



Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai - juin 2010 - 114 p.

L. Peyras, P. Royet, Cemagref

Journée technique CFCI – CFMS – CFMR 27 janvier 2011

Le contexte normatif et réglementaire de la justification des ouvrages hydrauliques

➤ Historiquement, les ouvrages hydrauliques à l'écart de règlements :

- Directives Communes de 1979
- Fascicule 62 titre V

➤ Raisons :

- ouvrages à caractère unique
- barrages : souvent des ouvrages de grande taille
- ouvrages induisant un risque technologique
- spécificité des fondations
- gradients hydrauliques dans le sol d'assise et la structure

Les ouvrages hydrauliques et les Eurocodes

➤ Eurocode 0 : Bases de calcul des structures

*"Pour le calcul d'ouvrages spéciaux (par exemple installations nucléaires, **barrages**, etc.), d'autres dispositions que celle des EN 1990 à EN 1999 peuvent être nécessaires"*

➤ Eurocode 7 : Calcul géotechnique - règles générales

- l'Eurocode 7 introduit les notions de gradient hydraulique, d'érosion interne, de rupture par renard
- l'Eurocode 7 examine les ouvrages fondés sur le rocher
- mais limitation aux petits barrages en remblai

➤ L'ingénierie spécialisée n'utilise pas les Eurocodes pour la justification des ouvrages hydrauliques

Contexte de la justification des ouvrages hydrauliques

- **Pratiques françaises hétérogènes en matière de justification des ouvrages hydrauliques en remblai**
 - Modèles d'états-limites et de méthodes de calculs : glissement, déformation
 - Coefficients de sécurité
 - Démarche de choix des valeurs de calculs
- **Publications professionnelles utilisées également hétérogènes**
 - USACE, USBR, CFBR « Petits barrages »
- **La sécurité est prise en charge de façon déterministe**

Projet CFBR « justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai » - 2008 à 2010

- **Mandat du CFBR**
 - Harmoniser les pratiques françaises au moyen des recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai
 - Adopter un format de justification analogue à celui des Eurocodes
 - Les moyens :
 - un Groupe Projet réunissant l'essentiel de la profession
 - Coordination : Cemagref

Autres projets en lien avec le projet CFBR « barrages et digues en remblai »

- **Projet CFBR « justification des barrages-poids » : janvier 2006**
- **Projet « Retenues d'altitude » - 2009**
- **GT séismes du MEEDDM : septembre 2010**
- **Projet CFBR évacuateurs de crues : juillet 2009 – fin 2011**
- **Projet national ERINOH : guide destiné à la profession pour les critères d'érosion des remblais – fin 2012**

Les membres du groupe projet

« Barrages et digues en remblai »

- **Organismes publics**
 - **BETCGB : Stéphan Aigouy**
 - **LCPC, LRPC : Jean-Pierre Magnan, Edouard Durand**
 - **CETMEF : Mathieu Galiana**
 - **CTPB : Daniel Loudière**
 - **Cemagref : Paul Royet, Laurent Peyras**
- **Bureaux d'études**
 - **Coyne & Bellier : Patrice Anthiniac**
 - **Sogréah : Bachir Touileb**
 - **Safège : Caroline Varon**
 - **BRL-i : Eric Vuillermet**
 - **ISL : Luc Deroo**
 - **Bernard Couturier**
- **Industriels**
 - **EDF-CIH : Jean-Jacques Fry, Jean-Robert Courivaud**
 - **CNR : Laurence Duchène, Chiara Curzi**

Domaine d'application des recommandations pour les remblais

- **Barrages en remblai de toute sorte**
 - Homogène, pseudo-homogène
 - Zoné
 - À noyau
 - A masque amont
 - En enrochements
 - De grandes et de petites tailles
- **Digues de toute sorte**
 - Digues en charge (canaux, aménagements hydro-électriques)
 - Digues de protection contre les inondations
- **D'autres justifications sont nécessaires pour :**
 - Barrages de stériles miniers
 - Ouvrages ou digues maritimes en remblai
 - Remblais en terre armée ou renforcés par géosynthétiques

Contenu des recommandations (1/2)

1. Bases de calcul

- Situations de projet (en particulier les situations de crues)
- Actions et des effets des actions
- Etats-limites

2. Données géologiques, géomorphologiques et géotechniques

- Modèle géologique de la fondation
- Géomorphologie fluviale
- Modèle géotechnique de la fondation et du remblai
- Détermination des valeurs caractéristiques

3. Modèle hydraulique interne au remblai

- Méthodes pour le calcul hydraulique
- Données d'entrée du modèle
- Modélisation des situations de projet

Contenu des recommandations (2/2)

4. **Justification de la stabilité des barrages en remblai**
 - ELU de stabilité d'ensemble (glissement)
 - ELU de soulèvement hydraulique en pied aval
 - ELU de défaut de portance – ELS de tassement
 - Principes de mise en œuvre des calculs : modèles rhéologiques, calcul à la rupture, calculs aux éléments finis
5. **Justification des digues en charge permanente**
 - Les mêmes EL + EL d'affouillement
6. **Justification des digues fluviales**
7. **Nombreuses annexes**

Les situations de projet

Catégories de situations	Situation de projet
Situation normale d'exploitation	Cote RN pour les barrages de stockage Cote NNE ou NNN pour les canaux d'aménagements hydroélectriques ou de navigation Niveau moyen hors crue de la rivière pour les digues de protection contre les inondations
Situations transitoires ou rares	Fin de construction Vidange rapide Niveau d'étiage bas de la rivière Séisme de base d'exploitation SBE
Situations de crue : <ul style="list-style-type: none"> • Situation rare de crue • Situation exceptionnelle de crue • Situation extrême de crue 	Cote de protection (barrages écrêteurs ou digues fluviales) Cote des PHE Cote de danger
Situations accidentelles	Séisme d'évaluation de sécurité - SES Glissement de versant dans la retenue Avalanche généralisée dans la retenue
Situations liées à la défaillance d'un composant	A répartir entre situations rares ou accidentelles selon la probabilité d'occurrence

Les états-limites examinés

Type	ELU
Cisaillement	Stabilité d'ensemble (glissement)
	Stabilité sismique sans montée de sous-pression*
	Défaut de capacité portante (rupture par poinçonnement)
Soulèvement du sol	Soulèvement hydraulique
Liquéfaction statique ou dynamique	Boullance*
	Liquéfaction*
Erosion	Erosion interne*
	Erosion de surverse*
	Affouillement

* En gris : états-limites traités dans d'autres guides

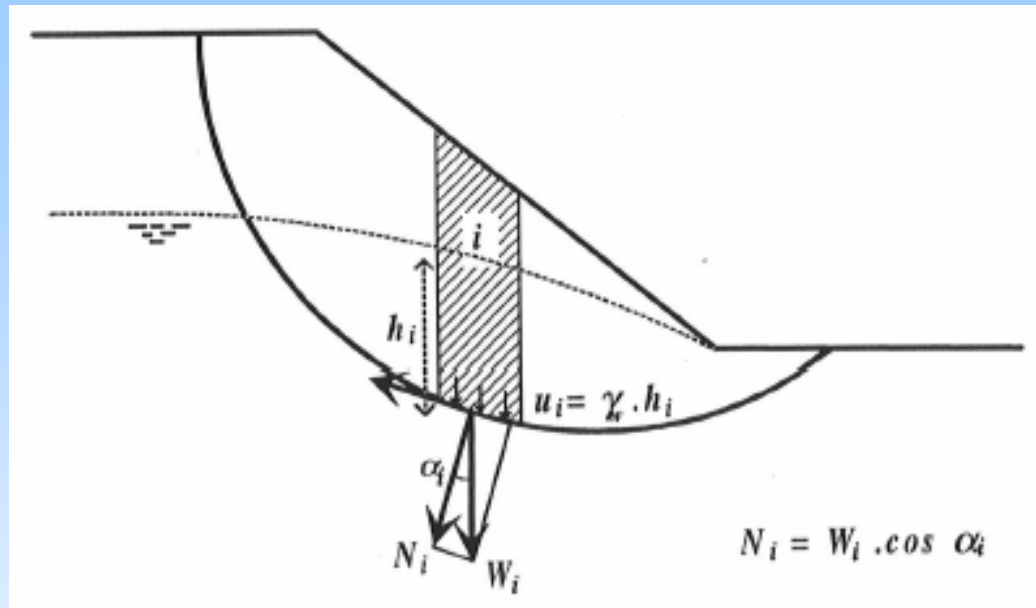
Principes pour la détermination de la valeur caractéristique des résistances

- Valeur caractéristique R_k est l'estimation prudente de la valeur de la résistance du matériau qui commande le phénomène considéré
- La valeur caractéristique est une estimation prudente du paramètre sur une certaine surface soigneusement étudiée et reconnue, et qui contrôle l'état limite
- Evaluation par les seules statistiques non suffisant
 - la valeur caractéristique doit faire appel au jugement expert, à partir des résultats d'essais disponibles ou à partir de valeurs guides issues de la littérature

Principes pour la détermination de la valeur caractéristique des résistances

- **Le choix des valeurs caractéristiques des propriétés géotechniques s'appuie :**
 - **une campagne de reconnaissances géologique et géotechnique, comprenant un nombre représentatif d'essais d'identification et des essais mécaniques**
 - **le retour d'expérience du géotechnicien issu de matériaux analogues ou de sites voisins**
 - **la connaissance des valeurs des paramètres géotechniques pour le type de matériaux, issues de la littérature.**

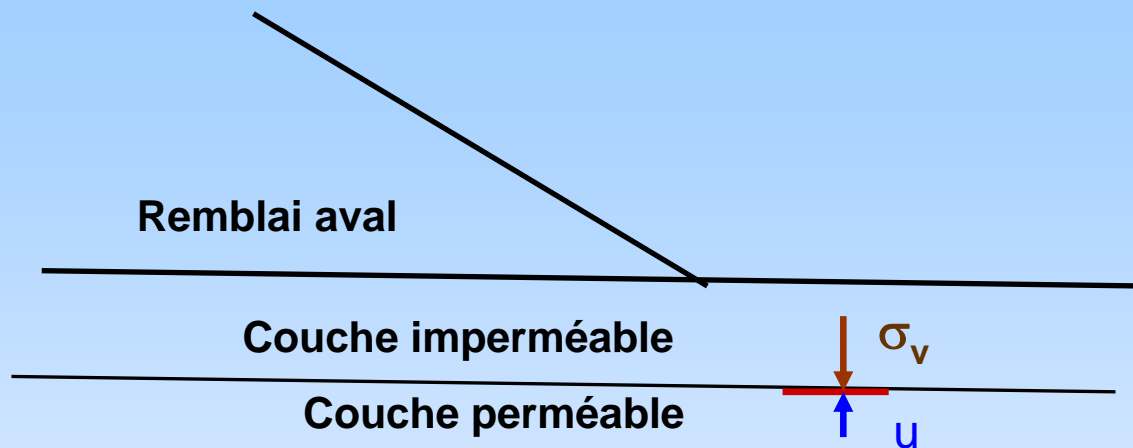
ELU de stabilité d'ensemble (glissement)



Jeu de coefficients partiels

Situation...	Coefficient partiel γ_m sur c' et $\tan \varphi'$	Coefficient partiel γ_m sur le poids volumique	Coefficient de modèle γ_d
normale d'exploitation	1,25	1	1,2
transitoire ou rare	1,1	1	1,2
exceptionnelle de crue (PHE)	1,1	1	1,2
extrême de crue	1	1	1,1
accidentelle	1	1	1,1

ELU de soulèvement hydraulique au pied aval



Condition d'état-limite :

$$\sigma_v / \gamma_m > \gamma_d u$$

u : pression d'eau agissant sous la couche de sol

σ_v : contrainte apportée par le poids de la couche de sol

Jeu de coefficients partiels

Situation...	Coefficient partiel γ_m sur le poids volumique	Coefficient de modèle γ_d
normale d'exploitation	0,90	1,2
transitoire ou rare	0,90	1,2
exceptionnelle de crue (PHE)	0,90	1,2
extrême de crue	1	1,1
accidentelle	1	1,1

ELU de défaut de portance

- Critère de rupture en cisaillement de la fondation – Poinçonnement de la fondation sous l'ensemble du remblai
- Situation transitoire de fin de construction ou de surélévation d'un remblai existant
- Condition d'état-limite : $q_{\max} / \gamma_m > \gamma_d q$ avec :
 - $q_{\max} = (\pi+2) \cdot c_u$ ou $q_{\max} = N_C \cdot c_u$: contrainte maximale admissible de la fondation
 - $q = \gamma H$: contrainte verticale sous le remblai de hauteur H
 - γ_m coefficient partiel sur la cohésion non drainée
 - γ_d coefficient de modèle
- Coefficients partiels :
 - $\gamma_m = 1,4$: valeur proposée dans l'Eurocode 7 – approche 3
 - $\gamma_d = 1,2$

ELU d'affouillement en pied de talus (digues)

- **Justification hydraulique**

- identification et détermination des sollicitations hydrauliques
- en cas de berge naturelle non protégée, justification de la résistance à l'érosion du sol vis-à-vis des sollicitations hydrauliques
- en cas de berge protégée avec des enrochements ou matelas gabions, justification de la protection vis-à-vis des sollicitations hydrauliques
- définition de la profondeur d'affouillement et justification

- **Justification géotechnique**

- rupture par glissement circulaire
- rupture par glissement plan
- rupture par défaut de capacité portante

Liste des annexes

- Annexe 1 : Valeurs standards pour les paramètres géotechniques
- Annexe 2 : Hydraulique des milieux poreux : principaux concepts et formules
- Annexe 3 : Etats-limites à vérifier pour les digues comportant un rideau de palplanches
- Annexe 4 : détermination des sollicitations dues aux courants naturels, au vent et aux bateaux
- Annexe 5 : Dimensionnement des protections de berge en enrochements
- Annexe 6 : Protections de berge en matelas de gabions
- Annexe 7 : Protection anti-érosion par techniques végétales
- Annexe 8 : Bibliographie

Approbation formelle par le CFBR en CE du 23 juin 2010



Valorisations :

- Site web CFBR
- Diffusion aux BE
- Publication RFG
- Traduction anglaise ?