

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

Adaption du projet de Sidi Salem à la géologie

Adjustments to Sidi Salem project to suit geology

M. MOUELHI, Direction Générale des Grands Travaux Hydrauliques, Ministère de l'Équipement, Tunis, Tunisia

G. VIGIER, Coyne et Bellier, Paris, France

P. HUYNH, Coyne et Bellier, Paris, France

E. RONDOT, Géoconseil, Paris, France

RESUME Le barrage de Sidi Salem est construit sur le flanc d'une structure anticlinale affectant des alternances de grès et marnes. Son implantation a été choisie de sorte que son noyau étanche puisse se raccorder à une couche de marnes formant écran naturel en rive droite ; la galerie de drainage suit le banc de grès perméables sousjacent. Il a été ainsi possible de limiter le voile d'injections à la seule rive gauche où la disposition structurale des couches était moins favorable.

La communication décrit la géométrie particulière des couches qui résulte à la fois de leur redressement progressif à l'approche de l'axe anticlinal et de l'inclinaison de cet axe vers la rive gauche. Elle insiste sur l'étonnante concordance constatée entre la structure relevée au cours du chantier et le modèle géométrique simple initialement admis. Elle précise les dispositions concernant l'étanchéité et le drainage de la fondation, et donne l'explication des surprises géologiques découvertes lors de l'exécution.

INTRODUCTION

L'oued Medjerdah, que barre le barrage de Sidi Salem, prend sa source en Algérie et va se jeter dans la Méditerranée, juste au nord de Tunis, après avoir traversé par une succession de plaines et de défilés les alignements montagneux orientés SW - NE qui constituent l'extrémité orientale des chaînes atlasiques et dont les deux plus importants sont :

- l'alignement des monts de Thibar,
- et l'alignement des monts de Teboursouk.

Géologiquement, ces reliefs correspondent à des bombements anticlinaux complexes, ébauchés dès la fin du Crétacé et qui se sont accentués au cours de l'orogénèse alpine. Les déformations d'origine diapirique se poursuivent probablement encore puisque l'on trouve des couches d'alluvions localement redressées jusqu'à la verticale.

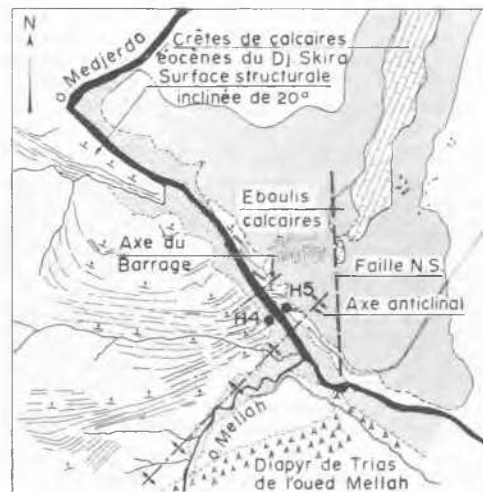


Fig 1 Schéma géologique du site

1. STRUCTURE GEOLOGIQUE DU SITE

1.1. Structure générale

Le site de Sidi Salem se trouve dans le défilé frayé par la Medjerdah dans l'alignement de Teboursouk, plus exactement sur le flanc d'une structure anticlinale affectant des alternances de grès et marnes du Miocène.

A l'amont du site, on peut voir une structure monoclinale très régulière : les couches sont parallèles à l'alignement droit de la vallée correspondant au défilé du barrage (NW - SE) et plongent vers la rive gauche (NE) avec un pendage voisin de 20°.

A l'aval immédiat du site, on trouve au

contraire la structure complexe de l'alignement de Teboursouk jalonnée par un diapir triasique en rive droite (diapir de l'oued Mellah) et les calcaires éocènes du Skira en rive gauche (fig. 1 - Schéma géologique et fig. 2 - Schéma structural du site).

On peut admettre que cette structure complexe est limitée par une grande faille N - S qui rencontre le prolongement de l'axe du barrage à 400 m de la vallée en rive gauche, traverse la vallée à 600 m environ à l'aval et continue en rive droite par la limite sinueuse du diapir triasique de l'oued Mellah d'orientation générale NE - SW.

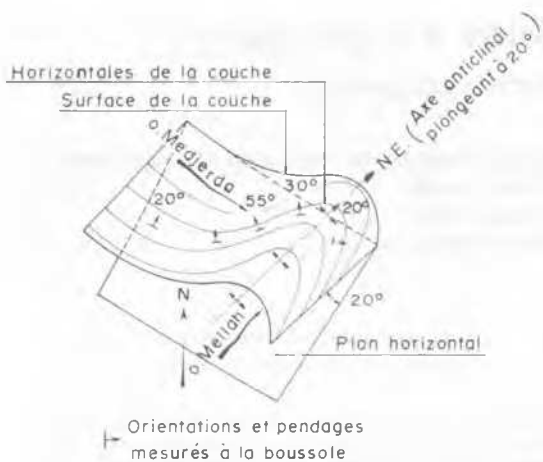


Fig. 2 Schéma structural du site

En bordure de cette grande ligne de rupture, les couches régulières du Miocène sont ployées en anticlinal d'axe transversal à la vallée, comme si elles avaient été poussées vers l'amont par la remontée diapyrrique du Trias.

L'axe de la voûte anticlinale, qui se voit clairement à l'aval du site sur la piste d'accès en rive gauche, se retrouve longeant la vallée du Mellah en rive droite. Il est incliné de 20° environ vers la rive gauche (NE) comme les couches monoclinales décrites à l'amont du site.

1.2. Structure détaillée des couches

On peut illustrer la structure fondamentale du site par le schéma de la fig. 2 : elle représente la surface réelle (ou virtuelle) d'une couche initialement horizontale, successivement plissée en anticlinal et basculée de 20° vers le NE. Les horizontales d'une telle surface dessinent une sinusoïde qui explique parfaitement les variations de l'orientation des couches constatées sur le site : parallèles à la vallée à l'amont du barrage (NE - SW), elles s'infléchissent progressivement vers une direction transversale (E - W) sous l'axe de l'ouvrage.

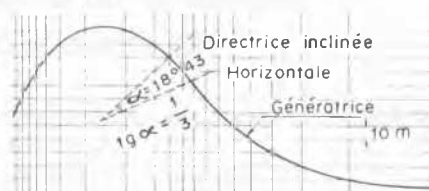
A l'aval, un mouvement inverse conduit à retrouver les orientations initiales sur l'axe anticlinal puis une orientation NE - SW sur le flanc de l'anticlinal.

A partir d'un grand nombre de coupes et de levés intégrant toutes les données des reconnaissances, on a réussi à matérialiser le basculement de la surface des couches monoclinales amont et la faire correspondre presque parfaitement à une surface réglée théorique, construite par le procédé graphique de géométrie cotée de la fig. 3 - Construction géométrique de la surface des couches.

Ce faisceau de courbes avait permis de construire sans aucune extrapolation et avec une grande facilité toutes les coupes géologiques désirées (et fournies avec les plans du dossier d'appel d'offres).

Il n'a pas été rare qu'un forage, lors de l'exé-

COUPE VERTICALE



PROJECTION PLANE

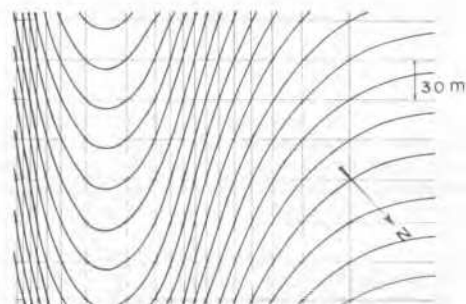


Fig 3 Construction géométrique de la surface des couches

cution, ait cependant trouvé les limites des couches à des cotes légèrement différentes. Toutes les couches, en effet, ne sont pas rigoureusement parallèles : les rayons de courbure sont plus forts pour les couches les plus proches de l'axe du plissement et des laminages provoquant des allongements par réduction d'épaisseur se sont produits dans les couches plastiques soumises à des étirements. Ceci étant, la correspondance avec les prévisions a été en général très bonne sinon étonnante.

1.3. Faille en vallée

On a cru longtemps à l'existence possible d'une faille en fond de vallée, qui cependant avait été difficile à prouver par les reconnaissances directes exécutées : les sondages inclinés H4 et H5 avaient effectivement rencontré vers 80 m de profondeur un rocher plus fracturé et des émanations de gaz caractéristiques, sous pression, si l'on en croyait le sondeur. Or le sondage vertical H6 exécuté sur la bissectrice des deux précédents n'avait rien retrouvé de tel, pas plus que les sondages H7 et H8 exécutés plus à l'amont.

L'étude géophysique, par ailleurs, n'avait noté que de légers retards de transmission des ondes sismiques en fond de vallée, qui avaient été interprétés comme la conséquence d'une faille.

L'absence de faille en fond de vallée devait être constatée lors des travaux. L'explication en est donnée plus loin, en 3.2.

2. ADAPTATION DU PROJET A LA GEOLOGIE DU SITE

2.1. Projet du barrage

Le site, dernier resserrement nettement marqué de la vallée avant la grande plaine aval, est

barré par une simple digue rectiligne, à noyau mince en argile plastique d'emprunt, et rechargés en matériau marno-gréseux provenant des déblais d'ouvrages (fig. 4 - Profil type du barrage).

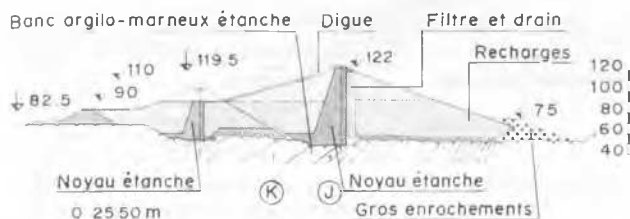


Fig. 4 Profil type du barrage

2.11. Type d'ouvrage

La digue en terre a paru s'imposer :

- la fondation de qualité mécanique médiocre n'étant pas suffisante pour un grand barrage en béton qui devait s'appuyer sur des couches de duretés contrastées, être soumis à de grandes déformations d'appui et en outre être de volume important pour répartir les pressions et résister aux glissements,

- le caractère sismique de la région entraînant un certain adoucissement des talus et empêchant de profiter pleinement des meilleures caractéristiques mécaniques du matériau. La séismicité a aussi conduit à un certain nombre de précautions spéciales : enlèvement de matériaux alluvionnaires silteux sous les remblais, revanche et largeur en crête assez confortables, bonne plasticité de la partie haute du noyau, protégée de plus par un matériau non cohésif côté amont et bien drainée côté aval, solide entretoisement des piles entre vannes de l'évacuateur, ...

2.12. Implantation de l'ouvrage

Les forages de reconnaissances avaient montré qu'il n'y avait pas de gypse à faible profondeur sous la digue. On s'est simplement attaché à maintenir l'emprise de celle-ci assez à l'écart, et de la grande faille N - S qui coupe à l'aval de la Medjerdah et des diapirs gypseux de l'oued Mellah. Le pied aval de la digue empiète néanmoins un peu sur les argiles rouges aval.

2.13. Talus de la digue

Les bancs de la fondation, relativement redressés, excluent les risques de glissement selon les couches, en particulier selon une couche plus faible que les autres. En dehors du pied amont et du pied aval rive gauche de la digue, on a donc pu tabler sur des caractéristiques moyennes entre les grès et les argiles ou marnes de la succession des couches relativement minces sur lesquelles on s'appuyait.

Deux couches cependant sont assez étendues pour qu'un glissement s'amorce sur elles seules :

- la couche argilo-marneuse comprise entre les bancs gréseux l et m côté amont,
- les argiles rouges aval sous le pied aval de la digue.

Il a fallu adoucir les talus en conséquence.

2.2. Traitement et drainage de la fondation

2.21. Conception de l'étanchéité

La géologie a commandé l'implantation précise de la digue et les dispositions de son noyau étanche, lequel est tout naturellement raccordé en rive droite à l'un des bancs étanches épais du substratum. Les parafouilles en béton, assurant l'étanchéité à l'amont immédiat de l'évacuateur de crues, sont également raccordées à ce même banc, qui procure un écran naturel gratuit.

Cette disposition s'est révélée possible sous la plus grande partie rive droite de la digue. Par contre, en rive gauche où les bancs de grès traversent d'amont en aval sous le noyau, un voile d'injections n'a pas pu être évité.

2.22. Conception du drainage

Le drain cheminée accolé au noyau du barrage a été retourné à l'horizontale afin de constituer un tapis drainant sous la recharge aval. Ce tapis draine également les bancs de grès aval s'ils venaient à être mis en charge pour une raison quelconque.

Deux galeries de drainage, une sur chaque rive, ont été creusées pour réduire les sous-pressions et pour mieux assurer la stabilité des versants :

- une galerie en rive gauche, de presque 200 mètres de long,
- une galerie en rive droite, d'un peu plus de 510 mètres de long.

Le drain naturel qu'est le banc de grès j, immédiatement à l'aval du banc d'étanchéité générale, joue forcément un rôle primordial. Pour en tirer le meilleur parti, les galeries de rive susmentionnées ont été implantées aussi longuement que possible dans ce grès, collectant au passage les eaux soit de forages drainants parallèles de la rive droite (32 x 30 m = 960 m), soit de drains en auréoles de la rive gauche (190 m au total).

2.3. Agencement des ouvrages annexes

Les bancs sont plus redressés et de plus grande prédominance gréseuse en rive droite qu'en rive gauche ; on a donc été conduit à y concentrer les ouvrages en béton, notamment les galeries souterraines.

Le puits de l'usine hydro-électrique et la chambre des vannes de la vidange, pour leur part, ont été implantés d'après la disposition géométrique du banc d'étanchéité marneux naturel, telle que définie précédemment en 1.2. Le voile d'injections limité à la seule rive gauche a été projeté de la même façon.

3. CONSTATATIONS FAITES LORS DES TRAVAUX

3.1. Concordance entre les prévisions et les levés géologiques

Lors de l'inspection et des levés géologiques des fouilles et des galeries, on a constaté une

concordance excellente entre les données d'observations et les résultats des reconnaissances, sauf en ce qui concerne la faille en vallée. Cependant, aucune modification d'implantation ni de calage d'ouvrages n'est apparue nécessaire.

3.2. Absence de faille en fond de vallée

Au vu des fouilles, on a observé que le banc de marnes grises massives constituant l'écran d'étanchéité naturel du site, de même que les bancs de grès qui l'encadrent, traversaient la vallée sans aucun décalage significatif ; on peut dire qu'il y a continuité des bancs d'une rive à l'autre.

Le décalage du toit des argiles rouges entre les deux rives de la Medjerdah, qui avait fait croire à l'existence d'une grande faille en vallée, s'explique en réalité par une variation latérale de faciès liée à la proximité du diapyr de l'oued Mellah.

Ces différents bancs de grès et de marnes viennent buter sur le toit des argiles rouges aval, lequel n'est pas parallèle à la stratification, mais les recoupe obliquement en montant dans la série, de la rive droite vers la rive gauche. C'est ainsi que le banc a, qui était le premier surmontant les argiles rouges (sur la piste rive droite) n'existe plus en rive gauche, et que le premier banc surmontant ces argiles sur la piste rive gauche est le banc c (fig. 5 - Vue en plan schématique de la disposition des couches sous le pied aval du barrage).

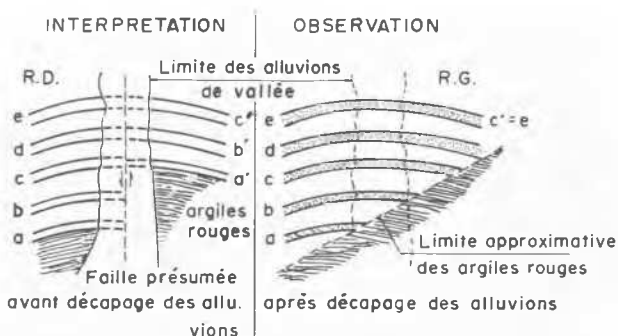


Fig. 5 Vue en plan schématique de la disposition des couches sous le pied aval du barrage

L'hypothèse d'un chevauchement d'origine tectonique pouvait être accréditée dans une certaine mesure par la présence fréquente de slickensides (1) le long du contact des grès avec les argiles rouges. Il aurait fallu un décapage des alluvions et un nettoyage fin du fond de vallée pour bien voir ce contact et son dessin exact.

C'est en observant le talus au-dessus des têtes aval des dérivations provisoires (D.P.) et, plus loin, les affleurements naturels en rive gauche de l'oued Mellah, que l'explication exacte a été trouvée : les alternances marno-gréseuses passent latéralement aux argiles rouges par des indentations capricieuses d'origine sédimento-

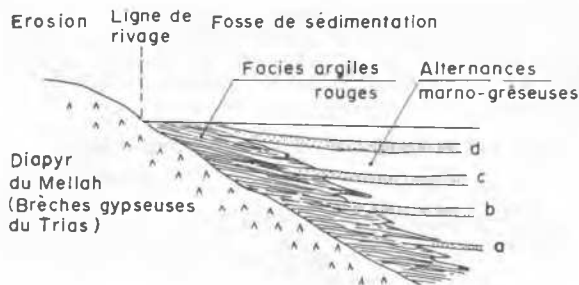


Fig. 6 Coupe schématique du bassin de sédimentation miocène, expliquant la discordance grès - argiles rouges

logique ; il ne s'agit nullement d'un contact tectonique. Cette variation latérale de faciès est en relation avec la proximité du diapyr triasique de l'oued Mellah, comme illustré sur la fig. 6 - Coupe schématique du bassin de sédimentation miocène, expliquant la discordance grès - argiles rouges.

Les alternances marno-gréseuses et les argiles rouges sont contemporaines (série Kechabta datée du Miocène post nappes). A cette époque, il existait une fosse de sédimentation probablement lagunaire en dessous du diapyr de l'oued Mellah, déjà formé. Les argiles rouges se déposaient en bordure de rivage et l'on y retrouve tous les produits de démantèlement de la masse diapyrrique :

- argiles d'altération superficielle,
- blocs anguleux de calcaires crétacé et éocène,
- cristaux de quartz bipyramidés caractéristiques du trias,
- blocs ferrugineux provenant de la carapace superficielle du diapyr.

Les alternances marno-gréseuses correspondent à des sédiments mieux triés qui se déposaient plus loin du rivage.

Si l'on assimile les indentations capricieuses de la série marno-gréseuse et des argiles rouges à une surface régulière grossièrement parallèle à la limite du diapyr, on constate qu'il existe une discordance angulaire entre cette surface et la stratification des grès, qui explique bien le biseautage de ces derniers sur le toit des argiles rouges.

L'absence de faille en vallée ne peut que minimiser les risques de fuites et de rejeu différentiel des deux rives en cas de séisme.

(1) Surfaces de cisaillement lustrées et brillantes