BARRAGE POIDS

1. Introduction

Le choix d'un ouvrage rigide pour les petits barrages n'est pas le plus fréquent.
Statistiquement, on construit beaucoup plus de petits barrages en remblai que d'ouvrages rigides.
Quelles sont, le plus souvent, les raisons du choix d'un ouvrage rigide ?

- nécessité d'évacuer une crue importante ;
- présence de fonctions hydrauliques complexes dans l'ouvrage (ouvrage vanné pour assurer, par exemple, l'évacuation des sédiments et garantir la pérennité de la retenue, vidange de fond de fort débit) ;
- incertitude sur l'hydrologie : les ouvrages rigides sont généralement moins sensibles au déversement que les ouvrages en remblai. Sur les sites où il y a une grande incertitude sur les crues.

Quelles sont les conditions requises pour pouvoir projeter un ouvrage rigide ?

- ✓ Un barrage rigide nécessite une fondation rocheuse de bonne qualité.
- ✓ La deuxième exigence pour construire un ouvrage rigide est de disposer, dans des conditions économiques acceptables, de granulats de bonne qualité nécessaires à sa construction.

Ces deux exigences sont d'ailleurs souvent satisfaites simultanément.

2. Barrage poids

C'est le type le plus couramment répandu parmi les petits barrages en béton. L'ouvrage massif résiste à la poussée de l'eau et aux sous-pressions par son poids propre.
Comparé au barrage voûte ou à contreforts, la conception et le calcul de tels ouvrages restent simples. Leur construction ne fait pas appel à des techniques sophistiquées. Les coffrages sont réduits. A contrario, le volume de béton est plus important.

3. FONDATION

Le barrage poids classique doit être construit sur un rocher sain, sauf cas particulier nécessitant des dispositions spécifiques. Trois arguments plaident en faveur d'une fondation de bonne qualité :

- ✓ la structure rigide de l'ouvrage ne peut guère s'accommoder de mouvements différentiels ;
- ✓ le diagramme des contraintes transmises à la fondation est radicalement différent entre la situation où le barrage est plein et celle où il est vide, ce qui peut induire des phénomènes de fatigue d'un rocher médiocre au fil des vidanges et remplissages ;
- ✓ les gradients hydrauliques en fondation sont élevés et pourraient conduire à des phénomènes d'érosion interne en cas de rocher de qualité médiocre.

3.1 TRAITEMENT DE LA FONDATION

Le niveau d'assise du barrage est le rocher sain qui est le plus souvent fracturé. Un traitement de la fondation par injections s'impose donc dans la plupart des cas, y compris pour les petits barrages.
Si le barrage est équipé d'une galerie, les injections sont faites en forages depuis cette galerie (voir figure 1-a. Lorsque le barrage n'est pas équipé de galerie - ce qui est le plus souvent le cas pour les petits barrages - les forages d'injection sont réalisés depuis le pied amont .

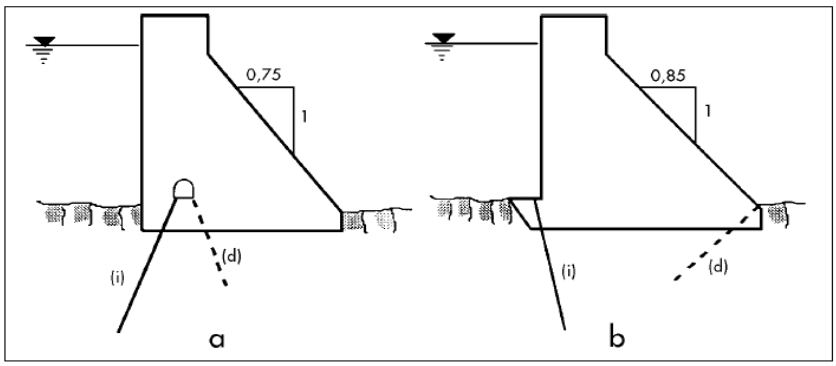

Fig. 1 - Implantation du rideau d'injection (i) et du voile de drainage (d) : a - avec galerie ; b - sans galerie

3.2 DRAINAGE

La stabilité des barrages poids classiques est fortement liée aux sous-pressions régnant sous l'ouvrage. Un drainage de la fondation est donc à recommander. Cependant, pour être réellement efficace, le drainage doit être fait relativement en amont, c'est-à-dire depuis une galerie.

4. ANALYSE DE STABILITÉ

4. 1 Les actions

Nous proposons de classer les actions à prendre en compte dans les calculs en :
□□actions permanentes ;
□□actions variables ;
□□actions accidentelles.
Action permanente

Le poids propre
La densité d'un béton conventionnel vibré de barrage poids est le plus souvent de l'ordre de 2,4.

Poussée des sédiments déposés en pied amont
Les sédiments en cours de consolidation exercent une poussée qui est a priori légèrement inclinée sur l'horizontale. Le coefficient de poussée peut être pris égal à :
Ko = 1 - sin Ø (formule de Jacky) Ø : angle de frottement interne des sédiments. Il convient de faire le calcul en contraintes effectives, c'est-à-dire avec la densité déjaugée pour les sédiments

Action variable
Poussée de l'eau et des matières en suspension
Cette poussée s'exerce perpendiculairement à la surface du parement amont. La densité d'une eau chargée de sédiments peut atteindre couramment 1,05 à 1,10.
Le niveau d'eau à prendre en compte est celui des plus hautes eaux lors de la crue de projet.

Sous-pressions sous la fondation
Le calcul est en général à faire pour la crue de projet. En l'absence de drainage, on considère habituellement un diagramme trapézoïdal avec la pleine sous-pression (um) du plan d'eau en pied amont et une sous-pression (uv)égale au niveau d'eau en pied aval (figure 2-a).
En cas de drainage et dans l'hypothèse d'un entretien régulier des drains, il est recommandé

de considérer que le drainage est efficace à 50 %, on considère que le voile a pour effet de diminuer d'un tiers la sous-pression juste à son aval.

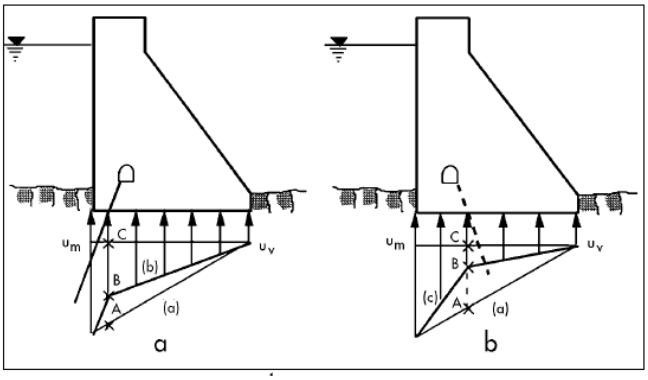

Fig. 2 - Diagramme indicatif des sous-pressions : (a) - sans injection ni drainage
(b) - avec voile d'injection
(c) - avec drainage

Action accidentelle : les séismes

L'action d'un séisme est prise en compte classiquement par la méthode dite « pseudo-statique », qui revient à modifier le vecteur des forces de pesanteur pour le calcul du poids propre de l'ouvrage :

- le vecteur g à une composante horizontale d'intensité a.g ;
- simultanément, la contrainte de poussée de l'eau à la profondeur z est augmentée d'une valeur ΔP dont WESTERGARD propose l'expression suivante :
  $\Delta P = 0{,}875\alpha\gamma_w (Hz)^{0.5}$ en kPa, avec H la hauteur du barrage en mètres et γ_w en kN/m^3

Dans le cas d'un barrage déversant, la poussée totale de l'eau est donc augmentée d'une valeur : $\Delta P = 0{,}58\ \alpha\ H^2$ (pour un mètre de longueur de barrage)

4. 2 Calcul de stabilité

Les méthodes utilisées pour les petits barrages consistent à considérer un plot de barrage comme un bloc indéformable soumis à des combinaisons des actions décrites ci-dessus. On analyse successivement la stabilité au glissement, la stabilité au renversement et la stabilité interne.

Stabilité au glissement

Si N et T sont les composantes normale et tangentielle de la résultante des actions sur la fondation, le critère couramment retenu est :

$$\frac{Ntg\emptyset}{T} \geq F$$

Ceci revient à négliger la cohésion des fondations. L'angle de frottement _ entre le barrage et sa fondation est en général pris égal à 45° pour un rocher sain, mais peut prendre des valeurs beaucoup plus faibles dans certains cas (par exemple _ = 25° pour des fondations marneuses). Le coefficient de sécurité F doit être supérieur ou égal
à 1,5 pour les combinaisons fréquentes ou rares et à 1,3 pour les combinaisons accidentelles (séisme).

Stabilité au renversement

On préfère généralement l'écrire en considérant les moments (par rapport au pied aval) des forces motrices Mm et stabilisatrices Ms :
- pour les charges usuelles : Ms / Mm > 1,5
- pour les charges exceptionnelles : Ms / Mm > 1,25
- pour les charges extrêmes : Ms / Mm > 1,1

Stabilité interne

On étudie la stabilité de la partie supérieure du barrage, le long d'un plan horizontal situé à une profondeur z sous le niveau de la retenue. Maurice LÉVY a proposé un critère pour lequel la contrainte normale _v à l'amont, calculée hors sous-pressions, reste toujours supérieure à la pression de l'eau au même niveau : $\sigma v > \gamma w\ z$
En fait, ce critère paraît très sévère et la qualité des bétons actuels permet de réduire cette exigence.
Le critère habituellement retenu est donc : $\sigma v > 0{,}75\ \gamma w\ z$
(critère de Maurice LÉVY satisfait à 75 %).

5. DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES DES BARRAGES EN BÉTON CONVENTIONNEL

Les joints

Un barrage poids en béton conventionnel doit être équipé de joints subdivisant l'ouvrage en plots et permettant d'absorber les effets dus au retrait hydraulique du béton et aux variations thermiques annuelles. De ce point de vue, il n'y a pas de spécificité pour les petits barrages. Les joints sont en général espacés de 15 à 20 mètres pour les barrages en BCV et de 20 à 50 mètres pour les barrages en BCR.

Les bétons

Classiquement, les barrages poids en béton conventionnel sont réalisés avec un béton non armé dosé à environ 250 kg de liant. le bétonnage par temps froid (< 0°C) sera interdit et des précautions spéciales sont à prendre entre 0 et 5°C. En cas de bétonnage par temps sec et chaud, on portera une attention toute particulière à la cure du béton (effectuée plutôt à l'eau qu'avec des adjuvants).