

O.M.V.S
Haut Commissariat
Département de l'Infrastructure Générale

Organisation pour la Mise en Valeur
du Fleuve Sénégal (OMVS)
Haut Commissariat
Centre Régional de Documentation
Saint-Louis

Organisation pour la Mise en Valeur
du Fleuve Sénégal (OMVS)
Haut Commissariat
Centre Régional de Documentation
Saint-Louis

SUR LE "RIP-RAP" DU BARRAGE DE MANANTALI

Organisation pour la Mise en Valeur
du Fleuve Sénégal (OMVS)
Haut Commissariat
Centre Régional de Documentation
Saint-Louis

Juillet 1993

Prof. Dr.-Ing. Timm Stückerath
(selon contrat OMVS du 30 Mars 1993)

0996 0

*Organisation pour la Mise en Valor
du Fleuve Senegal (OMVS)
Haut Commissariat
Centre Regional de Documentation
Saint-Louis*

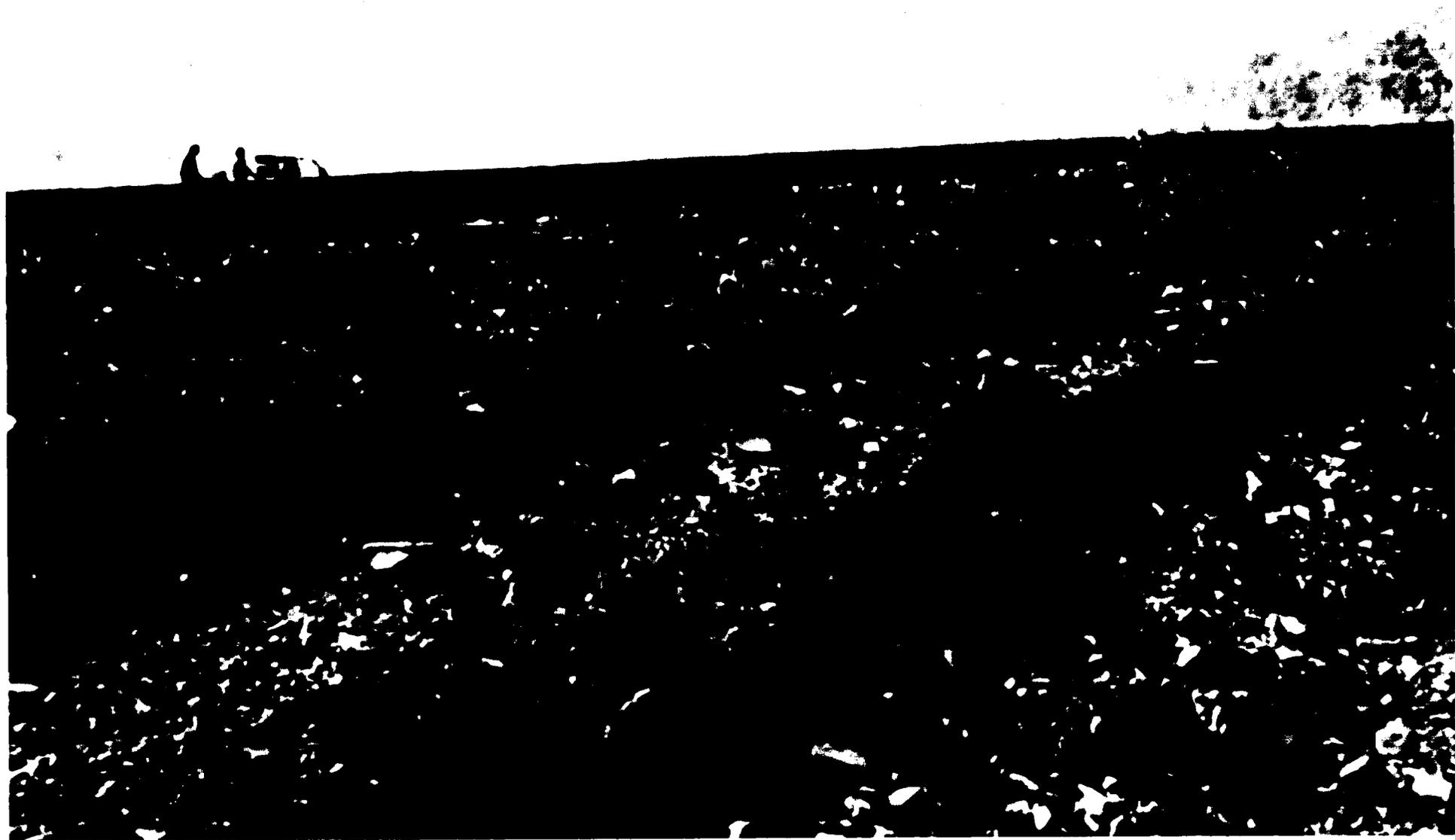


Fig. 0: Impression générale des bandes d'érosion aux cotes +201 m et 207 m environ. Le cadre au centre a les dimensions de 2 m/2 m. Il est placé à la cote +207 m environ

EXPERTISE TECHNIQUE
SUR LE "RIP-RAP" DU BARRAGE DE MANANTALI

1. OBJET DES INVESTIGATIONS ET DESCRIPTION DU PROBLEME

Le rip-rap mis en oeuvre comme protection du talus en amont du barrage de Manantali a subi des dégradations. Il n'y a pas de doutes que ces dégradations sur le rip-rap se sont produites à cause des vagues provoquées par des orages. Les pointes de vitesse du vent de ces orages sont de l'ordre de 30 m/s (et plus). Si le vent souffle dans la direction Est-Ouest il peut générer des vagues dont la hauteur significative est théoriquement de l'ordre de 1 m.

Le rip-rap a été initialement étudié par l'Ingénieur Conseil afin de pouvoir résister à l'attaque des vagues de 1 m. Aujourd'hui le rip-rap se présente érodé en forme de falaise (cliff) comme montré clairement sur les photos (Fig. 1 et 2) prises par l'expert en Avril 1993. La hauteur de la zone érodée (falaise) est de plus de deux mètres. Les figures 1 et 2 montrent que le phénomène de l'érosion des digues laterales est le même sur les deux rives.

Etant donné que les érosions du rip-rap risquent d'endommager la stabilité du barrage même, l'OMVS a décidé de confier à l'Expert les prestations suivantes:

- la vérification du dimensionnement du rip-rap
- le contrôle des caractéristiques du rip-rap tels que réalisé
- l'évaluation de l'ampleur des dégradations du rip-rap et la détermination des causes précises de ces dégradations
- la définition des travaux de réparation et de renforcement éventuel
- les recommandations relatives à la procédure à suivre par l'OMVS afin de déterminer les responsabilités éventuelles de l'Ingénieur Conseil et de l'entreprise dans ce sinistre et des mesures à prendre pour permettre l'application des garanties légales ou contractuelles.

Avant la mission de l'Expert, ont été mis à sa disposition:

- le rapport de l'Ingénieur Conseil, Note No. 26, Juin 1992 (1),
- le rapport daté 12.8.1992 du Prof. Dr.-Ing. Burkhardt pour la KfW s'exprimant sur la Note No. 26 ci-dessus (2),
- le rapport complémentaire de l'Ingénieur Conseil sur la définition des travaux de renforcement du barrage, Note No. 27, Novembre 1993 (3),
- la lettre du Prof. Burkhardt du 3.3.1993 dans laquelle il se prononçait sur la Note No. 27 de l'Ingénieur Conseil (4).

2. INVESTIGATIONS DE L'EXPERT, ESSAIS ET INFORMATIONS ACQUISES SUR PLACE

2.1 Travaux exécutés

Le contrat pour la présente expertise entre l'OMVS et l'Expert a été signé à Dakar le 30.3.1993. Le voyage en voiture partait de Dakar le 31.3.1993 au matin afin d'arriver sur le site à Manantali dans l'après-midi du 1.4.1993. L'Expert a été accompagné par M. Mballo, Ingénieur de l'OMVS et par M. Rolla en qualité d'interprète et partenaire, ayant une bonne connaissance de la région. La participation de M. Rolla a été demandée à l'OMVS par lettre datée du 29.3.1993. Son assistance était absolument nécessaire pour le bon déroulement de la mission. L'Expert pouvait ainsi effectuer les recherches d'informations nécessaires sans problème de communication. M. Rolla traduisait pendant les réunions, triait les documents mis à la disposition de l'Expert par les différents ingénieurs de l'OMVS sur le site et assistait l'Expert pendant ses investigations. Les investigations principales sur le site ont été les suivantes:

- a. cinq analyses granulométriques du rip-rap dans le laboratoire du chantier
- b. les dégradations du rip-rap ont été examinées en détail et documentées par des photographies
- c. les parois de la carrière existente et les reliquats de quelques matériaux minés pendant la construction du barrage ont été examinés
- d. les routes du chantier et les lieux pour l'installation du chantier futur ont été examinés
- e. un grand nombre de documents mis à la disposition de l'Expert ont été étudiés et lu en extrait
- f. des renseignements ont été recueillis auprès des ingénieurs de l'OMVS qui étaient au courant des dégâts et qui étaient déjà sur le site pendant la construction du barrage
- g. plusieurs réunions ont été tenues sur le site afin d'acquérir des informations détaillées sur:
 - les niveaux d'eau dans la retenue mesurés et attendus
 - certificats de réception du rip-rap exécuté
 - tassements des ouvrages
 - calendrier des exécutions réalisées de travaux de terrassement
 - installation du chantier et matériel utilisé par l'Entreprise pour le rip-rap
 - hauteur des vagues mesurées et caractéristique du vent.

L'OMVS à Manantali était en mesure de fournir à l'Expert beaucoup de documents et informations disponibles.

L'Expert a été assisté par le personnel de l'OMVS pour le prélèvement des échantillons pour les analyses granulométriques, à l'aide d'une excavatrice et le transport par camions au laboratoire du chantier. Au laboratoire les échantillons ont été déchargés sur des dalles en béton. Le triage et le tamisage des matériaux ont été faits par le personnel de l'OMVS sous la surveillance de l'Expert qui également surveillait le pesage des différents groupes de grains.

Les cadres utilisés en qualité de tamis ainsi que le cadre de 2 m/2 m pour la documentation photographique ont été fabriqués par l'OMVS.

Un bureau ainsi qu'un logement a été fourni par l'OMVS dans la Cité des Cadres. Les investigations sur le site ont été terminées le 8.4.1993. L'Expert quittait Manantali dans la matinée du 9.4.1993. Une réunion de synthèse a été tenue à Dakar avec un membre de l'OMVS (les autres malheureusement empêchés) le 11.4.1993. A cette occasion une note de mission a été remise à l'OMVS.

2.2 Analyses granulométriques

La seule façon de prendre les échantillons voulus en peu de temps était d'utiliser une excavatrice. Etant sur roues, l'excavatrice LIEBHERR A 902, ne pouvait travailler qu'à partir de la crête des digues. Ceci a limité la liberté de choix de la prise des échantillons en ce qui concerne leur emplacement. Pour cette raison il a été décidé de prendre cinq échantillons de la partie supérieure du talus seulement. A cet endroit on était sûr que le rip-rap se présentait encore à son état initial étant donné qu'il n'a pas été endommagé par l'effet des vagues et où le mélange du rip-rap et de l'enrochement, qui évidemment fausserait les résultats des essais, pouvait être exclu. Les endroits pour la prise des échantillons ont été présélectionnés sur les plans, avant la mise en marche de l'excavatrice:

- a. digue rive droite: trois échantillons entre les sections S2, S3, S4 et S5, nommés D1, D2 et D3
- b. digue rive gauche: deux échantillons équidistant de S8, nommés G1 et G2

Le mode de préselection a été choisi afin de parer aux éventuelles critiques que les échantillons ont été pris non pas au hasard mais aux endroits avec des matériaux spécialement grossiers ou fins. Seulement on a du changer l'endroit prédéterminé G1, étant donné que l'OMVS y avait entreposé des matériaux pour la réparation du rip-rap. L'emplacement exacte de la prise des échantillons est indiqué sur Fig. 3.

Les travaux d'excavation sont montrés sur les photographies (Fig. 4 et Fig. 5).

Comme on peut voir sur la photocopie (Fig. 6) la pelle de l'excavatrice était en mesure d'atteindre facilement le rip-rap. L'endroit de l'échantillon G1 est représenté sur Fig. 7.

Le tamissage (Fig. 8) et le pesage a été fait devant le laboratoire du chantier. La balance utilisée était une RHEWA Type 104, capacité 500 kg, précision 200 g. Les différents échantillons de rip-rap pesaient entre 5 et 9 t. Les résultats des essais sont représentés en forme de courbes granulométriques sur Fig. 10. Dans cet abaque sont également indiqués le fuseau granulométrique selon le CPT et les deux courbes trouvées par l'Ingénieur Conseil. Il est évident que les cinq courbes D1 à D3 ainsi que G1 et G2 montrent des granulométries beaucoup plus fines que préconisées par les spécifications. Les échantillons pris par l'Expert diffèrent guère des échantillons examinés par l'Ingénieur Conseil en Février et Juillet 1992. Les matériaux mis en place correspondent à un enrochement normal dans la partie inférieure (au dessous D₅₀).

Si nous comparons les chiffres de D₅₀ (le diamètre moyen) du rip-rap des spécifications avec celles du rip-rap des échantillons étudiés nous trouvons:

D₅₀ selon spécifications: 350 à 550 mm

D₅₀ des échantillons: 120 à 250 mm

Le diamètre du rip-rap mis en place ne mesure qu'un tiers du diamètre exigé dans le CPT en ce qui concerne la taille moyenne d'un bloc; c'est à dire que la masse d'un bloc moyen est seulement 1/27 du W50 selon les spécifications. Pour les parties plus fines des matériaux cette relation est même pire.

Une analyse des sections plus fines que 100 mm n'a pas été faite par l'Expert étant donné que la courbe granulométrique est fortement dépendante du volume et de la façon comment les échantillons sont pris (à la main, par pelle tulipe ou par excavatrice rétro) et ceci pourrait être la cause d'interprétations erronées. Pourtant une quantité considérable de sable a été trouvée dans tous les échantillons. Il faut noter que le diamètre maximum des grains de tous les échantillons est également accidentel. En concluant on constate que le matériau mis en oeuvre diffère largement des spécifications.

2.3 Dégradations du rip-rap des digues

Les dégradations dues aux attaques des vagues à certains niveaux d'eau sont documentées par des photographies, de la digue rive droite sur Fig. 1 et de la digue rive gauche sur Fig. 2. En général on voit sur les photos un cadre blanc de 2 m sur 2 m pour des raisons de comparaison. D'après les termes de référence pour le présent contrat d'expertise technique et d'autres documents, les érosions principales se formaient aux dates et aux niveaux d'eaux, dans le lac de Manantali, suivants:

Date	Niveau d'eau	Remarques
23.8.90	200.5 m	zone érodée
14.8.92	201.7 m	basse
05.10.91	207.3 m	zone érodée supérieure

Les jours où les photographies ont été prises par l'Expert le 6 et le 8 Avril 1993, le niveau du Lac de Manantali était environ de +198.6 m. Pourtant les zones érodées basse et supérieure aux cotes de +201 respectivement de +207 m sont clairement représentées sur les photos. Déjà à partir des Fig. 1 et 2 il est évident que les zones d'érosions se formaient sur toute la longueur du barrage en terre et qu'elles ne se limitaient pas en petits endroits isolés. Cette observation nous amène à la conclusion que le rip-rap utilisé et mis en place n'est pas apte de résister aux attaques des vagues sur toute la surface du talus amont du barrage. L'érosion est due à un défaut général et elle n'est pas limitée à des zones isolées où des matériaux trop fins ont été mis en place par hasard.

Au cours des investigations du 8 Avril 1993 le barrage a été spécialement inspecté près des sections S2 à S8. Ces sections sont matérialisées par des blocs en béton placés près de la crête de la digue. Les blocs inférieurs matérialisant la même section en bas du talus ont été déplacés sous l'effet des vagues. Une série de ces photos est représentée sur Fig. 11 à 14. Quelque matériau grossier et les repères en béton ont roulés vers la partie basse du talus comme indiqué sur Fig. 13 et 14. Les diamètres des blocs les plus grands dépassent les dimensions préconisées dans les spécifications. Un arrangement individuel des blocs comme indiqué dans les spécifications n'a pas été observé sur le talus et ainsi que dans les zones encore intactes et non touchées par l'érosion. Le rip-rap n'a pas été mis en place comme couche de couverture formée de blocs sélectionnés comme indiqués dans les plans (voir e.g. Fig. 6), mais plutôt de matériau tout venant de carrière, peut-être un peu plus gros que l'enrochement normal. La comparaison des matériaux mis en place sur les talus amont des deux digues latérales ne montre pas une grande différence entre eux.

Les Fig. 5 et Fig. 7 montrent que la mise en place du rip-rap n'a pas été faite de façon à ce que les blocs forment une couche compacte avec des pierres qui se autobloquent entre elles.

2.4 Inspection de la carrière

La carrière a été inspectée en détail. Elle a été exploitée par l'Entrepreneur et abandonnée avec des parois pratiquement verticales. Il y a des zones dans la carrière où les parois semblent être exemptes de fissures et les pierres, qui s'y trouvent encore, provenant des derniers minages, sont de dimensions même plus gros qu'exigé pour un rip-rap convenable. Pourtant l'Ingénieur Conseil et l'OMVS devront veiller à ce que la carrière puisse être exploitée au-delà des parois et qu'il y aura suffisamment de matériau pour le rip-rap nécessaire dans le future.

3. HAUTEUR DES VAGUES ET DIMENSIONNEMENT DU RIP-RAP

3.1 Hauteur de vagues de projet

Les vagues les plus dangereuses se forment quand le vent souffle en direction Est-Ouest. Les enregistrements de l'anémomètre sur le site montrent que des violents orages d'une courte durée ne sont pas du tout un évènement rare, mais doivent être pris en compte à chaque saison des pluies.

Les orages enregistrés pendant la saison des pluies 1992 sont indiqués dans le Rapport d'Activités No. 17 (couvrant la période de Juillet à Décembre 1992) à la page 17, "Tableau IV". Pendant cette période les vagues ont été enregistrées par une bouée WEVERIDER de DATAWELL installée en amont de la digue le 17 Avril 1992. Le "Tableau IV" montre les hauteurs maximums des vagues et les vitesses maximums du vent pendant 52 jours. En plus de "Tableau IV" l'OMVS sur le site avait fourni à l'Expert les enregistrements d'un deuxième anémomètre.

A partir de ces dessins clairs les vitesses et les durées des orages représentés sur "Tableau IV" peuvent facilement être obtenues. En ce qui concerne les hauteurs des vagues l'Expert n'était pas pourvu d'un autre document que "Tableau IV". Selon cette liste la hauteur des vagues de 2 m a été excédé à 3 jours et les 1.5 m ont été atteint ou excédé à 11 jours. A Manantali on avait confirmé que ces chiffres représentaient les hauteur maximums des vagues mesurées pendant l'évènement d'un orage.

Afin d'obtenir la hauteur de la vague significative $H_s = H_{1/3}$ à partir du fetch, la vitesse et la durée du vent L'Expert employait différentes méthodes de recalcul (hindcast). Dans aucun cas pour 1992 il a pu trouvé des hauteurs de vagues dépassant $H_{1/3} = 0,5$ m.

Afin d'obtenir la hauteur de vague maximum à partir de la hauteur de vague significative $H_{1/3}$ des ingénieurs spécialisés (8) emploient la relation

$$H_{max} = 2 \cdot H_{1/3}$$

En appliquant cette relation la hauteur maximum de vague pendant 1992 ne peut excéder la valeur de 1 m.

La hauteur de vague de projet H_{pro} pour la une digue devrait être près de $H_{1/3}$.

Seulement le "Corps of Engineers" dans la dernière édition de leur oeuvre "Shore Protection Manual" (6) remplaçait cette formule par:

$$H_{pro} = H_{1/10} = 1,27 \cdot H_{1/3}$$

Cette modification sera révisée prochainement selon (7).

L'Expert essayait d'expliquer la discordance entre les hauteurs de vagues mesurées et celles calculées par des phénomènes de réflexion. La distance entre la digue et l'emplacement de la bouée WAVERIDER est tellement courte que les valeurs de réflexion sont hautes.

Pourtant même des reflections hautes ne peuvent pas expliquer les hauteurs de vague indiquées dans le "Tableau IV".

Des discussions avec l'Ingénieur Conseil ont montré que la façon dont l'OMVS calcule la hauteur de vague est erronée.

Afin de choisir une vague la méthode "descendante" ou "montante" peut être utilisée. La hauteur de vague est la différence entre la crête et le creux précédent ou le creux suivant, mais les deux chiffres doivent appartenir à la même vague. Si les creux et les crêtes sont pris de vagues différentes les différences deviennent beaucoup trop hautes. L'OMVS devrait vérifier les enregistrements de vague de 1992 et corriger le "Tableau IV".

C'est pourquoi l'Expert maintient la hauteur de vague de projet comme proposé par l'Ingénieur Conseil (1).

$$H_{pro} = 1,4 \text{ m}$$

chiffre confirmé par Prof. Burkhardt (2) pour la détermination du poids des blocs du future rip-rap.

3.2 Poid des blocs du future rip-rap

Pour le dimensionnement du rip-rap l'Expert propose d'utiliser la formule de Hudson qui selon (6, 7, et 8) a substitué des formules plus anciennes:

$$W_{50} = \frac{\rho_s \cdot H_{pro}^3}{K_{RR} \cdot \left[\rho_s / \rho_w - 1 \right]^3 \cdot \cot \alpha}$$

W_{50} = masse d'un bloc moyen du rip-rap

ρ_s = densité de la pierre

ρ_w = densité de l'eau

H_{pro} = hauteur de la vague de projet

$\cot\alpha$ = pente de la digue

K_{RR} = coefficient de forme = 2.5 pour rip-rap (6)

Avec $\rho_s = 2.6 \text{ t/m}^3$ pour la pierre de Manantali

et $\cot\alpha = 1.6$ on obtient

$$W_{50} = \frac{2.6 \cdot 1.4^3}{2.5 \cdot 1.6^3 \cdot 1.6} = 0.4354 \text{ t}$$

Pour un bloc de forme cubique on obtient donc la longueur de l'arête D_{50} :

$$D_{50} = \sqrt[3]{\frac{0.4354}{2.6}} = 0.55 \text{ m}$$

Le chiffre de $\rho_s = 2.6$ pour la densité de la pierre a été confirmé sur le site par l'Ingénieur Conseil. Le même chiffre a été vérifié par l'Expert dans le laboratoire du chantier avec les moyens de bord. D'après (6) la masse du bloc le plus petit devrait être de $0.125 W_{50}$ ou $D_{min} = 0.27 \text{ m}$.

Dans sa Note No. 27 l'Ingénieur Conseil avait proposé pour le rip-rap:

$$D_{50} = 0,5 \text{ à } 0.7 \text{ m}$$

$$D_{max} = 1.1 \text{ m}$$

$$D_{min} = 0,25 \text{ m}$$

Etant donné que cette spécification est très proche aux calculs fait ci-dessus, l'Expert accepte complètement ces chiffres.

Le rip-rap devrait pouvoir résister à des vagues de projet dont la hauteur est de 1.4 m et il devrait avoir des dimensions comme indiqué sur l'abaque Fig. 17. Ceci est proche aux limites indiquées dans la description de l'Ingénieur Conseil.

3.3 Nécessite d'une couche de filtre

Les principaux critères couramment appliqués à la couche de filtre situé sous le rip-rap du barrage sont:

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5; \quad \frac{D_{15}}{d_{15}} \leq 20; \quad \frac{D_{50}}{d_{50}} \leq 25.$$

dont D est le diamètre du matériau plus gros et d est le diamètre du matériau plus fin.

Les deux matériaux qui devrait être séparés par une couche de filtre sont l'enrochement (ici la limitation la plus fine devrait être incluse) et le rip-rap (ici on devrait choisir une limitation moyenne). C'est à dire:

<u>pour l'enrochement</u>	<u>pour le rip-rap</u>
$d_{15} = 1 \text{ mm}$	$D_{15} = 400 \text{ mm}$
$d_{50} = 15 \text{ mm}$	$D_{50} = 550 \text{ mm}$
$d_{85} = 60 \text{ mm}$	$D_{85} = 850 \text{ mm}$

Les deux matériaux devront être séparés par un filtre. L'Ingénieur Conseil avait suggéré que le rip-rap existant pourrait servir de couche de filtre. L'Expert a des doutes sur l'aptitude de ce matériel pour le filtre, mais ceci doit être examiné. Après une comparaison approfondie seulement deux solutions peuvent être maintenues pour le renforcement de la digue:

Variante A: Excavation de la couche supérieure, existante placement d'une couche de filtre d'une épaisseur de 0,7 m et ensuite mise en place du rip-rap nouvellement déterminé.

Variante B: Réparation de la couche supérieure existante et mise en place du rip-rap nouvellement déterminé.

Toute autre variante mentionnée par l'Ingénieur Conseil devraient être écartée étant donné qu'elles nécessiteront des systèmes de travail différents pour la réparation et le renforcement.

4. MODE D'EXECUTION ET INSTALLATION DU CHANTIER POUR LA NOUVELLE COUCHE DE PROTECTION SELON VARIANTE A

L'Ingénieur Conseil dans sa Note No. 27 (3) avait comparé les solutions différentes pour la nouvelle couche de protection contre les attaques des vagues. Il tire la conclusion que la meilleure solution pour la couche de protection serait une nouvelle couche de rip-rap. Prof. Burkhardt se joint à cette idée.

Les matériaux nécessaires pour le "plombage" des falaises (bandes d'érosion) ne peut être mis en place que par des camions poids lourds qui nécessiteront des routes d'accès assez larges. Celles-ci devraient être excavées au préalable pour toutes les solutions. Dans toutes les solutions le volume de matériaux à mettre en oeuvre par l'Entrepreneur serait plus grand que la quantité qui a été érodé sous l'effet des vagues. Avant que tout travail de remplacement puisse être entamé on devrait enlever le rip-rap existant et quelques mètres de l'enrochement.

La variante A est basée en supposant que l'Entrepreneur ne serait pas en mesure de séparer le rip-rap existant de l'enrochement et en conséquence ne serait pas capable de produire une couche de filtre sans excavations considérables.

Dans quelques endroits beaucoup de fines seraient inclusés dans le rip-rap existant qui empêche son emploi comme filtre sans preuves spéciales préalables.

L'Expert recommande d'excaver le rip-rap existant ainsi qu'une partie de l'enrochement existant. Le remblai pour l'enrochement pourrait provenir des déblais des rampes d'accès dans la proximité (transport sur des distances courtes). Toutefois l'enrochement serait couvert par une couche de filtre et une couche de rip-rap, les deux composées de matériaux choisis spécialement.

Le rip-rap devrait être produit dans la carrière en utilisant un "grizzly". Le "grizzly" est une installation de séparation, il est formé de poutres métalliques inclinées à peu près parallèles.

Des "loaders" déchargent le tout venant au-dessus des poutres. Tous les matériaux qui passent les interstices entre les poutres sont trop fins; tous les matériaux qui roulent sur les poutres sans passer les interstices peuvent être utilisés comme rip-rap, pourvu que les blocs ne soient pas trop gros ($D > 1.1$ m). Au cas contraire ces blocs devraient être cassés et devraient passer de nouveau le "grizzly". La distance entre des poutres devrait être à peu près de D_{50} (500 mm). La courbe granulométrique des matériaux qui ont passé le "grizzly" dépend de la forme du matériau et de l'inclinaison des poutres. L'Expert est conscient que l'installation et l'utilisation d'un "grizzly" est une affaire assez onéreuse, mais ceci est le seul moyen afin que le personnel responsable puisse décider si un bloc donné est conforme aux exigences des spécifications.

La couche de filtre également ne peut pas être composée sans tamissage afin d'éviter les fines. L'Expert suggère d'installer des tamis vibrateurs près de la digue. Le matériau passe par des barres métalliques dont la distance entre elles est de d_{max} du filtre.

Ensuite le matériau tombe sur un tamis dont le diamètre sera déterminé lorsque le Dis du "grizzly" sera connu. Théoriquement le diamètre du tamis est d'environ 20 mm. Tous les matériaux passant le tamis ne devraient pas être utilisés comme remblai. Les deux installations ("grizzly" et tamis) sont onéreuses, mais selon les expériences acquises par l'Expert c'est la seule base solide pour des futurs travaux sans défaut.

Pour l'exécution des travaux de remblai l'Expert fait les recommandations suivantes:

- a. Baisser le niveau de la retenue au moins jusqu'à la cote +185 m, en saison sèche.
- b. Faire un levé topographique du talus existant du barrage.
- c. Construire deux routes d'accès de la crête (+212 m) à la cote +185 m, une à la partie la plus à droite sur la digue droite et une à la partie la plus à gauche sur la digue gauche.
- d. Éviter des pentes de plus de 10 % sur ces routes.
- e. Construire des routes se raccordent à peu près horizontales vers les lieux de terrassement.
- f. Essayer de travailler aux endroits différents.
- g. Être conscient qu'en saison de pluie les travaux devraient être arrêtés lorsque les zones de remblai seront submergées ou si des excavations se feront à une cote plus que +202 m (ceci pour des raisons de sécurité).

Il est suggéré de commencer les travaux de remblai pendant la saison sèche. Étant donné que les 10 mètres supérieurs du barrage ne peuvent être exécutés qu'en saison sèche, deux saisons sèches seront nécessaires pour l'achèvement des travaux. La largeur de la tranche à excaver dépend du matériel que l'Entrepreneur compte utiliser. L'Expert est d'avis que l'épaisseur de 3.5 m des excavations mesurées perpendiculairement à la pente de la digue correspond à une plateforme horizontale de travail de 6.3 m.

Un travail par étapes comme proposé par l'Ingénieur Conseil, est faisable, mais on doit savoir que les camions lourds, dozers et compacteurs ont besoin d'une largeur donnée pour pouvoir travailler. L'Expert estime que le volume des terrassements serait de l'ordre de (pour une longueur totale d'environ 1000 m pour les deux digues):

Excavation = $3.5 \cdot (212 - 185) \cdot 1000 \cdot 1/\sin\alpha = \text{env. } 170\ 000\ \text{m}^3$

Le volume de rip-rap (épaisseur 1.5 m) serait plus que $70\ 000\ \text{m}^3$

Le volume de la couche de filtre (épaisseur 0.7 m) serait environ $30\ 000\ \text{m}^3$

Ces chiffres ne sont que des estimations d'ordre de grandeur afin d'avoir une idée des volumes de travail à exécuter. L'Entrepreneur doit savoir qu'afin de produire le rip-rap exigé, il doit écarter 70 % de tout venant de carrière après minage, parce que seulement 30 % auront la granulométrie exigée. En conséquence la carrière devrait permettre l'extraction d'au moins $250\ 000\ \text{m}^3$.

L'Expert est d'avis que l'épaisseur du rip-rap avec $D_{50} = 550$ à $700\ \text{mm}$ et $D_{\text{max}} = 1.1\ \text{m}$ devrait être de $1.50\ \text{m}$. L'épaisseur de la couche de filtre devrait être de $0.70\ \text{m}$.

La mise en place de l'enrochement et de la couche de filtre devrait se faire presque toujours à la même cote. L'épaisseur des différentes couches devrait se déterminer à partir des essais de compactage sur le site. Les blocs de rip-rap devraient être posés par "grab" ou "backhoe" qui peuvent circuler sur l'enrochement. Les interstices du rip-rap ne devraient pas être remplis avec des fines. Un contact serré entre les blocs du rip-rap devrait être assuré par autoblocage.

5. MODE D'EXECUTION DE LA VARIANTE B SERAIT CHOISIE

L'Expert est d'avis que la variante A devrait être préférée, mais il ne peut pas nier que la variante B a quelques avantages. D'abord la couche supérieure existante devrait être examinée par des analyses granulométriques. Au moins 100 échantillons devraient être pris sur toute la superficie de la digue. La manière dont les courbes granulométriques ont été établies par l'Expert ou par l'Ingénieur Conseil devrait être plus "industrialisée" et devrait spécialement montrer la teneur en sable. Si les analyses granulométriques confirment que la couche supérieure existante peut être utilisée comme filtre le niveau de la retenue devrait être baissé à la cote + 187 m. ensuite on devrait examiner avec soin si la couche supérieure entre la cote 187 m et la berme a été construite selon les spécifications initiales. Seulement si cela est le cas la variante B pourrait être exécutée, sinon on devrait choisir la variante A. L'observation qu'un abaissement du niveau d'eau au-dessous de +193 m n'est atteint qu'en fin de saison sèche et en conséquence les exigences des spécifications initiales pour la couche de protection pourraient être réduites n'est pas valable car le rip-rap nouvellement conçu exige déjà des blocs plus grands que le projet initial.

L'Entrepreneur devrait se prononcer sur la façon dont il envisage de travailler en tenant compte de son équipement, et s'il prévoit de travailler à partir de la crête de la digue. S'il préfère travailler avec des engins routiers, les pentes des routes devraient être assez souples afin de permettre un transport rapide. Le débarcadère sur la rive droite de la digue actuellement utilisé par les pêcheurs pourrait servir comme route d'accès. Les routes principales pour les terrassements devraient commencer de ce débarcadère et elles devraient être construites à peu près horizontalement.

Sur la rive gauche un système comatable devrait être étudié. Tous les travaux commenceront sur le niveau inférieur. Le nombre des endroits où l'Entrepreneur compte travailler simultanément devrait être déterminé par lui-même.

6. RAISONS DES DEGRADATION DU RIP-RAP EXISTANT

Le rip-rap a été endommagé par l'action des vagues. La hauteur de ces vagues, comme démontré par l'Ingénieur Conseil et Prof. Burkhardt, n'était pas plus haute que celle de la vague de projet. En ce qui concerne le rip-rap l'Entrepreneur a utilisé et mis en place des matériaux trop fins et qui ne sont pas conformes aux exigences des spécifications. La différence dans les D_{50} atteint un facteur de 3 et d'avantage pour les matériaux plus fins.

Le nouveau projet de l'Ingénieur Conseil prévoit l'exclusion des matériaux fins de la couche de rip-rap. Le projet initial a été basé sur la non-existence d'une couche de filtre. Le fait de remplir les interstices avec des blocs moins gros, comme mentionné dans les spécifications, a été l'idée primordiale pendant l'exécution du rip-rap sur le chantier (comme reporté à l'Expert).

L'Entrepreneur n'avait pas exécuté le rip-rap selon les spécifications et l'Ingénieur Conseil n'avait pas rejeté les prestations de l'Entrepreneur. Les raisons de ce travail défectueux sont, aujourd'hui, à peine compréhensible. La surveillance de travaux, semble-t-il, a complètement sousestimé l'effet des vagues. L'Entrepreneur avait tout le matériel sur le site afin de pouvoir exécuter une couche de rip-rap adéquate et il lui était possible d'obtenir facilement tous les matériaux voulus en exploitant la carrière.

7. QUELQUES REMARQUES CONCERNANT L'EXECUTION, COÛTS ET LA RE- PRISE DES TRAVAUX SUR LE CHANTIER

Les travaux proposés devraient être exécutés pendant un afflux normal du lac. Pourtant l'OMVS devra veiller à ce que le niveau d'eau dans le lac monte le moins possible pendant l'exécution des travaux afin d'éviter de mettre en danger le barrage. Par exemple en 1992 le niveau l'eau ne dépassait pas la cote +205 m, et s'il serait possible de maintenir un niveau d'eau au-dessous de la cote +202 m, les travaux près de la crête de la digue pourraient se faire également pendant la saison des pluies. Vu que le niveau d'eau ne monte qu'avec une vitesse de 0.2 m/jour, il n'y aura pas de danger pour le matériel de l'Entrepreneur. Les travaux dureront certainement plus d'un an. Les travaux sur les digues nécessiteront deux saisons sèches. L'installation du chantier et les essais de minage dans la carrière nécessiteront six mois supplémentaires; en conséquence la durée totale du chantier est estimée à 24 mois.

Il a été demandé à l'Expert de fournir une estimation des coûts et de réviser les estimations de l'Ingénieur Conseil.

L'Ingénieur Conseil prévoyait des réparations à partir de la cote +193 m. L'Expert propose de commencer les travaux à la cote +185 m. Ce chiffre, selon le Prof. Burkhardt, est de 2 m plus bas que le niveau d'eau le plus bas possible dans la retenue.

A partir de la présente proposition et en prenant en compte que seulement 30 % des matériaux de la carrière après minage peuvent être utilisés, le volume de terrassement serait presque de 500 000 m³ à traiter par l'Entrepreneur. Ce volume dépasse de loin l'estimation de l'Ingénieur Conseil.

L'Entrepreneur devra produire l'électricité étant donné que la turbine installée actuellement ne fonctionnera plus. Il aura besoin de logements et le chantier durera 24 mois.

En conséquence la base de coût estimée par l'Ingénieur Conseil devrait être révisée complètement. Il serait erroné de changer seulement les quantités et de maintenir les prix unitaires. Ces derniers devraient être révisés en hausse afin de parer les coûts plus élevés de l'installation du chantier ("grizzly", tamis vibreur, groupe électrogène) ainsi que à cause des coûts plus élevés du à la durée du chantier. Quelques matériels mentionnés ne peuvent pas être amortis pendant la durée assez courte du chantier et en conséquence les estimations pour des nouveaux prix unitaires peuvent seulement être devinées. L'Expert est d'avis que les coûts ne peuvent être estimés que par des Entrepreneurs intéressés dans l'exécution de ce genre de travail. A cet effet l'Ingénieur Conseil devrait rédiger un dossier d'appel d'offres. Les travaux devraient être exécutés par des entreprises expérimentées (si pour une raison ou autre il serait impossible de mobiliser de nouveau l'Entrepreneur initial). Les prix estimés par les experts et les consultants sont toujours douteux. Souvent ils sont trop bas; mais s'il sont trop élevés et si l'Entrepreneur (et dans ce cas spécial au début il n'y en aura qu'un seul) apprend l'estimation élevée, l'OMVS n'aura aucune chance de demander à l'Entrepreneur de baisser les prix de son offre.

L'Expert suppose qu'il serait réaliste de doubler au moins les coûts estimés par l'Ingénieur Conseil si les travaux se feront dans la façon proposée ci-dessus.

L'Expert est prêt d'aider à trouver la façon adéquate de recommencer les travaux le plutôt possible.

Il est d'avis que le début des travaux ne peut pas être reporté jusqu'au moment où les aspects juridiques des responsabilités des différentes parties auront été complètement résolus.

L'Entrepreneur devrait commencer de se mobiliser le plutôt possible. Le chantier devrait être en vitesse de croisière après la saison des pluies, disons en Novembre 1993.

L'Expert pourrait prêter son concours afin de surveiller les premiers travaux de remblai si c'est jugé nécessaire.

8. CONCLUSIONS EN SUIVANT LES TERMES DE REFERENCE

8.1 Vérification du dimensionnement du rip-rap

Les dimensions du futur rip-rap ont été calculées selon la formule de Hudson. La hauteur de la vague de projet a été indiquée par l'Ingénieur Conseil et sa valeur reconfirmée par Prof. Burkhardt. Les hauteurs maximum des vagues comme mesurées par l'OMVS pendant la saison des pluies passée ont été comparées avec des méthodes "hindcast" comme proposé par le U.S. Army, Corps of Engineers (6) Le "hind-cast" montre de grandes différences entre les hauteurs mesurées et estimées. La méthode pour mesurer les hauteurs des vagues devrait être révisée par l'OMVS.

8.2 Caractéristiques du rip-rap tels que réalisé

La granulométrie du rip-rap réalisé a été vérifiée en détail par essais de granulométrie ainsi qu'avec une série de photos qui permettent de déterminer les dimensions des blocs par moyen d'une échelle.

Le D_{50} du rip-rap réalisé est seulement un tiers du D_{50} des spécifications. Ce chiffre correspond aux essais de l'Ingénieur Conseil de l'année 1992. Le nouveau rip-rap est tellement gros qu'une couche de filtre devrait être mis en oeuvre entre l'enrochement existant et la nouvelle couche de rip-rap. Le rip-rap a été érodé par l'action des vagues et il a été endommagé étant donné qu'il était composé de matériaux trop fins.

8.3 Travaux de réparation

L'Expert a expliqué en détail que les nouveaux travaux pour la protection du barrage contre l'attaque des vagues ne sont pas de caractère de "travaux de réparation". Les talus amont du barrage devraient être enlevés complètement et remplacés par enrochement, filtre et une couche de protection en rip-rap grossier nouvellement étudié dont les blocs devraient être mis en place individuellement par "grab" ou "backhoe". Les travaux devraient débuter durant la saison sèche. Le remplacement des matériaux devrait se faire à partir de la cote +185 m. Les dix mètres supérieurs ne peuvent pas être remplacés pendant la saison des pluies. Il est impossible de découper les travaux proposés en deux phases (travaux de réparation d'urgence et travaux de renforcement).

Voici le calendrier d'exécution:

- o Mobilisation et premiers travaux avant la saison sèche.
- o Excavation en descendant et remblais pendant la saison sèche; les 10 mètres supérieur pendant la saison sèche.
- o La possibilité de travailler éventuellement pendant la saison des pluies doit être prouvée par l'Entrepreneur.

Les couts des travaux dépendent

- a. du volume considérable des matériaux en question
- b. des installations pour la séparation des matériaux
- c. du calendrier de travail obligatoirement serré du chantier qui ne permet pas l'amortissement du matériel

Les estimations des coûts par les consultants et les experts pourraient être erronées, la procédure d'un appel d'offres ne peut pas être écarté afin d'obtenir des prix raisonnables.

8.4 RESPONSABILITES DE L'ENTREPRENEUR ET DE L'INGENIEUR CONSEIL POUR LES TRAVAUX REALISES

L'Expert n'a pas effectué seulement son devoir de vérifier si l'Entrepreneur avait répondu aux spécifications ainsi que si l'Ingénieur Conseil avait réceptionné les travaux exécutés mais il a essayé de clarifier pourquoi des matériaux non conformes ont été mis en place. Il semble que la tâche principale de la surveillance des travaux de l'Ingénieur Conseil était de vérifier l'aptitude du rip-rap à servir comme filtre. L'Entrepreneur mettait en place et l'Ingénieur Conseil ne rejetait pas le matériel beaucoup trop fin comme exigé par les spécifications. L'Entrepreneur et l'Ingénieur Conseil sont donc responsables des dégradations du barrage et leur responsabilités devraient être engagées dans le cadre de leur contracts respectifs.

L'Expert offre son assistance pour que les travaux proposés puissent commencer rapidement. L'Expert est d'avis que la nouvelle couche de protection doit être mise en place le plutôt possible.

Une inspection du chantier par l'Expert, au début de la mise en place du filtre et du rip-rap est recommandée.

Stickrall

9. REFERENCES

- (1) Groupement Manantali (Ingénieurs Conseils): Barrage de Manantali Note No. 26, Rapport sur les dégradations du rip-rap, Juin 1992
- (2) Prof. Dr.-Ing. O. Burkhardt: Gutachtliche Stellungnahme zum Staudamm Manantali, 12. 8. 1992; également contenu en (3)
- (3) Groupement Manantali (Ingénieurs Conseils): Barrage de Manantali, Note No. 27, Rapport supplémentaire, Nov. 1992
- (4) Prof. Dr.-Ing. O. Burkhardt: Gutachtliche Stellungnahme, 3.3.1993
- (5) OMVS, Direction de la Structure Provisoire du Barrage de Manantali. Rapport d'Activités No. 17, (Periode Juillet à Décembre 1992
- (6) U.S. Army, Corps of Engineers: Shore Protection Manual, 4th Edition, Washington 1984
- (7) Permanent International Association of Navigation Congresses: Analysis of Rubble Mound Breakwaters, Report of Working Group No. 12, Supplement to Bulletin No. 78/79, 1992
- (8) OMVS: Lettre du 7 Juillet 1993 adressée à l'Expert



Fig. 1: Erosion des deux falaises (cliffs) sur la digue rive droite du Barrage de Manantali



Fig. 2: Erosion des deux falaise (cliffs) sur la digue rive gauche du Barrage de Manantali

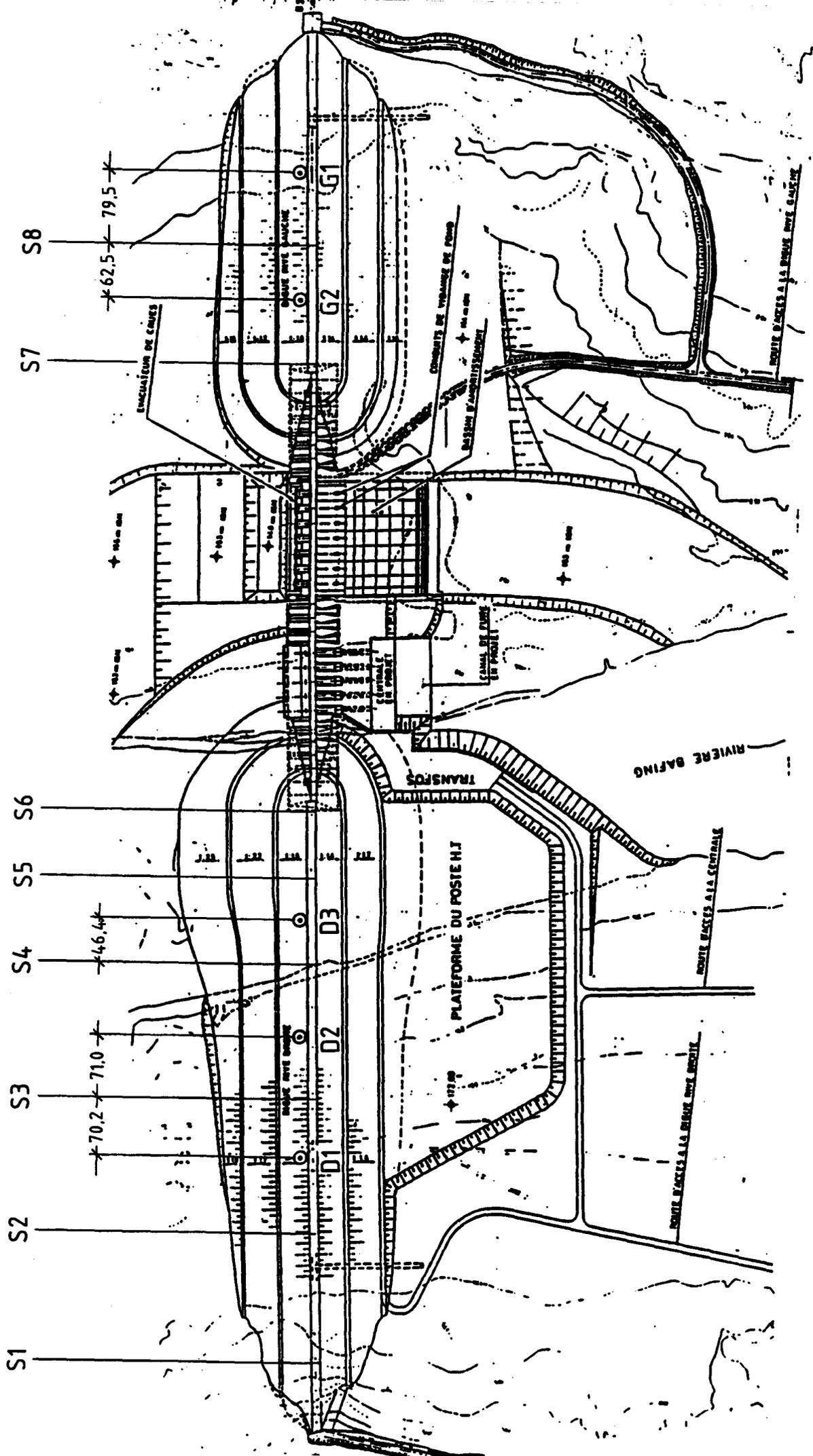


Fig. 3: Localisation de la prise des échantillons

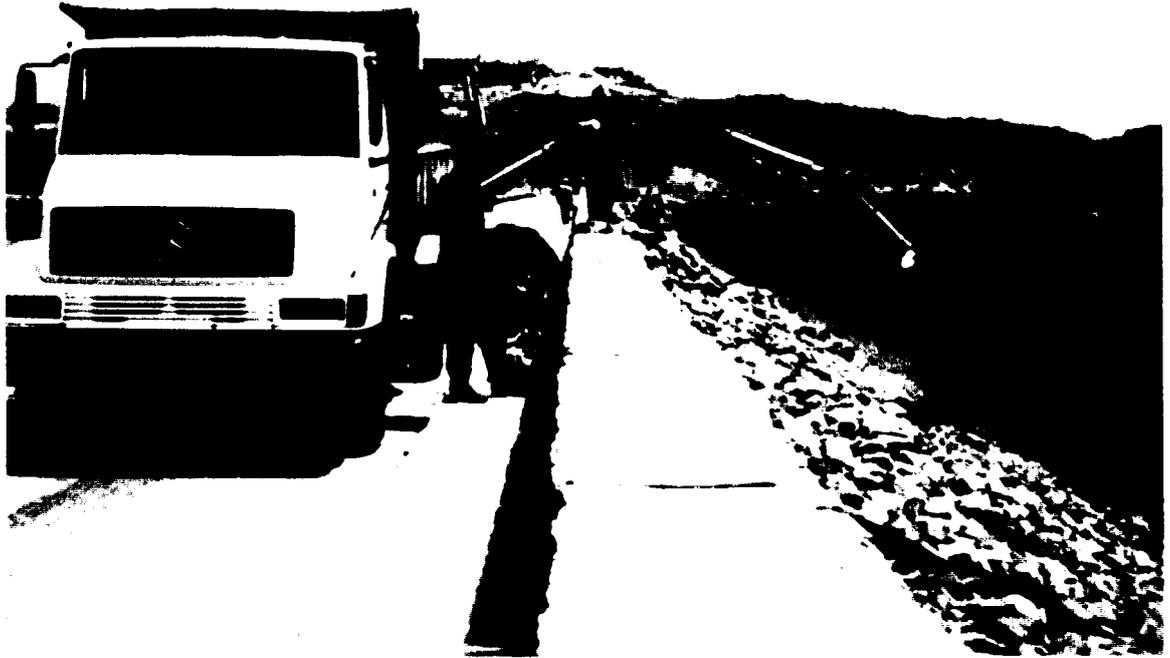


Fig. 4: Excavation du rip-rap de l'épaule de la digue par excavatrice LIEBHERR 902A



Fig. 5: Enlèvement du rip-rap

COUPE TYPE

RIVE DROITE et RIVE GAUCHE

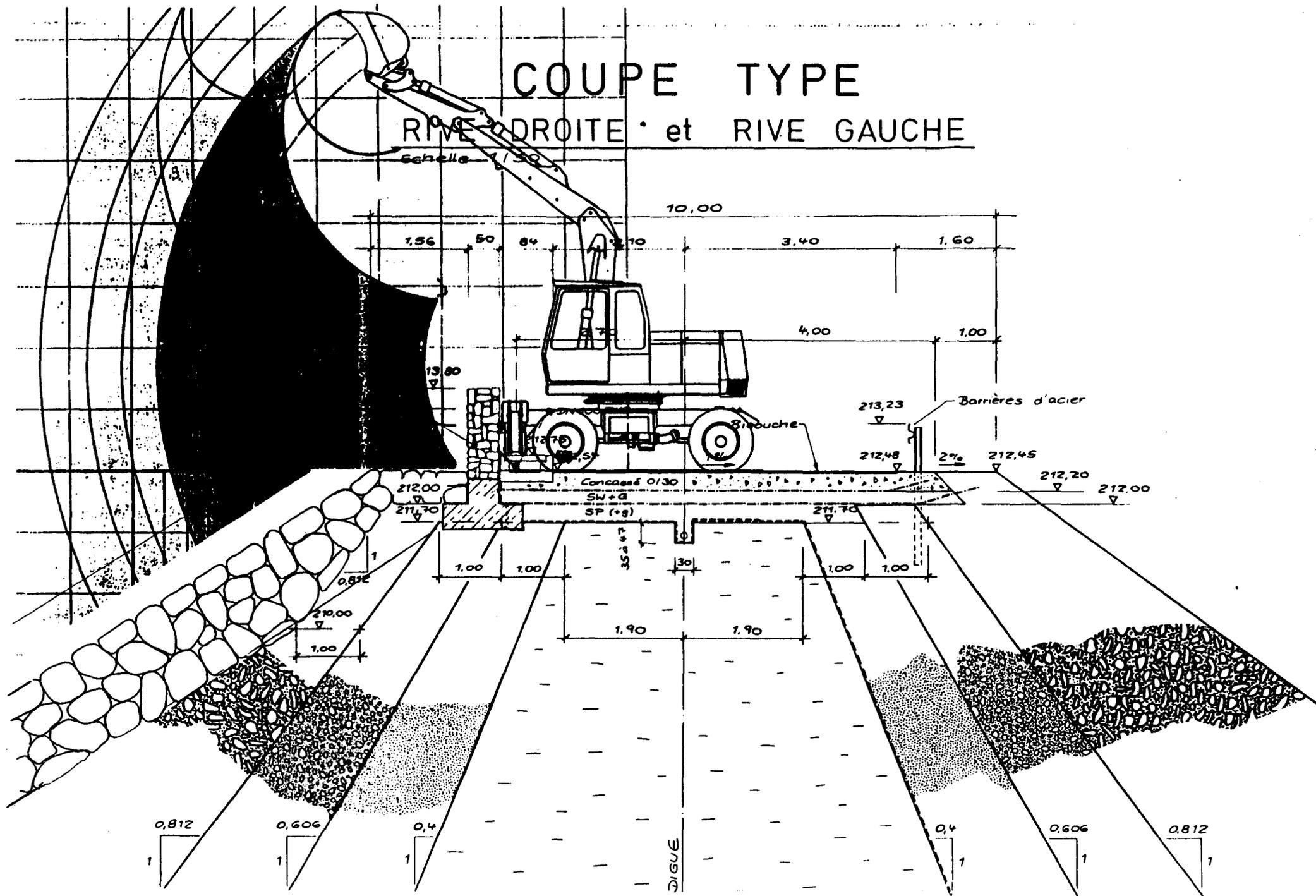


Fig. 6: Crête de la digue



Fig. 7: Puit d'échantillon G 1 sur la digue rive gauche



Fig. 8: Passage des matériaux par un cadre de 200 mm/200 mm



Fig. 9: Le matériau des différents groupes de grains a été mis dans des bassines en plastique et pesé avec la balance du chantier

COURBE GRANULOMETRIQUE

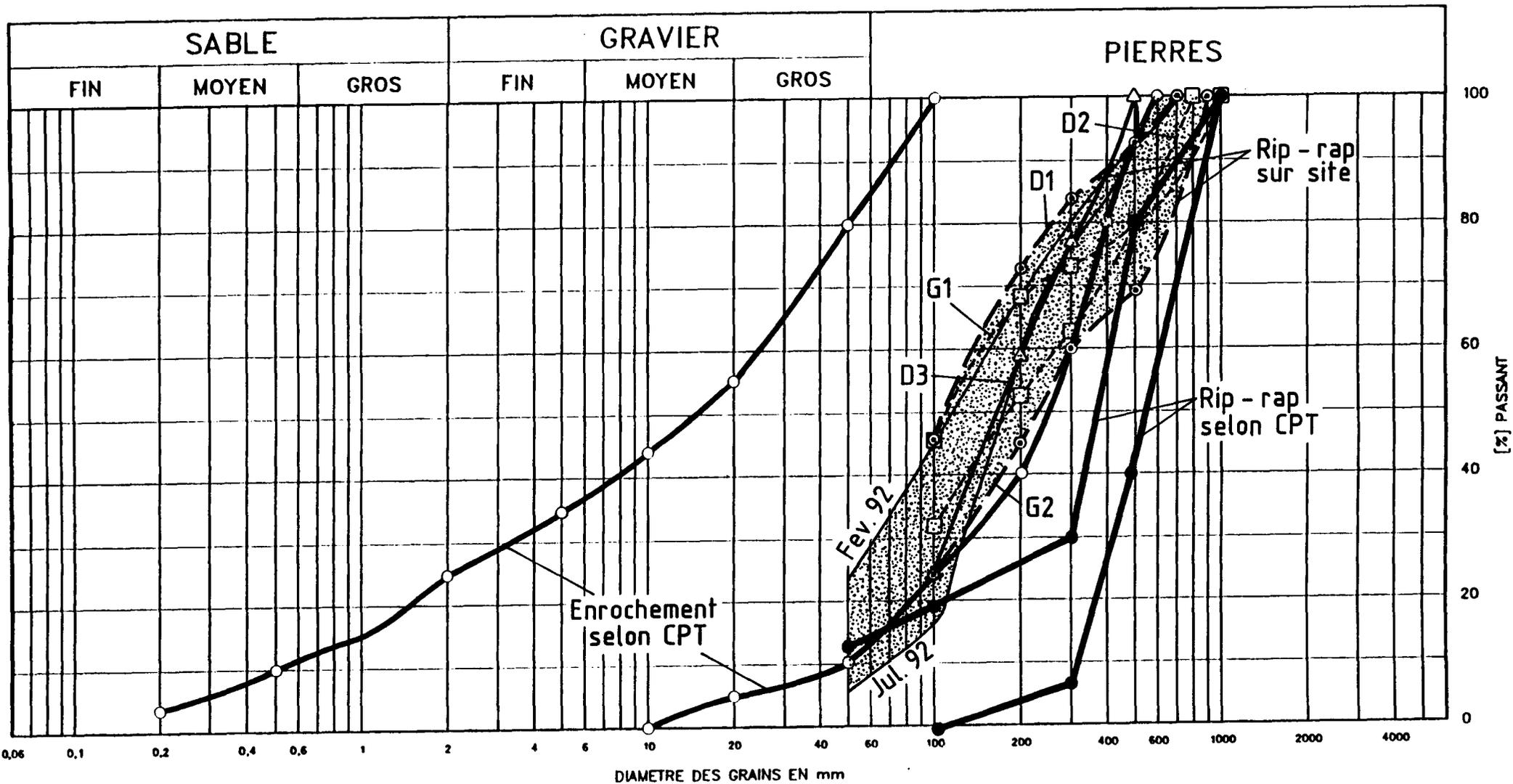


Fig. 10 Courbes granulométriques

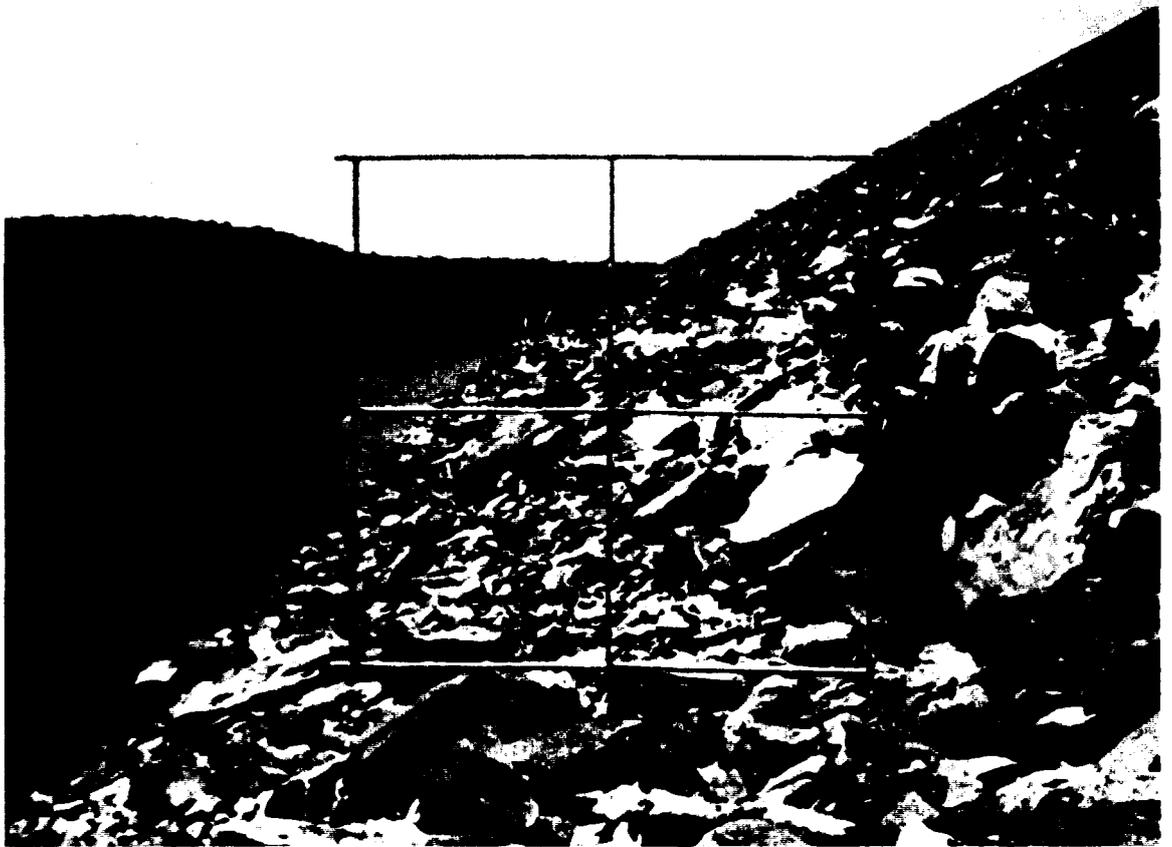


Fig. 11 Documentation détaillée de la falaise à la section S2



Fig. 12 Le cadre donne une idée du matériau en place à la section S2

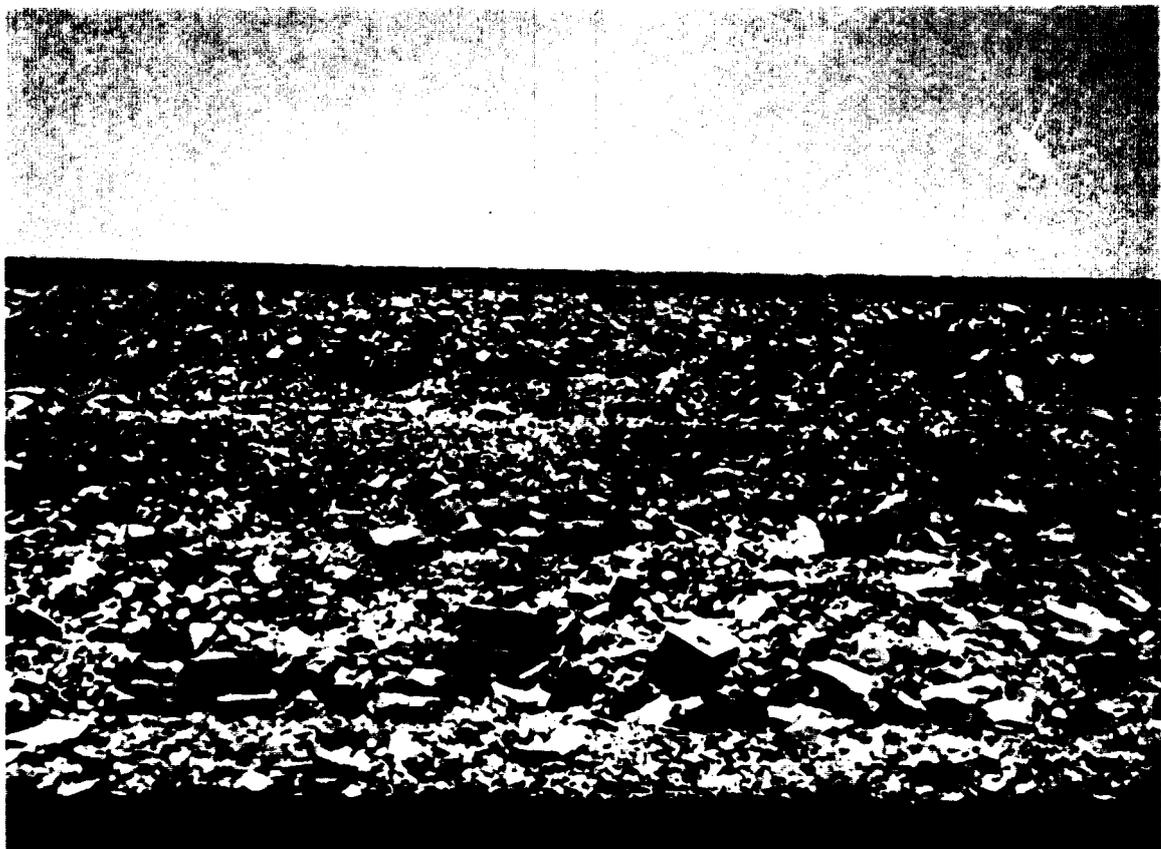


Fig. 13 Cadre en face de la falaise supérieure sur la digue rive droite

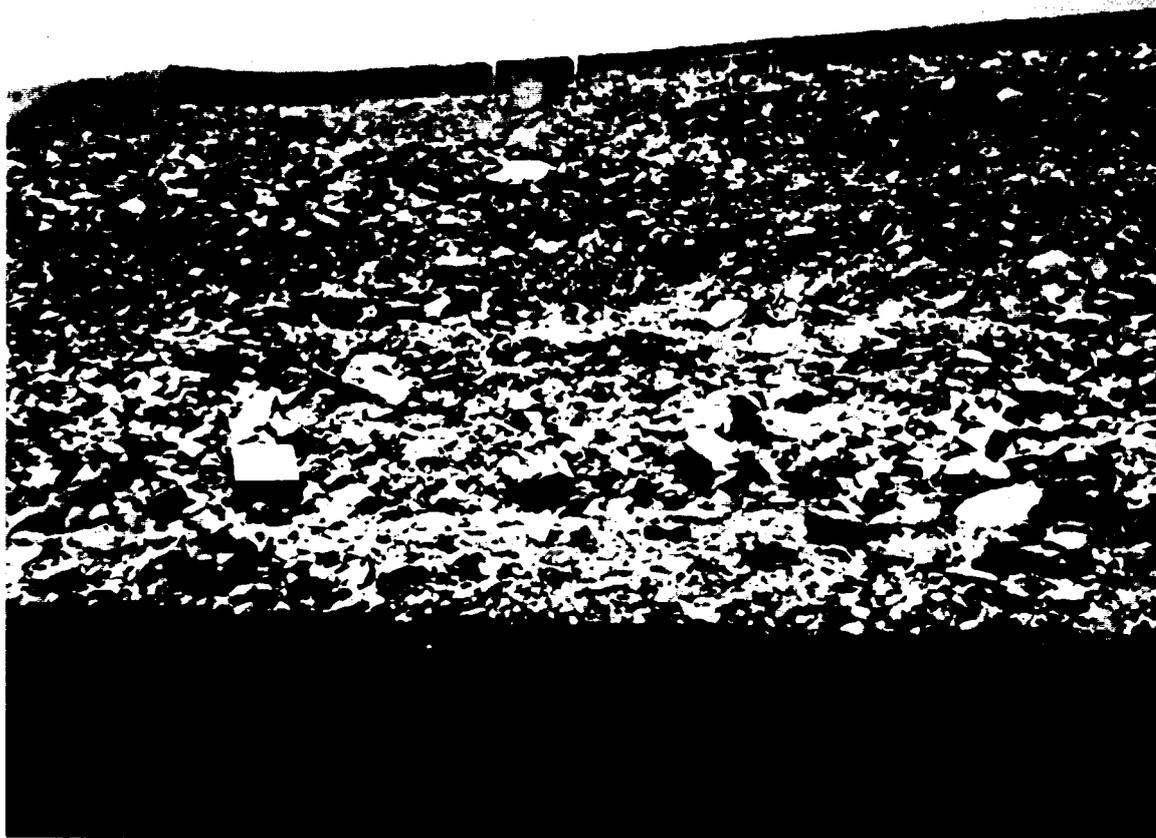


Fig. 14 Rip-rap à la section S5

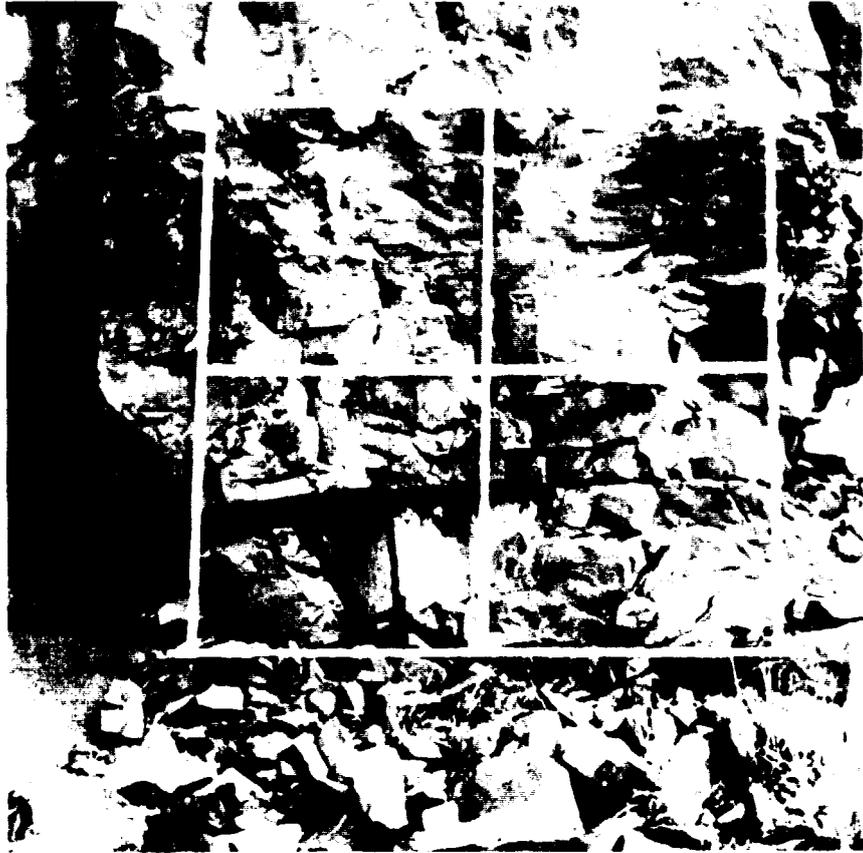


Fig. 15 Pied d'une parois verticale dans la carrière



Fig. 16 Les blocs dans la carrière sont des reliquats d'anciens minages et ils ont des dimensions considérables

