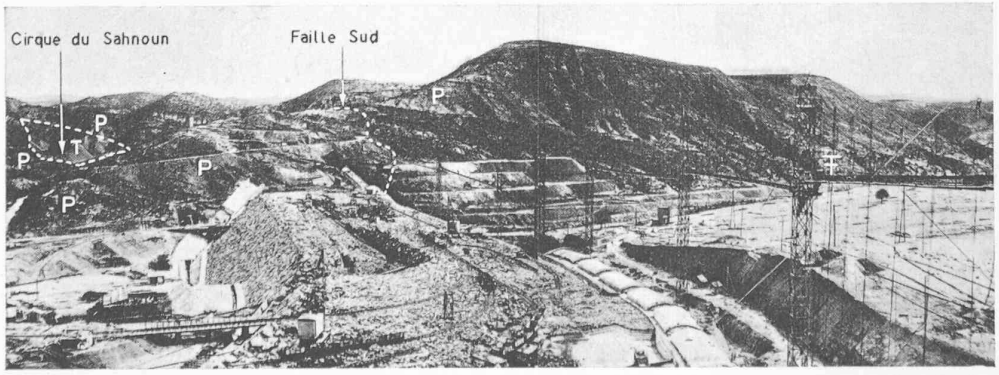
On constate également la présence de roches à éléments très fins représentés principalement par des marnes gréseuses et des marnes. On trouve enfin, quoique plus rarement, des dépôts colloïdaux d'argile pure avec mica noir dénommés marne stéaritique micacée et dont le toucher est savonneux [2].

Le complexe pontien est caractérisé en outre par la vive coloration rouge ou violette de beaucoup de ses niveaux, ce qui permet de le distinguer facilement de son soubassement marneux tertiaire d'âge indéterminé.

Les géologues s'accordent, en général, pour attribuer à ce complexe une origine continentale ou fluvio-lacustre

[1] L'âge de ce complexe a été déterminé par M. *Suess*. Il a découvert un gîte fossilifère important qui est malheureusement ennoyé par les eaux de la réserve (voir planche I et figure). 12. Parmi les nombreux fossiles recueillis, M. *Piveteau* y a déterminé des os de membres appartenant à l'Hipparion gracile Kamp, ainsi que plusieurs mâchoires avec dentitions supérieures complètes. Il y a reconnu également des os de girafidés du type Achtiaria coelophrys Roth et Weithofer, de cerfs, de gazelles, de hyènes, de rhinocéros et de tortues. C'est un gisement en tous points comparable à ceux classiques de Pikermi en Grèce et de Maragha en Perse.

[2] D'après M. *J. Savornin*, ces marnes correspondent probablement aux gisements de montmorillonite rencontrés dans diverses formations continentales du tertiaire moyen des départements d'Alger et de Constantine. La présence de biotite dans la montmorillonite de Bou-Hanifia distinguerait cette dernière de celle des autres départements.



Cliché Chagnaud.

Fig. 12. — Vue générale des enrochements de l'ancrage rive droite.
P : Pontien ; T : soubassement marneux tertiaire ; F : gisement à Hipparion.

et, pour envisager sa formation sous un climat semi-désertique.

Plusieurs faits indiscutables parlent en faveur de cette opinion, du moins la nature de certains niveaux du complexe en question [1].

Ces considérations théoriques et générales permettent maintenant de mieux comprendre les difficultés que l'on a rencontrées au cours des travaux de reconnaissance à paralléliser avec sûreté les niveaux géologiques rencontrés. Les accidents tectoniques nombreux qui effectent la région étudiée ont d'ailleurs contribué grandement à compliquer le repérage de ces derniers.

Le tableau synoptique des assises pontiennes (figure 2) représente schématiquement l'état primaire de sédimentation des terrains. Nous avons caractérisé chacune des zones par son faciès lithologique dominant, sans tenir compte à cette échelle des détails ou des anomalies locales. Ce tableau permet de synchroniser les niveaux géologigiques des deux rives et de comprendre la structure tectonique des profils (figures 2, 3, 5 et 6).

Nous avons subdivisé la tranche de Pontien intéressant les travaux du barrage en six zones principales :

La zone I, essentiellement sableuse avec lentilles de grès et niveaux argilo-sableux discontinus.
Epaisseur maximum : 54 m sur rive gauche.
Epaisseur minimum : 16 m sur rive droite.

La zone II, essentiellement argilo-sableuse avec lentilles de sables et de grès.
Epaisseur maximum : 18 m sur rive droite.
Epaisseur minimum : 6 m sur rive gauche.

La zone III, essentiellement sableuse avec lentilles de marnes gréseuses.
Epaisseur maximum : 10 m sur rive gauche et rive droite.
Epaisseur minimum à l'aplomb du thalweg où elle disparaît même complètement.

La zone IV, essentiellement marno-gréseuse avec un lit interstratifié continu de marne micacée stéaritique au-dessus duquel se trouve le niveau fossilifère à Helix.
Epaisseur maximum : 22 m sur rive gauche.
Epaisseur minimum : 16 m sur rive droite.

La zone V, essentiellement gréso-marneuse avec, au mur, un lit discontinu de poudingues sableux (*P*) de 18 m d'épaisseur maximum et un niveau lenticulaire de sable (*s*) sur rive droite. On note également sur rive droite la présence de plusieurs niveaux de marne stéaritique micacée.
Epaisseur maximum : 52 m sur rive droite.
Epaisseur minimum : 36 m sur rive gauche.

La zone VI, essentiellement gréseuse et marno-gréseuse renfermant à 150 m au-dessus du toit du soubassement marneux tertiaire le niveau à Hipparion gracile, Kamp.

Sur une tranche de terrains de 120 m d'épaisseur minimum, seule la zone IV avec son niveau caractéristique de marne stéaritique et d'Helix a pu servir de guide-repère.

Du point de vue de la perméabilité, l'on doit distinguer trois espèces de terrains :

a) les marnes plastiques étanches ;
b) les grès fracturés et les marnes dures diaclasées perméables ;
c) les sables, les poudingues et grès sableux dont la perméabilité déterminée, soit par la méthode directe, soit par la méthode de capillarité de Casagrande varie entre 10×10^{-4} cm/sec et 100×10^{-4} cm/sec.

Les assises pontiennes servant d'appui au barrage de Bou-Hanifia étant constituées surtout par les terrains *b*) et *c*) ont dû être traitées spécialement en vue de leur assurer une étanchéité pratiquement complète lors de la mise en charge de la retenue.

Cette étanchéité a dû être d'autant mieux réalisée que la présence d'horizons sableux importants dans les appuis immédiats du barrage aurait pu donner lieu, lors de la mise en eau, à des phénomènes d'érosion régressive tout particulièrement dangereux.

§ 3. *Les dépôts quaternaires.*

Ils comprennent des éboulis superficiels, les alluvions anciennes et modernes et les travertins hydrothermaux.

Le thalweg de l'Oued El Hammam actuel se trouve à la cote 250 en moyenne au droit du barrage. Il est remblayé par des alluvions modernes de sables et de graviers d'une puissance de 6 m.

A la cote 250, on note la présence d'une première terrasse formée de limons d'origine éolienne et remaniés par

[1] Nous avons, tout d'abord, l'important niveau des marnes à Hipparion puis un deuxième niveau fossilifère (voir planche II et figures 2, 3, 5 et 6) formé par des marno-calcaires rouges à Helix et gastéropodes terrestres. M. *Ch. Jacob* y a déterminé les espèces suivantes : Helix (macularia) subsenilis, Crosse ; Buliminus (Zootecus) Jacobæ, Crosse ; Rumina decollata, Linne, et enfin l'extrême irrégularité de la sédimentation telle qu'elle ressort du tableau synoptique (voir figure 2), l'allure lenticulaire des assises, la stratification entrecroisée typique des deltas notée dans nombre d'horizons sableux, la présence de cailloux à facettes dans certains niveaux sableux : tous ces faits parlent en faveur d'une origine continentale de ces dépôts.

Si l'analyse macroscopique et paléontologique permet de caractériser en gros ces derniers, l'analyse microscopique et l'étude des microfaunes montrent que l'ensemble de ces terrains ne doit pas être considéré comme d'origine continentale. Il y a, en effet, des niveaux sableux nettement marins au mur du complexe principalement dans les zones I, II et III (voir figure 2).

Ces niveaux sableux débutent généralement par un poudingue de base plus ou moins cimenté et pyriteux.

Si l'on veut connaître la genèse des horizons sableux, il est absolument indispensable de les tamiser, de les hydroclasser, et d'examiner les poudres décantées au microscope. M. *Et. Joukowsky* a procédé à cet examen et voici résumées les conclusions auxquelles il est arrivé :

Jusqu'au diamètre de 0,01 mm, la majeure partie des grains sont formés par du quartz, puis, en moindre proportion, par des agglomérats de rhomboèdres de dolomite englobant un fragment de quartz, par du calcaire, et, plus rarement, par un foraminifère.

Au-dessous du diamètre de 0,01 mm, on note l'apparition de rhomboèdres parfaits de dolomite parfois mâclés et à angles vifs. On rencontre ça et là un rhomboèdre fixé sur un grain roulé de quartz ou sur un foraminifère.

Les angles de ces rhomboèdres sont vifs, les contours d'une belle netteté, aussi toute hypothèse d'une origine continentale doit être écartée. C'est dans l'eau de mer où arrivaient les quartz détritiques terrigènes que se sont formés ces cristaux de dolomite.

L'origine marine des niveaux sableux inférieurs (zone I) est encore attestée par la présence de foraminifères perforés, fort bien conservés, de spicules de spongiaires, de minuscules étoiles calcaires représentant probablement des corpuscules calcaires d'Holothuries.

Les cristaux de dolomite se sont formés par précipitation chimique autour des grains de quartz et des foraminifères, lesquels ont servi ainsi de centres de cristalisation.

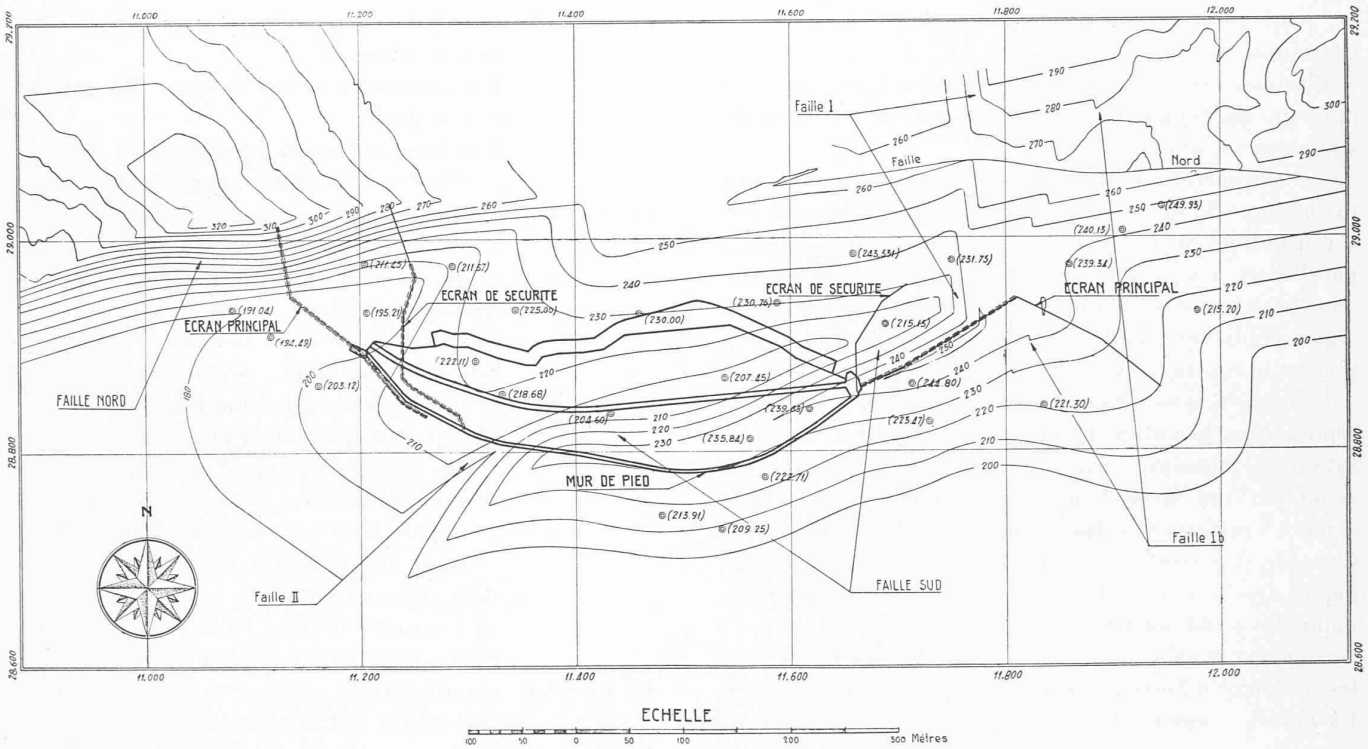


Planche III. — Carte hypsométrique du soubassement marneux tertiaire.

les eaux. A la cote 270, on observe une deuxième terrasse particulièrement bien conservée dans les concavités des méandres actuels de la rivière. Cette terrasse est formée par des dépôts plus grossiers que ceux des niveaux inférieurs et présente localement des dépôts partiellement cimentés.

Ces deux premières terrasses (terrasses inférieures) témoignent du creusement progressif du cours actuel de l'Oued El Hammam.

Les terrasses supérieures sont formées par des alluvionnements anciens de l'Oued El Hammam, alors qu'il ne suivait pas son cours actuel.

La première de ces terrasses remblayée à la cote 300 forme le plateau qu'entaillent le Chabet El Haraig et le Chabet El Guendoul et repose directement sur le soubassement marneux tertiaire. La surface topographique ancienne de ce soubassement est très irrégulière et présente, au droit de la digue en terre (voir planche I), un ensellement bien marqué. Nous avons affaire en ce point à la trace d'un ancien cours de l'Oued El Hammam arasé à la cote 275. Ces alluvions anciennes sont très hétérogènes et comprennent des grès, des poudingues sableux, des tufs durs, des sables, des lits argilo-sableux et des argiles à galets. Il est à signaler que ces terrains sont imbibés au contact du soubassement marneux par des eaux très chargées en sulfates et chlorures.

L'analyse chimique de ces eaux a donné jusqu'à 16 gr/litre de résidu sec. Le plateau du Guendoul au travers duquel est percé le canal de fuite du déversoir (voir planche I), ne renferme pas une nappe d'eau souterraine uniformément répartie dans le terrain et stabilisée à un certain niveau, mais est sillonné, au contraire, par un réseau de veines aquifères dont le débit, généralement faible, varie en fonction de la perméabilité du terrain de remblayage. Des précautions spéciales ont dû être prises pour empêcher la désagrégation des bétons du déversoir et du canal de fuite.

Au-dessus de la terrasse 300, on constate encore la présence d'autres alluvionnements plus anciens : nous n'en dirons rien, car ceux-ci sortent du cadre de notre étude.

II. Tectonique.

L'emplacement du barrage de Bou-Hanifia a été sollicité par des contraintes orogéniques dont le mécanisme est assez compliqué (voir planches II et III et figures 3, 4, 5 et 6).

Les accidents tectoniques reconnus ont été suffisamment nombreux et importants pour avoir pu jouer un rôle déterminant lors de l'élaboration des projets de génie civil et d'étanchement.

Bien que certains tronçons de faille fussent fort bien marqués, l'altération superficielle des terrains et l'importance des dépôts quaternaires oblitéraient très souvent la structure des terrains profonds.

Il importait de connaître en premier lieu la topographie du soubassement marneux tertiaire, car l'implantation des organes d'étanchéité du barrage en dépendait dans une large mesure (voir planche III).

Les accidents tectoniques principaux ayant affecté la région du barrage sont les suivants :

a) La *Faille Nord* qui traverse l'éperon rive gauche (voir

figure 13) en suivant une direction WSW-ENE et plonge de 60° vers le Sud. Elle fait buter le complexe pontien situé au Sud de la faille contre le soubassement marneux et son rejet atteint en ce point 120 m. C'est une faille du type normal comme d'ailleurs la plupart des autres failles dont nous parlerons.

En direction Est, son rejet diminue rapidement et cette faille n'est plus que virtuelle au débouché du Chabet Sidi Sahnoun, dans la vallée de l'Oued El Hammam.

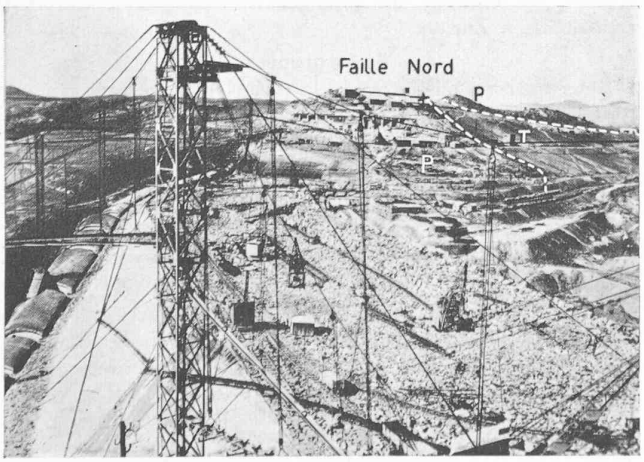
Dans le cirque du Sahnoun, où le soubassement marneux réapparait en forme de boutonnière (voir figure 12), elle est à nouveau bien individualisée. Sa direction se maintient sensiblement E-W, mais son pendage est vertical : le complexe pontien du compartiment Sud est à nouveau affaissé par rapport au compartiment Nord, avec un rejet d'environ 40 m.

b) La *Faille Sud*, de direction SW-NE, plonge vers le nord de 40°, à l'inverse de la Faille Nord. Son rejet atteint 35 m et détermine un affaissement des assises pontiennes situées entre elle et la faille Nord. Par suite de cet affaissement, le Pontien plonge vers le Sud de 20° (voir figure 14).

c) La *Faille I*, de direction N-S, bloque à l'Est la Faille Sud. Son plongement est de 50° vers l'W et son rejet atteint 35 m à son intersection avec la Faille Sud. Elle recoupe la Faille Nord dans la dépression du Chabet Sidi Sahnoun, au point où la Faille Nord est virtuelle et ne s'individualise à nouveau qu'au Nord de cette dernière, mettant en contact un compartiment affaissé de Pontien à l'W et un compartiment surélevé de marnes tertiaires à l'E. Son rejet est de 20 m environ.

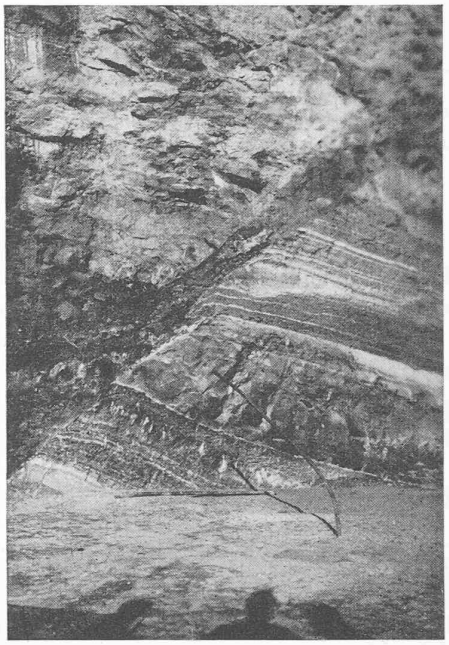
Ce sont les trois accidents tectoniques principaux à signaler dans la région du barrage et du cirque du Sahnoun.

Ces cisaillements sont consécutifs aux efforts de flexion qui ont sollicité la région étudiée. Des trois failles mentionnées, ce sont la Faille Nord et la Faille Sud qui sont les plus importantes et qui ont absorbé le maximum



Cliché Chagnaud.

Fig. 13. — Vue générale des enrochements et de l'ancrage rive gauche.
P : Pontien. — T : soubassement marneux tertiaire.



Cliché S: E. C: Rodio.

Fig. 14. — Tracé de la faille sud à l'aplomb de la fouille II, rive droite.

d'énergie. Il en résulte, par conséquent, que les diaclases parallèles à la direction de ces deux accidents seront secondaires et moins importantes que celles parallèles à la direction de la Faille I. Ces dernières de direction N-S sont, en effet, nettement marquées, aussi bien sur rive gauche que sur rive droite alors que les diaclases parallèles aux Failles Nord et Sud sont peu individualisées.

Ces faits d'observation ont leur importance du point de vue technique, car la direction générale des diaclases principales se trouve être normale à l'axe du barrage et aux organes d'étanchéité dans leur ensemble.

Il est donc indispensable d'imperméabiliser ces fissures qui mettent en relation de continuité directe la cuvette et l'aval du barrage.

Si l'on jette maintenant un coup d'œil d'ensemble sur la carte hypsométrique du soubassement marneux (planche III), l'on voit que les ruptures de cisaillement principales mentionnées sont accompagnées de déformations semi-plastiques de la marne, lesquelles ont leur répercussion dans les assises pontiennes sus-jacentes.

A l'W, un bombement anticlinal accompagné de deux cassures de faible rejet (Failles II et II *a*) indique un mouvement de compression du compartiment compris entre les Failles Nord et Sud. Ces mouvements de compression qui, d'ailleurs, font suite aux efforts de cisaillement, affectent également les plans de faille principaux en les gauchissant (voir planche III, figures 2, 3, 4, 5 et 6).

A l'E, un remous anticlinal affecté d'une faille de faible rejet (Faille I *b*) est dû à l'affaissement général du compartiment délimité par les Failles Sud et I. En s'affaissant, ce compartiment s'est encore fissuré suivant une ligne diagonale de moindre résistance (Faille I *a*).

Les profils transversaux A^1-A^2, B^1-B^2, C^1-C^2 et le profil

longitudinal suivant l'axe du mur de pied et par les écrans principaux d'injections (voir planche III, figures 2, 3, 4, 5 et 6) permettent en outre de se faire une idée complète des phénomènes tectoniques que nous venons de décrire.

III. Conclusions générales.

L'implantation du barrage et des voiles d'échanchéité n'a pu être fixée d'une manière définitive qu'après une étude géologique détaillée de la région. La nature du Pontien a nécessité des travaux d'étanchement importants, vu les risques d'érosion régressive, lors de la mise en charge de la retenue.

La topographie chaotique du soubassement marneux tertiaire a dû être éclaircie à l'aide de nombreux sondages, de manière à choisir le tracé des écrans le plus judicieux et le plus économique possible.

La partie centrale et l'aile droite du mur de pied sont ancrées dans le soubassement marneux, un peu à l'amont du bec de la Faille Sud (voir planche III). La profondeur minimum des fouilles a atteint 19 m.

Sur rive gauche, le mur parafouille descend jusqu'à 70 m de profondeur au point d'intersection de la Faille Sud et de la Faille II. L'aile gauche du mur de pied est ancrée dans le Pontien et un écran d'injection le prolonge au large, dans le soubassement marneux tertiaire.

Le creusement de la tranchée parafouille n'a pas pu être exécuté normalement au-dessous du niveau de la nappe phréatique.

Vu la nature sableuse du Pontien, laquelle eut pour conséquence un entraînement rapide des terrains encaissants, lors du pompage, il fut nécessaire de procéder au fonçage par rabattement de la nappe phréatique, au moyen de puits filtrants disposés à l'amont et à l'aval de la fouille.

Les écrans d'injection, principaux et secondaires (voir planche II, figures 2, 3, 4, 5 et 6) ont pour but de créer, au large du mur de pied et au sein des versants d'appui, une perte de charge suffisante destinée à empêcher toute amorce d'érosion régressive qui pourrait être provoquée par les eaux de percolation.

Ce danger est d'autant plus grand que le terrain d'appui en question est, en grande partie, sableux ou argilo-sableux.

En outre, le jeu des failles décrites précédemment met en position de relai des horizons sableux stratigraphiquement distincts et facilite ainsi le passage des eaux en charge. Ce fait est particulièrement net sur rive droite où l'ancrage du mur de pied tombe au contact des sables de la zone I et des poudingues sableux (*P*) de la zone V.

Quant au tracé des écrans principaux d'injection, il a été déterminé, le plus souvent, par la topographie du soubassement marneux (voir planche III). Sur rive droite, où l'écran doit être assez long pour créer une perte de charge suffisante, on a suivi le tracé des dorsales de marne formées par le bec de la Faille Sud et le remous anticlinal. Sur rive gauche, on a dû choisir le tracé le plus court, suivant l'axe du mince éperon topographique, de manière à relier directement le mur de pied au soubassement marneux et à imperméabiliser la poche pontienne quelle que fût sa profondeur (voir figure 3).

En résumé, l'exemple du barrage de Bou-Hanifia présente le grand intérêt de montrer comment les conditions géologiques locales peuvent influer sur l'importance des travaux de Génie civil à prévoir et sur les caractéristiques de l'ensemble du projet.

Bien que les conditions géologiques fussent très défavorables et qu'aucun autre emplacement ne pût être envisagé, les ingénieurs ont su, malgré tout, tirer le meilleur parti technique possible d'une situation aussi désavantageuse et n'ont pas hésité à procéder à tous les travaux de reconnaissance préconisés par le géologue.

Les données géologiques déduites des études de surface et précisées en profondeur par sondage ont été ainsi suffisamment exactes pour n'amener aucun changement essentiel lors de l'exécution du projet.

Il fallut, par contre, modifier parfois le mode d'exécution de tel ou tel ouvrage, suivant la nature du terrain rencontré. Ici plus qu'ailleurs, il était impératif d'adapter, chaque fois, les moyens d'exécution aux conditions géologiques et de rechercher les solutions techniques où la superstructure s'harmonise d'heureuse façon avec le sous-sol qui la supporte et qui doit lui garantir l'existence.

SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

Rapport de gestion[1] de l'exercice 1941.

(Suite et fin).[1]

7. Bibliothèque.

Une série de publications suisses et étrangères est mise à la disposition des membres de la société et de ceux que cela pourrait intéresser, au secrétariat, pendant les heures d'ouverture du bureau. Les textes des brevets mis à disposition par la *Schweizerische Bauzeitung*, peuvent être consultés gratuitement auprès de la maison Blum & Cie, bureau d'ingénieur-conseil en matière de propriété intellectuelle, Bahnhofstrasse 31, à Zurich.

8. Assurances.

Les contrats passés avec la « Zurich », société générale d'assurances accidents et responsabilité civile, et avec la Société anonyme d'assurances contre les accidents à Winterthour, conservent leur validité ; et nos membres sont mis au bénéfice des réductions suivantes, par rapport aux tarifs normaux :

10 %, respectivement 15 %, pour assurance individuelle avec contrat d'une durée minimum de 5 ans ;

5 %, respectivement 10 %, pour assurances collectives d'employés avec contrat d'une durée minimum de 10 ans.

Il est recommandé à nos membres de faire usage de ces avantages dans la mesure du possible.

9. Service de placement.

Au cours de l'année 1941, les conditions du marché suisse du travail pour les professions techniques ont été satisfaisantes.

[1] Voir *Bulletin technique* du 16 mai 1942, p. 115, et du 30 mai 1942, p. 129.