

Résumé

Prévue initialement en enrochements déversés (rip-rap), la protection du talus amont du barrage de Niandouba (Casamance) a donné lieu à la proposition d'une variante innovante dans le contexte africain. Après vérification de la pertinence économique et technique de cette solution, à base de matelas Reno (gabions de faible épaisseur, mais de grande surface), le maître d'œuvre a décidé de la retenir. Le présent article s'attache donc à développer les raisons de ce choix en un premier temps et examine ensuite les questions liées à la stabilité et à la durabilité du dispositif.

Mots-clés : Barrages, gabions, matelas Reno, protection du talus amont.

Abstract

Initially designed as a rip-rap the protection of the upstream slope of Niandouba dam (Casamance) gave rise to the proposal of an innovating variant in African context. After verification of the economic and technical relevance of this solution using reno mattresses (thin but large gabions), the project manager decided to accept it. First the present paper deals with clarifying the reasons of this choice and then looks into the questions of the stability and the long-lastingness of this solution.

Key-words : dams, gabions, Reno mattresses, protection of the upstream slope

PROTECTION EN MATELAS RENO DU PAREMENT AMONT DU BARRAGE D'AL BASSAM DE NIANDOUBA (SENEGAL)

Michel COURTAUD *

Directeur Afrique de FRANCE GABIONS S.A.
B.P. 10195 - 1157 rue n°5
LOME - TOGO

INTRODUCTION

Programmé dans le cadre des aménagements hydro-agricoles du fleuve ANAMBE en CASAMANCE, la construction du barrage d'AL BASSAM a été confiée au groupement d'entreprises FOUGEROLLE/CSE. L'une des originalités de ce chantier fut de choisir des Matelas Reno pour

assurer la protection du parement amont du barrage contre le battillage, ainsi que celle d'une partie de parement aval contre les agressions extérieures. Cet article se propose de développer les raisons et les règles qui ont présidé à ce choix en ce qui concerne le talus amont, car il s'agit d'une technique nouvelle dans le contexte africain.

I. PRESENTATION DU CHANTIER

INTERVENANTS

Maître d'ouvrage	:	SODAGRI-MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE SENEGAL
Financement	:	FONDS SAOUDIEN DE DEVELOPPEMENT - ETAT DU SENEGAL
Ingénieur-Conseil	:	TECSULT INTERNATIONAL LIMITED, CANADA
Entreprises	:	GROUPEMENT FOUGEROLLE SENEGAL - CSE
Fabricant de Gabions et Matelas-Reno	:	FRANCE GABIONS SA FRANCE

Hauteur de l'ouvrage	:	18,00 mètres
Longueur de l'ouvrage	:	1200 mètres
Largeur en crête	:	6,00 mètres
Pente talus amont	:	2,5/1
Pente talus aval	:	2/1
Déblais	:	236 000 m ³
Remblais	:	209 000 m ³
Béton	:	6 250 m ³
Acier	:	206 tonnes
Gabions et Matelas-Reno	:	14 400 m ³ dont 24 000 m ² de m. Reno)
Enrochements	:	11 000 m ³
Sable grossier pour filtre	:	14 000 m ³
Sable fin pour filtre	:	4 100 m ³

PRESENTATION DE LA VARIANTE

La protection initiale (figure 1) prévue en enrochements libres de 1,20 m d'épaisseur, disposés sur une couche de pose de 0,80 m d'épaisseur, a été, sur proposition de l'Entreprise et en accord avec le Maître d'Ouvrage et l'Ingénieur Conseil, remplacée par une protection réalisée en Matelas-Reno de 0,30 m d'épaisseur (figure 2).

Les Matelas Reno, prévus à cet effet, sont à maille hexagonale de type 60 x 80 mm en fils d'acier galvanisés classe C et revêtus de PVC, de diamètres $\varnothing 2,2/3,2$ mm avec des doubles diaphragmes tous les mètres et des fils de renfort en lièvre.

COUT ESTIMATIF DE L'OUVRAGE : 4 Milliards FCFA

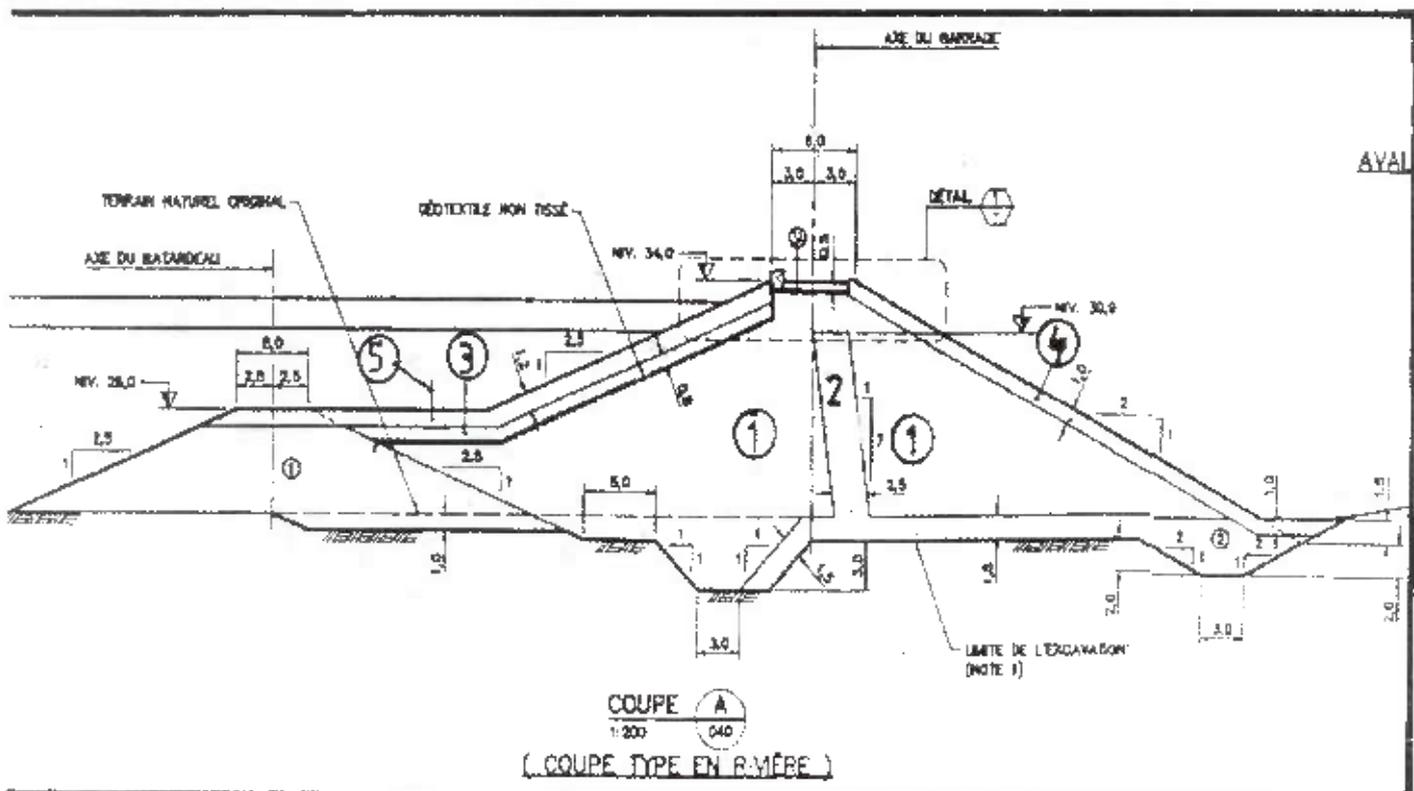


Figure 1: Solution de base en enrochements (document Tecstult)

1 - Matériau altérationnaire tout-venant ; 2 - sable ; 3 - sous-perré ; 4 - perré ; 5 - Perré

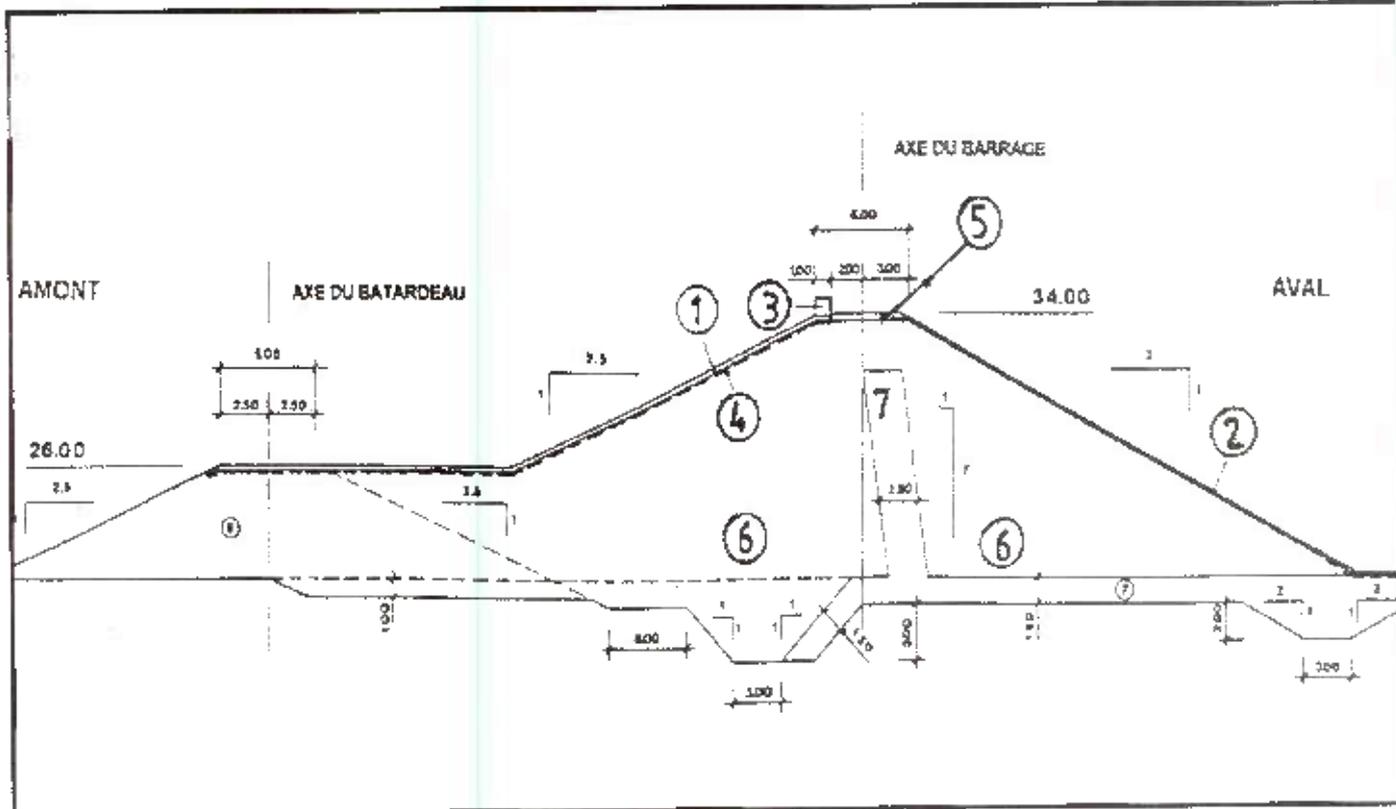


Figure 2 : Variante matelas Reno (document France Gabions)

1 - Matelas Reno 6,00x2,00 x 0,30 ; 2 - Matelas reno 6,00x2,00x0,17 ; 3- gabions 4,00x1,00x1,00 ; 4- géotextile non tissé 235 g/m²
 5 - corps de chaussée ; 6 - corps de remblai ; 7 - drain.

DIMENSIONS STANDARD	TOLERANCES
L = 3,00 m - 4,00 m - 5,00 m - 6,00 m	± 3%
ℓ = 2,00 m	± 3%
$E = \begin{cases} \text{maille } 60 \times 80 : 0,15 - 0,20 - 0,25 \text{ m} \\ \text{maille } 60 \times 80 : 0,17 - 0,23 - 0,30 \text{ m} \end{cases}$	± 2,5 cm

La maille 60 x 80 est la plus utilisée

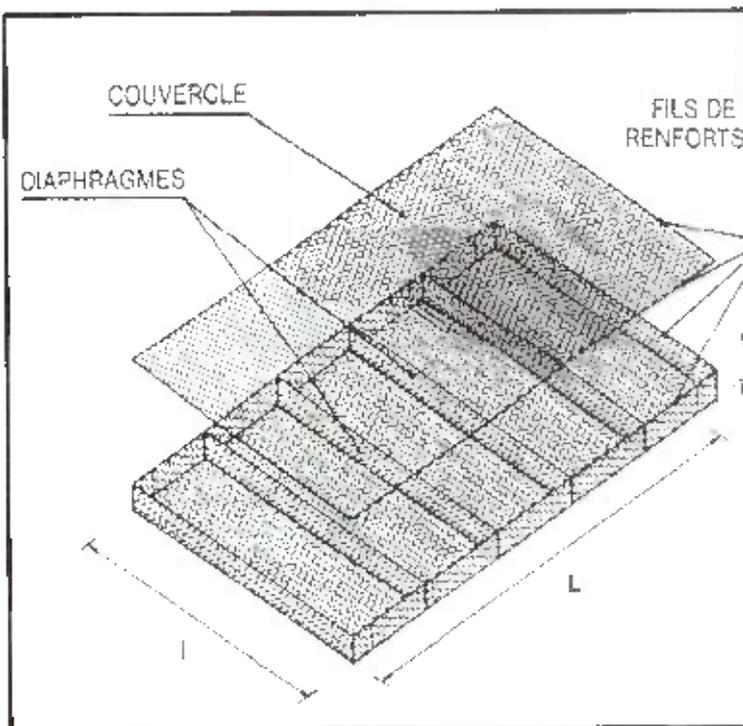


Figure 3 : Matelas Reno : spécifications techniques

COMBINAISONS STANDARD MAILLES FILS		
maille type	Φ fil mm galvanisé et PVC	Φ fil mm galvanisé
50x70	-	2,00
60x80	(2,00/3,00)- 2,20/3,20	(2,00) - 2,20

Plusieurs critères ont imposé le choix de cette solution technique :

Faible disponibilité des pierres à proximité du site du barrage

La solution initiale impliquait la fourniture de 39 000 m³ d'enrochements pour la réalisation du rip-rap amont et de sa couche de pose, la mise en oeuvre prévue des matelas-Reno de 0,30 m d'épaisseur nécessitera que l'approvisionnement de 5800 m³ de moellons latéritiques.

Souplesse et monolithisme de la protection

À l'inverse des protections en enrochements libres qui peuvent s'affaiblir lors de la déstabilisation d'un élément due, soit à des tassements du corps de digue, soit à l'effritement dans le temps des arêtes des roches (cas général des enrochements de cuirasse latéritique), ces structures en gabions et matelas Reno profitant de leurs caractéristiques peuvent résister et à la compression et à la traction. Ce qui assure dans tous les cas la pérennité des ouvrages.

Travaux réalisés avec le concours des populations riveraines

La mise en oeuvre des matelas-Reno nécessite une main d'oeuvre non spécialisée importante.

À la demande des Autorités locales, le Maître d'Ouvrage et les Bailleurs de Fonds ont privilégié cette solution technique qui permettra la création durant toute l'exécution des travaux de plus de 7000 journées/homme de travail.

Diminution sensible des coûts de construction

Le coût estimatif de la protection du parement amont d'un grand barrage représente toujours une part importante, 12 à 15 %, du montant total de l'ouvrage.

Du fait de la diminution des quantités d'enrochements prévus initialement, de l'extraction, du transport in-situ, de la mise en place sur le parement par des engins équipés spécialement pour cette opération, le coût global des travaux de protection du parement amont du barrage s'en est trouvé très sensiblement diminué à la satisfaction du Maître d'Ouvrage et des Bailleurs de Fonds.

Compte tenu de tous ces aspects techniques et financiers, le groupement d'Entreprise FOUGEROLLE/CSE a confié, à la société FRANCE GABIONS SA, la conception et les études des protections des parements amont et aval du barrage.

Les études spécifiques à la détermination des épaisseurs des protections en matelas Reno et leur stabilité sur des pentes de 2,5/1, ont été réalisées grâce aux méthodologies élaborées par FRANCE GABIONS, résultant de nombreux travaux et essais réalisés dans le monde.

Par ailleurs, la Société FRANCE GABIONS fut aussi sollicitée avec le concours de TECHSULT, de SOCOTEC, de SOGREAH et du BIEP bureau d'études du groupe FOUGEROLLE, pour dimensionner le déversoir et le coursier évacuateur de crue intégralement réalisé en gabions "JUMBO" (gabions à cellules multiples) et TERAME-SH SYSTEM (cf. photo n°4). Ceci pourra éventuellement faire l'objet d'une autre publication.

III. DIMENSIONNEMENT DE L'ÉPAISSEUR DE LA PROTECTION DU PAREMENT AMONT PENTE 2,5/1

Les données de base du projet étaient les suivantes :

v : vitesses du vent

HD : Hauteur des vagues.

v=100 km/heure ⇨ HD : 0,96 m

v=120 km/heure ⇨ HD : 1,01 m

v=150 km/heure ⇨ HD : 1,08 m

L'épaisseur de la protection a été déterminée à partir de la formule, applicable à des déclivités inférieures à 3,5/1 :

$$t = \frac{H_D}{7(1-V)(S_r-1)\cotg^{-1.9}\theta}$$

t = Épaisseur du matelas Reno (m)

H_D = Hauteur de la vague maximale du projet (m)

S_r = Densité du matelas Reno y compris les moellons de remplissage

θ = Pente de la berge par rapport au plan horizontal

V = Pourcentage des vides dans les moellons de remplissage.

Cette formule a été déterminée par des études effectuées par l'université de **NEW SOUTH WALES** en **Australie** et confirmée par les résultats des essais en **France** par **SOGREAH Ingénieurs Conseils** et en **Argentine** par la Société **INCYTH** de **EZIZA** qui ont permis d'établir le tableau suivant :

Tableau 1 : Limites de stabilité des revêtements en gabions et matelas Reno sollicités par le mouvement ondulatoire

Dimensions			Terrain perméable						Terrain imperméable					
Matelas Reno Gabions (m)	Pierraille		1:1,5		1:2		1:3		1:1,5		1:2		1:3	
	Ø (mm)	d ₅₀ (m)	H _c (m)	H _L (m)										
0,15-0,17	70-100	85	0,60	0,90	1,00	1,30	1,50	1,80	0,40	0,60	0,75	0,90	1,20	1,40
0,23-0,25	90-150	120	0,90	1,20	1,30	1,60	1,80	2,10	0,60	0,70	0,90	1,20	1,40	1,60
0,30	120-180	150	1,20	1,40	1,60	1,90	2,10	2,40	0,70	0,80	1,20	1,30	1,60	1,80
0,50	180-320	250	1,70	2,00	2,20	2,50	2,70	3,00	0,90	1,10	1,40	1,60	2,00	2,20

D = calibre de la pierraille H_L = hauteur limite (condition d'affaissement initial ou de glissement à 0,25 m)
H_c = hauteur critique (condition de déformation initiale ou de glissement supérieure à 0,95 m)
d₅₀ = calibre moyen de la pierraille

Dans le cas présent :

- H₀ = 1,08 m
- Sr = 2,4
- γ = 21,18°
- V = 30 %

d'où t = 0,116 m d'épaisseur de protection.

Un matelas Reno de 0,17 m d'épaisseur aurait été suffisant pour assurer la protection du parement amont du barrage contre le battillage.

Cependant, l'utilisation de maillons grossiers de cuirasse latéritique, seuls disponibles à proximité du site de l'ouvrage, a incité le Maître d'Ouvrage et l'Ingénieur Conseil à choisir des matelas Reno de 0,30 m d'épaisseur afin d'assurer une meilleure mise en place des maillons sur deux rangées à l'intérieur des cellules et de limiter au mieux le pourcentage des vides (cf. figure 4).

IV. STABILITE DE LA PROTECTION DU PAREMENT AMONT EN MATELAS RENO D'ÉPAIS- SEUR 0,30 m SUIVANT UNE PENTE DE 2,5/1

* Caractéristiques géotechniques du terrain en place :

- Angle de frottement interne φ : 27°
- Cohésion (C) : 10 kPa
- Poids spécifique (γ) : 21,9 kN/m³

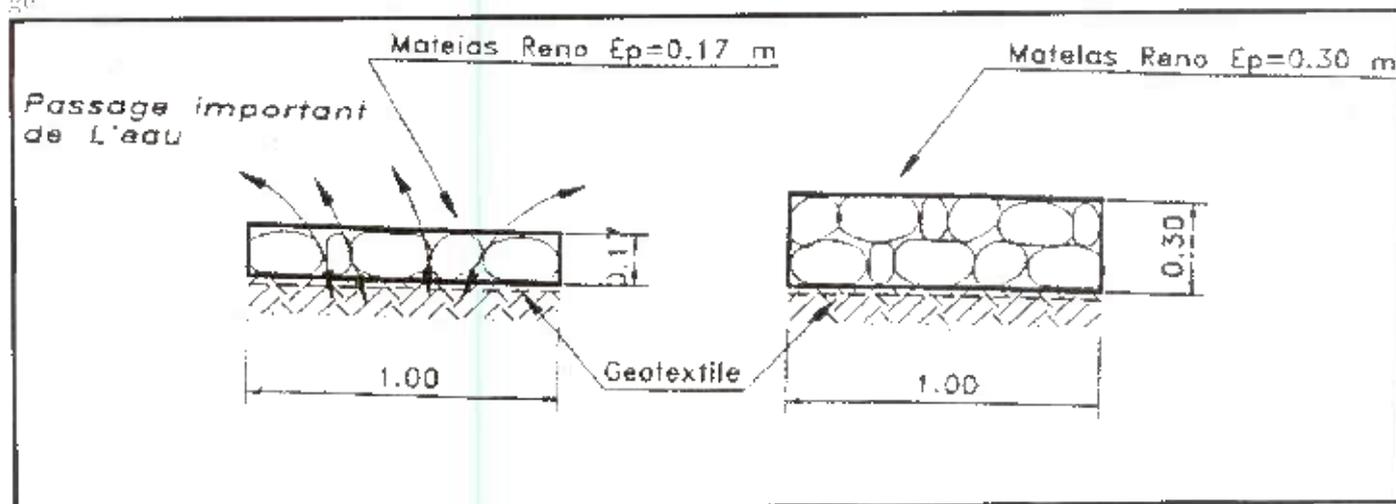


Figure 4 : Choix de l'épaisseur des matelas Reno

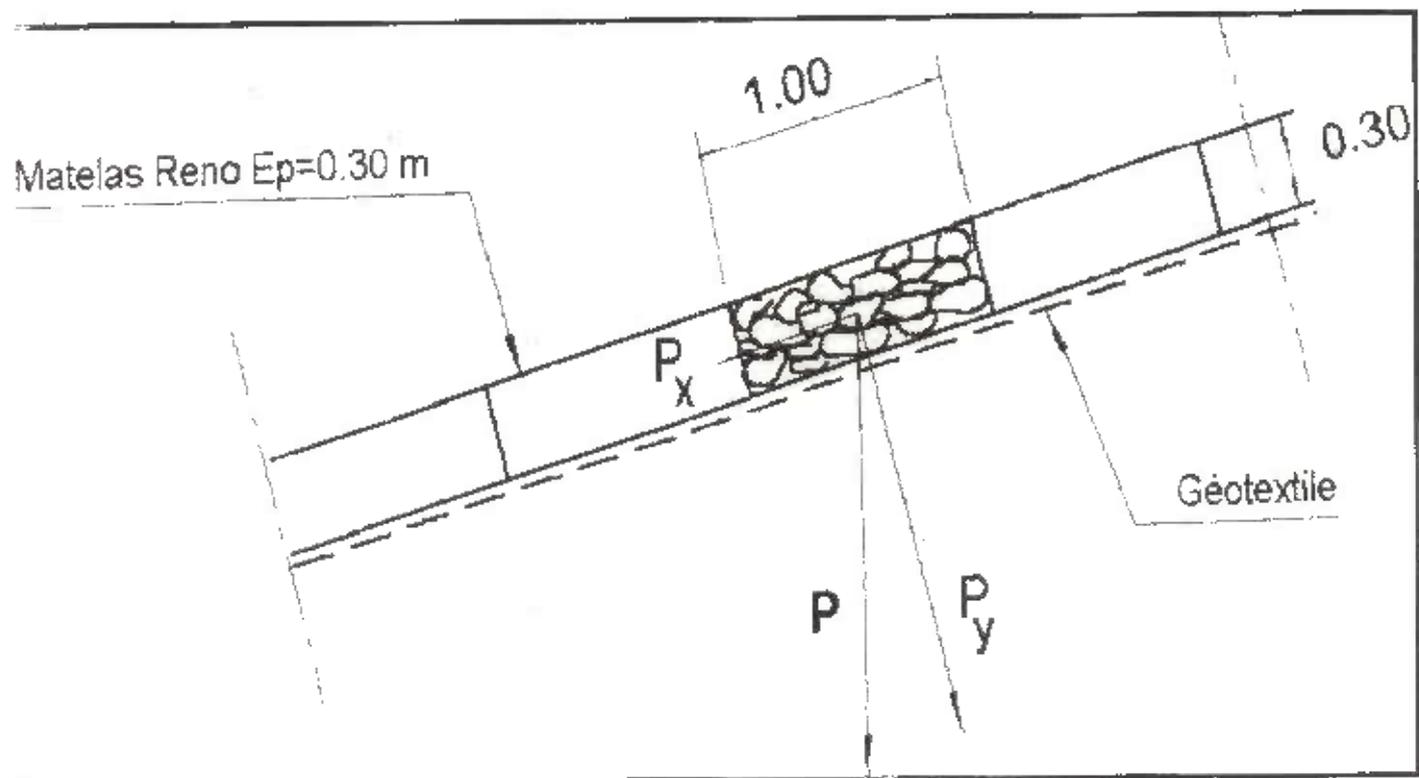


Figure 5 : schéma de principe pour le calcul de la stabilité

Pourcentage de diminution du frottement matelas Reno terrain du fait de la présence d'un géotextile : 10 %.

Poids spécifique des moellons météoriques de remplissage : 24,0 kN/m³.

Pourcentage de vide dans la structure : 30 %.

Soit :

$$P_x = 24,0 \times (1-0,30) \times 0,3 \times \sin 21,80$$

$$P_x = 1,87 \text{ kPa.}$$

Et :

$$P_y = 24,0 \times (1-0,30) \times 0,3 \times \cos 21,80$$

$$P_y = 4,68 \text{ kPa.}$$

Coefficient de glissement =

$$\frac{1,68 \times \lg [27 \times (1-0,10)]}{1,87} = 1,13$$

Il est à noter que dans ce calcul, la corrosion n'a pas été utilisée, en conditions réelles, le matelas Reno (en sera que plus stable).

V. CONSIDERATIONS SUR LA DURABILITE DES STRUCTURES GRILLAGEES

Posés sur le talus amont, qui est la partie externe du barrage la plus sujette aux agressions extérieures (pluie, battillage, marnage), les matelas Reno doivent donner toute garantie de durabilité.

A ce propos, les structures grillagées doivent répondre aux normes internationales les plus strictes, qui ont d'ailleurs été stipulées aux cahiers des charges.

En matière de galvanisation est exigée la norme anglaise BS 443/82 qui prévoit 260 g/m² de zinc pour un fil d'acier de 2,70 mm de diamètre et 275 g/m² de zinc pour un diamètre de 3 mm (contre 80 g/m² de zinc pour les gabions utilisés il y a quinze ans par exemple).

Cette augmentation en matière de qualité et de quantité de la protec-

tion de zinc permet d'avoir des structures tout à fait fiables dans le temps contrairement au passé.

De plus, pour des chantiers où les contraintes de durabilité sont très exigeantes eu égard à l'agressivité du milieu (mer, pollution ou zones de battillage et de marnage comme c'est le cas pour le talus amont du barrage), l'acier galvanisé suivant la norme BS 443/82 est revêtu de PVC (chlorure de polyvinyle) spécialement étudié. Ainsi, les essais de vieillissement accélérés en laboratoire ont démontré une tenue dans le temps de l'ordre de 100 à 120 ans face à certains agents agressifs extérieurs.

Tous les progrès techniques exposés permettent aujourd'hui aux structures grillagées conformes aux normes en cours de répondre aux exigences les plus restrictives demandées par les prescripteurs en matière de durabilité.



Photo n°2 : Protection du parement amont en matelas Reno en cours de réalisation



Photo n°3 : Protection du pied du talus aval en matelas Reno

