

4. Construction du barrage souterrain

4-1. Methodes de construction du barrage souterrain

Les différentes techniques de construction du barrage souterrain sont données sur le tableau 4.1.

On connaît déjà plusieurs exemples de barrage souterrain construit dans certains pays, dont le Japon. La plupart de ces ouvrages ont été réalisés par la technique dite "parafouille par paroi moulée dans le sol". Le barrage souterrain consiste en principe à retenir de l'eau souterraine avec un "parafouille" et peut donc être construit par l'une des techniques de parafouille la plus appropriée aux conditions locales.

Table 4.1: Types des méthodes de construction du barrage souterrain

Catégorie	Type de méthode de construction	Méthode de construction et structure	Caractéristiques
Application de la méthode de paroi moulée d'étanchéité souterrain	Mur en palplanches d'acier	Construction continue des murs en palplanches d'acier	C'est convenable au sol faible, mais difficile à réaliser sur la couche graveleuse et la roche en place.
	Mur en palplanches de tube d'acier	Construction continue des murs en palplanches de tube d'acier	
	Paroi moulée	Mur de béton armé coulé sur place	Il y a des méthodes diverses en fonction des conditions du sol et elles ont toutes besoin des matériels d'une haute technicité.
	Paroi moulée de type colonne	Paroi consistant en des pieux en mortier continuellement coulés sur place	C'est une méthode adoptée pour construire le barrage souterrain à l'île de Miyako au Japon. Elle est besoin des matériels d'une haute technicité.
Application de la méthode d'amélioration du sol	Méthode d'injection	Injection de mortier à travers des forages réalisés par intervalles	Cette méthode a été partiellement adoptée dans la construction du barrage souterrain à l'île de Miyako. Elle est largement applicable parce que les petits et moyens matériels sont utilisables, mais un peu difficile à constater l'effet d'étanchéité.
Application de la méthode générale de construction du barrage	Méthode de construction du barrage en béton	Structure construisant un barrage en béton sous terre ou à moitié sous terre (excavation / construction du corps du barrage / remblai)	C'est convenable au barrage souterrain de type «barrage en torrent» dont le haut est au-dessus du sol (il y a des exemples dans les pays comme le Kenya). Les frais des travaux sont plus élevés que ceux du barrage souterrain de type «barrage en terre», en plus, des mesures contre la fuite d'eau sont nécessaires. Mais, pour l'excavation profonde, les frais seront trop élevés.
	Méthode de construction du barrage en terre	Structure construisant un barrage en terre (digue en terre) sous terre	C'est une méthode adoptée pour ce projet. Ce type de barrage peut être construit par des matériels de travaux publics ordinaires et le contrôle des travaux est également facile. Cependant, des mesures contre la fuite d'eau sont nécessaires et pour l'excavation profonde, les frais seront trop élevés.

Dans le présent projet à Naré, nous avons retenu la technique de "barrage en terre" indiquée au bas du tableau 4.1 pour les raisons suivantes :

- 1) La "vallée fossile" se trouve enfouie en faible profondeur (environ 8 m au-dessous de la surface) et l'écoulement des eaux souterraines est quasi absent en saison sèche. Il est donc possible d'y appliquer cette technique.
- 2) Cette technique ne nécessite pas d'engins mécaniques sophistiqués et permet d'exécuter les travaux avec le matériel disponible au Burkina Faso.
- 3) Le coût des travaux, y compris le transport et la location du matériel, est le moins élevé.

4-2. Specificités du barrage souterrain construit à Naré

Les caractéristique du barrage souterrain construit à Naré dans le cadre du présent projet sont les suivantes :

(1) Emplacement

Dans la vallée fossile se trouvant dans le quartier de Koulikara, village de Naré, Département de Tougouri, Province de Namentenga, Burkina Faso

(2) Structure du corps du barrage

"Barrage souterrain en terre" (voir fig. 4-1)

- Profondeur de la base : 3,0 m à 11,4 m au-dessous de la surface (hauteur maximale du barrage : 8,4 m)
- Longueur en crête : 216,3 m
- Largeur (épaisseur) : 8,6 m à la base, 3,0 m en crête
- Volume : 7.144 m³
- Matériaux de remblais : limon argileux (couche d'altération forte du substratum)
- Coefficient de perméabilité : 10^{-7} à 10^{-8} cm/sec (en partie très réduite, 10^{-6} cm/sec)

A la base du barrage dans la zone amont, a été réalisé une "clé déncrage" de 3 à 4 m environ de largeur et de 1,5 m de profondeur (ressaut pratiqué dans le substratum et remblayé) pour protéger la base. Juste au-dessus de la crête, une couche d'environ 1 m d'épaisseur constituée de graviers de diamètre similaire a été mise en place le long de la ligne de niveau pour assurer une bonne perméabilité.

(3) Source de la retenue du barrage souterrain

L'eau phréatique peu profonde se trouvant au sein de la vallée fossile enfouie dans le bassin de la rivière Kolongo, affluent de la rivière Gouaya fait partie du bassin fluvial du Niger.

(4) Dimensions de la retenue

- Etendue maximale de la retenue : longueur de 13,4 km environ, largeur moyenne de 150 m environ (la plus basse estimation), superficie de 2 km² environ
- Volume de la couche-réservoir : 9.000.000 m³ environ (estimation)
- Capacité de stockage : 1.800.000 m³ environ (estimation)

(5) Quantité des travaux

- Excavation : excavation du sol : 51.213 m³, excavation du rocher : 4.377 m³, au total 55.590 m³

- Remblais à haute densité (corps du barrage) : 7.144 m³
- Remblais à moyenne densité (à l'amont et à l'aval du barrage) : 26.662 m³
- Remblais à basse densité (au-dessus du barrage) : 21.814 m³

(6) Engins mécaniques

- Buteur : 2 à 3 unités
- Pelle mécanique : 1 à 2 pelles mécaniques
- Camion : 2 à 3 camions-bennes
- Rouleau : 1 à 2 unités (Komatsu JV100)

(7) Durée des travaux

Du 15 novembre 1997 à la fin de juin 1998, dont environ 4,5 mois ont été effectivement consacrés à la construction du barrage souterrain, les travaux pour les autres ouvrages de l'aménagement expérimental ont été également exécutés pendant cette période.

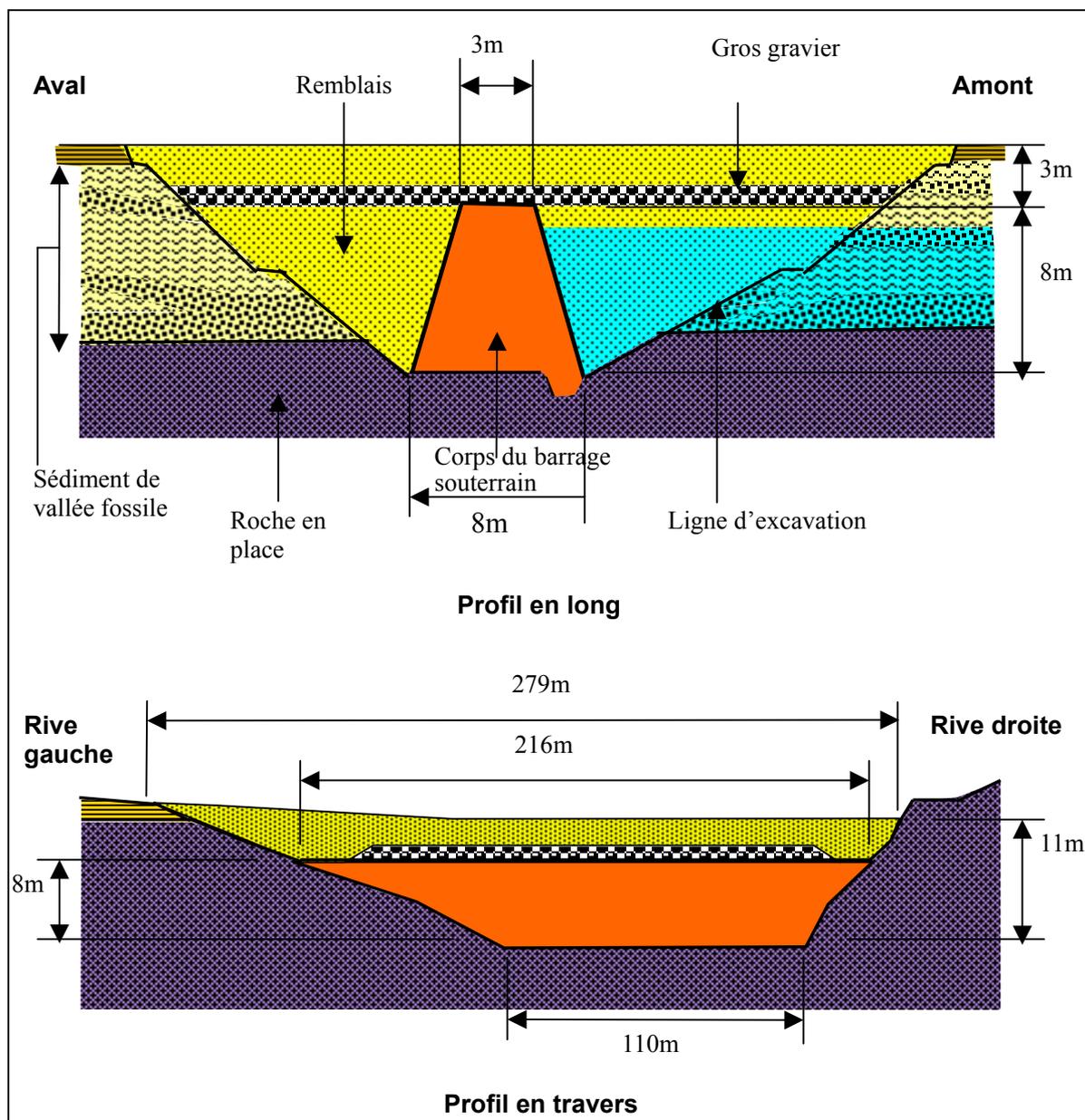


Figure 4.1: Croquis de la structure du barrage souterrain

4.3 Travaux de construction du barrage souterrain

(1) Excavation

La construction d'un barrage souterrain nécessite une excavation beaucoup plus importante que la taille (longueur, largeur, profondeur) de son corps. L'excavation pour construire des routes de chantier est également nécessaire.

Dans le cas du barrage souterrain construit à Naré, l'excavation était d'une ampleur suivante :

- Longueur : 307,1 m (y compris l'excavation pour les routes de chantier)
- Largeur : 50 m au maximum
- Profondeur : 12,9 m au maximum
- Quantité totale d'excavation : 55.590 m³

La quantité totale s'est ainsi élevée à 7,8 fois plus importante que le volume du barrage.

Au cours des travaux d'excavation, nous avons rencontré les difficultés suivantes :

- 1) L'excavation a été exécutée pendant la saison sèche où la nappe phréatique était à un niveau bas dans la vallée fossile. Mais les travaux se sont heurtés à des difficultés dues aux venues d'eau en provenance des couches sableuses se trouvant à une profondeur intermédiaire dans les sédiments de la vallée fossile ou de la partie séparant les sédiments et le substratum. Dans ce genre de travaux, les venues d'eau n'étant pas rares, il faut porter une attention particulière au choix des moyens techniques et de l'époque appropriée pour exécuter les travaux.
- 2) L'enfouissement de la vallée fossile s'est avéré, sur la rive droite, comme ce qui était estimé par les études préalables, mais sur la rive gauche, la vallée s'étendait au-delà de la limite estimée. Comme le montre le présent cas, les résultats des études préalables ne sont pas toujours fiables. La participation de géologues expérimentés à la supervision des travaux est donc très importante.

(3) Remblais

Pour les ramblais du corps du barrage, ont été utilisés des matériaux extraits de la couche d'altération forte (limon argileux) se trouvant à 300 m environ de l'emplacement du barrage.

Préalablement aux travaux, des remblais d'essai ont été effectués avec les matériaux prévus sur le chantier afin d'établir les standards de contrôle de qualité :

- Epaisseur d'épandage d'une couche : 30 cm
- Epaisseur d'une couche finie : 25 cm
- Nombre de passages du rouleau : 6 passes (aller et retour) au rouleau Komatsu JV100
- Teneur en eau des matériaux avant le remblayage : Teneur optimale en eau $\pm 1\%$
- Densité sèche du remblai fini : supérieure à 90% de la densité maximum
- Coefficient de perméabilité du remblai fini : inférieur à 10⁻⁵ cm/sec

A la suite de l'excavation exécuté jusqu'au substratum de la vallée fossile, les travaux de remblai pour le corps du barrage ont été exécutés avec le contrôle de qualité effectué selon les standards indiqués ci-dessus.

- Essais pour déterminer la teneur en eau des matériaux : en 130 points au total sur 52 couches
- Essais pour déterminer la densité sèche du remblai : en 130 points au total sur 52 couches

- Mesures du coefficient de perméabilité du remblai : en 38 points au total sur 12 couches

Les résultats du contrôle de qualité étaient bons, le remblai étant jugé acceptable en tous les points contrôlés. Le coefficient de perméabilité de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-8} cm/sec (10^{-6} cm/ sec en 2 points seulement sur 38) était bien meilleur que la valeur requise.

Il convient de rappeler que les pieds et la base du barrage doivent être enfoncés dans le substratum de la vallée fossile pour empêcher les fuites éventuelles.

Comme on l'a vu plus haut, les matériaux du remblai proviennent de la couche d'altération forte du substratum, se trouvant à 300 m environ de l'emplacement du barrage. Mais les déblais en provenance de la fouille se sont avérés plus tard utilisables pour les remblais. Un tel réemploi de déblais permet de réduire la superficie des "terres remaniées" par la construction d'un barrage souterrain. Pour les projets futurs de "barrage souterrain en terre", il est donc recommandé d'étudier minutieusement la nature du terrain de l'emplacement du barrage en tenant compte également de la possibilité de réemploi des déblais.

(3) Remblais de la fouille

Parallèlement à l'édification du massif en terre, ont été exécutés les travaux de remblai pour reboucher la fouille à l'amont et à l'aval du barrage. Le compactage des remblais a été assuré par 3 passes (aller et retour) au rouleau Komatsu JV100.

Les remblais ont été d'abord exécutés jusqu'au niveau de la crête du barrage. Ensuite, afin d'obtenir une bonne perméabilité, a été exécutée la mise en place d'une couche d'environ 1 m d'épaisseur de graviers de diamètre similaire, suivie par des remblais additionnels (avec 3 passes au rouleau).

Le corps du barrage étant exécuté avec les matériaux d'emprunt, il restait, à la fin des travaux de remblai, des déblais en quantité presque équivalente au volume du barrage. Ces déblais ont été utilisés pour reboucher la zone d'emprunt.

(4) Aménagement après les travaux

Une fois achevés les travaux de remblai, le terrain du chantier a été pratiquement remis en état. Mais la reconstitution de la végétation naturelle était tellement lente que le terrain est resté dénudé pendant environ deux années qui ont suivi les travaux. Pour le protéger contre le broutement éventuel par des animaux d'élevage, un grillage a été installé autour du terrain où ont été ensuite plantés des *Acacia senegal* en 2001. Le taux de prise de racine n'était que de 60% environ (en janvier 2002), mais avec un regain appréciable de sa couverture végétale naturelle, l'ancien chantier présente aujourd'hui l'aspect d'un forêt d'arbrisseaux.



Photo 4.1: Travaux de construction du barrage souterrain - 1



Photo 4.2: Travaux de construction du barrage souterrain - 2



Photo 4.3: Travaux de construction du barrage souterrain - 3



Photo 4.4: Travaux de construction du barrage souterrain - 4