

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.

BARRAGE DE DJATILUHUR. PROBLEMES POSES PAR SA FONDATION. THE DJATILUHUR DAM. PROBLEMS POSED BY ITS FOUNDATIONS

M. HAMON
G. POST

Bureau d'Ingénieurs-Conseils COYNE & BELLIER, Paris

RESUME

La fondation du barrage est constituée par une alternance de bancs d'argilite et de grès fortement plissés, à pendage très accentué du côté amont, mais sensiblement horizontal sous le pied aval du barrage.

L'argilite saine (claystone) s'altère rapidement à l'air dès qu'elle n'est plus protégée par le manteau naturel d'argile d'altération qui la recouvre. Divers procédés furent étudiés pour éviter cette altération sous le massif d'enrochement du barrage.

Des essais de cisaillement in-situ du contact enrochement-argilite furent effectués après différentes durées d'exposition de la fondation pour essayer de déterminer l'influence de l'altération sur la résistance au cisaillement du contact.

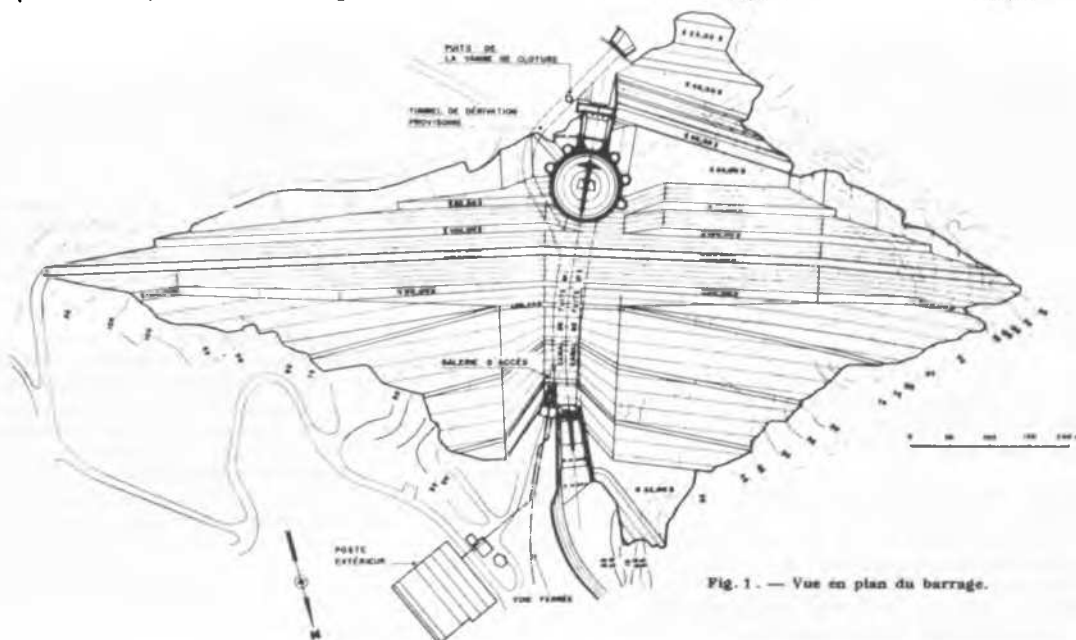
Enfin le plissement des bancs d'argilite a provoqué des cisaillements tectoniques qui se traduisent par des veines d'argile très minces de résistance beaucoup plus faible que l'argilite massive. Le projet a dû être adapté à cette découverte faite au cours des excavations.

Des essais de cisaillement, directs et triaxiaux, sur échantillons intacts prélevés dans les veines d'argile permirent de déterminer les caractéristiques du matériau le plus faible.

INTRODUCTION

Le barrage de Djatiluhur, terminé en 1966 à Java (Indonésie) est un barrage en enroche-

ment de 105 m de hauteur au-dessus du point le plus bas de sa fondation, d'une longueur en crête de 1 200 m et d'un volume total de 9 200 000 m³ (voir Fig. 1 et 2).



HAMON and POST

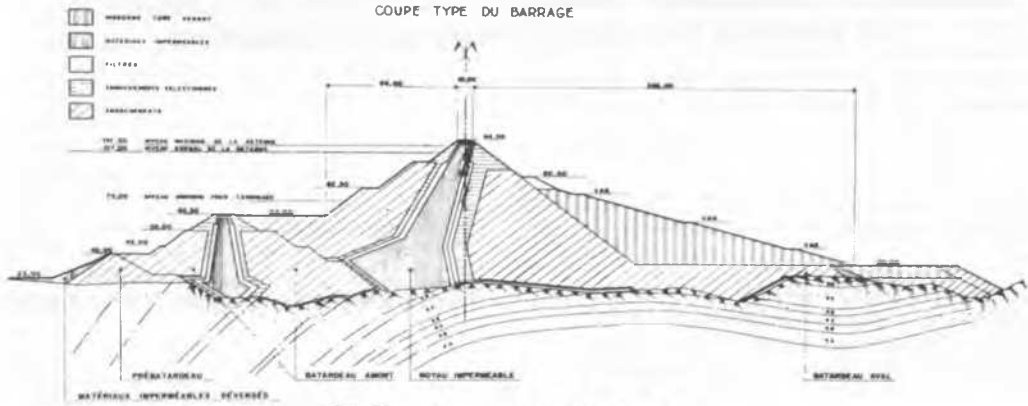


Fig. 2. — Coupe transversale du barrage.

Sa fondation est constituée par une alternance de couches d'argilite (claystone) et de grès. Les premières prédominent nettement, leur épaisseur pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres, tandis que l'épaisseur des secondes dépasse rarement quelques mètres. Ces couches, formées au Miocène, ont été ultérieurement fortement plissées par des poussées venues du Sud, c'est-à-dire de la région centrale de l'île.

Elles affleurent à la surface, dans la zone de fondation du barrage, avec un pendage variable, très fortement accentué à l'amont (environ 70° sur la verticale), mais décroissant vers l'aval pour devenir sensiblement horizontal au pied aval du barrage (voir Fig. 2).

Elles sont recouvertes, en surface, par un manteau de terrains décomposés d'une épaisseur moyenne de 2 à 5 m.

Bien que d'une qualité médiocre et assez fracturé, le grès ne posait pas de problèmes, en tant que matériau de fondation, pour un barrage en enrochement. Le nombre et l'épaisseur des bancs ne sont toutefois pas suffisants pour constituer, dans la fondation, un squelette résistant. La résistance de celle-ci est en fait gouvernée, en surface comme en profondeur, par l'argilite.

I - PROPRIÉTÉS INTRINSEQUES DE L'ARGILITE - ESSAIS EN LABORATOIRE

A l'état sain, l'argilite se présente sous la forme d'une roche tendre, compacte, sans grain, donnant une réaction à l'acide faible ou nulle, et d'une couleur gris foncé à noire.

L'argilite saine exposée à l'air se désagrège très rapidement en surface, surtout si elle est exposée au soleil, en se divisant en morceaux de plus en plus petits, au point de former, parfois au bout de quelques jours seulement, une couche de petites paillettes de plusieurs centimètres d'épaisseur.

Maintenue à l'abri du soleil et en atmosphère

confinée et humide, elle peut, par contre, se maintenir intacte indéfiniment.

Il s'agit donc d'un matériau extrêmement sensible aux variations d'hygrométrie.

Voici quelques indications sur ses caractéristiques minéralogiques et physiques :

- Composition minéralogique :

	moyenne	extrêmes
Kaolinite	40 %	30 à 45 %
Illite	20 %	15 à 30 %
Vermiculite	20 %	
Quartz	20 %	
	100 %	

- Densité apparente moyenne in-situ

2,45

- Teneur en eau moyenne in-situ

5 %

- Résistance à la compression, moyenne (mesurée en laboratoire sur échantillons prismatiques 5 x 5 x 10 cm environ)

60 bars
(valeurs extrêmes 30 à 80 bars).

L'argilite, mise en présence d'eau, a par ailleurs tendance à gonfler fortement. Toutefois, il suffit d'une charge relativement petite pour réduire beaucoup ce gonflement. Alors que, sous charge nulle, le gonflement peut atteindre 10 %, il suffit, ainsi que des essais à l'oedomètre l'ont montré, d'une charge de 0,25 bar pour le réduire à 2 ou 3%, et de 5 bars environ pour l'annuler complètement.

BARRAGE DE DJATILUHUR

II - ESSAIS IN SITU

1°) Essais de protection

Divers essais in-situ ont été exécutés au chantier, soit pour mettre en évidence le comportement de l'argilite saine sous l'effet de l'exposition aux agents atmosphériques, soit pour étudier son comportement sous charge. Les premiers se sont bornés, en fait, à des essais qualitatifs visant à comparer divers types de protection appliquée sur une surface d'argilite saine fraîchement découverte ; ces protections étaient destinées à éviter, ou tout au moins à réduire au minimum, l'altération sous l'effet des agents atmosphériques (air et soleil). Les divers types de protection étudiés ont été : enduit de mortier appliqué au ciment-gun, badigeonnage de bitume appliqué à chaud, émulsion de bitume appliquée à froid, couche de sable ou de gravier et combinaisons de ces divers procédés.

La protection qui est apparue la plus efficace, la plus facile à mettre en oeuvre et la plus économique est, dans la mesure où la pente le permet, celle constituée par une simple couche de tout-venant d'alluvions sableuses (0-100 mm environ et renfermant 20 % d'éléments inférieurs à 5mm).

Pour des raisons de construction l'épaisseur de cette couche a été portée à 1 m, bien qu'une épaisseur moindre eût été suffisante pour assurer la protection.

Aucune altération de l'argilite ainsi protégée n'a pu être discernée après plusieurs mois.

Une bonne protection peut être également assurée par la mise en place, sur l'argilite, d'un remblai argileux compacté ; c'est d'ailleurs ce que l'on fit en construisant le noyau du barrage, pour lequel on utilisa précisément les terres argileuses couvrant naturellement l'argilite et résultant de l'altération de cette dernière.

Mais, dans tous les cas, il importe de mettre en place cette protection, quelle qu'elle soit, rapidement et si possible dans l'heure qui suit.

2°) Essais de cisaillement in-situ

La partie la plus faible de la fondation étant la surface, qui peut s'altérer partiellement malgré les précautions prises pour protéger l'argilite, il était nécessaire de pouvoir attribuer une valeur à la résistance de contact remblai-fondation dans des conditions représentatives de celles du chantier. On a donc cherché à la mesurer par des essais. Ceux-ci sortant des possibilités d'un laboratoire, on a procédé à des essais in-situ sur le chantier.

a) Dispositif d'essai

Après avoir fait choix d'une aire d'essai représentative de l'argilite moyenne constituant la fondation, une surface rectangulaire d'environ 30 m x 100 m a été découpée jusqu'à l'argilite saine.

Sur cette surface, 15 "blocs" d'essai ont été confectionnés comme indiqué par la figure 3.

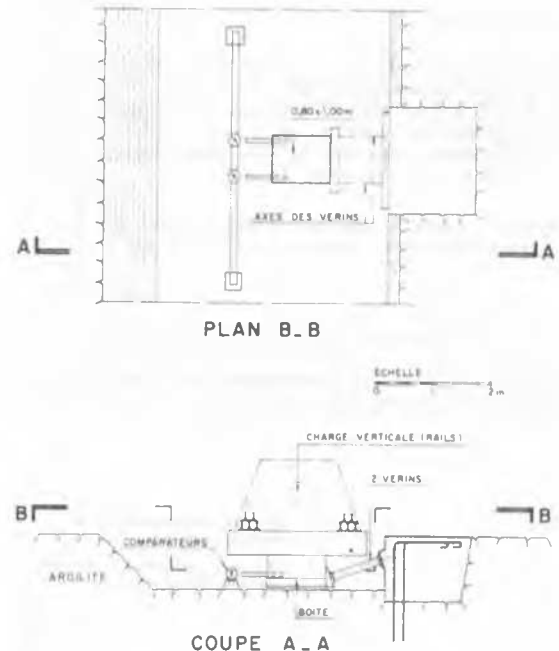


Fig. 3 - Schéma des blocs d'essai

La surface d'essai proprement dite (dimensions 0,80 m x 1,00 m) une fois préparée, une couche d'environ 10 cm d'épaisseur de pierres concassées, de 5 à 80 mm, maintenue latéralement par une boîte en tôle, était déposée sur la surface. Sur cette couche de pierres était ensuite bétonné un bloc de chargement, permettant d'appliquer l'effort normal (charge de rails) et l'effort de cisaillement (vérins inclinés axés sur le centre de la section).

Un dispositif de mesure par comparateurs et visées optiques permettait de mesurer les déplacements horizontaux et verticaux.

b) Programme des essais

Le but principal des essais était d'étudier la valeur de la résistance au cisaillement sous l'influence de deux paramètres :

- la charge normale appliquée (de 2 à 6,5 bars),
- le temps (de quelques jours à un an) pour essayer de discerner l'influence de l'altération.

HAMON and POST

En outre, parmi les quinze surfaces d'essai, cinq furent enduites, avant mise en place de la couche de pierres cassées, d'une couche d'asphalte appliquée à chaud, d'une épaisseur de 3 mm environ.

Certains essais ont été conduits d'abord jusqu'à la rupture, puis rechargés à une charge normale supérieure et cisailés à nouveau, afin de voir l'influence de pressions normales plus élevées sur des surfaces déjà cisailées.

Lors de chaque essai, la pression dans les vérins était augmentée par paliers d'environ 5 à 10 % de la pression finale. A chaque palier, la pression était maintenue jusqu'à ce que la déformation soit à peu près stabilisée.

Le temps nécessité par un essai complet était généralement compris entre 6 et 12 heures.

c) Résultats

Une courbe type du déplacement en fonction du temps est donnée par la figure 4.

LEGENDE

- σ - CONTRAINTE NORMALE MOYENNE SUR L'ARGILITE (bars)
- τ - CONTRAINTE TANGENTIELLE MOYENNE SUR L'ARGILITE (bars)

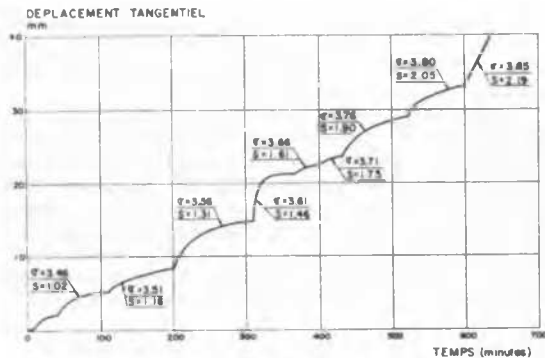


Fig. 4 - Essai de cisaillement in-situ
Courbe-type - Echantillon 1-H

Quelques exemples de courbes efforts/déformations sont d'autre part donnés par la figure 5.

Les divers points représentatifs des essais sont portés sur le graphique de la figure 6.

MATURE DE L'ESSAI	DELAI ENTRE BETONNAGE DU BLOC ET ESSAI DE CISAILLEMENT					
	48 heures	1 mois	3 mois	6 mois	12 mois	
FONDATION NON PROTEGÉE	ESSAI MENÉ JUSQU'À LA RUPTURE	1B ⁽¹⁾ 2B ⁽¹⁾	1A 1C ⁽¹⁾ 2D	2G	1F	1E
	ESSAI SUR BLOCS DÉJÀ CISAILLÉS	1B ⁽¹⁾ 1B ⁽¹⁾ 2B ⁽¹⁾ 2B ⁽¹⁾	1C			
AVEC ENDUIT D'ASPHALTE	ESSAI MENÉ JUSQU'À LA RUPTURE		1D 2A 2C ⁽¹⁾	1Q	2F	2E
	ESSAI SUR BLOCS DÉJÀ CISAILLÉS		2C ⁽¹⁾			
FONDATION SATURÉE	ESSAI MENÉ JUSQU'À LA RUPTURE	1H				

RESISTANCE AU CISAILLEMENT DU CONTACT ENROCHEMENT-ARGILITE

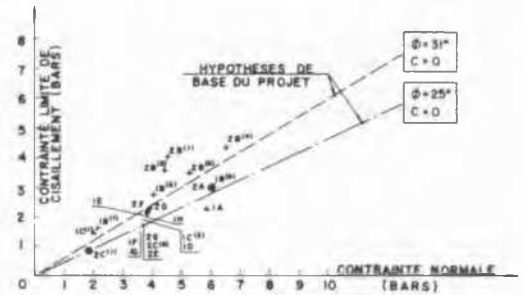


Fig. 6 - Résultats des essais

d) Critique des résultats - Commentaires

Lorsque tous les essais furent terminés, les blocs de chargement furent basculés afin d'examiner la surface de cisaillement. Une petite saignée, creusée à la main, fut exécutée dans l'argilite sous-jacente pour permettre son examen en profondeur. On put constater que :

- 1) une faible fraction seulement du déplacement total mesuré provenait de déplacements à l'intérieur de la couche de pierres cassées : celle-ci a, en général, été retrouvée intacte,
- 2) à une profondeur de 5 à 7 cm au-dessous de la surface de contact l'argilite a dans tous les cas été trouvée intacte, sans signes de déchirements,
- 3) le cisaillement était principalement localisé dans une couche d'environ 2,5 cm d'épaisseur sous la surface de contact ; à l'intérieur de cette couche, on trouvait l'argilite sous forme de petits fragments presque intacts et cubiques, de dimensions comprises entre 3 et 12 mm.

Quoi qu'il en soit, on peut conclure de ces observations que ce que l'on a mesuré, comme il arrive généralement dans ce genre d'es-

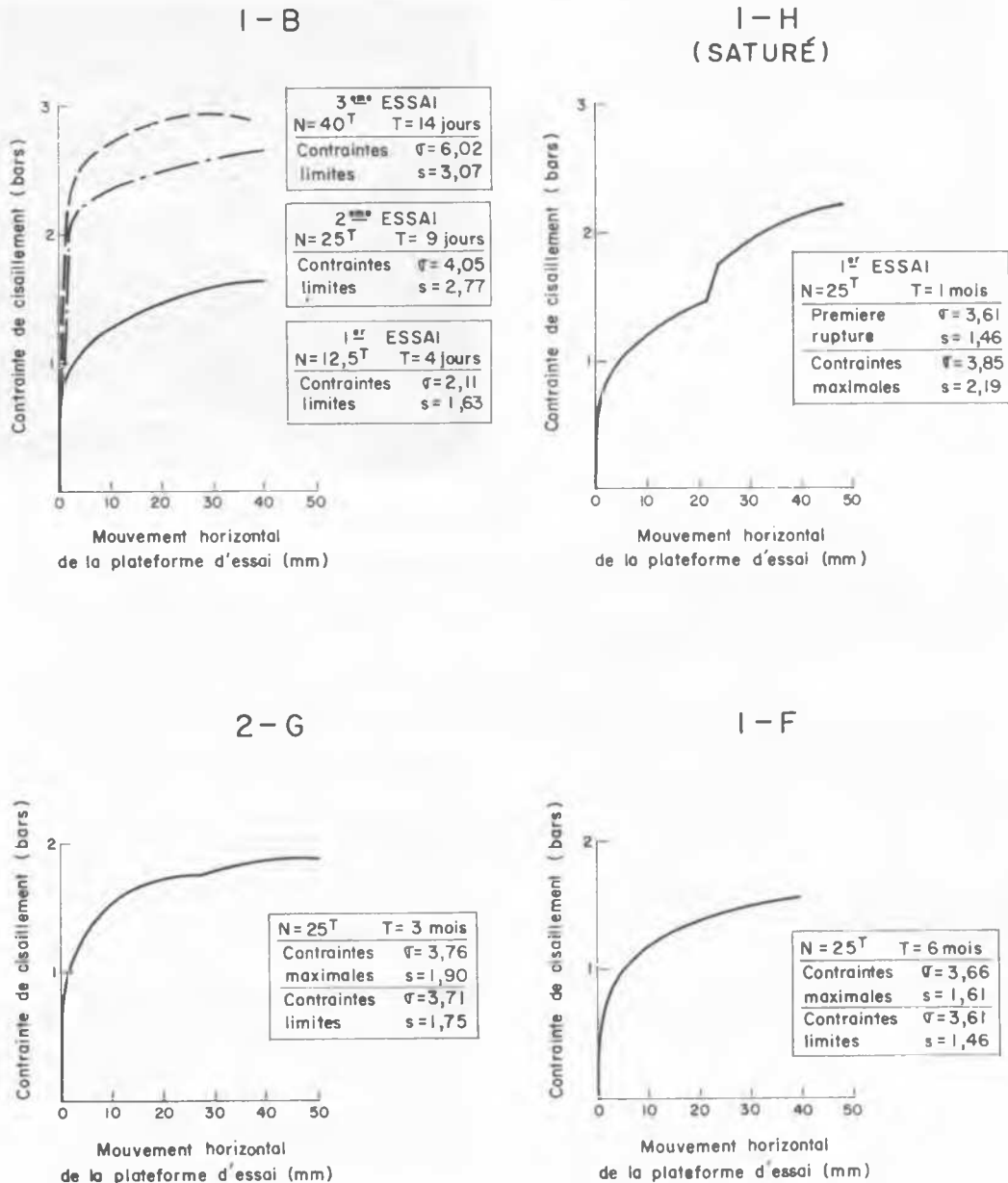


Fig. 5 - Courbes efforts-déformations

sais, n'est pas la résistance au cisaillement du contact proprement dit, mais plutôt la résistance au cisaillement du matériau le plus faible, c'est-à-dire l'argilite située juste au-dessous de la surface de contact.

Il est en revanche difficile de discerner dans quelle mesure les résultats varient en fonction des charges d'essai. De même pour ce qui concerne l'influence du temps qui s'est écoulé entre la confection des blocs et l'essai, et ceci bien qu'on ait fait des essais jusqu'à un an d'âge.

Quant à la dispersion des résultats, il semble qu'on doive essentiellement l'attribuer aux variations mêmes de l'argilite sur laquelle on a opéré : soit que le matériau ait été différent, soit que le pendage des couches par rapport à la surface d'essai ait été différent d'une extrémité à l'autre de l'aire d'essais (variations d'une dizaine de degrés environ).

Ces essais ont été complétés, en laboratoire, par quatre essais spéciaux de cisaillement direct, exécutés sur des échantillons obte-

BARRAGE DE DJATILUHUR

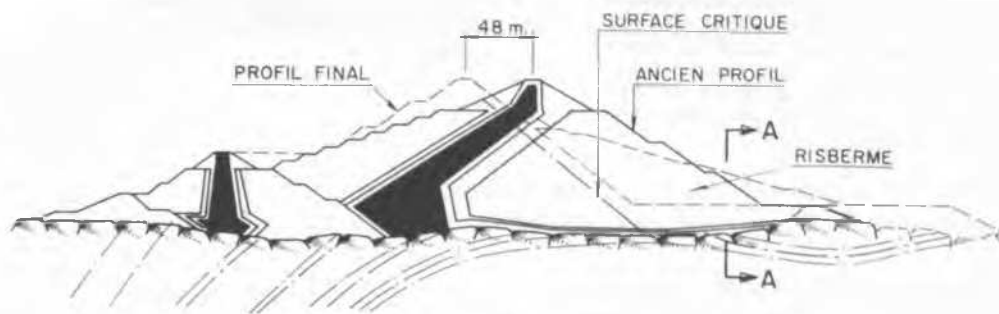


Fig. 8 - Coupe initiale

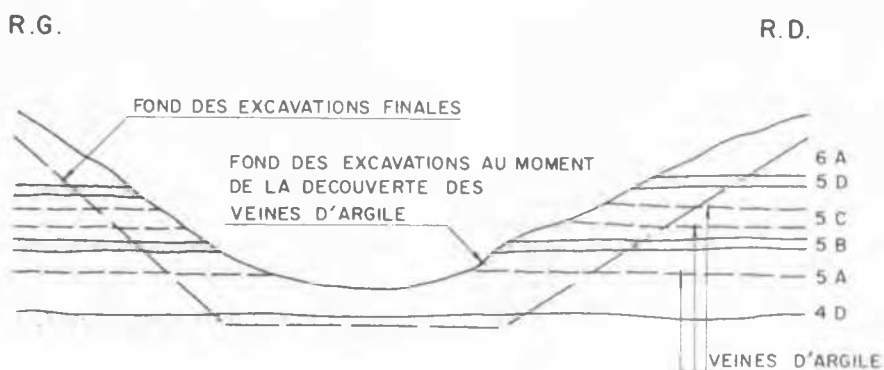


Fig. 9 - Coupe en travers des fondations
(Coupe A-A de la Fig. 8)

$$C' = 0,2 \text{ bar}$$

$$\phi' = 11^{\circ}5'$$

$$\text{ou } C' = 0$$

$$\phi' = 14^{\circ}$$

- de charger le pied du talus aval d'enrochement par une risberme de matériaux tout-venant (grès et argilite compactés).

Ce sont ces dispositions, suivant lesquelles le barrage a été réalisé, qui donnent la coupe de la figure 2.

CONCLUSION

Des problèmes posés par la fondation du barrage de Djatiluhur et de leur solution on peut tirer les enseignements suivants :

- a) une roche altérable par variations d'hygrométrie est efficacement protégée immédiatement après l'ouverture des excavations par une couche mince (d'épaisseur inférieure à 1 m) d'alluvions sableuses,
- b) des essais de cisaillement in-situ et au laboratoire permettent de préciser la résistance résiduelle du contact entre le remblai et la fondation, résistance nécessaire à l'établissement du projet,
- c) le plissement d'une formation géologique

La stabilité aval du barrage, calculée selon des lignes de rupture suivant dans la fondation le tracé supposé de ces veines, s'est alors avérée insuffisante (voir Fig. 8). Force fut de reprendre sur le champ le projet et de rechercher une solution qui permette de poursuivre les travaux tout en sauvegardant les ouvrages en béton déjà construits.

Après l'étude, il fut décidé :

- d'approfondir la fouille, dans le lit de la rivière et dans la zone du pied aval, jusqu'à asseoir celui-ci sur un banc de grès massif se trouvant seulement quelques mètres plus bas (voir Fig. 9),
- de redresser, tout en conservant sa base déjà commencée, le noyau du barrage en déplaçant la crête, parallèlement à elle-même, de 48 m vers l'amont ; la pente moyenne du noyau passait ainsi de 1,45/1 à 0,43/1, et celle du talus amont de 3/1 environ à 2,5/1 environ,

HAMON and POST

où alternent des couches rigides et des couches plastiques peut donner naissance à de minces zones continues où la déformation de cisaillement des couches plastiques s'est concentrée ; la résistance de ces zones peut être voisine de la résistance résiduelle obtenue par des essais à grandes déformations,

- d) comme on l'a déjà souvent constaté, les reconnaissances géologiques ne permettent en général de déceler que ce que l'on cherche.