

Guide international sur les digues

« The International Levee Handbook, 2013 »
version française, 2019

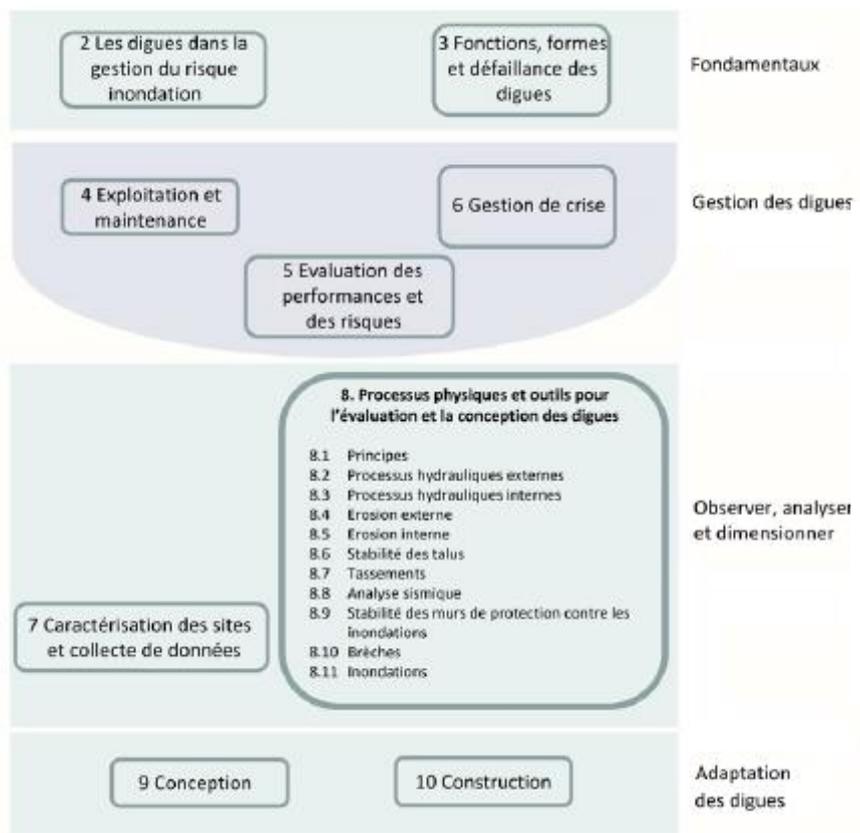


Guide international sur les digues

(International Levee Handbook)

Chapitre 8 : Processus physiques et outils pour l'évaluation et la conception des digues

Chapitre 8 - contexte



Le chapitre 8 détaille les outils d'analyse morphologique, hydraulique et géotechnique nécessaires à l'évaluation de la performance d'une digue.

Les principaux apports des autres chapitres sont :

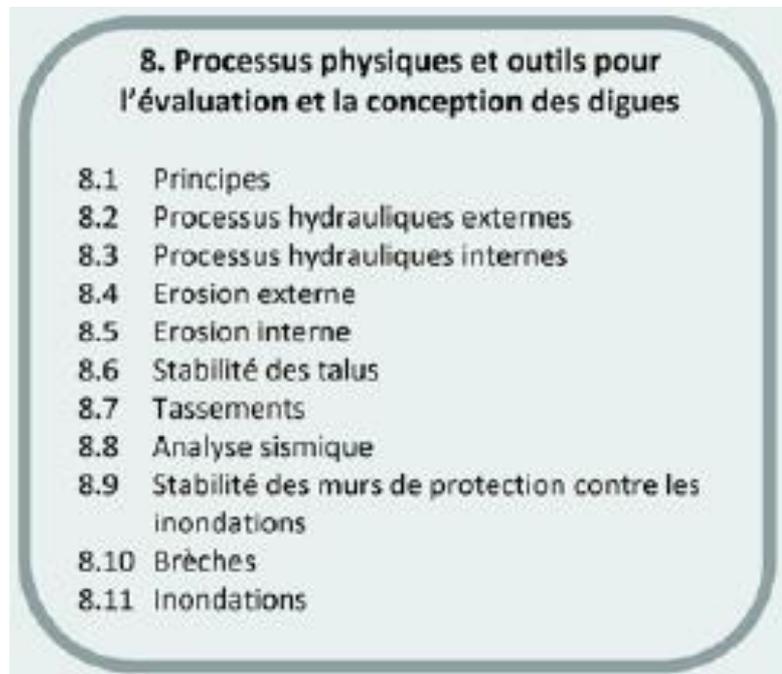
- chapitre 3 ⇒ **fonctions, formes et mécanismes de rupture** ;
- chapitre 5 ⇒ **données nécessaires d'analyse** ;
- chapitre 7 ⇒ **paramètres morphologiques, hydrauliques et géotechniques** ;
- chapitre 9 ⇒ **paramètres nécessaires à la conception**.

Les principaux apports aux autres chapitres sont :

- **Des outils pour l'évaluation, la conception et la construction des digues** ⇒ chapitres 5, 9 et 10

Note : les chapitres 2 et 3 fournissent des informations importantes concernant le cycle de vie des digues qu'il est utile de se remémorer.

Chapitre 8 - introduction



8. Processus physiques et outils pour l'évaluation et la conception des digues

- 8.1 Principes
- 8.2 Processus hydrauliques externes
- 8.3 Processus hydrauliques internes
- 8.4 Erosion externe
- 8.5 Erosion interne
- 8.6 Stabilité des talus
- 8.7 Tassements
- 8.8 Analyse sismique
- 8.9 Stabilité des murs de protection contre les inondations
- 8.10 Brèches
- 8.11 Inondations

- Le chapitre 8 détaille les outils morphologiques, hydrauliques et géotechniques permettant d'évaluer la performance des digues
- Il constitue une “boîte à outils” du guide et comporte 11 sections

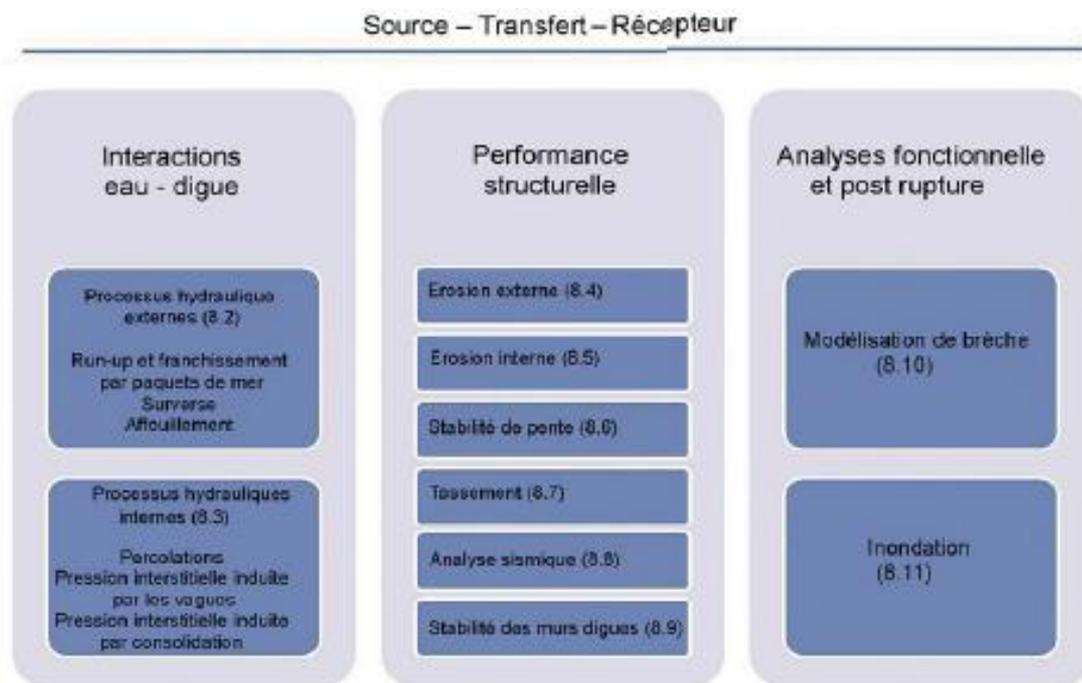
8.1 Principes - Aperçu

Cette section introduit :

- les principes clefs détaillés dans le chapitre
- les enjeux relatifs à l'analyse de la performance des digues

Il rappelle également les liens avec les autres chapitres.

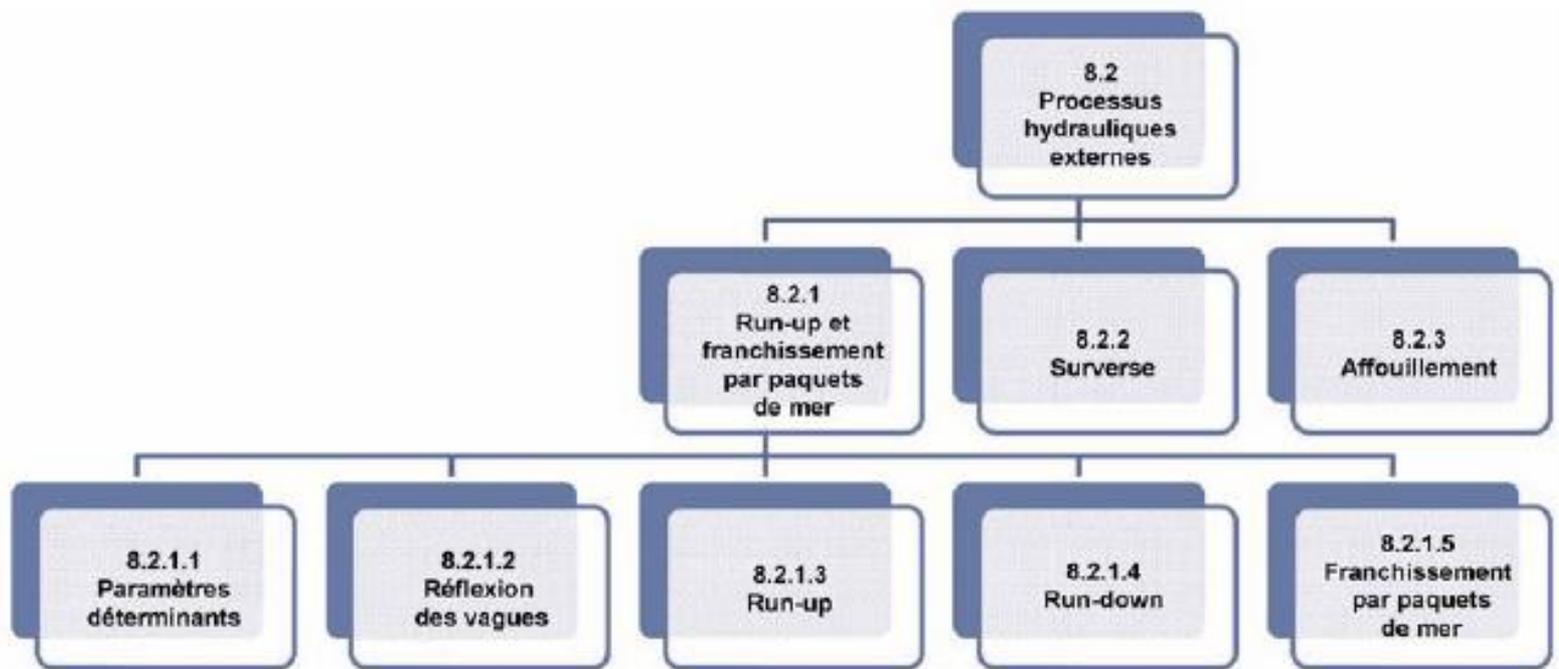
8.1 Principes – Exemple détaillé



- La sous-section 8.1.2 “Problèmes d’analyses pour les digues”, présente les liens du chapitre 8 avec le concept de “Source – Transfert – Récepteur” utilisé dans le guide.

8.2 Processus hydrauliques externes – aperçu

- Cette section détaille les processus d'hydrauliques externes suivants :



8.2 Processus hydrauliques externes – exemple détaillé

Pour chaque processus, plusieurs méthodes d'analyse sont proposées, de la plus simple à la plus complexe. Les principales formules ou les plus usitées sont détaillées.

- Par exemple, la méthode de l'EuroTop et l'équation de Pullen et Al (2007) donnant le niveau de déferlement relatif maximal (exceed par 2% des vagues).

$$R_{u,2\%} = \gamma_f \gamma_b H_{m0} \min \left[1.65 \gamma_b \xi_{m-1.0} ; 4.00 - \frac{1.50}{\sqrt{\xi_{m-1.0}}} \right]$$

$R_{u,2\%}$ = niveau de déferlement maximal dépassé par 2 % des vagues (m)

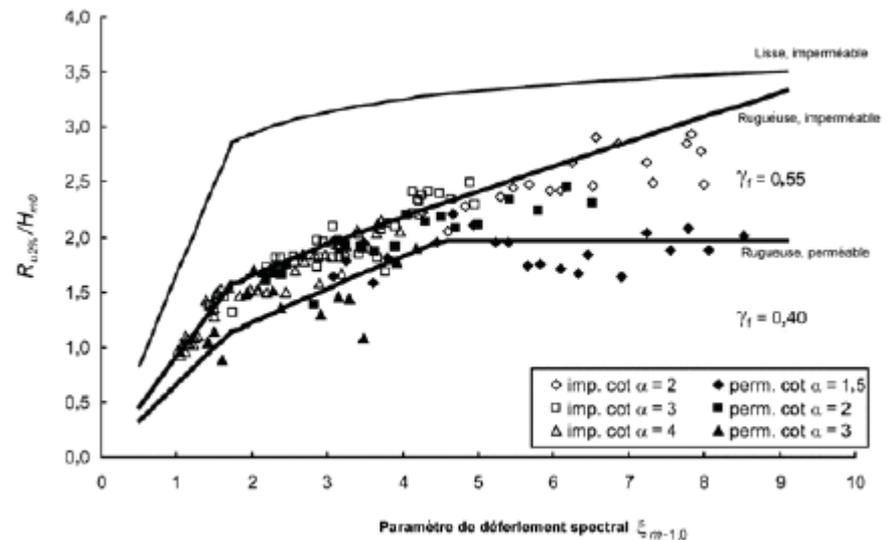
H_{m0} = hauteur spectrale significative des vagues (m)

γ_b = facteur d'influence lié à la risberme (-)

γ_f = facteur d'influence lié à la rugosité de la pente (-)

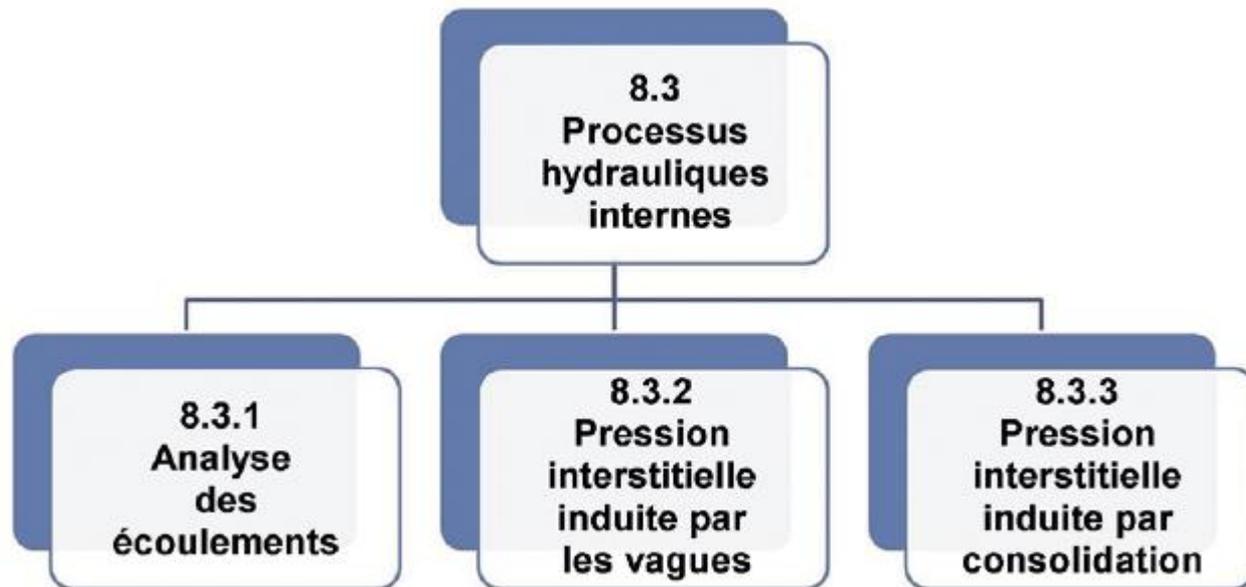
γ_b = facteur d'influence lié à l'angle d'incidence des vagues (-)

$\xi_{m-1.0}$ = paramètre de similitude du déferlement (-)



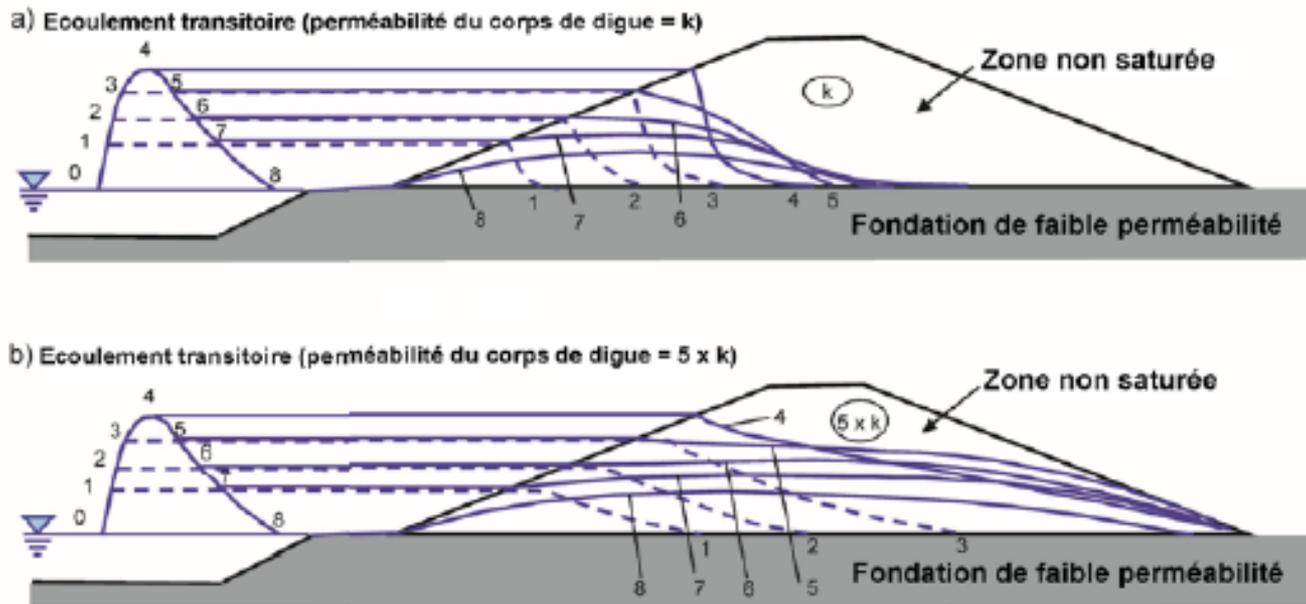
8.3 Processus hydrauliques internes – aperçu

- Cette section détaille plusieurs processus hydrauliques internes (écoulements ou pressions interstitielles dans le corps de digue ou sa fondation) générés par les actions hydrauliques ou mécaniques sur l'ouvrage :



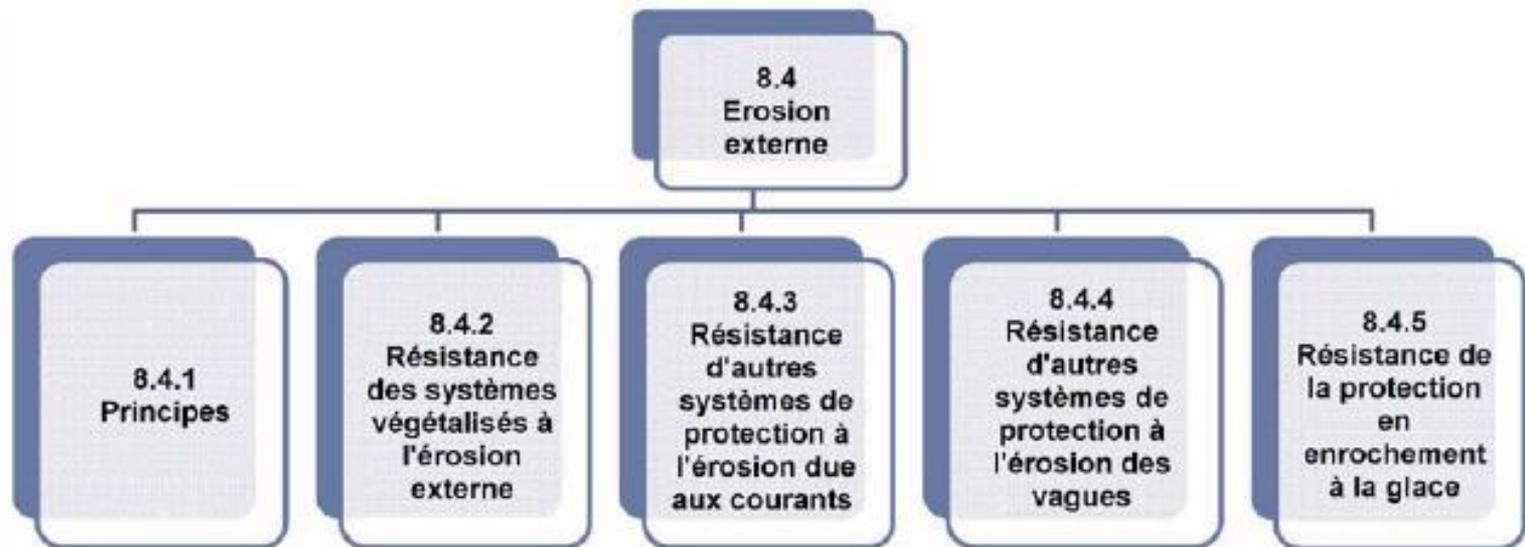
8.3 Processus hydrauliques internes – exemple détaillé

Les lois fondamentales d'hydraulique internes sont rappelées et les effets de la perméabilité, de son anisotropie, sur les réseaux d'écoulement ou les gradients hydrauliques sont détaillés.



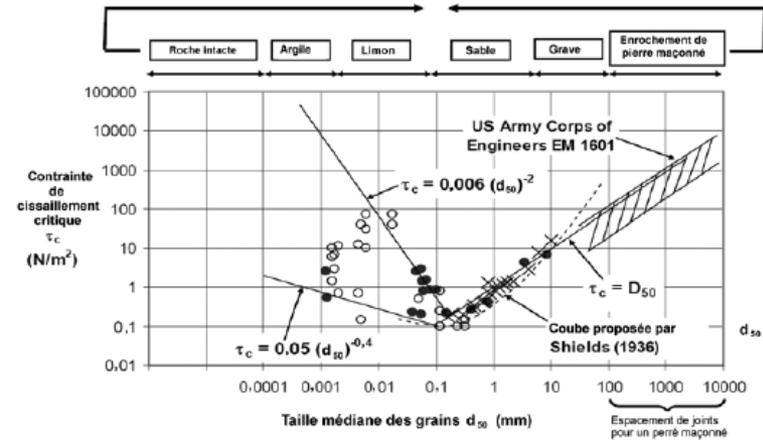
8.4 Erosion externe – aperçu

- Cette section traite des effets des mouvements d'eau (des écoulements ou des vagues) sur les surfaces des digues et de la résistance des systèmes de protection.



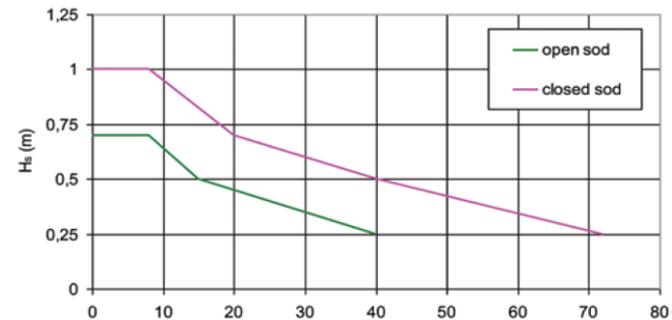
8.4 Erosion externe – exemple détaillé

— Concepts de contraintes critiques d'érosion (vitesse ou cisaillement)



Contrainte de cisaillement critique en fonction de la taille de la particule (Briaud et al., 2001)

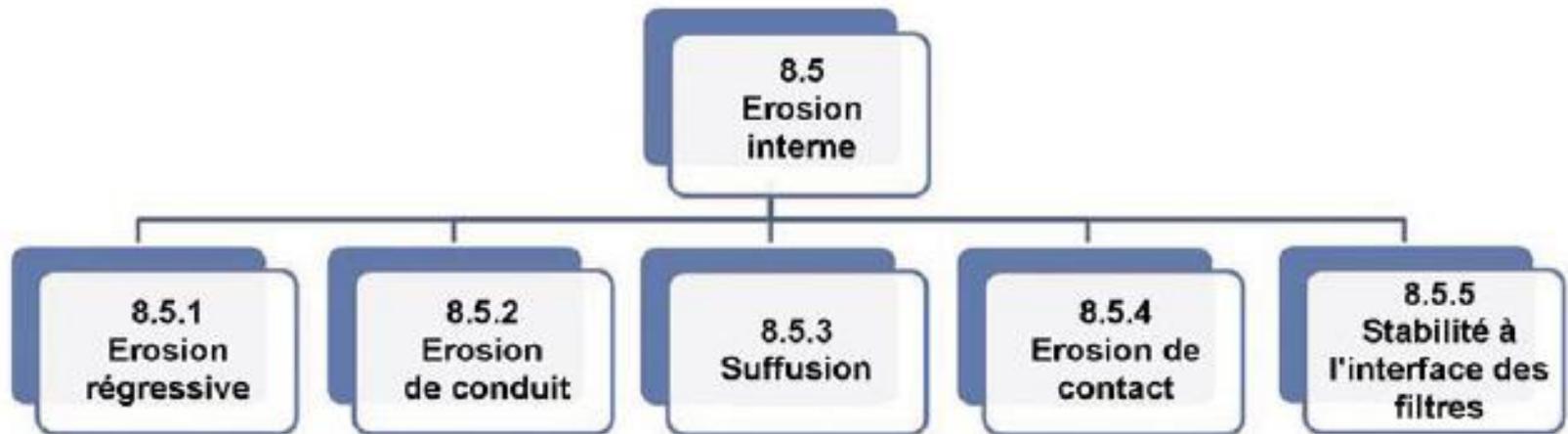
— Exemple : résistance d'un revêtement enherbé sous l'effet des franchissements par paquets de mer



Wave impact resisting time t_i (hour) for different wave height H_s (m) and turf quality (open or closed) (Morris et al. 2012)

8.5 Erosion interne – aperçu

- Cette section détaille tout les processus qui génèrent un détachement et un transport de particules par écoulement interne dans le corps de digue ou sa fondation.



8.5 Erosion interne – exemple détaillé

Exemple : pour la suffusion (8.5.3), les derniers modèles sont présentés comme ceux de Kenney et Lau (1985) ou Fannin et Li (2006)

– Critère de Kenney et Lau

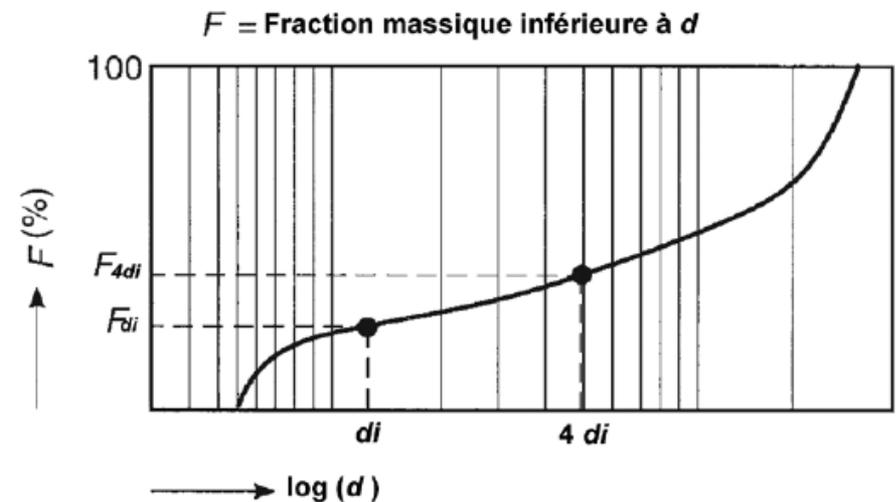
$$\min_{F_d < X} \left(\frac{F_{4d}}{F_d} - 1 \right) \geq 1$$

où :

d = diamètre des grains (m)

F_d = pourcentage de passant cumulé au diamètre d (-)

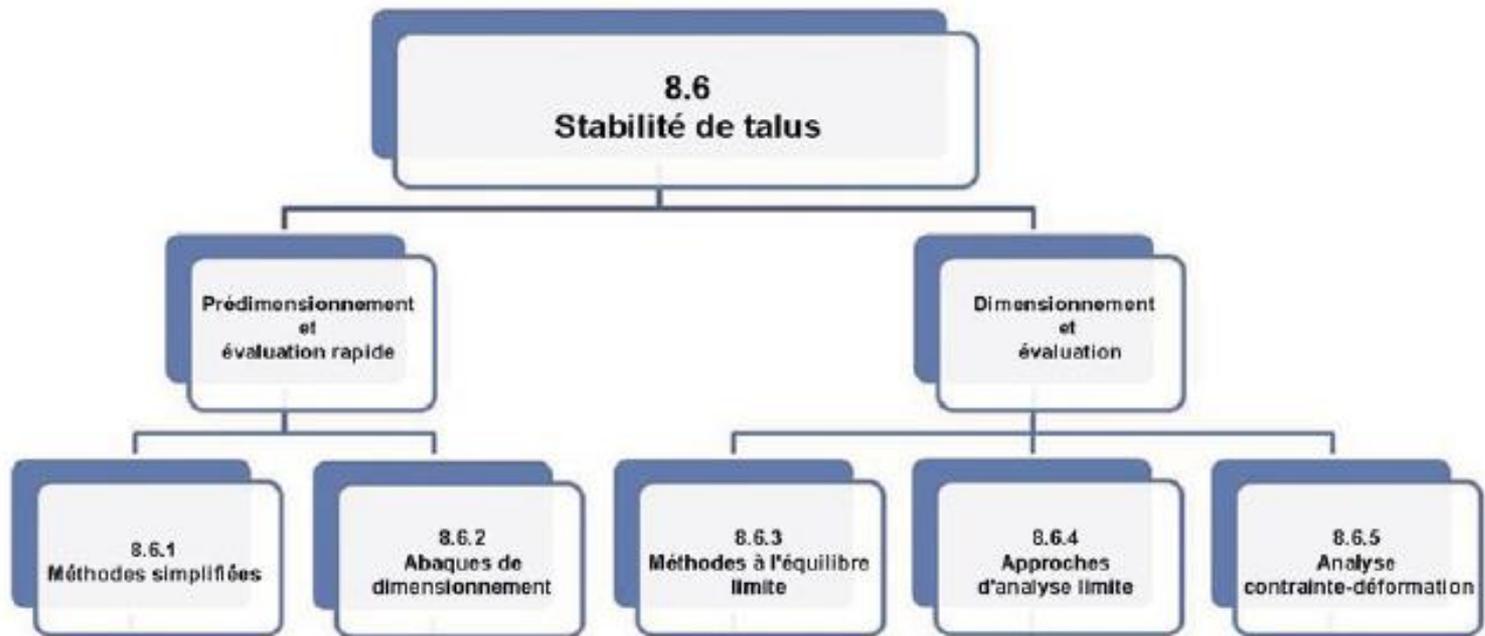
Pour un coefficient d'uniformité du sol (C_u , défini comme le ratio d_{60}/d_{10}) plus petit que 3, le paramètre X est considéré égal à 0,3. Pour $C_u \geq 3$, on peut prendre $X = 0,2$.



Définition du critère de passant cumulé (d'après Ciria ; Cur ; Cetmef, 2007)

8.6 Stabilité des pentes – aperçu

- Cette section traite de l'analyse de la stabilité des pentes, en rappelle les concepts, donne différentes méthodes, de la plus simple à la plus complexe en passant par les abaques de stabilité.



8.6 Stabilité des pentes – exemple détaillé

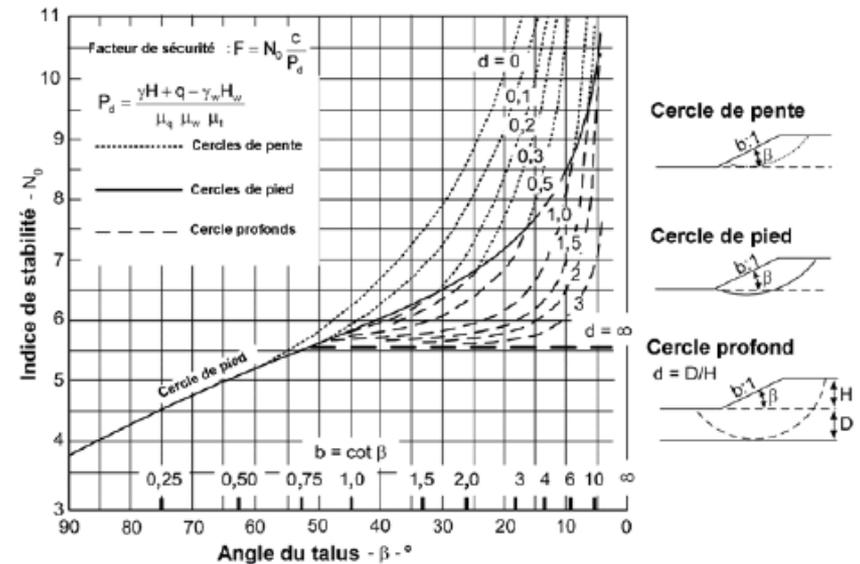
Par exemple, les abaques de Jambu (1973) sont fournis et les étapes de la méthode sont explicités pour l'évaluation du facteur de sécurité au glissement

$$P_d = \frac{\gamma H + q + \gamma_w H_w}{\mu_q \mu_w \mu_t}$$

où :

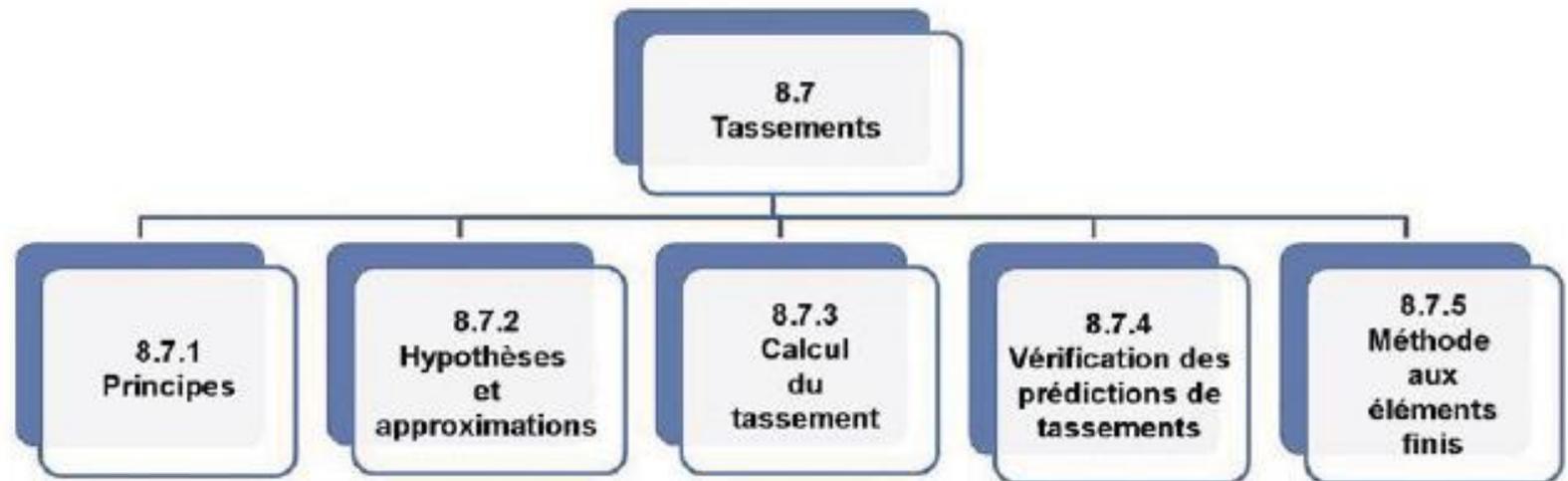
- γ = le poids volumique moyen d'un sol homogène (kN/m³)
- H = la hauteur de pente au-dessus du pied de talus (m)
- q = la surcharge (kPa)
- γ_w = le poids volumique de l'eau (kN/m³)
- H_w = la hauteur d'eau extérieure au-dessus du pied de talus (m)
- μ_q = le facteur d'ajustement de surcharge (-), cf. figure 8.78

$$F_s = N_0 \frac{c}{P_d}$$



8.7 Tassements – aperçu

- Cette section traite de l'évaluation des tassements pendant les phases de conception ou de construction de l'ouvrage



8.7 Tassements – exemple détaillé

Les principes de calculs des tassements sont rappelés et les principales méthodes d'estimation sont précisées

w_i = tassement instantané se produisant en conditions non drainées

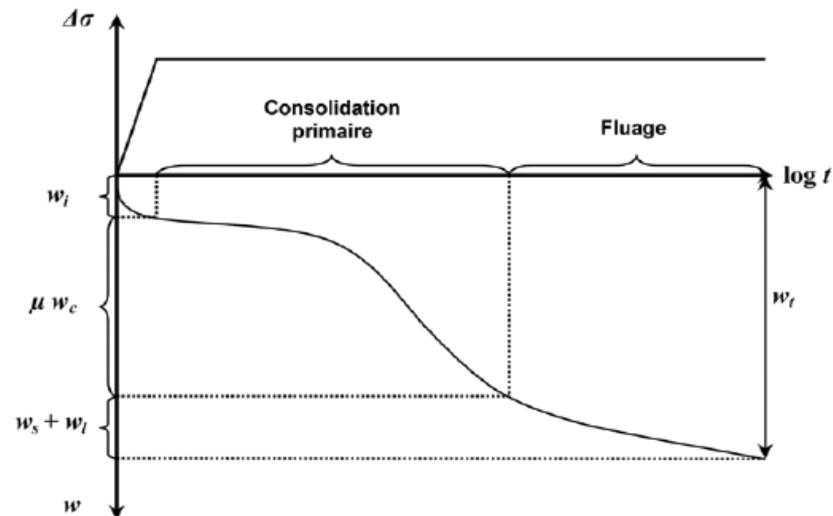
w_c = tassement de consolidation (ou tassement primaire)

w_s = tassement secondaire (ou fluage)

w_l = tassement dû aux déplacements latéraux irréversibles (déduit de w_i).

Le tassement total w_t est ensuite donné par :

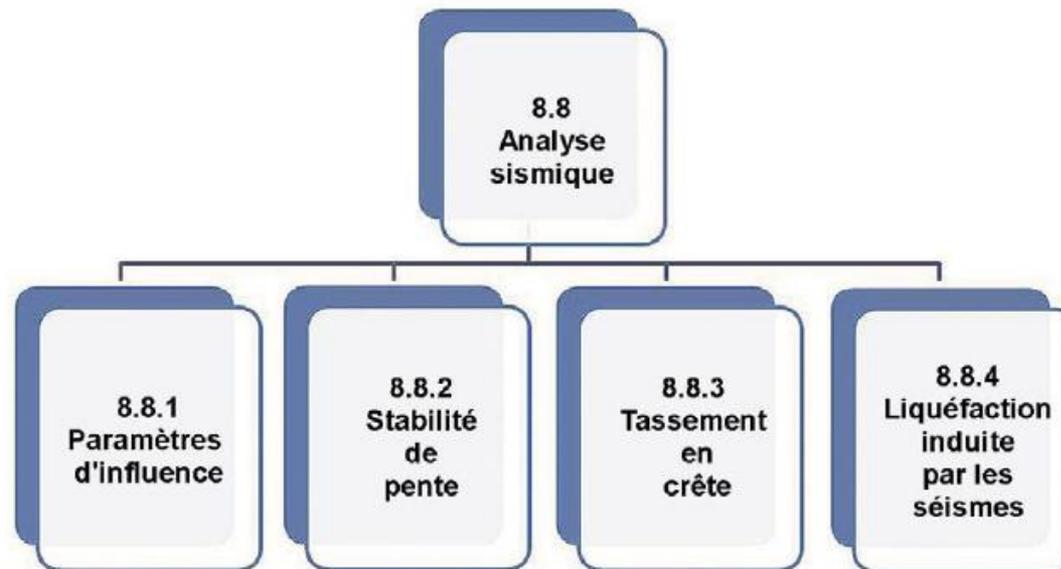
$$w_t = w_i + \mu w_c + w_s + w_l$$



Différentes composantes du tassement w_t (ordonnée négative) en fonction de la charge $\Delta\sigma$ (ordonnée positive) et du temps (t).

8.8 Analyses sismiques – aperçu

- Cette section traite des 2 points critiques de conception à prendre en compte dans l'évaluation de la performance d'une digue au séisme, à savoir :
 - la perte de résistance significative
 - les déformations significatives

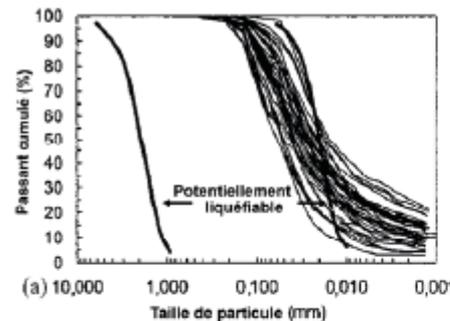


8.8 Analyses sismiques – exemple détaillé

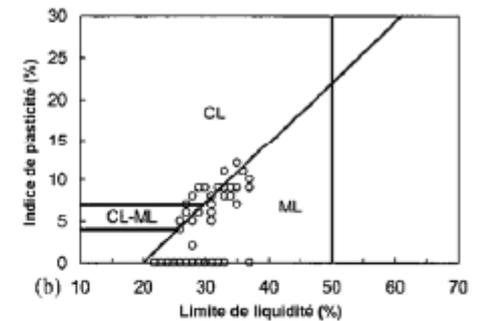
— Dans le cas de l'analyse de la stabilité des pentes, les approches pseudo-statique et pseudo-dynamiques sont présentées

— Pour l'analyse de la liquéfaction, une méthode simplifiée est proposée et détaillée après discussion sur les différents critères de liquéfaction.

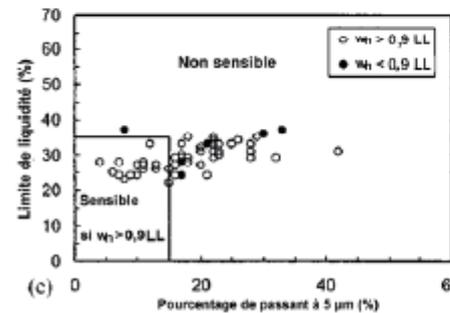
Courbes granulométriques de sols liquéfiables, Tsuchida (1970)



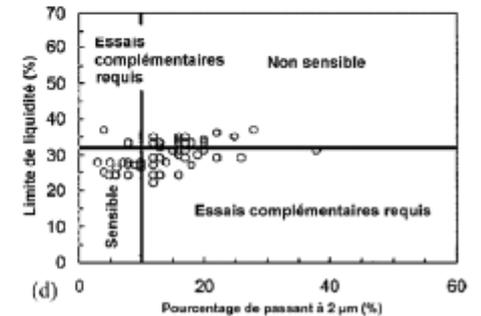
Abaque de plasticité de Casagrande



Critère Chinois, Seed et Idriss (1982) d'après Wang (1979)



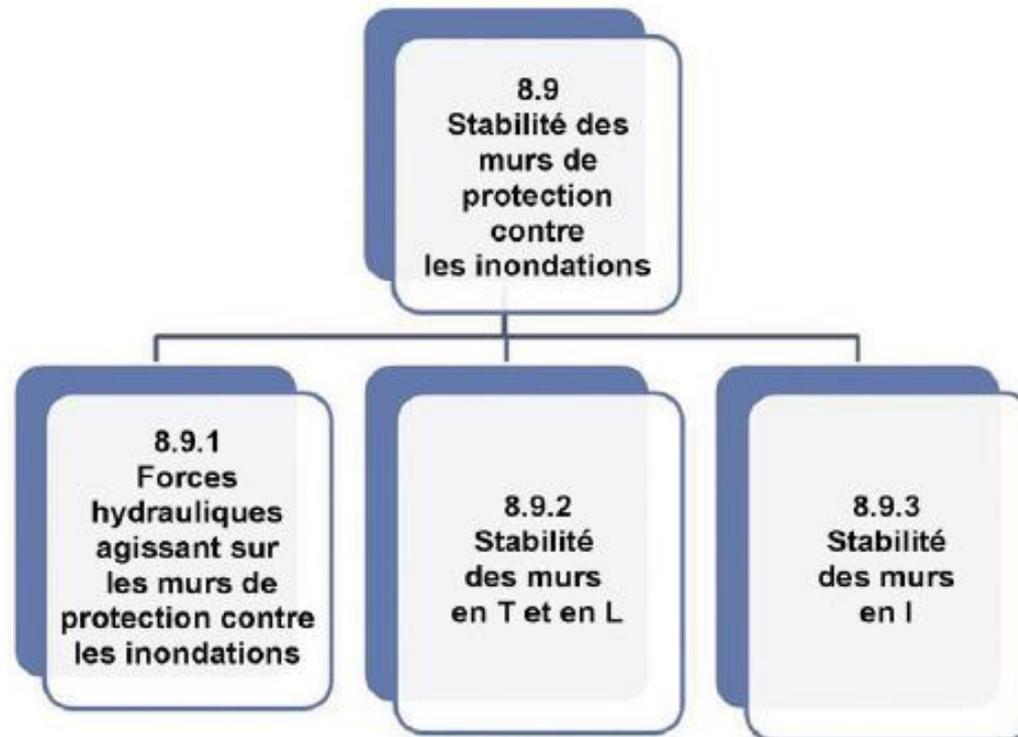
Andrews et Martin (2000)



Différents critères pour déterminer la susceptibilité à la liquéfaction des sols fins (d'après Seed et Idriss, 2004)

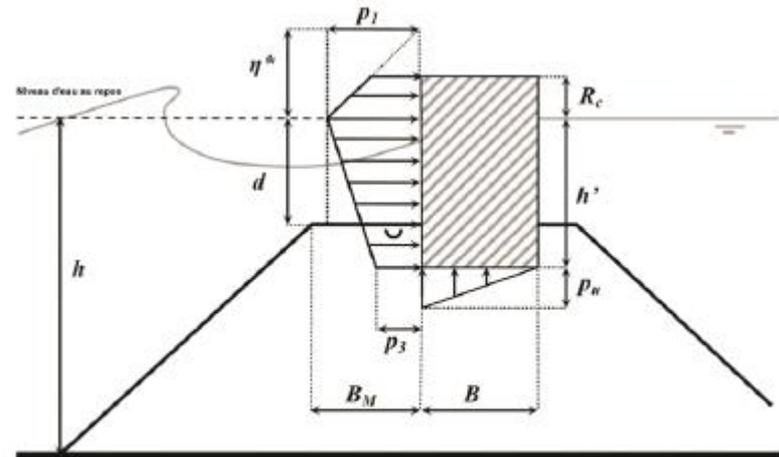
8.9 Stabilité des murs digue – aperçu

- Cette section traite de la stabilité des murs digue et des structures associées aux digues



8.9 Stabilité des murs digue – exemple détaillé

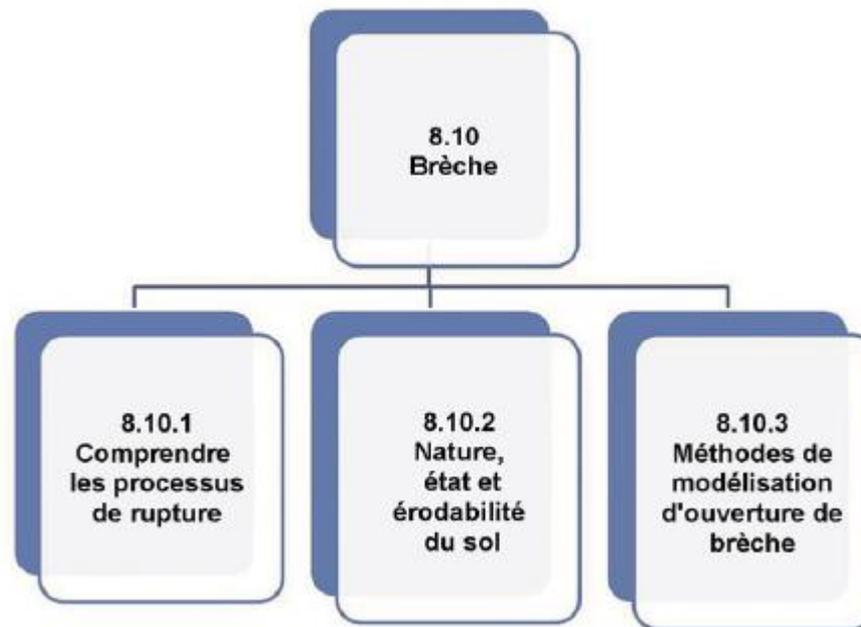
- Les forces hydrostatiques et dynamiques s'exerçant sur les murs digue sont décrites ainsi que leurs méthodes d'évaluation
- Les méthodes d'analyse de la stabilité (capacité portante, au glissement, au renversement) sont fournies



Nomenclature utilisée dans la méthode de prédiction des charges de vagues (d'après Goda, 1985)

8.10 Brèche – aperçu

- Cette section donne des éléments sur les processus de formation des brèches, sur l'érodabilité des sols et sur les méthodes actuelles de modélisation de l'ouverture d'une brèche.

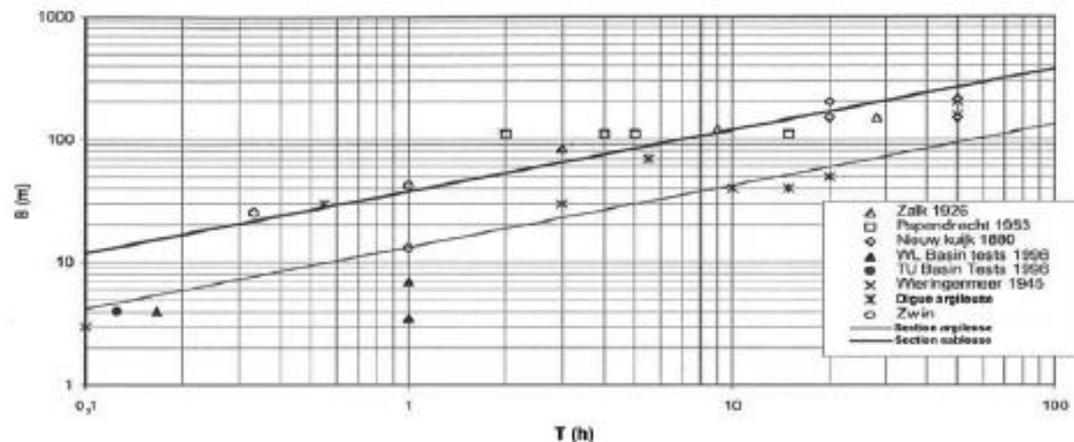


8.10 Brèche – exemple détaillé

- Les résultats de Hanson et al (2010) sur l'érodabilité des sols sont présentés,
- Sur l'ouverture des brèches, les résultats des recherches de Verheij (2002) sont fournis

$$\text{Pour les digues sableuses : } B = 67 \log \left(\frac{t}{522} \right) \quad (8.263)$$

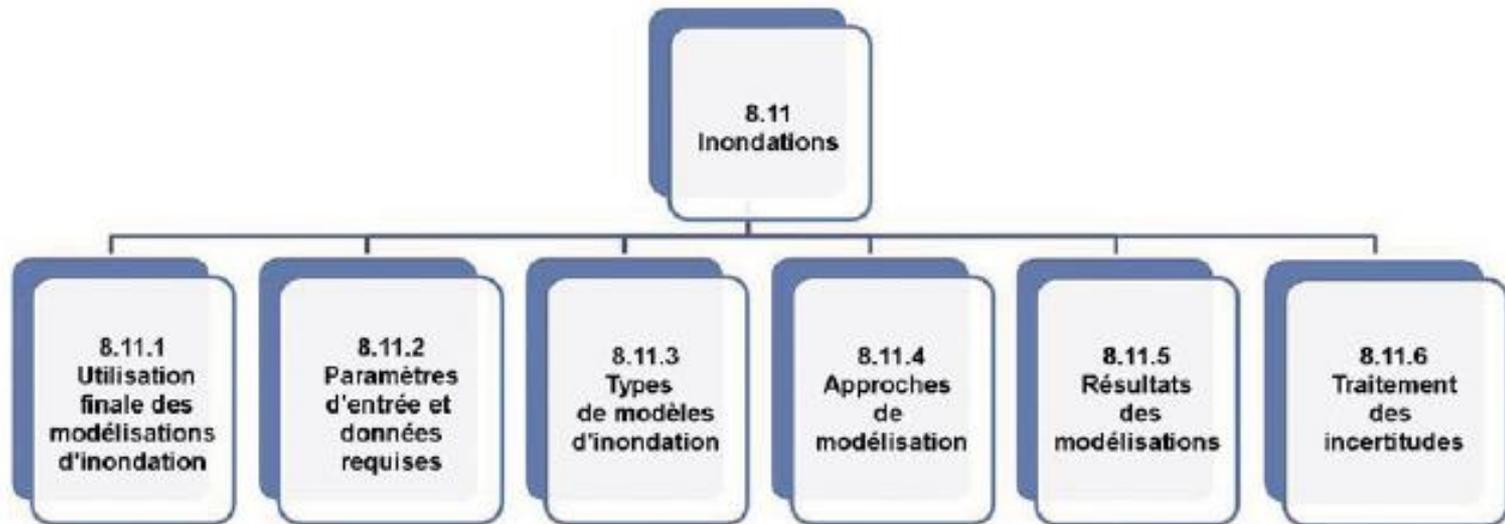
$$\text{Pour les digues argileuses : } B = 20 \log \left(\frac{t}{288} \right) \quad (8.264)$$



Largeur de brèche (B) en fonction du temps (t) et du type de sol (courbe du haut : sable, courbe du bas : argile)
(Verheij, 2002)

8.11 Inondation – aperçu

- Cette section fournit des éléments aux gestionnaires de digues pour intégrer de manière appropriée et critique les résultats des modèles d'inondation



8.11 Inondation – exemple détaillé

- Des exemples d'utilisation des résultats des modèles d'inondation sont fournis : carte d'inondation pour analyse de risque, pour les plans d'évacuation...
- Les différents types de modèles d'inondation et d'approches de modélisation sont décrits



Exemple d'une cartographie des hauteurs d'eau maximales générée par RFSM, montrant l'inondation résultant d'une brèche dans une digue protégeant une zone urbanisée dans le lit majeur

8.1 Principes - Aperçu

Merci pour votre attention

Les responsables du Chapitre 8 de l'ILH :

Guillaume Veylon

Irstea

E-mail: guillaume.veylon@irstea.fr

Édouard Durand

Cerema

E-mail: Edouard.Durand@cerema.fr

et toute l'équipe de traduction

Pour télécharger le Guide International sur les digues :
www.cerema.fr

Version anglaise de : the International Levee Handbook
*disponible sur : **www.ciria.org/ILH***