

CASSARD A.

Direction Départementale de l'Agriculture du Var, France

KERN F. et MATHIEU G.

Centre Technique du Génie Rural des Eaux et des Forêts d'Aix-en-Provence, France

Utilisation des techniques de renforcement dans les barrages en terre

Use of reinforcement techniques in earth dams

The construction of earth dams greatly improves their stability, particularly when overtopping occurs.

Two solutions are possible : the first involves the protection of the down-stream slope while the second utilizes a vertical face in conjunction with an overflow spill.

The first process has been employed for rockfill dams and has been studied by scale models. For the second procedure three separate techniques have been developed and applied in several projects.

Depuis longtemps on a constaté que les petits barrages en terre argileuse homogène présentaient une résistance relativement bonne aux incidents tels que la submersion et les renards (érosion régressive). Cette observation faite sur les ouvrages anciens a été confirmée par les essais sur modèles réduits au 1/10ème effectués il y a une dizaine d'années dans le canal d'essais du laboratoire d'hydraulique de Toulouse. Ces essais ont d'ailleurs montré que lors d'une submersion, la rupture se produisait par décrochement de massifs de terre dans la zone aval. La surface de séparation correspond alors sensiblement à des plans verticaux.

Cette dernière constatation conduit à proposer de renforcer cette surface de rupture pour en éviter l'ouverture. La présence d'armatures dans la terre lui conférant aussi une cohésion anisotrope qui en améliore la tenue lors de la submersion, il est normal que les projeteurs de barrages et les inventeurs de procédés, tels que la terre armée, aient assez rapidement cherché à collaborer.

La terre renforcée peut être utilisée sous deux formes dans les barrages en remblai :

- soit elle sert de protection du talus aval et améliore la tenue de celui-ci lors de surverses de faible durée,

- soit elle permet la réalisation de talus aval verticaux et une lame d'eau qui submerge le seuil tombe derrière l'ouvrage.

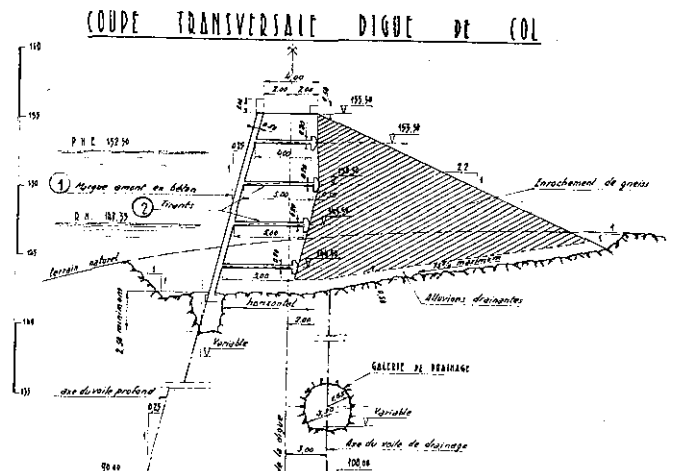
Cette dernière forme d'utilisation de la terre renforcée est celle qui se rapproche le plus des ouvrages de soutènement qui ont fait la réputation de la terre armée.

Trois procédés basés sur ce principe ont donné lieu à des applications, il s'agit :

- des murs à échelle de Monsieur COYNE,
- de la terre armée,
- des boudins réalisés avec des tissus en polyester (technique intermédiaire entre la terre armée et les gabions).

Mur à échelle de Monsieur COYNE

Au moyen de tirants en béton armé ancrés dans le massif de terre (en général très graveleuse), Monsieur COYNE a réalisé des murs de soutènement qui sont constitués de plaques de béton armé fixées à ces tirants. L'ouvrage ainsi réalisé peut être rendu assez souple en prévoyant un découpage judicieux du mur en béton armé et des tirants ayant un enrobage de béton le plus faible possible.



Ce dispositif a initialement été prévu pour réaliser des barrages à parement aval vertical, mais aucun ouvrage définitif n'a été réalisé selon ce principe. Le mur à échelle a été mis en place pour plusieurs batardeaux provisoires de grands barrages et sur la digue de col du barrage de Saint-Cassien. Cependant, sur cette digue qui n'est pas submersible, le parement pseudo vertical est situé du côté amont.

Digue en terre armée

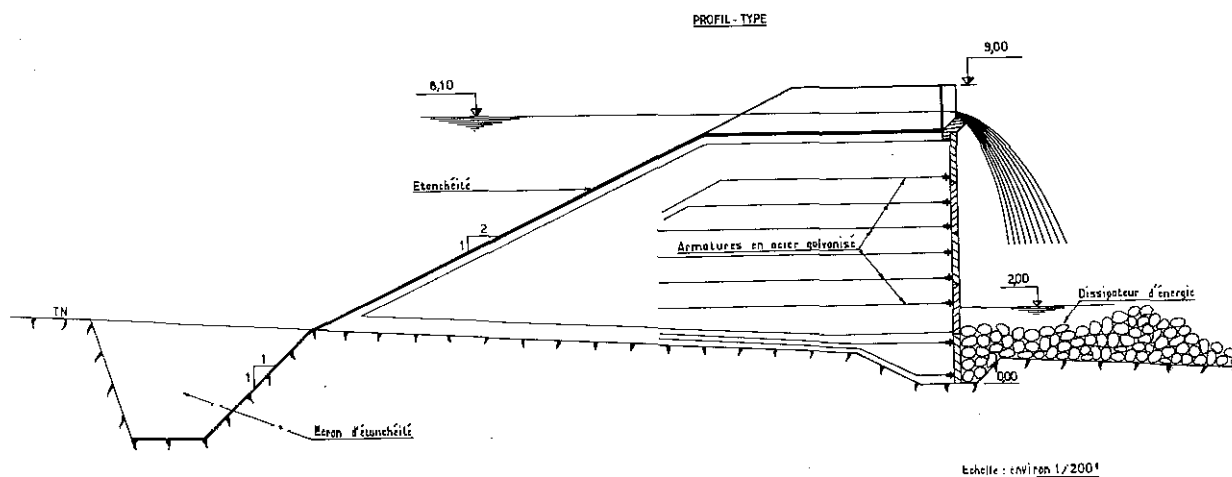
Un barrage en terre armée a été réalisé à proximité de Pignan, dans le ravin du vallon des Bîmes. Cet ouvrage, conçu par la Direction Départementale de l'Agriculture du Var, dans le cadre de la protection des Forêts contre l'incendie, a été réalisé au cours de l'année 1972 et la première mise en eau a eu lieu au début de l'année 1973.

Les principales caractéristiques ainsi que le profil type sont indiqués ci-dessous.

Le parement aval est réalisé au moyen d'écailles en béton, chaque écaille étant tenue au moyen de quatre lanières en acier galvanisé de 7 mètres de longueur chacune.

Les fondations de l'ouvrage sont constituées de schistes sériciteux altérés en rive droite et par un dépôt de bas de pente en rive gauche. Cette disposition interdisait l'utilisation d'un ouvrage rigide en béton, et la solution classique de barrage en terre avec déversoir latéral présentait de grosses difficultés, car les pentes relativement raides des berges auraient nécessité des terrassements et des volumes de béton importants pour la réalisation de l'évacuateur de crue.

Depuis sa mise en service, cet ouvrage a eu un comportement tout à fait normal. Cependant au cours du chantier l'entreprise a eu des difficultés à compacter la terre à proximité du parement aval et le réglage de ce parement n'a pas pu être fait aussi soigneusement que cela se fait habituellement. Ces deux incidents sont dûs à la



Hauteur de la digue au-dessus des fondations- 10 mètres,

Hauteur du plan d'eau : 8,5 mètres,

Surface du bassin versant 2 km²,

Crue de projet : 20 m³/s,

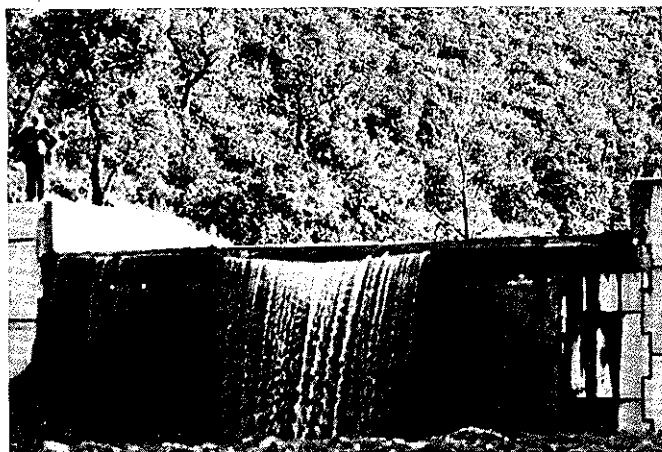
Volume de la retenue : 30 000 m³.

nature silto-argileuse de la terre utilisée; en effet, contrairement au sable habituellement employé pour la terre armée, ce matériau :

- nécessite une grande énergie de compactage pour atteindre une densité suffisante (ce qui est délicat à réaliser près des écailles),
- entraîne des déplacements des armatures (donc des écailles qui y sont liées) lorsque l'on compacte le matériau qui recouvre le lit d'armatures..

La mise en place de matériaux sableux ou graveleux à proximité du parement aval, réduit ces difficultés et améliore le drainage de l'ouvrage.

On peut remarquer que l'utilisation de terre contenant plus de 15 % d'éléments fins n'a pas nui à la tenue mécanique de ce mur.



Un autre barrage basé sur le même principe a été étudié par le Bureau d'Etudes COYNE et BELLIER sur le site de l'Estelle, dans le Var. L'ouvrage a été prévu avec une hauteur de 24 mètres au-dessus du terrain naturel, et les différences avec l'ouvrage précédent concernent essentiellement :

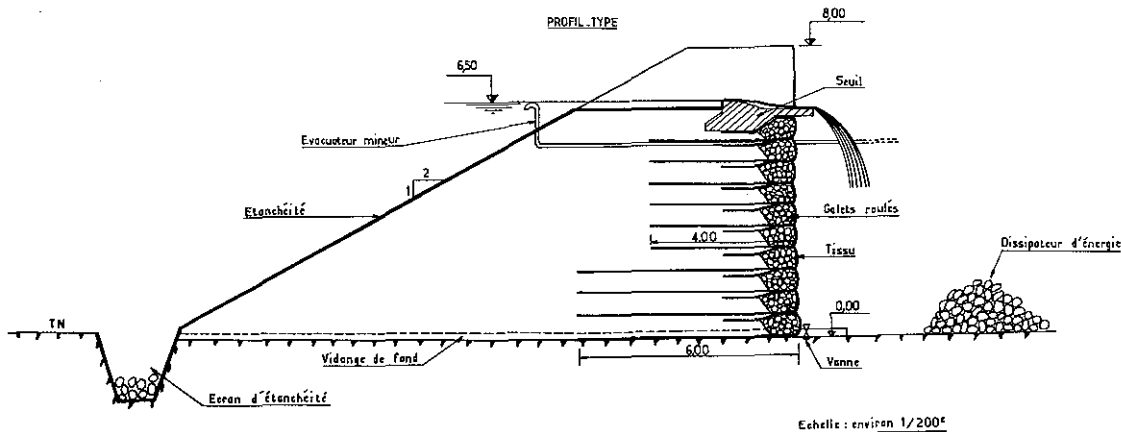
- une étanchéité de l'ouvrage au moyen de terre compactée à la place de la membrane,
- un massif en terre armée constitué à partir de matériaux sableux et séparé de la zone étanche,
- une conception de l'évacuateur de crue différente de celle retenue pour le barrage du vallon des Bimes.

Cet ouvrage a été examiné par le Comité Technique Permanent Français des grands barrages et celui-ci a donné son accord pour que la technique de la terre armée soit retenue dans un ouvrage de cette taille.

Barrage à boudin

Cet ouvrage a été construit dans le cadre de la protection des forêts contre l'incendie sur le ravin du Maraval, à proximité de Collobrières (dans le massif des Maures).

La situation géologique était semblable à celle de l'ouvrage du vallon des Bimes, avec des schistes altérés en rive droite et des éboulis schisteux en rive gauche. Comme précédemment, la réalisation d'un évacuateur posé sur le terrain naturel en rive droite ou en rive gauche posait des problèmes, soit économiques en rive droite où la pente était raide, soit foncières en rive gauche où il fallait dévier une voie d'exploitation forestière. La Direction Départementale de l'Agriculture du Var, avec la collaboration du C.T.G.R.E.F. a donc dessiné et réalisé un ouvrage à parement vertical, parement obtenu par la mise en place de poches en textile remplies de matériaux. Cet ouvrage, et les problèmes qu'il a soulevés, ont été décrits lors du colloque Sol et Textiles (Paris 1977). Nous ne faisons que rappeler ci-dessous le profil type retenu.



Les enseignements tirés du barrage en terre armée nous ont permis d'améliorer légèrement certains points. C'est ainsi que :

- à proximité du par ment aval a été prévu un massif en cailloux de rivière, ce qui facilite la mise en place de ce parement,
- l'évacuateur de crue a une conception différente de celle du barrage du vallon des Bimes. Il est constitué d'éléments préfabriqués et articulés entre eux qui sont installés sur le dernier boudin du barrage.

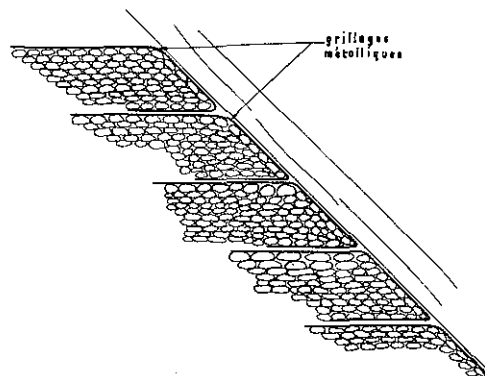
Cet ouvrage est plus souple que celui réalisé en terre armée avec écailles et jusqu'à présent il n'a donné lieu à aucune manifestation anormale.

Utilisation de la terre renforcée - le passage de l'eau sur le talus aval

Armatures métalliques avec enrochements

La tenue des enrochements a depuis longtemps été améliorée en les associant à des armatures métalliques. C'est le principe de fonctionnement des gabions et des gros blocs tenus entre eux par des armatures. Les hydrauliciens ont souvent utilisé ce procédé pour faire des aménagements de rivière tels que des seuils, des protections de berges et des épis. Certes la technique de réalisation de ces barrages est assez éloignée de celle de la terre armée, mais le principe de fonctionnement en est assez voisin.

— ARMATURE DU TALUS PAR DES GRILLAGES METALLIQUES —



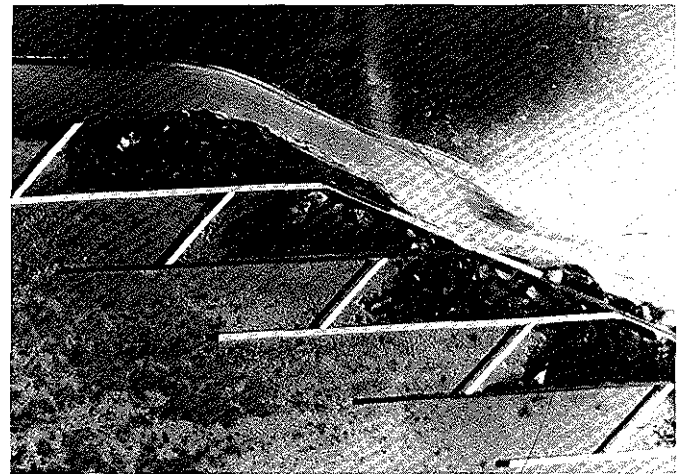
Des barrages en enrochements ayant un talus aval renforcé par des armatures métalliques ont été construits en Australie. Dans ces ouvrages, les enrochements situés à proximité du parement aval sont maintenus par des grillages métalliques conformément au schéma de principe donné ci-dessus.

Ce procédé a donné entière satisfaction, lors de surverses exceptionnelles, et les seuls craintes que l'on peut avoir concernent la corrosion des armatures.

Armatures textiles avec terre

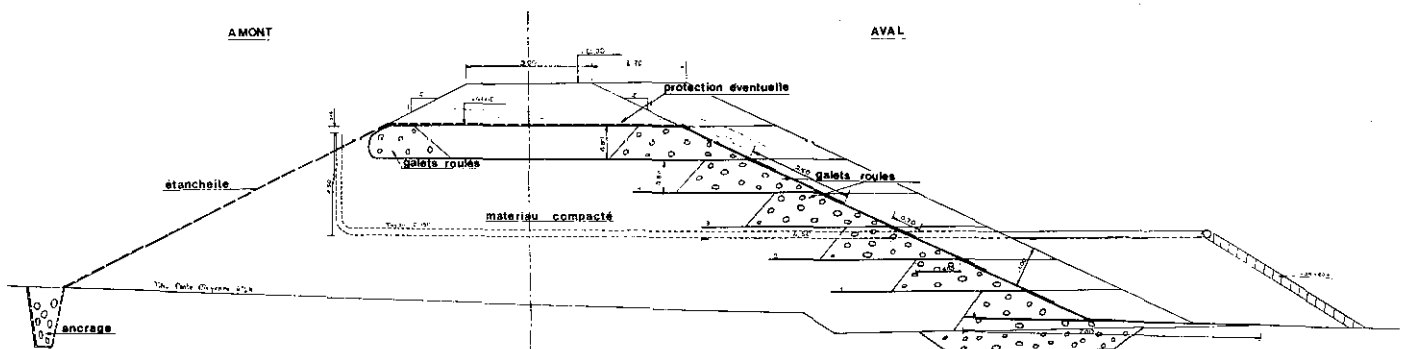
En utilisant le tissu comme armature, on peut aussi réaliser des ouvrages déversants dans lesquels le parement aval est recouvert avec des nappes de tissus, nappes elles-mêmes ancrées dans la terre. Ces longueurs d'ancrage dans la terre confèrent à celle-ci une cohésion fictive qui améliore sensiblement la tenue du talus lors d'une submersion. Des essais ont été réalisés sur un ouvrage de 2 mètres de hauteur environ, par la Direction Départementale de l'Agriculture du Var, et celle-ci a pu constater que la présence d'une nappe de tissus, qui joue le rôle d'armatures et de protection du talus, permettait à cette digue, constituée de gros galets, de supporter une surverse de plusieurs dizaines de centimètres sans pour autant être dégradée. Par contre, dès que l'armature a été enlevée, ces ouvrages étaient immédiatement emportés par la lame d'eau.

Une digue réelle basée sur ce principe a été projetée par le C.T.G.R.E.F. et son profil est donné ci-dessous. Pour l'instant, elle n'a donné lieu à aucune réalisation, mais uniquement à des études sur modèle réduit au vingtième, où l'on a pu constater que le principe adopté était très fiable. Lors de cet essai on a pu vérifier que les armatures textiles avaient un effet double. D'une part, en donnant une cohésion fictive à la couche de terre proche du parement, elles évitaient les ruptures par basculement, observées sur les modèles réduits de Toulouse, d'autre part, en recouvrant la terre, elles la protégeaient contre les érosions que le passage de la lame d'eau n'aurait pas manqué d'y produire.



Dans tous les cas cités on peut constater que l'amélioration de la tenue à la surverse est obtenue pendant toute la durée du chantier, ce qui permet d'accepter des submersions des ouvrages au cours des travaux. Cet avantage est très important sur les barrages de taille moyenne, car il permet de réduire sensiblement le coût des ouvrages évacuateurs de crues mis en place pendant le chantier.

Etant donné les problèmes posés par la corrosion ou la durabilité des armatures et les dégâts que certains barrages peuvent provoquer en cas de rupture, il semble que, lorsque les armatures ne sont pas protégées d'une manière efficace, l'emploi de la terre renforcée pour les barrages sera limité aux ouvrages pour lesquels des incidents graves ne font pas courir de risque aux personnes et aux biens situés à l'aval. Sous cet aspect de corrosion, le mur à échelle est probablement la technique qui offre le plus de sécurité, et ce procédé pourrait alors être "rajeuni" en prenant en compte les résultats des études faites pour la terre armée.

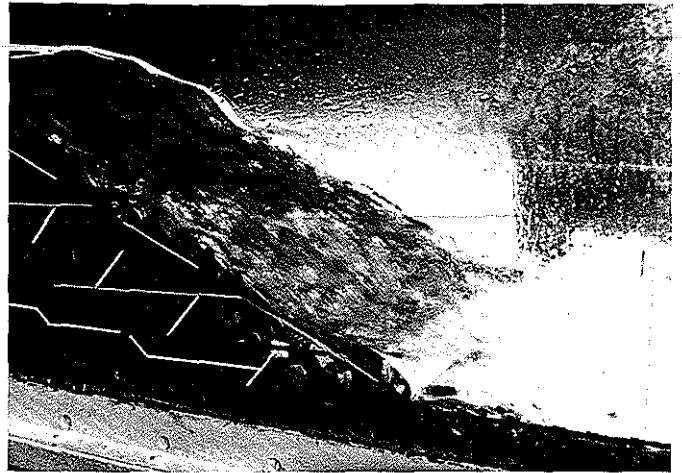


AMENAGEMENT DU MARAVAL - DIGUE DE PEYROL

Profil - Type

Par contre, pour les grands barrages, au niveau des ouvrages provisoires, tels que les batardeaux ou les dérivations, les solutions du type terre renforcée peuvent faciliter grandement les chantiers, et conduire à des économies non négligeables pour les raisons suivantes :

- elle permet, avec un parement aval vertical de rapprocher l'axe du batardeau de l'axe topographique le meilleur (qui est en général celui du barrage définitif),
- les protections à prendre au niveau du batardeau en ce qui concerne les crues de chantier peuvent être réduites car ce batardeau est facilement submersible même en cours de construction.



ESSAI SUR MODELE